

sck cen



sertius

Umweltverträglichkeitsprüfung

Im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke
Doel 4 und Tihange 3

Im Auftrag des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie

unter Zeichen 2020/77251/E2/EIE (Ref. SCK CEN: CO-90-22-6049-00)

Veröffentlichungsdatum: 20. März 2023

© SCK CEN – Veröffentlichungsdatum: 20/03/2023

Gemeinnützige Stiftung – Stichting van Openbaar Nut – Fondation d'Utilité Publique - Foundation of Public Utility

Eingetragener Sitz:

Avenue Herrmann Debroux 40 – 1160 Brüssel – Belgien

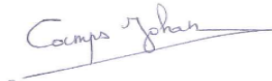
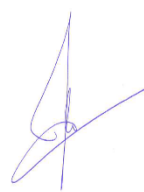
Forschungszentren:

Boeretang 200 - 2400 Mol - Belgien

Chemin du Cyclotron 6 - 1348 Ottignies-Louvain-la-Neuve - Belgien

<http://www.sckcen.be>

Unterschriften von Experten für radiologische Auswirkungen

Johan Camps (SCK CEN) Autorisiert zur Durchführung des radiologischen Teils einer Umweltverträglichkeitsprüfung und -berichterstattung (FANK UVP-003882, Genehmigung vom 1. Juli 2018 bis 30. Juni 2023)	
Eef Weetjens (SCK CEN) Genehmigung zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung durch die FANK unter dem Aktenzeichen EMER-0303421, wirksam am 14.12.2022 und gültig bis zum 13.12.2027	
Lieve Sweeck (SCK CEN) Autorisiert zur Durchführung des radiologischen Teils einer Umweltverträglichkeitsprüfung und -berichterstattung (FANK UVP-003882, Genehmigung vom 1. Juli 2018 bis 30. Juni 2023)	
Geert Olyslaegers (SCK CEN) Autorisiert zur Durchführung des radiologischen Teils einer Umweltverträglichkeitsprüfung und -berichterstattung (FANK UVP-003882, Genehmigung vom 1. Juli 2018 bis 30. Juni 2023)	
Hildegarde Vandenhove (SCK CEN) Direktorin des Instituts für Umwelt, Gesundheit & Sicherheit Genehmigung für die Erstellung eines Berichts über die Umweltverträglichkeitsprüfung hinsichtlich der Aspekte bezüglich ionisierender Strahlung (FANK, Genehmigung ab 16. Juli 2020 für einen Zeitraum von 5 Jahren)	

SCK CEN – 70 Jahre Erfahrung in der kerntechnischen Forschung und Technologie

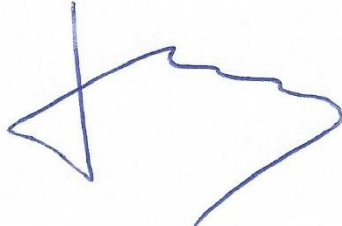
SCK CEN ist eine der größten Forschungseinrichtungen Belgiens. Mehr als 850 Mitarbeiter setzen sich täglich für die Entwicklung friedlicher Anwendungen von ionisierender Strahlung und Radioaktivität ein. Die Forschungsaktivitäten des SCK CEN konzentrieren sich auf drei große Themen: die Sicherheit kerntechnischer Anlagen, die Entwicklung der Nuklearmedizin und den Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung. SCK CEN ist weltweit anerkannt und teilt sein Wissen durch zahlreiche Publikationen und Schulungen, damit dieser Pool an außergewöhnlichen Fähigkeiten erhalten bleibt.

Weitere Informationen: www.sckcen.be

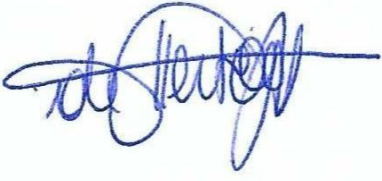
Danksagungen

Wir möchten uns bei den folgenden SCK-CEN-Mitarbeitern für ihre Unterstützung bei der Erstellung dieses Berichts bedanken: Katrijn Vandersteen, Pieter De Meutter, Christophe Gueibe, Kristine Leysen

Unterschriften von UVP-Experten (nichtradiologische Aspekte Doel 4)

Koen Couderé (KENTER) Zugelassener UVP-Koordinator Zulassungsnr. LNE/ERK/MERCO/2019/00033 Zugelassener UVP-Experte für Boden, Teilbereiche Geologie und Pedologie Zugelassener UVP-Experte für Wasser, Teilbereiche Grundwasser, Meeresgewässer sowie Oberflächen- und Abwasser Zugelassener UVP-Experte für Klima Zulassungsnr. EDA-222	
Katelijne Verhaegen (KENTER) Zugelassene UVP-Koordinatorin. Zulassungsnr. GOP/ERK/MER/2020/00006	
Annemie Pals (Mieco Effect) Zugelassene UVP-Expertin für biologische Vielfalt Zulassungsnr. EDA-704	
Johan Versieren (Joveco) Zugelassener UVP-Experte für Luft, Teilbereiche Geruch und Luftverschmutzung Zulassungsnr. EDA-059	

Unterschriften von UVP-Experten (nichtradiologische Aspekte Tihange 3)

Xavier Musschoot UVP-Koordinator Ir. Geologe UVP-Abkommen Sertius vom 21.06.2018	
Maureen de Hertogh Bio-Ingenieurin Expertin für Oberflächenwasser und Menschen UVP-Abkommen Sertius vom 21.06.2018	
Pierre Jacques Bio-Ingenieurin Experte für biologische Vielfalt UVP-Abkommen Sertius vom 21.06.2018	
Amélie de Pierpont Bio-Ingenieurin Expertin für Luft und Klima UVP-Abkommen Sertius vom 21.06.2018	

Tabellen

Tabelle 1: Abschaltzeitplan gemäß dem ursprünglichen Kernausstiegsgesetz von 2003 und seinen nachfolgenden Änderungen (Stand 1. Januar 2023).....	27
Tabelle 2: Verlängerung der Reaktoren Doel 4 und Tihange 3 zur industriellen Stromerzeugung, wie in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht. Dieser Zeitplan entspricht dem vom Ministerrat am 1. April 2022 gebilligten Gesetzentwurf (siehe Abschnitt 1.1.1).....	31
Tabelle 3: Übersicht über die Basisdaten des Kernkraftwerks Doel.....	34
Tabelle 4: Wichtigste Rohstoffe und Abfallströme.....	39
Tabelle 5: Kürzlich abgeschlossene, laufende und geplante Aktivitäten an den beiden Standorten KKW Doel und KKW Tihange.....	42
Tabelle 6: Übersicht über die wichtigsten Einrichtungen und Tätigkeiten der KKW Doel und Tihange und deren Beziehung zu möglichen Umweltauswirkungen.....	60
Tabelle 7: Übersicht über die Themen, die nicht in der strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht werden mit entsprechender Begründung.....	64
Tabelle 8: Beispiele für die Aktivität einiger radioaktiver Quellen, in aufsteigender Stärke. Die verwendeten Präfixe (k, M, G, T, P) sind weiter unten im Text zu finden.....	70
Tabelle 9: Wahrscheinlichkeit stochastischer Wirkungen aufgrund einer Strahlenexposition oberhalb des natürlichen Hintergrunds in Prozent bei einer effektiven Dosis von 1 Sv bei niedriger Dosisleistung (auf der Grundlage des Vorsorgeprinzips und gemäß dem „linearen Nicht-Schwellenwert“-Ansatz ergibt eine Bestrahlung von 1 mSv oberhalb der natürlichen Bestrahlung 1/1.000 der nachstehenden Werte).....	76
Tabelle 10: Durchschnittliche effektive Dosisbelastung in Belgien im Jahr 2015.....	76
Tabelle 11: Dosisgrenzwerte.....	78
Tabelle 12: Zusammenfassung der potenziellen Expositionspfade beim Betrieb eines Kernkraftwerks.....	80
Tabelle 13: Signifikanzrahmen für die radiologischen Auswirkungen auf Fauna und Flora.....	89
Tabelle 14: Hauptunterschiede zwischen der Methodik zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.....	89
Tabelle 15: Einschlägige internationale und europäische Richtlinien zur Ermittlung von Störfallszenarien.....	90
Tabelle 16: Spezifische Referenzwerte für sofortige, dringende Schutzmaßnahmen. (*) außerhalb der Ingestion....	97
Tabelle 17: Abgeleitete Werte der Bodenverunreinigung (Bq/m ²).....	97
Tabelle 18: Höchstwerte für den freien Verkehr von Lebens- und Futtermitteln (Bq/kg) innerhalb der EU.....	98
Tabelle 19: Bewertung des Zustands des Wasserkörpers Seeschelde IV.....	126
Tabelle 20: Menge des eingeleiteten Kühlwassers, Abwassers und Stadtwassers mit und ohne Verlängerung.....	133
Tabelle 21: Zusammenfassung der Bewertung in Bezug auf das Wassersystem.....	142
Tabelle 22: Zielarten für die Natura-2000-Gebiete, die sich entweder mit dem Plangebiet überschneiden oder sich in unmittelbarer Nähe des Plangebiets befinden. X: ausdrücklich als Ziel aufgenommene Art, (x): Art ist ein Ziel für ein größeres Gebiet als in der Spaltenüberschrift angegeben, /: Art ist kein Ziel.....	147
Tabelle 23: Nummerierung der vorhandenen Naturentwicklungsgebiete.....	151
Tabelle 24: Nummerierung der zukünftigen Naturentwicklungsgebiete.....	153
Tabelle 25: Ergebnisse der TRIADE-Überwachung am VMM-Messpunkt 154100.....	156
Tabelle 26: NEC-Reduktionsziele 2030, wie im Flämischen Luftqualitätsplan 2030 angegeben.....	182

Tabelle 27: Luftqualitätsziele in Übereinstimmung mit der Europäischen Luftrahmenrichtlinie (Überarbeitung angenommen am 14. April 2008).....	182
Tabelle 28: Konzentrationen 2025 an einer Reihe von Messpunkten in der Umgebung des Projektgebiets in umliegenden Wohngebieten, VMM-Messstationen und an der niederländischen Grenze (modeloutput IMPACT).....	191
Tabelle 29: Emissionsergebnisse des Hilfsdampfkessels bei der Prüfung nach der Brenneinstellung (Saacke-Bericht vom 19.10.2021) mit gleichzeitigem Betrieb beider Brenner.....	193
Tabelle30: Übersicht Leckageverluste.....	194
Tabelle 31: Übersicht über die geplanten Feuerungsanlagen (ab 2025).	199
Tabelle 32: Erwartete Betriebsstunden und Kraftstoffverbrauch im Jahr 2022 und Extrapolation auf die geplante Situation im Jahr 2025.....	202
Tabelle 33: Emissionsfaktoren, die für die (indikative) Ermittlung der Emissionen von ortsfesten Dieselmotoren verwendet werden (Arcadis/NRG 2021).	203
Tabelle 34: Schätzung der voraussichtlichen Emissionen von Verbrennungsgasen aus ortsfesten Anlagen für das Jahr 2026	204
Tabelle 35: Schätzung der voraussichtlichen Emissionen von Verbrennungsgasen aus ortsfesten Anlagen für das Jahr 2030	205
Tabelle 36: Schätzung der voraussichtlichen Emissionen von Verbrennungsgasen aus ortsfesten Anlagen für das Jahr 2035	205
Tabelle 37: Bei den Auswirkungs- und Depositionsberechnungen verwendete Modelleigenschaften.....	206
Tabelle 38: Berechnung der Auswirkungen in der geplanten Situation auf der Grundlage der geschätzten Emissionen 2026	207
Tabelle 39: Relative Auswirkungen in der geplanten Situation auf der Grundlage der geschätzten Emissionen 2026, berechnet als prozentualer Beitrag im Vergleich zu den Grenz- oder Prüfwerten	209
Tabelle 40: Übersicht über die möglichen Leckageverluste nach 2025.	212
Tabelle 41: Historische Stromerzeugung von Doel 4.....	214
Tabelle 42: Abschätzung der vermiedenen Emissionen im Vergleich zum Einsatz der neuesten Generation von erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken.....	215
Tabelle 43: Mit fossilem Kraftstoff betriebene Motoren, die eindeutig dem Betrieb von Doel 4 zuzuordnen sind.	219
Tabelle 44: Treibhausgasemissionen (Tonnen CO ₂ Äq/Jahr) für das Kernkraftwerk Doel (KKW Doel) und den Reaktor Doel 4 für den Zeitraum 2015-2021.....	220
Tabelle 45: Geschätzte CO ₂ -Emissionen (in einem Szenario des vollständigen Atomausstiegs im Jahr 2025 (Central)), verursacht durch die Produktion von 7500 GWh Strom pro Jahr, bei der durchschnittlichen Kohlenstoffintensität der Stromproduktion für jedes Jahr.	224
Tabelle 46: Zusammenfassung der potenziell relevanten Umweltstressoren.....	231
Tabelle 47: Raumnutzung im Untersuchungsgebiet der Einrichtung.....	234
Tabelle 48: Bevölkerung im Umkreis von 2 km und 5 km um das Kernkraftwerk Doel (Quelle: Statbel).	235
Tabelle 49: Jährliche Dosis in mSv externer Strahlung, aufgezeichnet von den 18 TELERAD-Stationen um den Standort des KKW Doel (Daten auf der Grundlage von 10-Minuten-Daten FANK). Der Mittelwert und die Standardabweichung sind ebenfalls angegeben.....	244

Tabelle 50: Einleitungsgrenzwerte für den gesamten Standort des KKW Doel als jährliche Gesamtaktivität (für 12 gleitende Monate) für die verschiedenen Gruppen oder einzelnen Radionuklide, die überwacht werden (Betriebsgenehmigung des KKW Doel).	247
Tabelle 51: Momentane atmosphärische Einleitungsgrenzwerte für Doel 1 und 2, Doel 3 und 4 und das Wasser- und Abfallbehandlungsgebäude (WAB).	247
Tabelle 52: Einleitungsgrenzwerte für flüssige Einleitungen.	251
Tabelle 53: Überwachungsprogramm der FANK in der Umgebung des KKW Doel.	254
Tabelle 54: Überwachungsprogramm des Betreibers.	255
Tabelle 55: Effektive Dosis pro Jahr für die kritische Person nach Alterskategorie aufgrund von gasförmigen, flüssigen und gesamten Einleitungen entsprechend den aktuellen Einleitungsgrenzwerten für den gesamten Standort des KKW Doel.	256
Tabelle 56: Effektive Dosis pro Jahr für die kritische Person nach Alterskategorie aufgrund der tatsächlichen gasförmigen, flüssigen und totalen Einleitungen für den gesamten Standort des KKW Doel.	257
Tabelle 57: Effektive Dosis aus gasförmigen und flüssigen Einleitungen, konservativ geschätzt für kritische Personen bei Normalbetrieb für das Projekt. Die angegebene Spanne der effektiven Dosis für den gesamten Standort ist die zeitliche Entwicklung über einen Zeitraum von 10 Jahren, die auf Erfahrungen aus der Nachbetriebsphase von Reaktoren in Deutschland beruht.	260
Tabelle 58: Effektive Dosis und Schilddrüsen-Äquivalentdosis außerhalb der Standortgrenze des KKW Doel (300 m Entfernung von der Einleitungsstelle), die sich aus dem Auftreten eines LOCA und eines FHA für Doel 4 ergeben, im Vergleich zu den in den allgemeinen Angaben nach Artikel 37 des Euratom-Vertrags beschriebenen Dosislimits, die Bestandteil der Genehmigung sind, in mSv. Zur Information sind auch die Ergebnisse einer Folgenabschätzung gemäß den Leitlinien für neue Anlagen der Klasse 1 beigefügt.	261
Tabelle 59: Effektive Dosis und Schilddrüsen-Äquivalentdosis an der Standortgrenze des KKW Doel aufgrund des Auftretens eines CSBO für Doel 4.	262
Tabelle 60: Jährliches Volumen an schwach- und mittlerradioaktiven Abfällen aus dem KKW Doel, die zu Belgoprocess transportiert werden, und die daraus resultierenden zu entsorgenden Mengen nach der dortigen Verarbeitung. GA: konditionierter Abfall; NGA: nicht konditionierter Abfall; NB: Daten nicht verfügbar. Im Jahr 2014 wurde eine Korrektur der Vorjahreswerte vorgenommen; die korrigierten Werte wurden hier übernommen. Ab 2015 wird das Volumen nach einer anderen Methodik berechnet: Die Volumen der unkonditionierten Harze werden ebenfalls berücksichtigt.	266
Tabelle 61: Anzahl der dauerhaft entladenen Brennelemente in den verschiedenen Reaktorblöcken des KKW Doel.	268
Tabelle 62: Anzahl der Tonnen Kernbrennstoff (tSM oder Tonne Schwermetall), die in den verschiedenen Reaktorblöcken des KKW Doel endgültig entsorgt wurden.	268
Tabelle 63: Zusammensetzung der Hauptelemente von Teilen des Reaktorbehälters von Doel 4 (in Gewichtsprozent).	272
Tabelle 64: Abgeleitete Aktivität der verschiedenen Gruppen von Radionukliden, die für die Auswirkungen wichtig sind.	273
Tabelle 65: Effektive Gesamtdosis (TED), Schilddrüsen-Äquivalentdosis (beide für kritische Personen) und maximale Deposition von I-131 für die verschiedenen Nachbarländer und für die verschiedenen betrachteten Unfallszenarien, ermittelt mit der Flexpart-Methode. Für die Niederlande wurden zwei Werte angegeben. Der erste Wert wurde mit der Methode der lokalen Auswirkungen ermittelt, der Wert in Klammern mit der Flexpart-Methode (siehe Text). Für die Bewertung verwenden wir daher für die Niederlande die lokale Methode (für die Dosen) und für die anderen Länder die Flexpart-Methode.	273
Tabelle 66: Ökologischer und chemischer Zustand des Wasserkörpers MV35R (2013).	289

Tabelle 67: Ökologischer und chemischer Zustand des Wasserkörpers MV35R (2018).	290
Tabelle 68: Anzahl der Tage, an denen bestimmte Temperaturschwellenwerte überschritten werden - Station ANDENNE	291
Tabelle 69: Anzahl der Tage, an denen bestimmte Temperaturschwellenwerte überschritten werden - Station Flémalle.	291
Tabelle 70: Zusammenfassung der Bewertung der Ziele in Bezug auf das Wassersystem.	301
Tabelle 71: Zielarten für Natura2000-Gebiete, die sich innerhalb von 3 km um den Standort des Kraftwerks Tihange befinden. x: Art explizit als Ziel aufgenommen; /: Art ist kein Ziel.	306
Tabelle 72: Bewertung des ökologischen und chemischen Zustands der dem Standort nächstgelegenen Wasserkörper im Jahr 2013 (Quelle: eau.wallonie.be).	315
Tabelle 73: Obergrenzen für die Reduzierung von Emissionen gemäß der Richtlinie 2016/2284/EU für Belgien (Quelle: Plan Air Climat Energie 2030).	325
Tabelle 74: Verteilung der belgischen Emissionsobergrenzen für 2030 auf die Regionen (Quelle: PACE 2030)	326
Tabelle 75: Aktivitäten und Arten von Schadstoffen, die am Kraftwerk Tihange freigesetzt werden.	329
Tabelle 76: Beschreibung der Feuerungsanlagen, die mit dem Betrieb von Tihange 3 verbunden sind.	330
Tabelle 77: Geschätzte Schadstoffbelastung, die jährlich durch die Aktivität von Tihange 3 entsteht.	331
Tabelle 78: Daten zur Schätzung der Emissionen, die durch den wallonischen Energiemix entstehen würden (Quelle: Energiebilanz der Wallonie 2020; AWAC, 2020, 2020).	333
Tabelle 79: Geschätzte Emissionen, die entstehen würden, wenn die Kapazität vollständig von einem erdgasbetriebenen Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerk der neuesten Generation übernommen wird.	334
Tabelle 80: Geschätzter relativer Anteil der „vermiedenen“ Emissionen im Vergleich zum NEC-2030-Ziel.	335
Tabelle 81: Zusammenfassung der Bewertung der Ziele in Bezug auf die Disziplin Luft.	335
Tabelle 82: Treibhausgasemissionen (Tonnen Äquivalent CO ₂ /Jahr) und Emissionsintensität (g Äq. CO ₂ /kWh) Emissionen für den Block Tihange 3 für den Zeitraum 2012-2021 geschätzt (Quelle: Umwelterklärungen 2013-2022, Engie).	340
Tabelle 83: Geschätzte CO ₂ -Emissionen (in einem Szenario des vollständigen Atomausstiegs im Jahr 2025 (Central)), verursacht durch die Produktion von 7.500 GWh Strom pro Jahr, bei der durchschnittlichen Kohlenstoffintensität der Stromproduktion für jedes Jahr.	344
Tabelle 84: Zusammenfassung der Bewertung der Klimaziele.	348
Tabelle 85: Zusammenfassung der potenziell relevanten Umweltstressoren.	350
Tabelle 86: Jaarlijkse dosis in mSv van externe straling zoals geregistreerd door de 20 Telerad stations rondom de site van KKW Tihange (Data op basis van 10-minuten gegevens FANK). Der Mittelwert und die Standardabweichung sind ebenfalls angegeben.	361
Tabelle 87: Atmosphärische Einleitungsgrenzwerte für das gesamte Gelände des KKW Tihange (Betriebsgenehmigung des KKW Tihange).	366
Tabelle 88: Grenzwerte für die Einleitung von flüssigem Abwasser für das gesamte Gelände des KKW Tihange.	369
Tabelle 89: Überwachungsprogramm der FANK in der Umgebung des KKW Tihange.	372
Tabelle 90: Überwachungsprogramm des Betreibers.	373
Tabelle 91: Effektive Dosis pro Jahr für die kritische Person nach Alterskategorie der Person aufgrund von gasförmigen, flüssigen und totalen Einleitungen entsprechend den aktuellen Einleitungsgrenzwerten für den gesamten Standort des KKW Tihange.	375

Tabelle 92: Effektive Dosis KKW Tihange in mSv/Jahr für die realen gasförmigen und flüssigen Einleitungen.	375
Tabelle 93: Effektive Dosis aus gasförmigen und flüssigen Einleitungen, konservativ geschätzt für kritische Personen bei Normalbetrieb für das Projekt. Die angegebene Spanne der effektiven Dosis für den gesamten Standort ist die zeitliche Entwicklung über einen Zeitraum von 10 Jahren, die auf Erfahrungen aus der Nachbetriebsphase von Reaktoren in Deutschland beruht.	378
Tabelle 94: Maximale effektive Dosis und Schilddrüsen-Äquivalentdosis außerhalb der Standortgrenze des KKW Tihange, die sich aus dem Auftreten eines LOCA und einer FHA für Tihange 34 ergeben, im Vergleich zu den in den allgemeinen Angaben nach Artikel 37 des Euratom-Vertrags beschriebenen Dosisgrenzwerten, die Bestandteil der Genehmigung sind, in mSv. Zur Information sind auch die Ergebnisse einer Folgenabschätzung gemäß den Leitlinien für neue Anlagen der Klasse 1 beigefügt.	380
Tabelle 95: Effektive Dosis und Schilddrüsen-Äquivalentdosis an der Standortgrenze des KKW Tihange aufgrund des Auftretens eines CSBO für Tihange 3 (kritischste Person).	381
Tabelle 96: Jährliches Aufkommen an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen am Standort Tihange und speziell für den Reaktorblock Tihange 3. GA: konditionierte Abfälle.	383
Tabelle 97: Zusammensetzung der Hauptelemente von Teilen des Reaktorbehälters von Tihange 3 (in Gewichtsprozent).....	385
Tabelle 98: Die wichtigsten Nuklide (in %), die zur Aktivität in den verschiedenen Teilen des Reaktorbehälters nach 50 Jahren Bestrahlung beitragen.....	388
Tabelle 99: Abgeleitete Aktivität der verschiedenen Gruppen von Radionukliden, die für die Auswirkungen wichtig sind.....	390
Tabelle 100. Maximale effektive Dosis und Schilddrüsendosis für kritische Personen und Depositionswert für die verschiedenen Unfallszenarien und für verschiedene Nachbarländer (Flexpart-Methode).	391
Tabelle 101: Relevante europäische und internationale Richtlinien in Bezug auf die nukleare Notfallplanung.....	404
Tabelle 102: Für die nukleare Notfallplanung relevante Belgische Gesetzgebung.	405
Tabelle 103: Interventionsrichtwerte (IRW) und Vorbereitungs- bzw. Notfallplanungszonen (Kreisradius in km) (NPZ), die von Belgien, den Niederlanden, Deutschland und Frankreich um die Kernkraftwerke Doel und Tihange für sofortige Schutzmaßnahmen im Falle eines nuklearen Notfalls eingerichtet wurden).	406
Tabelle 104: Übungen für das KKW Doel in den letzten 10 Jahren (Quelle: NCCN).	407
Tabelle 105: Übungen für das KKW Tihange in den letzten 10 Jahren (Quelle: NCCN).	408

Abbildungen

- Abbildung 1: Standort der Kernkraftwerke Doel und Tihange (orange). Die Kernkraftwerke an den Grenzen mit Belgien (grün) und andere Kernkraftwerke der Klasse 1 in Belgien (blau) sind ebenfalls dargestellt. 31
- Abbildung 2: Funktionsweise des Kernkraftwerks mit (von links nach rechts) dem Reaktorgebäude, dem Maschinenraum und dem Kühlkreislauf (Quelle: Electrabel AG). 34
- Abbildung 3: Die aufeinanderfolgenden Barrieren, die das Uran und die Kernspaltungsprodukte von der Außenwelt abschirmen, d. h. das komprimierte Uranoxid in Pellets (1), ist in den verschweißten Kernbrennstoffstäben gestapelt (2). Diese befinden sich im Reaktorbehälter (während des Betriebs geschlossen, zum Be- und Entladen des Kernbrennstoffs geöffnet), einem 25 cm dicken Stahlbehälter (3), der in der primären Stahlkugel des Reaktorgebäudes platziert ist, die einem starken Innendruck standhalten kann, (4) und sukzessive von der sekundären Wand des Reaktorgebäudes aus Stahlbeton umgeben ist, das die Anlagen vor externen Unfällen schützt (5). 38
- Abbildung 4: Abschaltung eines Reaktorblocks, wie sie derzeit von der Electrabel AG geplant ist (Abbildung Electrabel AG). 45
- Abbildung 5: Zeitlicher Ablauf der Aktivitäten im Zusammenhang mit den verschiedenen Reaktoren an den Standorten KKW Doel und KKW Tihange (AES: Endgültige Abschaltung, POP: Post Operational Phase, LTO: Long Term Operations). Der 10-jährige Verlängerungszeitraum über 2025 hinaus ist zeitlich nicht genau festgelegt und kann sich daher verschieben, wobei das späteste voraussichtliche Datum der Abschaltung bei Verlängerung der 31. Dezember 2037 für beide Reaktoren ist. Nach der endgültigen Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 folgt in jedem Szenario eine Nachbetriebs- und Rückbauphase dieser Reaktoren (diese ist in der Abbildung für Doel 4 und Tihange 3 nicht dargestellt). 46
- Abbildung 6: Entwicklung der bestehenden installierten Kapazität und der neu erforderlichen Kapazität zur Erfüllung des belgischen Zuverlässigkeitsstandards (Elia, 2021). 47
- Abbildung 7: Schematische Darstellung des Referenzzustandes. 52
- Abbildung 8: Standorte mit Kernkraftwerken in Belgien (Doel und Tihange) und in der weiteren Umgebung. Grün sind Standorte mit in Betrieb befindlichen Reaktorblöcken, weiß sind Standorte, die sich im vollständigen Rückbau befinden, und blau sind Standorte, an denen neue Reaktoren im Bau sind. Karte basiert auf der Datenbank des „Power Reactor Information System“ (PRIS) der IAEA (<https://www.iaea.org/pris>). Die Kreise stellen das Gebiet mit einem Radius von 1.000 km um die Kernkraftwerke Doel bzw. Tihange dar. 58
- Abbildung 9: Schematische Darstellung der Grundzüge des Scopings für die Umweltverträglichkeitsprüfung der politischen Entscheidung zur Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3. 63
- Abbildung 10: Schlüsselemente des strategisch-operativen Kontinuums der Umweltverträglichkeitsstudie, angewandt auf die Umweltverträglichkeitsprüfung des Projekts. 68
- Abbildung 11: Exponentielle Abnahme der Aktivität einer radioaktiven Quelle mit der Zeit (die Zeit wird als Halbwertszeit oder die Zeit angegeben, die benötigt wird, damit die Aktivität einer radioaktiven Quelle um die Hälfte abnimmt). 72
- Abbildung 12: Übersicht über die verschiedenen Dosisstärken mit ihrem Symbol und ihrer Einheit (siehe Text für weitere Erläuterungen). 74
- Abbildung 13: Schematische Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Gewebereaktionen (links) und für stochastische Effekte (rechts). Gewebereaktionen treten ab einer bestimmten Schwellendosis auf. Danach nimmt die Inzidenz rasch zu, bis sie bei allen Menschen auftritt. Das Auftreten von stochastischen Effekten steht in linearer Verbindung zur Dosis, der man ausgesetzt ist. Bei niedrigen Dosen (unter 50-100 mSv effektiver Dosis wurde dies jedoch nie nachgewiesen und es wird vorsichtshalber eine lineare Extrapolation angenommen). Hier wird das gesamte Auftreten von stochastischen Effekten (Krebserkrankungen und genetische Effekte) für eine Person aus der Öffentlichkeit bei niedriger Dosisleistung dargestellt, wobei

bei 1 Sv effektiver Dosis ein zusätzliches Auftreten 5,7 % (zusätzlich zum spontanen Auftreten, das viel wahrscheinlicher ist) von stochastischen Effekten zu erwarten ist.....	75
Abbildung 14: Schritte in der Methodik für Einleitungen mit radiologischen Auswirkungen bei Normalbetrieb.....	82
Abbildung 15: Prinzip der Dosisgrenzwerte und der Optimierung: der Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr im Verhältnis zur durchschnittlichen Dosis, die ein Belgier pro Jahr durch alle Expositionen (natürliche, medizinische und industrielle) erhält, und im Verhältnis zu den typischen Werten der Dosen aus radioaktiven Einleitungen (sowohl die Dosis aus Einleitungsgrenzwerten als auch die Dosis aus realen Einleitungen sind angegeben) für die Kernkraftwerke Doel und Tihange.....	83
Abbildung 16: Relatives Auftreten der Windrichtung (links Doel - rechts Tihange) basierend auf stündlichen Daten für einen 5-Jahreszeitraum [2018-2022] (Quelle: KMI - ECMWF).....	85
Abbildung 17: Betriebs- und Störfallzustand eines Kernkraftwerks ^{xxiv}	91
Abbildung 18: Ausbreitung der Radioaktivität und Expositionspfade für Personen in der Umgebung bei einem Unfallszenario mit Einleitung von Radioaktivität in die Atmosphäre.....	95
Abbildung 19: Berechnungsgebiet für die grenzüberschreitenden Auswirkungen der Unfallszenarien. Die Zahlen am unteren Rand der Abbildung stehen für den Längengrad [°], die Zahlen links davon für den Breitengrad [°]. (Siehe Text für weitere Erklärungen).	100
Abbildung 20: Flexpart-Beispielrechnung für eine fiktive Einleitung von 1 TBq radioaktiver Aerosole aus dem Kernkraftwerk Doel am 1. Januar 2020 zwischen 00:00 UTC und 06:00 UTC. Die obere Reihe zeigt die zeitintegrierte Konzentration, die untere Reihe die Gesamtablagerung. Die Ergebnisse der Berechnungen sind für das große Raster (linke Spalte) und das kleine Raster (rechte Spalte) dargestellt.	100
Abbildung 21: Beispiel einer Flexpart-Berechnung für eine fiktive Einleitung von 1 TBq elementarem Jod 131 aus dem Kernkraftwerk Tihange am 1. Juli 2020 zwischen 00:00 UTC und 06:00 UTC. Die obere Reihe zeigt die zeitintegrierte Konzentration, die untere Reihe die Gesamtablagerung. Die Ergebnisse der Berechnungen sind für das große Raster (linke Spalte) und das kleine Raster (rechte Spalte) dargestellt.	101
Abbildung 22: Verteilung der maximalen zeitintegrierten Konzentration (TIC) in Frankreich nach einer hypothetischen 6-stündigen Einleitung von radioaktiven Edelgasen aus dem Kernkraftwerk Doel. Die Gesamtzahl der in der Verteilung angezeigten TIC-Werte beträgt 8.779.....	102
Abbildung 23: Verteilung der maximalen Gesamtdosition in Deutschland nach einer hypothetischen 6-stündigen Einleitung radioaktiver Aerosole aus dem Kernkraftwerk Tihange. Die Gesamtzahl der in der Verteilung angezeigten TIC-Werte beträgt 8.779.....	102
Abbildung 24: Dosis in mSv pro Jahr durch externe Strahlung (kosmische und terrestrische), ermittelt aus TELERAD-Messungen (Jahr 2020). Vor allem aufgrund der Zusammensetzung des Untergrunds schwankt die externe Dosis in Belgien auf Jahresbasis erheblich und liegt zwischen 0,58 und 1,16 mSv/Jahr. Diese Abbildung zeigt auch sehr schön die verschiedenen Schichten des TELERAD-Netzes: ein verdichtetes Netz um die kerntechnischen Anlagen mit Ringstationen und Agglomerationsstationen und zusätzlich das nationale Netz, das das gesamte Gebiet mit typischerweise einem Detektor alle 20 km x 20 km abdeckt (Abbildung: FANK).	105
Abbildung 25: Die Auswirkungen des Betriebs der KKW Doel und Tihange auf Mensch und Umwelt werden auf zwei sich ergänzenden Wegen überwacht: Überwachung der Einleitungen und Überwachung des Lebensraums.	106
Abbildung 26: Prinzip der Trockenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern vom Typ Dual Purpose Cask (DPC), wie sie in den SF ² -Lagern vorgesehen sind. Die Verpackung besteht aus einer Metallstruktur, die dazu dient, die Restwärme der abgebrannten Brennelemente durch interne Leitung, Strahlung und natürliche Konvektion passiv abzuleiten. Die Verpackung besteht aus Metall und anderen Materialien, die vor ionisierender Strahlung schützen.....	111

Abbildung 27: Illustrationen der drei Senkkastentypen mit Abfall: Typ I (links), Typ II (Mitte) und Typ III (rechts). Nach dem Aufsetzen des Deckels und dem Ausfüllen des Raums zwischen Abfall und Senkkasten mit Füllmörtel werden diese Lagerungskolli als „Monolithen“ bezeichnet.....	112
Abbildung 28: Skizze der Lagerstätte für Abfälle der Kategorie A bei der Verfüllung mit Monolithen.	113
Abbildung 29: Supercontainer für verglaste Abfälle (links) und Monolith B für verdichtete Abfälle (rechts).	115
Abbildung 30: Supercontainers voor Abgebrannte Brennelemente indien deze als afval beschouwd worden: een supercontainer kan 4 UOX splijtstofbundels bevatten (links) of 1 MOX splijtstofbundel (rechts) ^{lix}	115
Abbildung 31: Entwicklung der Sauerstoffsättigung (Prati-Index) in der Seeschelde (Messstelle 154100) zwischen 1994 und 2022 (Quelle: MM, „Geoloket waterkwaliteit“).	128
Abbildung 32: Wasserbilanz des KKW Doel für 2021.	130
Abbildung 33: Eingeleitetes Kühlwasservolumen (m ³) als Ergebnis der 10-jährigen Betriebsverlängerung von Doel 4 im Vergleich zur Referenzsituation (keine Verlängerung).	132
Abbildung 34: Durch Regen hochwassergefährdete Gebiete (Wassertestkarte, Quelle: waterinfo.be).	135
Abbildung 35: Karte der Überschwemmungsgefahr durch Regen für das heutige Klima bei geringer und hoher Eintrittswahrscheinlichkeit (Quelle: waterinfo.be).	136
Abbildung 36: Karte der Überschwemmungsgefahr durch Regen für das künftige Klima bei geringer und hoher Eintrittswahrscheinlichkeit (Quelle: waterinfo.be).	136
Abbildung 37: -Belastung im Industrieabwasser im Zeitraum 2017-2021 (Quelle: Electrabel AG, Umwelterklärung 2022).	138
Abbildung 38: Naturschutzgebiete.	146
Abbildung 39: Übersicht über die vorhandenen Naturentwicklungsgebiete (permanent und temporär).	151
Abbildung 40: Zukünftige Naturentwicklungsgebiete.	152
Abbildung 41: Endbild der Naturentwicklung, soweit bekannt und auf Basis des noch nicht geklärten Naturausgleichs.	153
Abbildung 42: Biologische Bewertungskarte (Version 2020) in unmittelbarer Nähe des Projektgebietes.	157
Abbildung 43: Lebensraumkarte in unmittelbarer Nähe des Projektgebiets.	158
Abbildung 44: Schematische Darstellung des Kühlwassers, mit Darstellung der Wasserentnahmestelle in Doel 1 und 2 sowie Doel 3 und 4 (Quelle: Electrabel AG, 2011).	164
Abbildung 45: Lärmkonturen der kontinuierlich arbeitenden Quellen während des Tages-, Abend- und Nachtzeitraums (Quelle: UVP Arcadis/NRG, 2021).	165
Abbildung 46: Überschreitungen der kritischen Belastungen (modelliert und flächengewichtet) für Eutrophierung (links) und Säuerung (rechts) in Wald, artenreichem Grünland und Heideland zwischen 1990 und 2017 (Quelle: Schneiders et al., 2020).	166
Abbildung 47: Aktuelle eutrophierenden Depositionen in kg N/ha.J (VLOPS22).	168
Abbildung 48: Aktuelle versauernde Depositionen in SÄq/ha.J (VLOPS22).	168
Abbildung 49: Überschreitungskarte eutrophierende Deposition.	170
Abbildung 50: Überschreitungskarte versauernde Deposition.	171
Abbildung 51: Eutrophierung, Beitrag Plan.	173
Abbildung 52: Säuerung, Beitrag Plan.	174
Abbildung 53: Eutrophierende Depositionen in der Nähe des VEN-Gebiets.	177

Abbildung 54: Versauernde Depositionen in der Nähe des VEN-Gebiets.	178
Abbildung 55: Jahresdurchschnitt PM ₁₀ Konzentration in 2019 (Quell VMM).	187
Abbildung 56: Jahresdurchschnitt PM _{2,5} Konzentration in 2019 (Quelle VMM).	188
Abbildung 57: Jahresdurchschnitt NO ₂ Konzentration in 2019 (Quelle VMM).	189
Abbildung 58: Jahresdurchschnitt EC Konzentration in 2019 (Quelle VMM).	190
Abbildung 59: Darstellung der berechneten Auswirkungen auf die NO _x -Äquivalenten in der geplanten Situation 2026 (NO _x -Äquivalenten = Summe der NO + NO ₂ , ausgedrückt als NO ₂).	211
Abbildung 60: Jährliche durchschnittliche NO ₂ Konzentration in geplanter Situation (Auswirkung 2026 + Hintergrundkonzentrationen 2025).	212
Abbildung 61: Intensität der Treibhausgasemissionen (g CO ₂ Äq/kWh) des Stromsektors für die verschiedenen EU-Mitgliedstaaten im Jahr 2020.	221
Abbildung 62: Geschätzte Entwicklung der direkten Treibhausgasemissionen des Kernkraftwerks Doel zwischen 2023 und 2040.	222
Abbildung 63: Voraussichtliche Kohlenstoffintensität der belgischen Stromerzeugung und -importe (Elia).	223
Abbildung 64: Entwicklung der Kohlenstoffintensität der Stromerzeugung in einem Szenario des vollständigen Ausstiegs aus der Atomenergie im Jahr 2020 (Central) und in einem Szenario der Verlängerung der Lebensdauer um 10 Jahre bei einer Kapazität von 2 GW.	224
Abbildung 65: Jährliche Dosis in mSv (Durchschnitt über den Zeitraum 2015 bis 2022), gemessen von den von FANK betriebenen TELERAD-Stationen in der Umgebung des Standorts des KKW Doel (Abbildung auf der Grundlage der von FANK erhaltenen 10-Minuten-Daten).	244
Abbildung 66: Ergebnisse der Hubschraubermessungen über dem Standort des KKW Doel und seiner Umgebung. Dargestellt ist die vom Hubschrauber aus gemessene Dosisleistung, die jedoch um die Höhe über dem Boden korrigiert wurde, um die Exposition (Dosisleistung) am Boden zu erhalten. Weitere Erläuterungen: siehe Text, die Farben und der Maßstab sind so gewählt, dass kleine Unterschiede deutlich sichtbar werden. Die Schwankungen liegen im Rahmen der natürlichen Schwankungen der Hintergrundstrahlung, die in dieser Umgebung zu erwarten sind.	246
Abbildung 67: Gasförmige Einleitungen pro Jahr für den gesamten Standort des KKW Doel.	248
Abbildung 68: Die tatsächlichen Einleitungen auf Jahresbasis für den gesamten Standort des KKW Doel, Durchschnitt für den Zeitraum 2014 bis 2021, als Prozentsatz des Einleitungsgrenzwertes für verschiedene (Gruppen von) Radionuklide(n).	249
Abbildung 69: Verteilung der effektiven Dosis für die verschiedenen Alterskategorien in mSv pro Jahr für das KKW Doel für die realen atmosphärischen Einleitungen der wichtigsten radioaktiven Abwässer (Durchschnitt für den Zeitraum 2009-2018). Der überwiegende Beitrag zur effektiven Dosis von Kohlenstoff 14 (C-14) ist hier offensichtlich.	250
Abbildung 70: Entwicklung der Flüssigkeitseinleitungen aus dem Kernkraftwerk Doel in die Schelde für den Zeitraum 2004-2021.	252
Abbildung 71: Verteilung der effektiven Dosis pro Radionuklid und Altersgruppe aufgrund von Flüssigkeitseinleitungen in die Schelde für den Zeitraum 2009-2018.	253
Abbildung 72: Flüssigkeitseinleitungen in % des Einleitungsgrenzwertes für Flüssigkeitseinleitungen in die Schelde.	253
Abbildung 73: Standorte der Probenahmen für das Zusatzprogramm des Betreibers des KKW Doel (Bezeichnungen siehe Tabelle 53, Hintergrundkarte: OpenStreetMap).	255

Abbildung 74: Effektive Dosis für das kritischste Individuum in der Umgebung des KKW Doel, berechnet aus gemeldeten tatsächlichen Einleitungen. Zum Vergleich sind der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung und die den Einleitungsgrenzwerten entsprechende Dosis angegeben.	257
Abbildung 75: Schematische Darstellung (a) des simulierten Neutronenflusses in einem Reaktorbehälter, (b) der daraus abgeleiteten Abfallklassifizierung und (c) Angabe der Übergangszone (in grau) für die a priori-Einstufung in die Abfallkategorie A (grün) oder B (violett). (a) und (b) entnommen aus.	270
Abbildung 76: Normalisiertes Neutronenspektrum pro Einheit Lethargie.	271
Abbildung 77: Dämme der Maas zwischen Andenne und Lixhe und Lage des Kraftwerks Tihange (Quelle: ÖDW).	289
Abbildung 78: Temperaturentwicklung (2018-2020) oberhalb (Andenne) und unterhalb (Flémalle) des Kraftwerks Tihange.	291
Abbildung 79: Wasserbilanz des KKW Tihange für 201.	292
Abbildung 80: Naturschutzgebiete.	305
Abbildung 81: Orte von hohem biologischem Interesse im Projektgebiet.	309
Abbildung 82: Ökologische Hauptstruktur (Quelle: GxABT 2012).	311
Abbildung 83: Aufnahme im Bereich der zwei rehabilitierten Hektar entlang der N90 (Quelle: Electrabel AG 2018).	313
Abbildung 84: Fotografien der auf dem Kraftwerksgelände und auf der Natagora-Parzelle realisierten Anlagen (Quelle: Electrabel AG 2017).	314
Abbildung 85: Abweisungssystem (6 Infraschallsender) an den Wasserentnahmestellen in der Maas (Quelle: ULiège 2009).	319
Abbildung 86: Einrichtungen zur Förderung der Biodiversität (Quelle: Engie 2022).	321
Abbildung 87: Treibhausgasemissionen (Tonnen CO ₂ -Äq./Jahr) für das Kraftwerk Tihange und dem Block Tihange 3 zugeordnet.	339
Abbildung 88: Intensität der Treibhausgasemissionen (g CO ₂ Äq./kWh) des Stromsektors in den einzelnen EU-Mitgliedstaaten (EEA, 2022).	341
Abbildung 89: Voraussichtliche Kohlenstoffintensität der belgischen Stromerzeugung und -importe (Elia).	342
Abbildung 90: Entwicklung der Kohlenstoffintensität der Stromerzeugung in einem Szenario des vollständigen Atomausstiegs im Jahr 2020 (Central) und in einem Szenario der Verlängerung der Lebensdauer um 10 Jahre bei einer Kapazität von 2 GW (Nuclear 10)	343
Abbildung 91: Seveso-Standorte im Umkreis von 3 km um das Kraftwerk Tihange.	354
Abbildung 92: Jaarlijkse dosis in mSv (gemiddelde over periode 2015 tot en met 2022) zoals gemeten door de Telerad stations uitgerust door het FANK rondom de site van KKW Tihange (Abbildung gemaakt op basis van 10-minuten data bekomen van het FANK).	361
Abbildung 93: Die aus Hubschraubermessungen ermittelte Dosisleistung in microSv pro Stunde (µSv/h) am Boden nach Korrektur für die Höhe über dem Boden über dem KKW Tihange und der weiteren Umgebung. Maßstab und Farben wurden so gewählt, dass kleine Unterschiede in der Dosisleistung sichtbar werden, z. B. ist der Verlauf der Maas aufgrund der geringeren natürlichen Radioaktivität, die über dem Wasser gemessen wird, sehr gut zu erkennen. Eine kleine Erhebung ist über dem KKW Tihange zu sehen: siehe auch Abbildung 95 und Text).	363
Abbildung 94: Verteilung der Dosisleistung für alle Messungen über dem KKW Tihange und im weiteren Umkreis (7 km x 7 km). Nur eine sehr geringe Anzahl von Messungen weist Werte über 0,100 µSv/h auf.	364

Abbildung 95: Vergrößerung der Hubschraubermessungen über dem Gelände des KKW Tihange. Weitere Erläuterungen: siehe Text, die Farben und der Maßstab sind so gewählt, dass kleine Unterschiede deutlich sichtbar werden.....	365
Abbildung 96: Gasförmige Einleitungen pro Jahr für das gesamte Gelände des KKW Tihange.....	367
Abbildung 97: Einleitungen in Prozent des Einleitungsgrenzwerts für verschiedene Kategorien gasförmiger Einleitungen für das gesamte Gelände des KKW Tihange, gemittelt über 10 Jahre von 2012-2021.	368
Abbildung 98: Verteilung der effektiven Dosis in Prozent für die Gesamtdosisbelastung durch gasförmige Einleitungen nach Altersgruppen und eingeleiteten Radionukliden für den Zeitraum 2009-2020.	369
Abbildung 99: Entwicklung der Flüssigkeitseinleitungen aus dem Kernkraftwerk Tihange in die Maas für den Zeitraum 2004-2021. ^{bvii}	370
Abbildung 100: Verteilung der effektiven Dosis pro Radionuklid und Altersgruppe aufgrund von Flüssigkeitseinleitungen in die Maas.	371
Abbildung 101: Flüssigkeitseinleitungen in % des Einleitungsgrenzwertes für Flüssigkeitseinleitungen in die Maas.	371
Abbildung 102: Standorte der Probenahmen für das Zusatzprogramm des Betreibers des KKW Tihange (Bezeichnungen siehe Tabelle 90, Hintergrundkarte: Google Earth Map).	373
Abbildung 103: Effektive Dosis für das kritischste Individuum in der Umgebung des KKW Tihange, berechnet aus gemeldeten tatsächlichen Einleitungen. Zum Vergleich sind der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung und die den Einleitungsgrenzwerten entsprechende Dosis angegeben.	376
Abbildung 104: Zeitliche Entwicklung der konservativen Schätzungen der Aktivität pro Masse für die 3 Materialtypen des Reaktorbehälters von Tihange 3.	386
Abbildung 105: Zeitliche Entwicklung der Aktivität pro Masse für den Übergangsring des Reaktorbehälters Tihange 3: Vergleich zwischen kontinuierlicher Bestrahlung, realistischer Bestrahlung in Zyklen und einem Kombinationsfall.....	387
Abbildung 106: Zeitliche Entwicklung der wichtigsten Aktivierungsprodukte während der LTO-Periode und ihr Zerfall in der Zeit nach der Abschaltung.	388
Abbildung 107: Vergleich der berechneten Aktivitäten im Bereich des Übergangsrings mit verschiedenen Neutronenspektren.	389

Liste der Abkürzungen

ALARA	As low as reasonably achievable – So niedrig wie vernünftigerweise erreichbar
ANB	Agentschap voor Natuur en Bos – Agentur für Natur und Wald
AOSIS	Allgemeine Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
ASP	Artenschutzprogramm
BC	Black Carbon – Schwarzer Kohlenstoff
BEL V	Behörde für die Kontrolle von kerntechnischen Anlagen (Zweigstelle der FANK)
BEZ	Besondere Erhaltungsziele
BPA	Bijzonder plan van aanleg – Sonderbebauungsplan
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
BSG-H	Besonderes Schutzgebiet der FFH-Richtlinie
BSG-V	Besonderes Schutzgebiet der Vogelschutzrichtlinie
CFVS	Containment Filtered Venting System – Containment gefiltertes Entlüftungssystem
CGCCR	Coördinatie- en Crisiscentrum van de Regering – Koordinations- und Krisenzentrum der Regierung
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CRM	Capacity Remuneration Mechanism (Kapazitätsvergütungsmechanismus)
CSBO	Complete Station Black Out – Blackout der kompletten Anlage
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
dB	Dezibel
DEC	Design Extension Conditions – Erweiterte Auslegungsbedingungen
DIW	Dekret Integrale Waterpolitiek
DSM	Demand side management
DWR	Druckwassermoderierter und -gekühlter Leichtwasserreaktor
EAS	Endgültige Abschaltung
EC	Elementarer Kohlenstoff
ECA	Extra Containerkapazität Antwerpen
ESD	Effort sharing decision – Entscheidung zur Lastenverteilung
ETS	Emissions trading system – Emissionshandelssystem
EU	Europäische Union
EZ	Erhaltungsziele
FANK	Föderalagentur für Nuklearkontrolle

FFH-Gebiet	Flora-Fauna-Habitat-Richtliniengebiet
FHA	Fuel handling accident – Brennelement-Handhabungsunfall
GNE	Große Natureinheit
GNEE	Große Natureinheit in Entwicklung
GuD	Kombinierter Gas- und Dampfturbinenprozess
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
Ha	Hektar
HERCA	Heads of the European Radiological protection Competent Authorities – Leiter der für den Strahlenschutz zuständigen europäischen Behörden
IAEA / IAEQ	International Atomic Energy Agency – Internationale Atomenergiebehörde
ICRP	International Commission on Radiological Protection – Internationale Strahlenschutzkommission
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale – Internationale Bewertungsskala für nukleare Ereignisse
IVON	Integraal Verwevings- en Ondersteunend Netwerk – Integrales Verflechtungs- und Unterstützungsnetzwerk
K. E.	Königlicher Erlass
KDW	Kritischer Depositionswert
KKW	Kernkraftwerk
LOCA	Loss Of Coolant Accident – Kühlmittelverlust-Unfall
LSU	Linkes Scheldeufer
LTO	Long Term Operation – Langzeitbetrieb
NEHAP	Nationaler Aktionsplan für Umwelt und Gesundheit
NERAS	Nationale Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Kernspaltungsprodukte
NO _x	Stickstoffoxid
NVBG	Naturverbindungsgebiete
OECD/NEA	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung / Nuclear Energy Agency
ÖQE	Ökologischer Qualitätskoeffizient
PÄ	Pkw-Äquivalent
Pb	Blei
PDH	Propylen-Dehydrierung
PM	Particulate Matter – Feinstaub
PRIS	Power Reactor Information System – Leistungsreaktor-Informationssystem
RAP	Räumlicher Ausführungsplan

RRAP	Regionaler räumlicher Ausführungsplan
RSU	Rechtes Scheldeufer
SF ²	Spent Fuel Facility
SO ₂	Schwefeldioxid
TAW	Tweede algemene waterpassing – Zweites allgemeines Nivellement
TLD	Thermo-Lumineszenz-Detektor
TMI	Three Mile Island
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
VEN	Vlaams Ecologisch Netwerk – Flämisches ökologisches Netzwerk
VEKP	Vlaams Energie- en Klimaatplan – Flämischer Energie- und Klimaplan
VLAREM	Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning – Flämische Satzung zur Umweltgenehmigung
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij – Flämische Umweltagentur
VRG	Vogelrichtliniengebiet
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association – Verband der westeuropäischen Nuklearaufsichtsbehörden
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Inhalt

Unterschriften von Experten für radiologische Auswirkungen	3
Unterschriften von UVP-Experten (nichtradiologische Aspekte Doel 4)	4
Unterschriften von UVP-Experten (nichtradiologische Aspekte Tihange 3).....	5
Tabellen.....	6
Abbildungen.....	11
Liste der Abkürzungen.....	17
1 Einleitung	27
1.1 Kontext der Umweltverträglichkeitsprüfung.....	27
1.1.1 Vorgeschichte.....	27
1.1.2 Initiator und Expertenteam.....	29
1.1.3 Leseanleitung	29
1.2 Gegenstand der Umweltverträglichkeitsprüfung und zu untersuchende Alternativen	30
1.2.1 Das Projekt	30
1.2.2 Entwicklung der Versorgungssicherheit im Zeitraum 2023-2032.....	47
1.2.3 Alternativen.....	50
1.2.4 Referenzzustand und Referenzszenario	52
1.2.5 Potenziell relevante autonome und gesteuerte Entwicklungen	53
1.3 Verfahren.....	57
2 Allgemeine Methodik	59
2.1 Bewertung der verfügbaren Informationen.....	59
2.2 Allgemeine Methodik zur Bewertung der nichtnuklearen Auswirkungen	59
2.2.1 Scoping	59
2.2.2 Allgemeiner Bewertungsrahmen.....	67
2.2.3 Spezifische Bewertungsrahmen.....	67
2.2.4 Tiefe der Bewertung	67
2.3 Allgemeine Methodik für die Bewertung nuklearer Auswirkungen, einschließlich radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente	69
2.3.1 Einleitung	69
2.3.2 Grundlegende Konzepte des Strahlenschutzes, die bei der Bewertung verwendet werden, einschließlich der relevanten Gesetzgebung	69
2.3.3 Allgemeine Methodik der Exposition im Normalbetrieb	79
2.3.4 Allgemeine Unfallmethodik.....	90
2.3.5 Überwachung des radiologischen Zustands der Umwelt.....	103
2.3.6 Einstufung radioaktiver Abfälle und Entsorgung dieser Abfälle und abgebrannter Brennelemente.....	107

2.3.7	Allgemeine Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen.....	108
2.3.8	Allgemeine Methodik für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente	116
Teil II. Umweltverträglichkeitsprüfung aufgrund der Verschiebung der Abschaltung des Kernkraftwerks Doel 4		117
3 Nichtradiologische Auswirkungen Doel 4.....		118
3.1	Allgemeines.....	118
3.2	Thema Wasser.....	118
3.2.1	Relevante politische Ziele.....	118
3.2.2	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen	124
3.2.3	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation	125
3.2.4	Beschreibung der Auswirkungen	129
3.2.5	Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele.....	140
3.2.6	Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen	142
3.2.7	Minderungsmaßnahmen	143
3.2.8	Wissenslücken und Überwachung.....	143
3.3	Thema Biologische Vielfalt	143
3.3.1	Relevante politische Ziele.....	143
3.3.2	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen	144
3.3.3	Abgrenzung des Untersuchungsgebiets	145
3.3.4	Beschreibung der Referenzsituation.....	147
3.3.5	Beschreibung der Auswirkungen	159
3.3.6	Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele.....	175
3.3.7	Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen	180
3.3.8	Minderungsmaßnahmen	181
3.3.9	Wissenslücken und Überwachung.....	181
3.4	Thema Luft.....	181
3.4.1	Relevante politische Ziele.....	181
3.4.2	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen	186
3.4.3	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation	186
3.4.4	Beschreibung der Auswirkungen	192
3.4.5	Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele.....	214
3.4.6	Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen	215
3.4.7	Minderungsmaßnahmen	216
3.4.8	Wissenslücken und Überwachung.....	216
3.5	Thema Klima	216
3.5.1	Relevante politische Ziele.....	216
3.5.2	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen	218

3.5.3	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation	218
3.5.4	Beschreibung der Auswirkungen	219
3.5.5	Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele.....	229
3.5.6	Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen	230
3.5.7	Minderungsmaßnahmen	231
3.5.8	Wissenslücken und Überwachung.....	231
3.6	Mensch und Gesundheit.....	231
3.6.1	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen	231
3.6.2	Abgrenzung des Untersuchungsgebiets	233
3.6.3	Beschreibung der Referenzsituation.....	234
3.6.4	Bewertung der Auswirkungen	236
3.6.5	Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen	241
3.6.6	Minderungsmaßnahmen	241
3.6.7	Wissenslücken und Überwachung.....	241
3.7	Grenzüberschreitende Auswirkungen	241
4	Radiologische Auswirkungen Doel 4	243
4.1	Direkte Strahlung und Entladungen im Normalbetrieb	243
4.1.1	Aktuelle Situation	243
4.1.2	Auswirkungen bei Abschaltung von Doel 4 (Null-Alternative).....	258
4.1.3	Auswirkungen eines Weiterbetriebs von Doel 4 für 10 Jahre über das Jahr 2025 hinaus (Das Projekt)	260
4.2	Unfallbedingte Einleitungen.....	260
4.2.1	Auslegungsstörfall.....	260
4.2.2	Auslegungsüberschreitender Unfall.....	262
4.2.3	Auswirkung der erwogenen Unfälle auf die biologische Vielfalt.....	263
4.2.4	Diskussion unfallbedingter Einleitungen	264
4.3	Radioaktive Abfälle aus dem Betrieb	265
4.3.1	Abfallbehandlung vor Ort	265
4.3.2	Mengen schwach- und mittelradioaktiver Abfälle.....	266
4.3.3	Auswirkungen von LTO und Folgen für die Abfallbehandlung	267
4.4	Abgebrannte Brennelemente	267
4.4.1	Mengen.....	267
4.4.2	Auswirkungen von LTO und Folgen für die Abfallbehandlung	268
4.5	Rückbau.....	269
4.5.1	Eingabedaten.....	270
4.5.2	Resultate	272
4.5.3	Schlussfolgerungen	272
4.6	Grenzüberschreitende Auswirkungen	272

4.6.1	Normalbetrieb.....	272
4.6.2	Unfälle	272
4.7	Minderungsmaßnahmen: Notfallplanung.....	274
4.8	Wissenslücken.....	274
4.9	Empfehlungen	274
5	Synthese und Entscheidung Standort Doel - Doel 4.....	276
5.1	Synthese der Auswirkungen	276
5.1.1	Nichtradiologische Auswirkungen.....	276
5.1.2	Radiologische Auswirkungen	277
5.2	Synthese der grenzüberschreitenden Auswirkungen	279
Teil III. Umweltverträglichkeitsprüfung aufgrund des Aufschiebs der Abschaltung des Kernkraftwerks Tihange 3		281
6	Nichtradiologische Auswirkungen Tihange 3	282
6.1	Allgemeines.....	282
	Relevante politische Ziele	282
	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen.....	282
	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation	282
	Beschreibung der Auswirkungen.....	282
	Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele	282
6.2	Wasser.....	282
6.2.1	Relevante politische Ziele.....	282
6.2.2	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen	286
6.2.3	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation	288
6.2.4	Minderungsmaßnahmen	301
6.2.5	Wissenslücken und Überwachung.....	301
6.3	Biodiversität.....	301
6.3.1	Relevante politische Ziele.....	301
6.3.2	Diskussion der zu untersuchenden Auswirkungen	303
6.3.3	Abgrenzung des Untersuchungsgebiets	304
6.3.4	Beschreibung der Referenzsituation.....	305
6.3.5	Beschreibung der Auswirkungen	316
6.3.6	Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele.....	322
6.3.7	Schlussfolgerungen	323
6.3.8	Minderungsmaßnahmen	324
6.4	Luft	324
6.4.1	Relevante politische Ziele.....	324
6.4.2	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen	327

6.4.3	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation	328
6.4.4	Beschreibung der Auswirkungen	329
6.4.5	Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele.....	334
6.4.6	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.....	335
6.4.7	Minderungsmaßnahmen	336
6.4.8	Wissenslücken und Überwachung.....	336
6.5	Klima	336
6.5.1	Relevante politische Ziele.....	336
6.5.2	Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen	338
6.5.3	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation	338
6.5.4	Beschreibung der Auswirkungen	339
6.5.5	Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele.....	347
6.5.6	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.....	348
6.5.7	Minderungsmaßnahmen	348
6.5.8	Wissenslücken und Überwachung.....	348
6.6	Mensch und Sicherheit	349
6.6.1	Rechtlicher und politischer Hintergrund.....	349
6.6.2	Abgrenzung des Untersuchungsgebiets	353
6.6.3	Beschreibung der aktuellen Situation	353
6.6.4	Bewertung der Auswirkungen des Projekts.....	354
6.6.5	Bewertung der politischen Auswirkungen	358
6.6.6	Minderungsmaßnahmen	358
6.6.7	Wissenslücken.....	358
6.7	Grenzüberschreitende Auswirkungen	359
7	Radiologische Auswirkungen Tihange 3.....	360
7.1	Direkte Strahlung und Einleitungen im Normalbetrieb	360
7.1.1	Aktuelle Situation	360
7.1.2	Auswirkungen, falls Tihange 3 nicht weiterbetrieben wird	377
7.1.3	Auswirkungen eines Weiterbetriebs von Tihange 3 für 10 Jahre über das Jahr 2025 hinaus (Das Projekt) ..	378
7.2	Unfallbedingte Einleitungen.....	379
7.2.1	Auslegungsstörfall.....	379
7.2.2	Auslegungsüberschreitender Unfall.....	381
7.2.3	Auswirkung der erwogenen Unfälle auf die biologische Vielfalt.....	381
7.2.4	Diskussion unfallbedingter Einleitungen	382
7.3	Radioaktive Abfälle aus dem Betrieb	382
7.3.1	Abfallbehandlung vor Ort.....	382
7.3.2	Mengen schwach- und mittelradioaktiver Abfälle.....	382

7.3.3	Auswirkungen von LTO und Folgen für die Abfallbehandlung	383
7.4	Abgebrannte Brennelemente	384
7.4.1	Mengen.....	384
7.4.2	Auswirkungen von LTO und Folgen für die Abfallbehandlung	384
7.5	Rückbau.....	384
7.5.1	Eingabedaten.....	385
7.5.2	Resultate.....	385
7.5.3	Schlussfolgerungen	389
7.6	Grenzüberschreitende Auswirkungen	390
7.6.1	Normalbetrieb.....	390
7.6.2	Unfälle	390
7.7	Minderungsmaßnahmen: Notfallplanung.....	391
7.8	Wissenslücken.....	391
7.9	Empfehlungen	391
8	Synthese und Entscheidung Standort Tihange - Tihange 3	392
8.1	Synthese der Auswirkungen	392
8.1.1	Nichtradiologische Auswirkungen.....	392
8.1.2	Radiologische Auswirkungen	393
8.2	Synthese der grenzüberschreitenden Auswirkungen	395
Teil IV. Synthese und Allgemeines Fazit Umweltverträglichkeitsprüfung Aufschub der Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3.....		396
9	Synthese der Auswirkungen des Projekts	397
9.1	Bewertung der konventionellen Auswirkungen	397
9.2	Bewertung der radiologischen Aspekte.....	399
9.2.1	Auswirkungen auf Mensch und Umwelt im Normalbetrieb	399
9.2.2	Auswirkungen auf Mensch und Umwelt im Falle eines Unfalls.....	399
9.2.3	Auswirkungen auf die Erzeugung von Abfall und abgebrannten Brennelementen.....	401
9.3	Minderungsmaßnahmen und Wissenslücken in Bezug auf die nichtradiologischen Auswirkungen....	402
9.3.1	Minderungsmaßnahmen	402
9.3.2	Wissenslücken und Überwachung.....	403
9.4	Minderungsmaßnahmen und Wissenslücken in Bezug auf radiologische Auswirkungen	403
9.4.1	Notfallplanung.....	403
9.4.2	Wissenslücken	408
10	Allgemeines Fazit	409
	Bibliographie	412

Teil I. Allgemeiner Rahmen und Methodik der Umweltverträglichkeitsprüfung zum Aufschub der Abschaltung von
Doel 4 und Tihange 3

1 Einleitung

1.1 Kontext der Umweltverträglichkeitsprüfung

1.1.1 Vorgeschichte

Seit der Inbetriebnahme der verschiedenen Reaktoren an den Standorten Doel und Tihange in den Jahren 1975-1985 ist die Atomenergie die wichtigste Stromquelle in Belgien (siehe Tabelle 1), mit einem jährlichen Produktionsanteil zwischen etwa 40 und 60 % in den letzten 35 Jahren.

Der schrittweise Ausstieg aus der Nutzung von Kernenergie zur industriellen Stromerzeugung auf belgischem Gebiet wird per **Gesetz vom 31. Januar 2003** über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie für industrielle Stromerzeugung (im Folgenden: Kernausstiegsgesetz) geregelt. Darin wurde festgelegt, dass die Kernkraftwerke 40 Jahre nach ihrer industriellen Inbetriebnahme abgeschaltet werden würden und gleichzeitig alle Einzelgenehmigungen für die Stromerzeugung durch diese Kraftwerke auslaufen würden.

Das Gesetz besagt auch, dass kein neues, zur industriellen Stromerzeugung durch Spaltung von Kernbrennstoffen bestimmtes Kernkraftwerk errichtet und/oder in Betrieb genommen werden darf.

Dieses Atomausstiegsgesetz wurde 2013 geändert (**Gesetz vom 18. Dezember 2013**), um die Laufzeitverlängerung für die industrielle Stromerzeugung in Tihange 1 um 10 Jahre zu verlängern. Das Atomausstiegsgesetz wurde 2015 erneut geändert (**Gesetz vom 28. Juni 2015**), um die Sicherheit der Energieversorgung zu gewährleisten. Damit wurde die Wiederinbetriebnahme von Doel 1 genehmigt (es war bereits gemäß dem Gesetz von 2003 abgeschaltet worden) und die Abschaltung von Doel 2 um 10 Jahre verschoben. Diese neuen Termine für die Abschaltung sind ebenfalls in Tabelle 1 aufgeführt.

In einem Urteil vom 5. März 2020 entschied der Verfassungsgerichtshof, dass diese Entscheidung (das Gesetz vom 28. Juni 2015) sowie die Arbeiten, die für den ordnungsgemäßen Betrieb von Doel 1 und 2 während der zusätzlichen zehn Jahre erforderlich sind, der Ausarbeitung einer Umweltverträglichkeitsprüfung mit Konsultation der Öffentlichkeit bedürfen. Gleichzeitig hat der Gerichtshof die Wirkungen des für nichtig erklärten Gesetzes bis zur Verabschiedung eines neuen Gesetzes durch den Gesetzgeber aufrechterhalten, dem die erforderliche Umweltverträglichkeitsprüfung und eine angemessene Bewertung mit Konsultation der Öffentlichkeit und grenzüberschreitender Befragung vorausgehen muss, und zwar spätestens bis zum 31. Dezember 2022. Nach Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung und einer Konsultation der Öffentlichkeit, einschließlich einer grenzüberschreitenden Konsultation, ¹wurde das **Gesetz vom 11. Oktober 2022** zur Änderung des Gesetzes vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie für industrielle Stromerzeugung erlassen.

Tabelle 1: Abschaltzeitplan gemäß dem ursprünglichen Kernausstiegsgesetz von 2003 und seinen nachfolgenden Änderungen (Stand 1. Januar 2023).

Kraftwerk	Datum der industriellen Inbetriebnahme	Datum der Abschaltung (ursprüngliches Gesetz von 2003)	Datum der Abschaltung (Änderungen des Gesetzes von 2003, Stand 1. Januar 2023)
Doel 1	15. Februar 1975	15. Februar 2015	15. Februar 2025
Doel 2	1. Dezember 1975	1. Dezember 2015	1. Dezember 2025
Doel 3	1. Oktober 1982	1. Oktober 2022	1. Oktober 2022 ²

¹ Siehe <https://economie.fgov.be/de/themen/energie/umweltvertraeglichkeitspruefung>

² Am Freitagabend, dem 23. September 2022, um 21:31 Uhr, schalteten die Operateure im Kontrollraum von Doel 3 den Reaktor zum letzten Mal ab und trennten ihn vom Hochspannungsnetz. Aufgrund der regulatorischen Begrenzung der Dauer eines

Kraftwerk	Datum der industriellen Inbetriebnahme	Datum der Abschaltung (ursprüngliches Gesetz von 2003)	Datum der Abschaltung (Änderungen des Gesetzes von 2003, Stand 1. Januar 2023)
Doel 4	1. Juli 1985	1. Juli 2025	1. Juli 2025
Tihange 1	1. Oktober 1975	1. Oktober 2015	1. Oktober 2025
Tihange 2	1. Februar 1983	1. Februar 2023	1. Februar 2023 ³
Tihange 3	1. September 1985	1. September 2025	1. September 2025

Ende Dezember 2021 hat die Regierung (Ministerrat vom 23. Dezember 2021) die Federalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) und den FÖD Wirtschaft (GD Energie) gebeten, bis zum 17. Januar die Maßnahmen aufzulisten und zu analysieren, die zur Aktivierung des so genannten Plans B (die Kernreaktoren Doel 4 und Tihange 3 länger als geplant in Betrieb halten) im Zusammenhang mit der Sicherheit der Energieversorgung Belgiens nach 2025 erforderlich sind.

Die Analyse der FANK hat gezeigt, dass eine Verlängerung der Betriebszeit der jüngsten Kernreaktoren unter dem Gesichtspunkt der nuklearen Sicherheit möglich ist, wenn auch unter der Voraussetzung, dass die erforderlichen regulatorischen Anpassungen und Verbesserungen der Anlagensicherheit vorgenommen werden. Für eine Betriebsverlängerung ist auch ein Bericht über die Umweltauswirkungen erforderlich.

Am 18. März 2022 hat die föderale Regierung dann beschlossen, die Laufzeiten von Doel 4 und Tihange 3 effektiv zu verlängern und damit eine nukleare Erzeugungskapazität von 2 Gigawatt zu erhalten. Angesichts der Probleme bei der Stromversorgung durch die Nachbarländer, der hohen Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, der Beschleunigung der Energiewende und der geopolitischen Spannungen, die die Preise stark schwanken lassen und die Erdgasversorgung unter Druck setzen, beschloss der Ministerrat am 18. März 2022, die notwendigen Schritte zu unternehmen, um 2 GW Kernkraftkapazität – insbesondere Doel 4 und Tihange 3 – für einen Zeitraum von 10 Jahren zu verlängern. Diese Entscheidung steht im Einklang mit der Politik der Europäischen Kommission für mehr Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen und eine diversifizierte Energieversorgung.

Am **1. April 2022** billigte der Ministerrat auf Vorschlag von Energieministerin Tinne Van der Straeten einen Vorentwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gesetzes über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie⁴. Der Vorentwurf des Gesetzes zielt darauf ab, den Betrieb der Kernreaktoren Doel 4 und Tihange 3 für weitere zehn Jahre zu genehmigen, und zwar unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung, der Konsultation der Öffentlichkeit, der Konsultation der zuständigen Behörden und der grenzüberschreitenden Konsultationen.

Am 22. Juli 2022 führten die ersten Gespräche zwischen dem belgischen Staat und der ENGIE Electrabel AG zu einer unverbindlichen Absichtserklärung. Am **9. Januar 2023** haben sich die belgische Regierung und der Betreiber, die ENGIE Electrabel AG, darauf geeinigt, die beiden jüngsten Kernreaktoren des Landes, Doel 4 und Tihange 3, zehn Jahre über das für 2025 geplante Abschaltdatum hinaus in Betrieb zu halten.

Spaltstoffzyklus auf maximal 365 Tage wurde der Reaktor einige Tage vor Ablauf der Abschaltfrist abgeschaltet. Zu diesem Zeitpunkt befand sich der Reaktor bereits seit 2,5 Monaten im Streckbetrieb und produzierte noch etwa 60 % seiner Leistung.

³ Am 31. Januar 2023 um Mitternacht wurde auch Tihange 2 nach 40 Betriebsjahren endgültig abgeschaltet.

⁴ <https://news.belgium.be/fr/modification-de-la-loi-sur-la-sortie-du-nucleaire>

1.1.2 Initiator und Expertenteam

1.1.2.1 Initiator

Der Initiator der Umweltverträglichkeitsprüfung ist der belgische Föderale Öffentliche Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie, Rue du Progrès 50, 1210 Brüssel.

1.1.2.2 Team von Experten

Die UVP wurde von einem Team aus unabhängigen radiologischen und nichtradiologischen UVP-Experten erstellt. Ein Hinweis auf ihre Anerkennung findet sich auf den Seiten 3 und 4.

Radiologische UVP-Experten des SCK CEN (KKW Doel und Tihange):

- Johan Camps: Projektkoordinator und radiologischer UVP-Experte;
- Eef Weetjens: radiologische UVP-Expertin, insbesondere für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente;
- Lieve Sweeck: radiologische UVP-Expertin;
- Geert Olyslaegers: radiologischer UVP-Experte
- Hildegarde Vandenhove: radiologische UVP-Expertin (Überprüfung);

Nichtradiologische UVP-Experten:

- Allgemeine UVP-Koordination: Koen Couderé (KENTER);

Für das KKW Doel:

- UVP-Experte für Wasser und Klima: Koen Couderé (KENTER);
Der Aspekt „Gesundheit“ wurde auch von Koen Couderé behandelt.
- UVP-Koordinatorin: Katelijne Verhaegen (KENTER);
- UVP-Expertin für biologische Vielfalt: Annemie Pals (Mieco-Effekt);
- UVP-Experte für Luft: Johan Versieren (Joveco);

Für das KKW Tihange:

- UVP-Koordinator: Xavier Musschoot (SERTIUS);
- Expertin für Oberflächenwasser und Menschen: Maureen de Hertogh (SERTIUS);
- Experte für biologische Vielfalt: Pierre Jacques (SERTIUS);
- Expertin für Luft und Klima: Amélie de Pierpont (SERTIUS).

1.1.3 Leseanleitung

Die vorliegende Umweltverträglichkeitsprüfung ist in vier Teile gegliedert. Zunächst folgt ein allgemeiner Teil über das Projekt und die Methodik, dann der Teil über die Umweltverträglichkeitsprüfung für Doel 4, gefolgt von dem Teil über die Umweltverträglichkeitsprüfung für Tihange 3. Teil 4 fasst dann die Auswirkungen des Projekts zusammen.

Der Originalbericht wurde in niederländischer Sprache verfasst und für die nicht-radiologischen Auswirkungen von Tihange 3 in französischer Sprache. Der vorliegende Bericht enthält daher Übersetzungen des Originaltextes.

Das einleitende *Kapitel 1* (dieses Kapitel) beschreibt den Hintergrund des Projekts, das Gegenstand dieser Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist. Oben wurden bereits die rechtliche und politische Vorgeschichte und das Ziel der Prüfung erörtert, und das Team, das diese Studie durchführt, vorgestellt. Im weiteren Verlauf von Kapitel 1 wird das Projekt beschrieben und eine Reihe von methodischen Aspekten diskutiert, wie z. B. die Frage, ob Alternativen untersucht werden sollen oder nicht, und die Definition der Referenzsituation sowie externe Entwicklungen, die diese Referenzsituation beeinflussen können. Außerdem wird die Entwicklung der Versorgungssicherheit im Zeitraum 2020-2030 erörtert, die den Anlass für dieses Projekt bildet. Schließlich wird in Kapitel 1 auch kurz das angewandte Verfahren beschrieben, wobei der Schwerpunkt auf der Konsultation und der Beteiligung der Öffentlichkeit sowie auf dem Ersuchen um Stellungnahme an eine Reihe von zuständigen Behörden liegt.

In *Kapitel 2* wird die Methodik der Umweltverträglichkeitsprüfung beschrieben, und zwar sowohl für radiologische als auch für nichtradiologische Aspekte. Was die nichtradiologischen Auswirkungen betrifft, so wird hier angegeben, welchen Themen in dieser UVP besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird, und es wird begründet, warum bestimmte Themen nicht im Detail behandelt werden. Dabei wird auch unterschieden zwischen den Auswirkungen des Projekts auf seine Umwelt, den vermiedenen Auswirkungen des Projekts und den Auswirkungen der Umwelt auf das Projekt. Was die nichtradiologischen Auswirkungen betrifft, werden zunächst die grundlegenden Konzepte des Strahlenschutzes sowie des radioaktiven Abfalls und seiner Bewirtschaftung erläutert. Anschließend wird die Methodik beschrieben, mit der die Auswirkungen von routinemäßigen und unfallbedingten Einleitungen auf Mensch und Umwelt und von radioaktiven Abfällen ermittelt werden.

Kapitel 3 beschreibt und bewertet die nichtradiologischen Auswirkungen der Laufzeitverlängerung von Doel 4 auf die Themen Wasser, Biodiversität, Luft, Klima und Gesundheit. Die Bewertung basiert immer auf einer Überprüfung der für das Thema relevanten politischen Ziele.

Kapitel 4 beschreibt die radiologischen Auswirkungen der Laufzeitverlängerung von Doel 4. Die Auswirkungen auf den Menschen und die biologische Vielfalt während des normalen Betriebs werden ebenso behandelt wie die Auswirkungen, die auf unfallbedingte Einleitungen, radioaktive Abfälle aus dem Betrieb und abgebrannte Brennelemente zurückzuführen sind. Auch Minderungsmaßnahmen in Form einer Notfallplanung werden besprochen.

Kapitel 5 bietet eine Synthese der nichtradiologischen und radiologischen Auswirkungen für Doel 4. Besondere Aufmerksamkeit wird den grenzüberschreitenden Auswirkungen gewidmet.

Die *Kapitel 6, 7 und 8* enthalten für Tihange 3 nacheinander die gleichen Informationen wie die Kapitel 3, 4 und 5 für Doel 4: die nichtradiologischen Auswirkungen, die radiologischen Auswirkungen und eine Synthese von beiden.

Kapitel 9 enthält eine übergreifende Synthese der Auswirkungen des Projekts für Tihange 3 und Doel 4 zusammen, sowohl für radiologische als auch nichtradiologische Auswirkungen. In *Kapitel 10* schließlich wird das allgemeine Fazit gezogen.

Diese UVP enthält auch eine nichttechnische Zusammenfassung in einem separaten Dokument, das einer breiten Öffentlichkeit die Ergebnisse dieser Umweltverträglichkeitsprüfung näher bringen soll. Für die Disziplinen der Rezeptoren Gesundheit und biologische Vielfalt werden die radiologischen und nichtradiologischen Auswirkungen gemeinsam betrachtet.

1.2 Gegenstand der Umweltverträglichkeitsprüfung und zu untersuchende Alternativen

1.2.1 Das Projekt

1.2.1.1 Einleitung

Diese Umweltverträglichkeitsprüfung bezieht sich auf die strategische Entscheidung und die zum Zeitpunkt der Durchführung der Prüfung bekannten Arbeiten ⁵für die Verlängerung der Kernreaktoren Doel 4 und Tihange 3 zur industriellen Stromerzeugung für einen Zeitraum von 10 Jahren nach ihrer geplanten Abschaltung gemäß dem Atomausstiegsgesetz von 2003, wie in Tabelle 2 dargestellt. Wenn wir in diesem Bericht von der Verlängerung von Doel 4 und Tihange 3 sprechen, meinen wir immer die Verlängerung, wie sie in der nachstehenden Tabelle definiert ist.

⁵ Informationen, die bis Ende Januar 2023 verfügbar waren, wurden in diese Umweltverträglichkeitsprüfung einbezogen, Informationen, die später verfügbar wurden, wurden nicht unbedingt in die Prüfung einbezogen.

Tabelle 2: Verlängerung der Reaktoren Doel 4 und Tihange 3 zur industriellen Stromerzeugung, wie in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht. Dieser Zeitplan entspricht dem vom Ministerrat am 1. April 2022 gebilligten Gesetzentwurf (siehe Abschnitt 1.1.1).

Reaktor	Geplante Abschaltung nach Atomausstiegsgesetz 2003	Verlängerung	Äußerstes vorgesehenes Abschaltdatum bei Verlängerung
Doel 4	1. Juli 2025	Periode von zehn Jahren ab dem Datum der ersten industriellen Stromerzeugung nach dem 1. Juli 2025	31. Dezember 2037
Tihange 3	1. September 2025	Periode von zehn Jahren ab dem Datum der ersten industriellen Stromerzeugung nach dem 1. September 2025	31. Dezember 2037

Das hier betrachtete Projekt betrifft die Erweiterung der industriellen Energieerzeugung mit den in Tabelle 2 dargestellten Kernreaktoren/Blöcken Doel 4 und Tihange 3, die jeweils Teil des Standorts des Kernkraftwerks Doel (KKW Doel) sind in der Scheldemolenstraat, Haven 1800, 9130 Doel und am Standort des Kernkraftwerks Tihange (Centrale Nucléaire de Tihange, KKW Tihange) in der Avenue de l'Industrie 1, 4500 Huy, die beide von der Electrabel AG zum 1. Februar 2023 betrieben werden. Die Umweltverträglichkeitsprüfung dieses Projekts wird von allen anwendbaren europäischen Richtlinien ausgehen (2011/92/EU, 92/43/CEE und 2009/147/CE). Der Standort der beiden Kraftwerke in Belgien ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Standort der Kernkraftwerke Doel und Tihange (orange). Die Kernkraftwerke an den Grenzen mit Belgien (grün) und andere Kernkraftwerke der Klasse 1 in Belgien (blau) sind ebenfalls dargestellt.

Das Kernkraftwerk Doel (KKW Doel) und das Kernkraftwerk Tihange (KKW Tihange) bestehen aus insgesamt vier bzw. drei Kernreaktoren, den erforderlichen Nebengebäuden und Einrichtungen für die Stromerzeugung und die Lagerung abgebrannter Brennelemente. Das KKW Doel liegt in der Gemeinde Beveren (Provinz Ostflandern) am linken Ufer der Schelde und in unmittelbarer Nähe der niederländischen Grenze (3,15 km). Das KKW Tihange liegt in der Gemeinde Huy (Provinz Lüttich) am rechten Ufer der Maas und ist nur 38 km bzw. 58 km von der niederländischen bzw. deutschen Grenze entfernt. Der Betrieb des Kernkraftwerks, insbesondere der Betrieb der Blöcke Doel 4 und Tihange 3, die Teil des Projekts sind, wird in Abschnitt 1.2.1.2 näher beschrieben.

Das Projekt wird als unabhängig von anderen laufenden und/oder geplanten Projekten an den Standorten der KKW Doel und Tihange betrachtet, wie z. B. dem SF²-Projekt (dem Bau einer neuen Anlage zur Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente am Standort Doel: die „Spent Fuel Facility“ oder Anlage für abgebrannte Brennelementeⁱ) und der Abschaltung von Doel 3 und Tihange 2⁶. Eine Beschreibung der verschiedenen, parallel laufenden Aktivitäten an den Standorten des KKW Doel und des KKW Tihange findet sich in Abschnitt 1.2.1.3.

Diese Umweltverträglichkeitsprüfung betrifft die strategisch-politische Entscheidung und die notwendigen Arbeiten für die Betriebsverlängerung der Blöcke Doel 4 und Tihange 3 zur industriellen Stromerzeugung für einen Zeitraum von 10 Jahren, wie in Tabelle 2 angegeben.

Im Rahmen der belgischen Vorschriften werden die verschiedenen Einrichtungen, die mit radioaktiven Stoffen oder Geräten arbeiten, die ionisierende Strahlung erzeugen können, in *vier Klassen von Einrichtungen* eingeteiltⁱⁱ. Die Klassifizierungsregeln basieren auf dem *potenziellen Betriebsrisiko*. Eine Einrichtung (oder eine Anlage) gehört je nach den Mengen der radioaktiven Stoffe, der Leistung des Geräts oder der Aktivität der radioaktiven Quelle(n) oder der Höhe der Bestrahlung durch ionisierende Strahlung zu einer bestimmten Klasse. Alle belgischen kerntechnischen Anlagen, einschließlich des KKW Doel und des KKW Tihange, fallen unter die *Klasse 1* und müssen daher alle für Anlagen der *Klasse 1* geltenden Vorschriften einhalten.

Das hier definierte Projekt sieht, wie bereits erwähnt, eine zusätzliche Betriebszeit der Blöcke Doel 4 und Tihange 3 über den ursprünglichen Zeitraum von vierzig Jahren hinaus. Gemäß dem Königlichen Erlass vom 25. Januar 1974 und dem Königlichen Erlass vom 30. November 2011 über die Sicherheitsanforderungen an kerntechnische Anlagen muss der Betreiber in Abständen von höchstens 10 Jahren eine periodische Sicherheitsüberprüfung durchführen. Dies wird als *Zehnjährliche Sicherheitsüberprüfung oder Periodische Sicherheitsüberprüfung* (Periodic Safety Review) bezeichnet. Für den Zeitraum nach 2025 ist dies die vierte Überprüfung und die beiden Blöcke sind ebenfalls seit 40 Jahren in Betrieb. Dies bedeutet, dass die Reaktoren über einen längeren Zeitraum betrieben werden, als ursprünglich bei ihrer Auslegung vorgesehen war, was auch als Langzeitbetrieb (Long Term Operations oder LTO) bezeichnet wird.

Was die Sicherheit betrifft, so entsprechen alle Kernreaktoren derzeit den geltenden Sicherheitsvorschriften, die im Königlichen Erlass vom 30. November 2011 festgelegt sind. Diese Vorschriften wurden im Jahr 2020 verschärft und ab 2025 gelten zusätzliche Sicherheitsanforderungen. Da Doel 4 und Tihange 3 zu den modernsten Kernreaktoren Belgiens gehören und bereits Gegenstand mehrerer Verbesserungsprojekte waren (im Rahmen der drei vorangegangenen regelmäßigen Sicherheitsüberprüfungen und der Stresstests nach Fukushima), sind die ermittelten möglichen Erfordernisse/Gelegenheiten weder sehr zahlreich noch besonders komplex in der Umsetzung. Heute entsprechen sie weitgehend den neuen Anforderungen, obwohl noch einige Sicherheitsverbesserungen erforderlich sind. Dabei kann unterschieden werden zwischen den „notwendigen Anforderungen“ zur vollständigen Erfüllung der verschärften Anforderungen, die vor dem Beginn der Betriebsverlängerung nach 2025 zu realisieren sind, und den „möglichen Anpassungen“, die möglicherweise danach realisiert werden können, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen.

Dies sind die Arbeiten, die wir in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung betrachten, und sie umfassen:

⁶ Wie im Königlichen Erlass vom 31. Januar 2003 über den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie vorgesehen.

- Designverbesserungen:

Die wichtigsten Designverbesserungen, die als „needs“ oder Anforderungen identifiziert wurden, sind folgende:

- Umgang mit extremen Temperaturen: Der Umgang mit potenziellen Hitzewellen (und den damit verbundenen Temperaturen, die möglicherweise höher sind als in der ursprünglichen Planung vorgesehen) kann zu konstruktiven Verbesserungen führen, z. B. zu zusätzlichen Luftkühlern oder Luftbefeuchtern in Räumen;
- Stärkung der Notfallplanungszentren: Die Bewohnbarkeit bestehender Notfallplanungszentren kann bei bestimmten schweren Unfällen nicht immer ohne den Einsatz persönlicher Schutzausrüstungen gewährleistet werden: Konstruktive Verbesserungen können hier beispielsweise mit einer besseren Abschirmung oder Belüftung der Notfallplanungszentren verbunden sein;
- Robustheit der Kühlung der Docks für bestrahlten Kernbrennstoff: Die bestehenden Kühlsysteme der Kernbrennstoffdocks könnten verbessert und durch zusätzliche (mobile) Kühlsysteme ergänzt werden, die in Unfallsituationen eingeschaltet werden können.

- Veralterungsmanagement:

Im Rahmen des Veralterungsmanagements ist für alle sicherheitsrelevanten Systeme, Bauwerke und Komponenten nachzuweisen, dass ihre Qualifikation auch in der neuen Betriebsperiode gültig bleibt. Dies kann entweder durch eine Rechtfertigungsakte (für die eine entsprechende Studie erforderlich ist) oder durch den Ersatz dieser Komponenten geschehen, bevor sie ihre qualifizierte Lebensdauer überschreiten.

Für die großen mechanischen Komponenten (Reaktorbehälter, Reaktordeckel, Dampferzeuger) schätzt die Sicherheitsbehörde FANK auf der Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes, dass sie nicht ersetzt werden müssen.

Für andere Komponenten (kleinere mechanische Komponenten wie Pumpen oder Ventile, elektrische Ausrüstung, Instrumentierung, Bauwerke) gibt es derzeit kein vollständiges Bild der möglichen Austauscharbeiten, bevor der Betreiber seine Studien abgeschlossen hat. Daher kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausgeschlossen werden, dass diese Austauscharbeiten potenzielle Auswirkungen mit sich bringen, die jedoch von begrenzter Natur sind.

Neben Designverbesserungen und Veralterungsmanagement hat die Behörde für nukleare Sicherheit auch die Humanressourcen (HR) als einen nicht zu unterschätzenden Faktor für einen langfristigen Betrieb identifiziert. Dies liegt jedoch außerhalb des Rahmens der Umweltverträglichkeitsprüfung.

Ausgehend von den Arbeiten, die zum Zeitpunkt des Scopings der potenziellen Auswirkungen bekannt waren⁷, und der Bewertung dieser Auswirkungen kann gesagt werden, dass die Auswirkungen für die verschiedenen nicht-radiologischen Disziplinen sehr lokal begrenzt und im Allgemeinen auf den Standort beschränkt sind. In dem Zeitraum, in dem die Erweiterung untersucht und die radioaktiven Abfälle für die LTO (Long Term Operations) einschließlich der Arbeiten bewertet werden, gibt es keine radiologischen Auswirkungen. Für die Arbeiten wird eine begrenzte Menge schwach radioaktiver Abfälle erwartet, die nur einen Bruchteil der kumulierten Menge über den betrachteten LTO-Zeitraum ausmacht.

Der aktuelle Stand der Arbeiten, die in die Umweltverträglichkeitsprüfung des vorliegenden Berichts einbezogen sind, ist in einer Mitteilung vom 15. März 2023 enthalten⁸. Die Beschreibung der Arbeiten und der Umfang der möglichen Auswirkungen in diesem Vermerk unterscheiden sich nicht grundlegend von denen, die bei der Bewertung der Auswirkungen der in dieser UVP durchgeführten Arbeiten angenommen wurden. Die tatsächliche

⁷ Zu diesem Zeitpunkt wurden Informationen berücksichtigt, die bis zum 31. Januar 2023 zur Verfügung standen, später eingehende Informationen wurden nicht garantiert.

⁸ PSR LTO KCD4 CNT 3-ELP-DESCRIPTION DES TRAVAUX DU LTO DE D4/T3" (ref CNT-KCD/4NT/0031174/000/02), Tractebel Engineering, 15. März 2023

Liste der im Rahmen von LTO Doel 4 und Tihange 3 durchzuführenden Arbeiten kann sich in Absprache zwischen dem Betreiber, Electrabel S.A., und den Sicherheitsbehörden noch weiterentwickeln.

1.2.1.2 Betrieb der Kernkraftwerke Doel 4 und Tihange 3

Das Ziel der Verlängerung der Blöcke Doel 4 und Tihange 3 an den jeweiligen Standorten des KKW Doel und des KKW Tihange ist die Fortsetzung der industriellen Stromerzeugung. Wir erörtern daher den Betrieb der Kernkraftwerke Doel 4 und Tihange 3 und geben einen Gesamtüberblick über ihre möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.

Target 4 und Tihange 3 sind Reaktoren des sogenannten Druckwasser- oder Hochdrucktyps (Pressurised-Water Reactor PWR) der Bauart Westinghouse. Eine Übersicht über die Basisdaten dieser beiden Produktionseinheiten findet sich in Tabelle 3.

Tabelle 3: Übersicht über die Basisdaten des Kernkraftwerks Doel.

Block	Typ/Ausführung	Thermische Leistung (MWth)	Elektrische Leistung (MWe)	Datum der ersten Kritikalität	Containment	Speicherkapazität für Kraftstoff
Doel 4	DWR (3 primäre Kühlkreisläufe) Westinghouse	3000	1036	31.03.1985	Zweifach mit Innenauskleidung	628 Positionen
Tihange 3	DWR (3 primäre Kühlkreisläufe) Westinghouse	2988	1038	05.09.1985	Zweifach mit Innenauskleidung	820 Positionen

Ein DWR besteht typischerweise aus 3 Kompartimenten mit 3 separaten Kreisläufen: dem Reaktorgebäude mit Primärkreislauf, dem Maschinenraum mit Sekundärkreislauf und dem Kühlkreislauf, der den Tertiärkreislauf bildet (Abbildung 2).



Abbildung 2: Funktionsweise des Kernkraftwerks mit (von links nach rechts) dem Reaktorgebäude, dem Maschinenraum und dem Kühlkreislauf (Quelle: Electrabel AG).

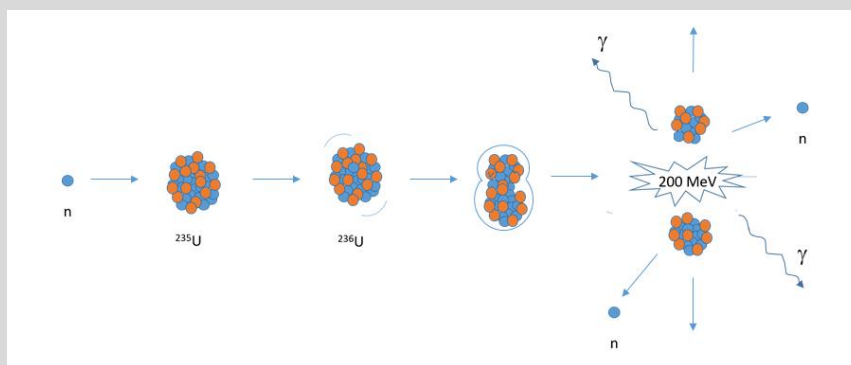
Das Reaktorgebäude (RGB) enthält den Reaktorbehälter (oder -kessel), der den Kernbrennstoff enthält. Bei dem Kernbrennstoff handelt es sich um angereichertes Uran in Form von gesintertem Uranoxid (UO_2) mit einem Anreicherungsgrad an Uran-235 (U-235) von etwa 4 % (natürliches Uran enthält etwa 0,7 % U-235). Die Kernbrennstoffpellets sind in Rohren aus einer Zirkoniumlegierung gestapelt. Sie sorgen für den Einschluss der Kernspaltungsprodukte. Die so entstandenen Stifte werden zu Kernbrennstoffelementen gebündelt und durch Gitter in einem Netzwerk zusammengehalten. Bei der Spaltung (siehe Kasten) entstehen Kernspaltungsprodukte und Neutronen; Letztere können neue Spaltungen auslösen, wodurch eine Kettenreaktion entsteht. Um diese Kettenreaktion zu kontrollieren und die Reaktivität des Kernreaktors zu überwachen, werden absorbierende Bündel (Steuerstäbe) und Bor⁹ (ein Element, das Neutronen einfängt) verwendet. Die Kontrollstäbe sind in zwei Gruppen unterteilt:

- die Steuerstäbe (28 Stück), die für die schnelle Kontrolle der Reaktivität sorgen;
- die Stoppstäbe oder das Abschaltsystem (auch SCRAM genannt, 24 Stück), zusammen mit den Steuerstäben kann damit ein Notstopp durchgeführt werden.

Die Steuerstäbe haben eine starke absorbierende Eigenschaft auf Neutronen und fallen bei einem automatischen Stopp oder einer Notabschaltung aufgrund der Schwerkraft von selbst zwischen die Kernbrennstoffelemente und stoppen so die Spaltreaktionen (passive Sicherheit). Durch den radioaktiven Zerfall der Kernspaltungsprodukte bleibt der Reaktorkern nach der Abschaltung jedoch heiß und muss weiter gekühlt werden.

Exkurs — Kernspaltung

Die Atomkerne, die aus Protonen und Neutronen (beide Nukleonen genannt) bestehen, haben eine sehr große Bindungsenergie. Das heißt, es braucht viel Energie, um einen solchen Kern in seine einzelnen Nukleonen zu zerlegen. So viel Energie (E), dass sogar – gemäß Einsteins bekannter Formel $E=mc^2$ – ein nicht zu vernachlässigender Massenunterschied (m) zwischen dem Atomkern und der Masse der einzelnen Nukleonen, aus denen der Kern besteht, besteht (c ist die Lichtgeschwindigkeit). Das in den meisten Kernreaktoren zur Spaltung verwendete Uran (Uran 235 oder U-235) besteht aus 235 Nukleonen (92 Protonen und 143 Neutronen). Vergleicht man die Masse eines solchen Uran-235-Kerns mit der Summe der Massen der 235 einzelnen Nukleonen (Protonen und Neutronen haben etwa die gleiche Masse, Neutronen sind nur etwas schwerer), so hat der Atomkern eine deutlich geringere Masse. Dieser Unterschied (Massendifferenz oder Massendefekt genannt) entspricht bei Uran 235 der Masse von fast zwei einzelnen Nukleonen. Atome (Elektronen und Atomkern) und Moleküle (mehrere Atome) sind ebenfalls gebundene Systeme von Teilchen, aber die Bindungsenergie in Atomkernen ist um viele Größenordnungen größer als die in Atomen und Molekülen: ein Faktor von hunderttausend (10^5) oder mehr.



Die Kernspaltung (auch Fission genannt) kann bei schweren Kernen stattfinden; der Kern zerfällt dann nicht in alle seine einzelnen Nukleonen, sondern in zwei kleinere und (pro Nukleon) stärker gebundene Atomkerne. Dies kann spontan geschehen, die so genannte Spontanspaltung (eine Form des radioaktiven Zerfalls), oder durch den Einfang eines Neutrons ausgelöst werden, auch bekannt als induzierte Spaltung. Dadurch wird der Unterschied in der Bindungsenergie zwischen dem ursprünglichen Kern und seinen Fragmenten freigesetzt. Dies ist eine große Energiemenge, da die Bindungsenergien in Atomkernen sehr groß sind. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für neutroneninduzierte Spaltung. Der Uran 235-Kern

⁹ Im Wasser des Primärkreislaufs in Form von Borsäure vorhanden.

absorbiert ein Neutron, so dass der Uran-Kern nun ein Neutron mehr hat und zu Uran 236 wird. Dieser Kern hat durch die Absorption des Neutrons einen Energieüberschuss und schwingt, wobei der Kern eine längliche Form annehmen und sich in zwei Kernspaltungsprodukte teilen kann. Manchmal (in 15 % der Fälle) spaltet sich der Uran-236-Kern nicht, sondern gibt seine überschüssige Energie in Form von Gammastrahlung ab. In 85 % der Fälle kommt es jedoch zu einer Spaltung, bei der eine große Energiemenge freigesetzt wird, im Durchschnitt 200 Millionen Elektronenvolt (200 MeV) pro Spaltung, wobei das Elektronenvolt ein Energiemaß wie das Joule ist. Zum Vergleich: Die Bildung eines Moleküls CO₂ (z. B. bei der Verwendung fossiler Brennstoffe) setzt 4,08 eV frei, also fast einen Faktor von 50 Millionen (5x10⁷) weniger als die Spaltung eines Uran-235-Kerns. Die bei der Spaltung freigesetzte Energie verteilt sich als kinetische Energie auf die Kernspaltungsprodukte und die freigesetzten Neutronen (in der Regel 2 bis 3 Neutronen pro Spaltung) sowie in Form von prompter Gammastrahlung. Die Neutronen haben eine durchschnittliche Energie von etwa 2 MeV. Die entstehenden Kernspaltungsprodukte haben einen relativen Überschuss an Neutronen und zerfallen durch Betazerfall zu stabilen Atomen (siehe Abschnitt 2.3.2). Die Verteilung der bei der Spaltung freigesetzten Energie ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Beim Betazerfall geht die Energie an die emittierten Elektronen (Betastrahlung), Gammastrahlung und Anti-Neutrinos. Die letzteren Teilchen haben jedoch die Eigenschaft, so gut wie nicht mit der Materie in Wechselwirkung zu treten und daher vollständig zu entkommen und ihre Energie mitzunehmen. Bei normalem Betrieb eines Reaktors wie Doel 4 und Tihange 3 mit einer thermischen Leistung von 3.000 MW_{th} werden etwa 6x10²⁰ Anti-Neutrinos pro Sekunde entsprechend einer Leistung von etwa 150 MW in den Raum geschickt, zum Teil quer durch die Erde. Um diese Zahl in die richtige Perspektive zu rücken, können wir sie mit der Menge an Anti-Neutrinos vergleichen, die pro Sekunde beim Zerfall der natürlichen Radioaktivität auf unserem Planeten Erde (auch Geo-Neutrinos genannt) ausgestoßen werden, nämlich 10²⁵ pro Sekunde. Die Spaltung kann eine große Anzahl verschiedener Kombinationen von Kernspaltungsprodukten ergeben, und die dabei freigesetzte Energie beträgt durchschnittlich 207 MeV. Wie bereits erwähnt, werden dort durchschnittlich 12 MeV pro Spaltung von den Anti-Neutrinos weggetragen und stehen somit nicht für die Energieerzeugung zur Verfügung. Die freigesetzten Neutronen, die keine Spaltung verursachen, können jedoch von Uran 235 und Uran 238 absorbiert werden. Die neu gebildeten Kerne geben dann Gammastrahlung ab, die ebenfalls zur rückgewinnbaren Energie beiträgt, aber nicht aus der Spaltung selbst stammt. Darüber hinaus führt die Neutronenabsorption durch Uran 238 zur Bildung von Transuranen, sehr langlebigen radioaktiven Atomen, die neben den Kernspaltungsprodukten ein Bestandteil der radioaktiven Abfälle sind. Die aus dem Kern entweichenden Neutronen können zudem unter anderem im Reaktorbehälter absorbiert werden und dort nicht radioaktive Atome (z. B. Kobalt) radioaktiv machen (Kobalt-60), was wir als Aktivierung oder Aktivierungsprodukte bezeichnen. Neben der Radioaktivität, die beim Zerfall entsteht und Strahlung aussendet, wird bei der Kernspaltung auch Sofortstrahlung (Neutronen- und Gammastrahlung) freigesetzt. Diese sehr intensive Strahlung muss gut abgeschirmt werden.

	Bei der Spaltung freigesetzte Energie (MeV)	Rückgewinnbare Energie (MeV)
Kernspaltungsprodukte	168	168
Prompte Neutronen	5	5
Prompte Gammastrahlung	7	7
Zerfall von Kernspaltungsprodukten		
Betastrahlung	8	8
Antineutrinos	12	-
Gammastrahlung	7	7
Gammastrahlung nach Neutroneneinfang in U-235 und U-238	-	3-12
Insgesamt	207	198-207

Wenn nun bei jeder Spaltung genau ein Neutron (prompt oder verzögert) eine neue Spaltung auslöst, entsteht eine kontrollierte Spaltreaktion. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein bei der Spaltung erzeugtes Neutron sofort eine weitere Spaltung

verursacht, ist jedoch gering. Die Neutronen haben viel Energie und werden beim Aufprall hauptsächlich gestreut und nicht von den Uran 235-Kernen absorbiert. Dazu müssen die Neutronen zunächst abgebremst (thermalisiert) werden. Dies kann geschehen, indem sie mit leichten Kernen wie den Wasserstoffkernen im Wasser, auch Moderatoren genannt, zusammenstoßen. Der Kernbrennstoff muss also von einem Moderator umgeben sein, der die Neutronen abbremst, bevor sie die Möglichkeit haben, eine weitere Spaltung zu verursachen. Andererseits muss sichergestellt werden, dass im Durchschnitt nicht mehr als ein Neutron pro Spaltung eine neue Spaltung auslöst, da sonst ein exponentieller Anstieg der freigesetzten Energie zu erwarten ist. Dies wird zum einen mit Kontrollstäben und zum anderen durch die Zugabe von Borsäure zum Wasser gesteuert. Diese haben die Eigenschaft, Neutronen zu absorbieren, sobald sie abgebremst sind, so dass sie für die Spaltung nicht mehr zur Verfügung stehen. Dieses Gleichgewicht muss während des gesamten Reaktorzyklus aufrechterhalten werden. Zu Beginn des Zyklus ist der Kernbrennstoff frisch und es stehen viele Uran-235-Kerne für die Spaltung zur Verfügung: Die Reaktivität ist dann hoch. Um eine kontrollierte Kernreaktion zu erreichen, wird Borsäure in das Kühlwasser eingeleitet, wobei die Steuerstäbe vollständig in den Kern abgesenkt werden. Mit dem Fortschreiten des Reaktorzyklus nimmt die Reaktivität ab. Die Borsäurekonzentration im Primärwasser wird schrittweise reduziert und die Steuerstäbe werden zunehmend aus dem Kern entfernt, um eine ausgewogene Kernreaktion aufrechtzuerhalten. Am Ende des Kernbrennstoffzyklus geht die Borsäurekonzentration auf null zurück und die Steuerstäbe befinden sich nicht mehr im Kern. Zu diesem Zeitpunkt wird die Temperatur des Kühlwassers gesenkt, um die Reaktivität auf einem Niveau zu halten, das ausreicht, um die nukleare Kettenreaktion in Gang zu halten. Dies führt zu einem Rückgang der Leistungsabgabe.

Strahlung und Radioaktivität sind ein wichtiger Sicherheitsaspekt beim Betrieb eines Kernkraftwerks. Strahlung und Radioaktivität entstehen:

- im Kernbrennstoff selbst: Dieser besteht aus Uranoxid und enthält mehrere Uranisotope, genauer gesagt U-238, U-235 und U-236, die alle spontan radioaktiv sind, aber lange Halbwertszeiten haben und hauptsächlich durch Alphazerfall zerfallen;
- in prompter Gamma- und Neutronenstrahlung, die bei der Kernspaltung von Urankernen (während des Reaktorbetriebs) freigesetzt wird;
- in Kernspaltungsprodukten, von denen viele mit Halbwertszeiten von Millisekunden bis zu Millionen von Jahren radioaktiv sind und hauptsächlich unter Aussendung von Beta- und Gammastrahlung zerfallen;
- in der Aktivierung verschiedener Materialien, Primärwasser usw., radioaktive und nichtradioaktive Kerne können ein Neutron einfangen und neue Radionuklide bilden, wir nennen dies Aktivierungsprodukte (Beispiele sind die Aktivierung des Stahls des Reaktorbehälters oder die Bildung von Tritium);
- in der sukzessiven Neutronenabsorption und im Betazerfall ausgehend vom Uran im Kernbrennstoff. Dabei entstehen mehrere Isotope von Neptunium, Plutonium, Americium und Curium, die alle radioaktiv sind, darunter mehrere mit sehr langen Halbwertszeiten.

Der Betrieb erfordert daher wichtige Sicherheitsmaßnahmen, Strahlenschutz und die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen.

Die bei der Spaltung freigesetzte Energie, die sich aus der Energie und dem radioaktiven Zerfall der Kernspaltungsprodukte und der Energie der Neutronen zusammensetzt, wird in einem DWR wie Doel 4 und Tihange 3 unter hohem Druck (155 bar) auf Wasser übertragen. Das Wasser wird zugleich als „Moderator“ verwendet, um die bei der Spaltung entstehenden Neutronen zu verlangsamen (auch „thermalisieren“ genannt), um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass sie eine weitere Spaltung verursachen. Pro Spaltung werden im Durchschnitt zwei bis drei Neutronen freigesetzt, bei Normalbetrieb verursacht eines dieser Neutronen eine einzige weitere Spaltung. Der hohe Druck sorgt dafür, dass das Wasser nicht anfängt zu kochen. Doel 4 und Tihange 3 haben jeweils drei Kreisläufe, die zusammen den primären Kühlkreislauf bilden (jeder mit einer eigenen Pumpe) und Wasser vom Reaktorkern zu den Dampferzeugern pumpen. Ein Druckbehälter regelt den Druck im Primärkreislauf. Diese befinden sich zusammen mit dem Reaktor im Reaktorgebäude, und der Einschluss ist doppelt: innen aus Spannbeton, innen mit einer Stahlauskleidung versehen, um die Dichtheit zu gewährleisten, außen aus Stahlbeton. Der Raum zwischen den beiden Einschlüssen wird als Ringraum bezeichnet. Die Einhausung ist so ausgelegt, dass sie einem LOCA (Unfall mit Verlust der Primärkühlung), einem SLB (Dampfrohrbruch) und einem Flugzeugaufprall auf das Reaktorgebäude standhält. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Entwurf aufeinanderfolgende Barrieren vorsieht, um eine mögliche Dispersion radioaktiver Stoffe in die Umwelt zu vermeiden (siehe Abbildung 3).

Doel 4 und Tihange 3 sind in drei Teile gegliedert: (1) die nukleare Insel, (2) ein Teil mit sicherheitsrelevanter Ausrüstung und schließlich (3) der Teil mit Anlagen ohne Systeme der nuklearen Sicherheit.

Neben dem Reaktorgebäude enthält die Nuklearinsel auch das Gebäude mit nuklearen Hilfsmitteln (GNH) mit den wichtigen Sicherheitssystemen und den Gebäuden für die Lagerung der frischen Kernbrennstoffelemente, d. h. die Becken für abgebrannte Brennelemente (dessen Wasser kontinuierlich gereinigt und gekühlt wird) sowie die Lagerbehälter für die flüssigen und gasförmigen Abwässer bzw. Abgase.

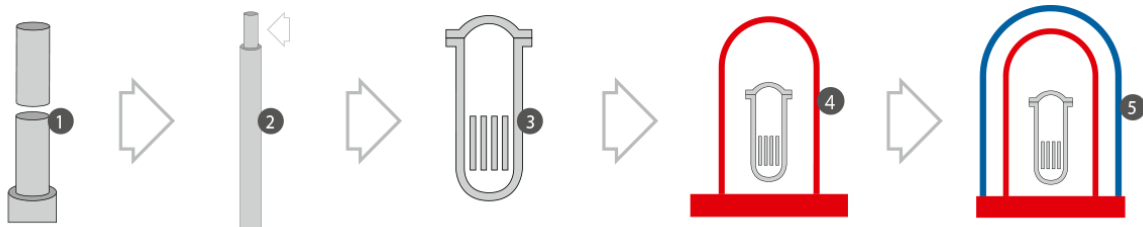


Abbildung 3: Die aufeinanderfolgenden Barrieren, die das Uran und die Kernspaltungsprodukte von der Außenwelt abschirmen, d. h. das komprimierte Uranoxid in Pellets (1), ist in den verschweißten Kernbrennstoffstäben gestapelt (2). Diese befinden sich im Reaktorbehälter (während des Betriebs geschlossen, zum Be- und Entladen des Kernbrennstoffs geöffnet), einem 25 cm dicken Stahlbehälter (3), der in der primären Stahlkugel des Reaktorgebäudes platziert ist, die einem starken Innendruck standhalten kann, (4) und sukzessive von der sekundären Wand des Reaktorgebäudes aus Stahlbeton umgeben ist, das die Anlagen vor externen Unfällen schützt (5).

Das erhitzte, unter hohem Druck stehende Wasser aus dem Primärkreislauf gelangt in den Dampferzeuger, wo es über Tausende von Rohren seine Wärme an das Wasser auf der anderen Seite abgibt (Sekundärkreislauf), wo Dampf mit einem Druck von 60 bar erzeugt wird. Es besteht also nie ein direkter Kontakt zwischen dem Wasser im Primär- und Sekundärkreislauf. Der Dampf treibt im Maschinenraum eine Turbine an und der daran angeschlossene Generator wandelt die Drehbewegung der Turbine in elektrischen Strom um. Der Dampf im Sekundärkreislauf gelangt weiter zum Kondensator, wo er wieder in flüssiges Wasser umgewandelt wird, das zum Dampferzeuger zurückgepumpt wird. Der Kondensator wird mit Wasser aus dem Tertiärkreislauf im Kältekreislauf gekühlt, wobei auch hier nie ein direkter Kontakt mit dem Wasser des Sekundärkreislaufs besteht. Der Tertiärkreislauf wird mit Scheldewasser (Doel) bzw. Maaswasser (Tihange) gespeist. Der Dampf aus dem Sekundärkreislauf gibt seine Wärme

an das Scheldewasser bzw. Maaswasser aus dem Tertiärkreislauf ab, wodurch sich dieses Scheldewasser bzw. Maaswasser leicht erwärmt. Deshalb geht es zunächst zu den Kühltürmen mit Saugzugsystem, bevor es entweder wieder zum Kondensator oder zurück in die Schelde bzw. in die Maas fließt.

Wie bei allen industriellen Prozessen können während des normalen Betriebs und der Wartung in der Nuklearzone kleine Mengen dieser radioaktiven Elemente freigesetzt werden. Dabei entstehen neben den abgebrannten Brennelementen eine Reihe von radioaktiven Abfallströmen in gasförmiger, flüssiger und fester Form. Für die beiden letztgenannten gibt es auch an den Standorten des KKW Doel und des KKW Tihange Aufbereitungsanlagen, die in Doel in einem zentralen Wasser- und Abfallbehandlungsgebäude (WAB) untergebracht sind, während sie in Tihange stärker auf die verschiedenen Anlagen verstreut sind.

Der Betrieb der KKW Doel und Tihange als Ganzes und von Doel 4 und Tihange 3 speziell zur Stromerzeugung erfordert, wie jeder industrielle Prozess, Rohstoffe und erzeugt auch eine Reihe von Abfallströmen. Die wichtigsten sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 4: Wichtigste Rohstoffe und Abfallströme.

Wichtigste Rohstoffe	Abfallströme
Angereichertes Uran (Kernbrennstoff)	Radioaktive Abfallströme: atmosphärische und flüssige Einleitungen, radioaktiver Abfall einschließlich abgebrannter Kernbrennstoffe
Heizöl	Nichtradioaktiver gefährlicher Abfall (Recycling)
Öle	Nichtradioaktiver ungefährlicher Abfall
Oberflächenwasser zur Herstellung von entmineralisiertem Wasser	Nichtradioaktive Luftemissionen
Wasser aus der Schelde (Doel) oder der Maas (Tihange) (Kühlwasser)	Sanitär- und Industrieabwässer
Stadtwasser	Zurückgeführtes Kühlwasser
Grundwasser (Tihange)	
Bodennutzung (Flächenverbrauch)	

1.2.1.3 Regelmäßige Sicherheitsüberprüfungen und Änderungen im Vorfeld des Projekts

Die Vorschriften für den Bau und den Betrieb jedes belgischen Kernkraftwerks sind im Sicherheitsbericht sowie in der Betriebs- und der Umweltgenehmigung festgelegt.

Die wichtigsten Änderungen des Rahmens für die nukleare Sicherheit beruhen auf den regelmäßigen Sicherheitsüberprüfungen (*Periodic Safety Reviews* — PSR: siehe 1.2.1.1)¹⁰ und dem internationalen Benchmarking mit anderen Kernkraftwerken.

Die PSR oder Zehnjahresüberprüfung hat mehrere Ziele. Der Betreiber sollte den Zustand der Anlage und ihrer Organisation unter dem Gesichtspunkt der internationalen Rechtsvorschriften, Normen und bewährten Praktiken bewerten. Darüber hinaus sollten Stärken und Verbesserungspotenziale sowie Ausgleichsmaßnahmen für den Fall ermittelt werden, dass bestimmte potenzielle Verbesserungen nicht umgesetzt werden können.

Zusätzlich zu den Verbesserungen, die sich aus den PSR ergeben, wurden weitere Änderungen und Verbesserungen auf der Grundlage von Erkenntnissen aus internen und externen Inspektionen, Instandhaltungs- und Erfahrungsdaten (einschließlich derjenigen aus großen nuklearen Zwischenfällen und Unfällen wie in Three Miles

¹⁰ Eine Übersicht über die zehnjährigen Überprüfungen mit den zusammenfassenden Berichten ist auf der FANK-Website zu finden: <https://fank.fgov.be/de/dossiers/kernkraftwerke-belgien/sicherheit/zehnjahresueberpruefungen>.

Island, Tschernobyl und Fukushima) vorgenommen. Externe Inspektionen werden unter anderem von folgenden Stellen durchgeführt:

- **Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK).** Dabei handelt es sich um die Behörde für nukleare Sicherheit, eine öffentliche Einrichtung, die der Ministerin des Innern und der Sicherheit unterstellt ist. Die FANK sorgt dafür, dass die Bevölkerung und die Umwelt wirksam vor den Gefahren ionisierender Strahlung geschützt werden. Für die ständigen Kontrollen stützt sich die FANK auf ihre technische Tochtergesellschaft Bel V, die wie die FANK freien Zugang zu den Standorten der KKW Doel und Tihange hat.
- Die **Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO)** ist eine unabhängige zwischenstaatliche Organisation der Vereinten Nationen. Sie entwickelt Normen für die nukleare Sicherheit und den Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung. Die IAEO stellt internationale Teams zusammen, um Dokumente zu studieren und vor Ort zu prüfen, wie die Sicherheit der kerntechnischen Anlagen in der Praxis gewährleistet wird. Dies geschieht durch OSART- (Operational Safety Review Team) ¹¹ und SALTO-Missionen (Safety Aspects of Long Term Operation).
- **WANO (World Association of Nuclear Operators - Weltverband der Betreiber von Kernkraftwerken).** Diese nach den Ereignissen von Tschernobyl gegründete Organisation hat das Ziel, die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Kernkraftwerken zu maximieren. Die Kernkraftwerke Doel und Tihange werden alle 4 Jahre von einem internationalen Expertenteam einer so genannten WANO-Peer-Review unterzogen, 2 Jahre später folgt ein WANO-Follow-Up. Aus jeder Überprüfung ergeben sich Vorschläge zur Optimierung der Sicherheit und Leistung der Kernkraftwerke.

Was die Erfahrungen mit Unfällen betrifft, so hat die Europäische Kommission nach dem Unfall in Fukushima im März 2011 die Initiative ergriffen, Widerstandstests zu organisieren. Dies führte zu einer Reihe von Maßnahmen: den Stresstests („Belgian Stress Tests“, BEST). Diese Maßnahmen wurden für Doel 4 und Tihange 3 durchgeführtⁱⁱⁱ und sind nicht Teil des Projekts, mit dem wir uns in dieser UVP befassen.

Die wichtigsten Realisierungen für Doel 4 und Tihange 3 vor Beginn des Projekts auf der Grundlage der vergangenen Zehnjahresüberprüfungen und anderer Projekte sind nachstehend aufgeführt. Die Projekte sind nach Themen geordnet:

Projekte im Zusammenhang mit Designverbesserungen:

- Durchführung einer probabilistischen Sicherheitsbewertung (Probabilistic Safety Assessment - PSA), um potenzielle Verbesserungsbereiche in Anlagen zu ermitteln und umzusetzen.
- Installation von autokatalytischen Rekombinatoren zur Vermeidung von Wasserstoffansammlungen bei einem Unfall im Reaktorgebäude mit Schädigung des Brennstoffs.
- Vergrößerung der Rezirkulationsfilter, die im Falle eines LOCA (Loss Of Coolant Accident) in Betrieb genommen werden - dank viel größerer Filter mit kleineren Maschen wird die Verstopfung beseitigt und die gesamte Kontamination im Reaktorgebäude gestoppt (Barsebäck).
- Einbau einer abgestuften Global/N16-Kette pro Dampferzeuger zur frühzeitigen Erkennung eines Dampferzeugerrohrbruchs.
- Vergrößerung des Durchmessers der Siphonbrecher aller Kraftstoffdocks, um die biologische Wasserbarriere über den Brennelementen im Falle eines Bruchs der Zu- oder Abflussleitungen der Docks zu verbessern.
- Platzierung von Umkehrspannungsrelais auf den 6,6-kV-Sicherheitsschalttafeln aufgrund eines Zwischenfalls im Kernkraftwerk Byron.
- Durch die Herstellung einer Verbindung zwischen der Niederdruck-Sicherheitseinspritzung und dem Sprühling ist die Niederdruck-Rückführung aus dem Sprühling auch bei einem Ausfall der Niederdruck-Sicherheitseinspritzung stets gewährleistet.

¹¹ Für Tihange 1 und 3 ist vom 17. April bis 5. Mai 2023 eine OSART-Mission geplant.

- Einbau von Entlastungsventilen am Primärdruckbehälter, die sowohl für Dampf- als auch für Wasserentladung geeignet sind.
- Installation von gefilterten Druckventilen am Reaktorgebäude (Filtered Containment Venting System) / Entwurf und Installation einer gefilterten Entlüftungsvorrichtung zum Schutz der Integrität der Sicherheitsbehälter im Falle eines schweren Unfalls, der zu einer Kernschmelze führt.
- Anschlussstellen für die Versorgung des Primärkreislaufs und der Sprühsysteme des Reaktorgebäudes aus einer externen Wasserquelle über eine externe Pumpe.
- Austausch der Personenmonitore durch einen leistungsfähigeren Typ - diese werden verwendet, um die Arbeiter beim Verlassen der heißen Zone auf eventuelle radioaktive Kontamination zu überprüfen.
- Austausch des Türmonitors am Ausgang der heißen Zone - er überprüft zusätzlich, ob die Arbeiter, die die heiße Zone verlassen, kontaminiert sind.
- Installation zusätzlicher Brandmeldeanlagen und Verbesserung der physischen Trennung der Kabel in den sicherheitsrelevanten Gebäuden. Verstärkung der Brandabschottung im elektrischen Gebäude.

Spezifisch für Doel 4:

- Jüngste Investitionen in den Brandschutz: Modernisierung der Feuerlöschposten, Erneuerung der Feuermelder in allen Gebäuden, Erneuerung der unterirdischen Ventile der Feuerlöschleitungen usw. Die Ausrüstung entspricht den höchsten Standards.
- Ersatz der Schachttüren des Reaktorgebäudes durch eine stärkere Konstruktion mit einem passiven Dichtungssystem, um die Dichtheit des Reaktorgebäudes zu verbessern.
- Umstellung der Kühlung der Sicherheitsdiesel der 1. Stufe in Doel 4 von Wasserkühlung über den CD-Kreislauf auf Aerocooler, um die Unabhängigkeit zwischen den Sicherheitssystemen der 1. und 2. Stufe zu gewährleisten.
- Installation von mobilen Türschilden an den Eingängen von sicherheitsrelevanten Gebäuden als Hochwasserschutz.

Spezifisch für Tihange 3:

- Verbesserungen im Rahmen der FHA (Fire Hazard Analysis): Austausch und Hinzufügung von Brandmeldern für alle Gebäude, Verbesserung der Brandabschnitte, Verbesserung des physischen Schutzes von Kabeln...
- Austausch des Löschwasserkreislaufs und Installation neuer Pumpen mit höherer Kapazität sowie eines Systems zur Aufrechterhaltung von sauberem Wasser.
- Schutz vor internen und externen Überschwemmungen, insbesondere durch den Bau einer Mauer (1,8 km) zum Schutz vor der Überschwemmung durch ein Hochwasser, das im Durchschnitt alle zehntausend Jahre stattfindet, und die Einführung der damit verbundenen Vorkehrungen.

Projekte im Zusammenhang mit der Alterung und der Verfügbarkeit:

- Die Dampferzeuger wurden durch den Typ Inconel 690 ersetzt, der mit stärkerem Rohrmaterial ausgestattet ist. Der verwendete Stahl ist weniger korrosionsanfällig und hat eine größere Austauschfläche mit höherer Kühlleistung. / Austausch von Dampferzeugern aufgrund von Korrosionsproblemen. Die neuen Rohre weisen eine höhere Korrosionsbeständigkeit und eine größere Austauschfläche auf, was zu einer höheren Kühlkapazität führt (erste Zehnjahresüberprüfung).
- Austausch von Stiften der Steuermechanismen der Steuerstäbe des Reaktorbehälters
- Renovierung der Betonhülle des Reaktorgebäudes und des Daches der Bunkergebäude
- Austausch der Reaktorabdeckung. / Austausch des Reaktordruckbehälterdeckels sowie der Clustersteuerungsmechanismen mit einem Material, das resistenter gegen PWSCC (Risskorrosion bei Kontakt mit Primärwasser) ist.
- Austausch der Wellen der Primärpumpen, damit sie besser gegen thermische Ermüdung geschützt sind.

- Renovierung des Inneren des Kühlturms.
- Nachrüstung der Niederdruckturbine.
- Austausch von Brandschutzklappen in Lüftungsanlagen.
- Ersatz von Messketten, die die Atmosphäre auf das Vorhandensein von radioaktivem Gas, Staub und Jod überwachen.
- Austausch einer Reihe von elektrischen und instrumenttechnischen Komponenten wie sicherheitsrelevante elektrische Batterien, Gleich- und Wechselrichter, Messketten und Elektronik zur Reaktivitätsmessung rund um den Reaktorbehälter.
- Änderungen an Wechselrichtern nach dem Überspannungszwischenfall im Kernkraftwerk Forsmark (Schweden).

Projekte im Zusammenhang mit der Brennstoffverwaltung:

- Durchführung eines Programms zur kontinuierlichen Verbesserung der kurz- und langfristigen Leistung der Brennelemente.
- Erneuerung der Brennstoffregale im Brennstoffgebäude - durch die Verwendung von Borstahl in den neuen Regalen wird die Unterkritikalität auf nachhaltige Weise sichergestellt.
- Bereitstellung alternativer Mittel zur Gewährleistung eines angemessenen Wasserstands der Brennstofflagerdocks mit einer externen Pumpe und externer Wasserversorgung.
- Bau von Zwischenlagern für abgebrannte Brennelemente an den Standorten KKW Doel und KKW Tihange.

Projekte im Zusammenhang mit Wissen, Kompetenzen, Verhalten und Strahlendosis:

- Entwicklung und kontinuierliche Verbesserung von Verfahren zur Bewältigung verschiedener Arten von Unfällen unter Berücksichtigung des internationalen Erfahrungsmanagements.
- Erneuerung der Hard- und Software des Kontrollraumsimulators für die Ausbildung der Besatzungen - dadurch werden die Simulationen noch realistischer und Änderungen an der Installation können schneller am Simulator vorgenommen werden.
- Einrichtung eines ständigen Feuerweherteams (rund um die Uhr), Bereitstellung eines Fahrzeugs mit Teleskoparm zur Bekämpfung von Großbränden.
- Implementierung eines Kontrollprogramms für Brandschutzeinrichtungen in den technischen Betriebsvorschriften.
- Renovierung des Kontrollraums.
- Ersetzung des elektronischen Dosimetriesystems, das die Dosen der Arbeitnehmer aufzeichnet.

1.2.1.4 Aktivitäten an beiden Standorten – Zeitlinie

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die kürzlich abgeschlossenen, laufenden und geplanten Aktivitäten und die damit verbundenen nuklearen Genehmigungen an den beiden Standorten KKW Doel und KKW Tihange.

Tabelle 5: Kürzlich abgeschlossene, laufende und geplante Aktivitäten an den beiden Standorten KKW Doel und KKW Tihange.

Anlage(n)	Beschreibung
LTO Doel 1 und 2 und Tihange 1 bis Ende 2025	Im Zeitraum 2013-2015 beschloss die belgische Regierung, den langfristigen Betrieb von drei Kernreaktoren zuzulassen: Tihange 1, Doel 1 und Doel 2 bis 2025. Die Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) hat dann eine Sicherheitsanalyse für diese verlängerte Betriebszeit durchgeführt und dem Betreiber (ENGIE Electrabel AG) anschließend Arbeiten auferlegt, um die drei Reaktoren an die neuesten Sicherheitsstandards anzupassen. Die Arbeiten erhielten die Bezeichnung LTO-Arbeiten, was für Long Term Operation (Langzeitbetrieb) steht. Die ENGIE Electrabel AG erstellte daraufhin Aktionspläne, die darauf abzielten, diese Tätigkeiten nach

Anlage(n)	Beschreibung
	einem bestimmten Zeitplan während jeder regelmäßigen Abschaltung der Reaktoren durchzuführen. Die FANK und Bel V haben die Umsetzung dieser Aktionspläne in regelmäßigen Arbeitssitzungen und nach jeder Abschaltung dieser Reaktoren genau überwacht. Seit der letzten Abschaltung der Reaktoren im Jahr 2019 wurden die letzten Aktionspunkte der LTO-Arbeiten abgeschlossen.
Betrieb der Kraftwerke Doel 4 und Tihange 3 zur Stromerzeugung bis Ende 2025	Läuft unter der aktuellen Genehmigung
SF ² KKW Doel und KKW Tihange	KKW Tihange: Durch königlichen Erlass vom 26. Januar 2020 wurde der Electrabel AG eine Errichtungs- und Betriebsgenehmigung für die Anlage zur Zwischenlagerung von abgebranntem Kernbrennstoff am Standort der Electrabel AG in Tihange erteilt. KKW Doel: Königlicher Erlass vom 1. Juli 2021, Errichtungs- und Betriebsgenehmigung für das Lager für abgebrannte Brennelemente (Spent Fuel Storage Facility) in Doel.
Umstrukturierung der Genehmigungen für das KKW Doel und das KKW Tihange	KKW Doel: Am 1. März 2022 wurden die Errichtungs- und Betriebsgenehmigungen der Electrabel AG für ihre Anlagen im Kernkraftwerk Doel durch einen königlichen Erlass geändert und ergänzt, um eine neu strukturierte Gesamtgenehmigung zu schaffen. Der Erlass wurde am 15. März auszugsweise im belgischen Staatsblatt veröffentlicht. KKW Tihange: Am 29. Mai 2022 wurden die Errichtungs- und Betriebsgenehmigungen der Electrabel AG für ihre Anlagen im Kernkraftwerk Tihange durch einen königlichen Erlass geändert und ergänzt, um eine neu strukturierte Gesamtgenehmigung zu schaffen. Der Erlass wurde am 17. Juni auszugsweise im belgischen Staatsblatt veröffentlicht. Diese königlichen Erlasse stellen eine administrative Umstrukturierung der bestehenden Betriebsgenehmigungen des KKW Doel und des KKW Tihange dar und wurden auf Initiative der Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) erlassen. Dabei wurde das Verfahren gemäß Artikel 13 des königlichen Erlasses vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen (AOSIS) angewandt. Die FANK bereitete diese Anpassung vor und legte sie dem Wissenschaftlichen Rat vor, der eine positive Stellungnahme dazu abgab. Ziel dieser administrativen Umstrukturierungen ist es, eine vollständig überarbeitete und vereinheitlichte Gesamtgenehmigung zu erhalten, die der bevorstehenden endgültigen Abschaltung von Kernreaktoren und ihrem endgültigen Rückbau Rechnung trägt. Darüber hinaus wurden die Genehmigungsbedingungen harmonisiert und verschiedene administrative und pünktliche Verbesserungen vorgenommen. Bei dieser Umstrukturierung der Genehmigungen wurden keine wesentlichen Lockerungen an den bestehenden Genehmigungsbedingungen vorgenommen.
Endgültige Abschaltung von Doel 3 und Tihange 2	Gemäß dem Gesetz vom 31. Januar 2003 wurde das Datum, zu dem der Leistungsreaktor Doel 3 stillgelegt werden muss und keinen Strom mehr erzeugen darf, auf den 1. Oktober 2022 festgelegt. Am 1. April 2022 erhielt die Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) von der Electrabel AG die „Mitteilung über die Abschaltung“ des Leistungsreaktors Doel 3 (KKWD3). Auf der Grundlage ihrer Analyse hält die FANK eine Änderung der Bedingungen für die Betriebsgenehmigung des Kernkraftwerks für erforderlich. Diese Änderung wurde in Anwendung der Artikel 17.1 und 13 des königlichen Erlasses vom 20. Juli 2001

Anlage(n)	Beschreibung
	zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen (AOSIS) vorgeschlagen. Die FANK bereitete diese Anpassung vor und legte sie dem Wissenschaftlichen Rat vor, der eine positive Stellungnahme dazu abgab. Diese Initiative zielt auf Folgendes ab: • den Reaktor Doel 3 als dauerhaft abzuschaltenden Reaktor zu definieren und klarzustellen, dass nur Arbeiten zur Vorbereitung des Rückbaus und der Entleerung der Kernbrennstoffdocks durchgeführt werden können; • die Artikel zu entfernen, die mit dem Leistungsbetrieb des Reaktors Doel 3 zusammenhängen und nicht mehr benötigt werden. Diese Änderungen stellen eine Verwaltungsvereinfachung dar; • ein neues allgemeines Kapitel für dauerhaft abgeschaltete Reaktoren zu erstellen, das die allgemeinen Anforderungen enthält, die während des EAS-Zeitraums gelten (nach der Abschaltung und bis zum Beginn des Rückbaus). Am 6. November 2022 wurden auf Initiative der Föderalagentur für Nuklearkontrolle durch einen königlichen Erlass die Errichtungs- und Betriebsgenehmigungen der Electrabel AG für ihre Anlagen im Kernkraftwerk Doel geändert und ergänzt. Der Erlass wurde am 2. Dezember 2022 auszugsweise im belgischen Staatsblatt veröffentlicht. Bei dieser Änderung der Genehmigungen wurden keine wesentlichen Lockerungen an den bestehenden Genehmigungsbedingungen vorgenommen.
Verlängerung von Doel 4 und Tihange 3 ¹²	Gegenstand dieser Umweltverträglichkeitsprüfung
Rückbau der Reaktoren nach der endgültigen Abschaltung und möglicherweise anderer Anlagen	Gegenstand einer neuen Umweltverträglichkeitsprüfung und Genehmigung

Seit der endgültigen Abschaltung (EAS) von Doel 3 (23. September 2022) und Tihange 2 (31. Januar 2023) für die industrielle Stromerzeugung befinden sich beide Standorte in einem Zustand, in dem ein Teil der Reaktoren noch Strom produziert (oder wegen Wartungsarbeiten oder aus anderen Gründen vorübergehend abgeschaltet ist) und ein anderer Teil sich in der Phase der endgültigen Abschaltung oder auch Nachbetriebsphase (Post-Operational-Phase oder POP) genannt befindet. Nach dem Abschalten des Reaktors stellt die POP die erste Phase der Stilllegung eines Reaktorblocks dar, gefolgt von der Rückbauphase und der Abbruchphase, wie in Abbildung 4 dargestellt, die auch eine ungefähre Schätzung des Zeitplans für jede der Phasen enthält.

¹² Einschließlich der zur Ermöglichung dieser Verlängerung erforderlichen Vorbereitungsarbeiten.

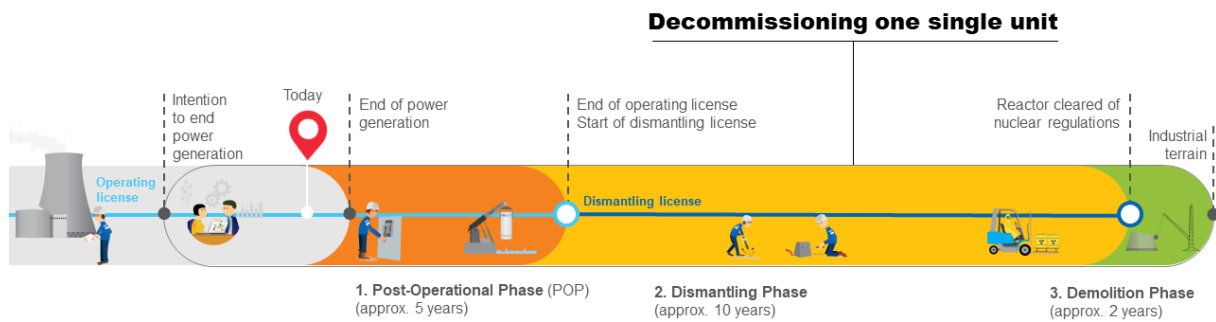


Abbildung 4: Abschaltung eines Reaktorblocks, wie sie derzeit von der Electrabel AG geplant ist (Abbildung Electrabel AG).

Die POP dauert je nach Block etwa 5 Jahre und kann in vier Phasen unterteilt werden, die sich auf eine Reihe von festgelegten Aktivitäten beziehen. Das Ende einer Phase ist mit einem bestimmten (betrieblichen/technischen) Zustand des Blocks verbunden.

Phase 1 beginnt nach dem Abschalten des Reaktors und der Trennung vom Stromnetz. Der Reaktor wird entladen und die Brennelemente, Steuerstäbe und andere nicht spaltstoffhaltige, stark emittierende Komponenten werden in das Spaltstofflagerbecken gebracht. Die Phase endet, wenn der Reaktor vollständig entladen ist.

Phase 2 umfasst die chemische Dekontamination der Primärkreisläufe. Die anderen Kreise im Kontrollbereich (außer um das Spaltstofflagerbecken) werden geleert und gereinigt. Die chemische Dekontamination erfolgt nach einer Methodik, die der internationalen bewährten Praxis und Erfahrung entspricht. Bei der chemischen Dekontamination wird das Innere der Hauptkomponenten der betreffenden Systeme mit chemischen Produkten gereinigt, wobei die Schicht mit der größten Aktivität (ausgefällte aktivierte Produkte bzw. Kernspaltungsprodukte) ganz oder teilweise entfernt wird. Die verwendeten Chemikalien und die ganz oder teilweise entfernte Schicht werden gesammelt, verarbeitet und der Rest als radioaktiver Abfall entsorgt.

Phase 3 endet, wenn die Brennelemente aus dem Brennelementlagerbecken entfernt werden. Nachdem die Nachwärme ausreichend abgeführt wurde, werden die Elemente in Container verladen und zur Kernbrennstoff-Behältereinheit (Splijtstof Container Gebouw - SCG) für den Standort Doel transportiert. Auch in dieser Phase werden die im Spaltstofflagerbecken vorhandenen nicht spaltbaren, stark emittierenden Komponenten als radioaktiver Abfall auf dem geeigneten Weg entsorgt. Die übrigen Kreise werden schrittweise aus dem Verkehr gezogen. In Tihange werden diese abgebrannten Brennelemente dann schrittweise in die beiden Gebäude gebracht, die ausschließlich für die Lagerung abgebrannter Brennelemente vorgesehen sind: DE und Spent Fuel Storage Facility (SF²).

Phase 4 umfasst die Entleerung und Reinigung des Spaltstofflagerbecken und der umliegenden Bereiche. Nach Abschluss dieser Phase ist das Kraftwerk bereit für den Rückbau.

Auch für Doel 4 und Tihange 3 muss die EAS oder POP sowieso stattfinden, ob mit oder ohne Projektdurchführung zur Verlängerung der Lebensdauer. Der einzige Unterschied ist der Zeitpunkt, zu dem die EAS stattfinden wird. Mit Projektdurchführung wird es mehr als 10 Jahre später sein als ohne Projektdurchführung.

Beim Rückbau, der in mehreren Teilschritten erfolgen kann und nach der Abschaltung beginnt, wird die Anlage demontiert. Die Anlagen, Strukturen und Komponenten werden entfernt und/oder dekontaminiert, um sie freizugeben, wiederzuverwenden, zu recyceln oder als radioaktiven Abfall zu behandeln.

Diese Phase ist ein integraler Bestandteil des Lebenszyklus des Kernkraftwerks. Es liegt nämlich in der Verantwortung des Betreibers, die Anlage nach ihrer endgültigen Abschaltung abzureißen und ihre ursprüngliche Umgebung wiederherzustellen. In der Praxis bedeutet dies, dass die Anlagen einer Wiese (auch als „grüne Wiese“ bezeichnet) oder anderen industriellen Anwendungen weichen müssen. Für den Beginn des Rückbaus ist eine Rückbaugenehmigung erforderlich, der eine eigene Umweltverträglichkeitsprüfung vorausgeht. Die Planung der

Electrabel AG sieht vor, dass einige Reaktorblöcke während der Projektlaufzeit rückgebaut werden und die Laufzeit von Doel 4 und Tihange 3 nach 2025 um weitere 10 Jahre verlängert wird.

Doel 4 und Tihange 3 müssen nach der Abschaltung und den POP ebenfalls rückgebaut werden. Wir beziehen die Auswirkungen auf die Mengen an radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen in die Bewertung des Projekts ein.

Zusammenfassend ist in Abbildung 5 der zeitliche Ablauf des Projekts (Verlängerung von Doel 4 und Tihange 3 um 10 Jahre) im Verhältnis zum Zustand der anderen Reaktoren an den beiden Standorten KKW Doel und KKW Tihange dargestellt.

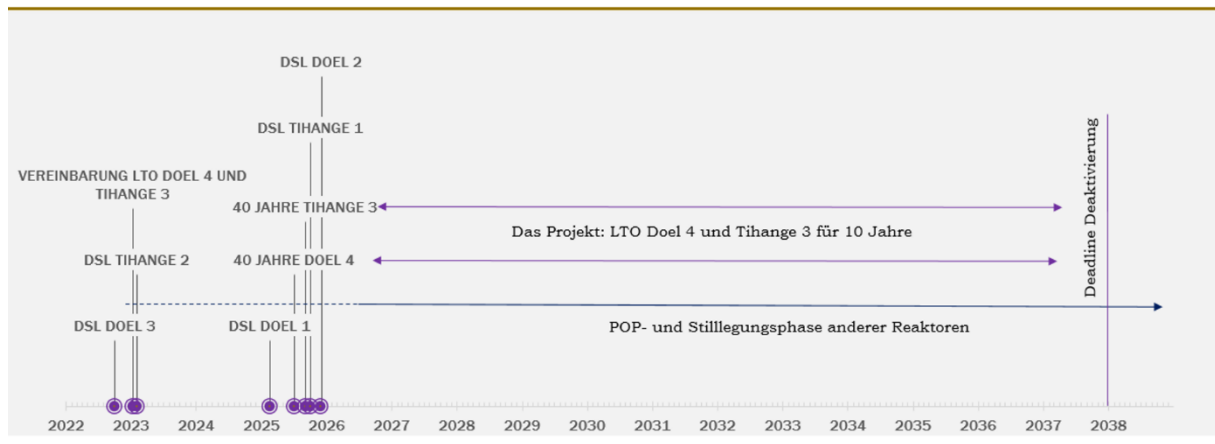


Abbildung 5: Zeitlicher Ablauf der Aktivitäten im Zusammenhang mit den verschiedenen Reaktoren an den Standorten KKW Doel und KKW Tihange (AES: Endgültige Abschaltung, POP: Post Operational Phase, LTO: Long Term Operations). Der 10-jährige Verlängerungszeitraum über 2025 hinaus ist zeitlich nicht genau festgelegt und kann sich daher verschieben, wobei das späteste voraussichtliche Datum der Abschaltung bei Verlängerung der 31. Dezember 2037 für beide Reaktoren ist. Nach der endgültigen Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 folgt in jedem Szenario eine Nachbetriebs- und Rückbauphase dieser Reaktoren (diese ist in der Abbildung für Doel 4 und Tihange 3 nicht dargestellt).

1.2.2 Entwicklung der Versorgungssicherheit im Zeitraum 2023-2032

1.2.2.1 Versorgungssicherheit nach 2025

Wie bereits erwähnt, liegt der Grund für die beabsichtigte Verlängerung der Laufzeiten von Doel 4 und Tihange 3 in dem Bestreben, die Stromversorgungssicherheit nach 2025 zu gewährleisten. Wenn das Atomausstiegsgesetz umgesetzt wird, würden in diesem Jahr die letzten fünf belgischen Kernkraftwerke geschlossen, was fast über Nacht eine Verringerung der Produktionskapazität um 3,9 GW bedeuten würde. Es ist wichtig zu wissen, was das in Bezug auf die Versorgungssicherheit bedeutet.

Gemäß dem Elektrizitätsgesetz ist Elia dafür verantwortlich, alle zwei Jahre eine Studie über die Angemessenheit und den Flexibilitätsbedarf Belgiens für das nächste Jahrzehnt zu veröffentlichen. In dieser Studie werden politische Optionen für den zukünftigen Energiemix in Belgien analysiert, sowohl kurz- als auch langfristig. Die letzte Fassung dieser Studie wurde 2021 veröffentlicht.

Elia berechnete in diesem Bericht auf der Grundlage einer umfassenden Simulation, dass im Jahr 2025, nach der vorgeschlagenen Abschaltung aller Kernkraftwerke, ein Bedarf an zusätzlicher flexibler Erzeugungskapazität von etwa 3,6 GW besteht, um die Standards für Versorgungssicherheit und Flexibilität zu erfüllen (siehe Abbildung 6). Bis 2032 würde dieser Bedarf auf 4,6 GW steigen, vor allem aufgrund der zunehmenden Elektrifizierung von Wirtschaft und Gesellschaft¹³.

Die Stromeinfuhren bieten keine ausreichende Antwort auf diese Frage. Es ist davon auszugehen, dass unter den derzeitigen Marktbedingungen in Verbindung mit der Abschaltung fossiler Kraftwerke in Deutschland und anderswo sowie der teilweisen Nichtverfügbarkeit des französischen Atomparks zu bestimmten Zeiten nur geringe Überkapazitäten auf dem nordwesteuropäischen Markt vorhanden sein werden. Hinzu kommt, dass die Zeiten der Stromknappheit in Belgien und den Nachbarländern stark korreliert sind. Elia weist übrigens darauf hin, dass selbst wenn der höhere Kapazitätsbedarf gedeckt ist, immer noch ein Einfuhrbedarf besteht. Im Zeitraum 2030-2031 würde dies Importe für 200 bis 500 Stunden pro Jahr im EU-SAFE-Szenario¹⁴ und für 500 bis 1000 Stunden pro Jahr im EU-BASE-Szenario bedeuten.

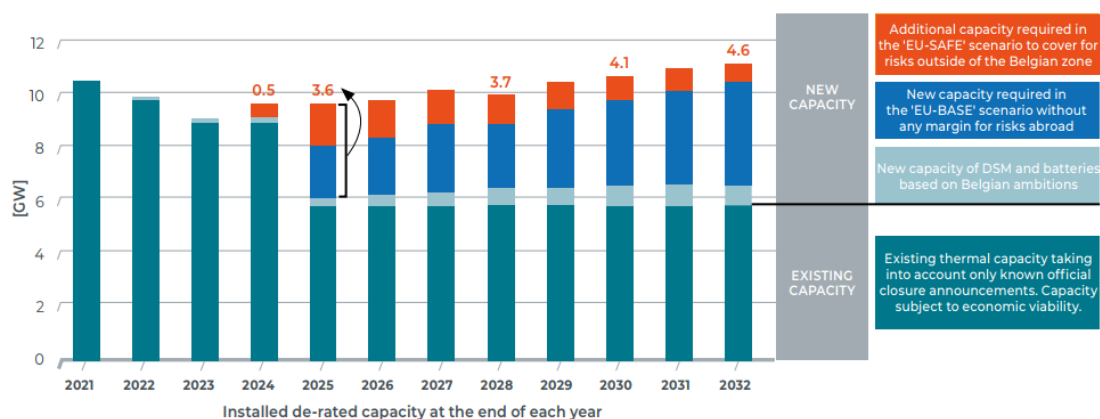


Abbildung 6: Entwicklung der bestehenden installierten Kapazität und der neu erforderlichen Kapazität zur Erfüllung des belgischen Zuverlässigkeitsstandards (Elia, 2021).

¹³ Elia geht (in ihrem „CENTRAL“-Szenario) von einem Strombedarf von 95,6 TWh im Jahr 2032 aus. Im Vergleich zur Nachfrage im Jahr 2022 bedeutet dies einen Anstieg von rund 11 %.

¹⁴ Das EU-SAFE-Szenario berücksichtigt schwer zu prognostizierende Unwägbarkeiten, auf die Belgien keinen Einfluss hat. Ein Szenario, bei dem vier Kernkraftwerke in Frankreich (zusätzlich zu den „normalen“ Ausfällen) nicht verfügbar sind, wird als repräsentativ für diese Risiken angesehen. In einem solchen Szenario kann weniger importiert werden, so dass mehr lokale Produktionskapazität benötigt wird.

Der Bedarf an zusätzlicher Kapazität könnte im Prinzip durch jede beliebige Technologie gedeckt werden (zusätzlich zu der Kapazität, die bereits in den Annahmen des CENTRAL-Szenarios für Belgien enthalten ist), z. B. durch thermische Produktion, erneuerbare Energien, Nachfragesteuerung (DSM) oder Speicherung. Jede dieser Möglichkeiten hat natürlich ihre eigenen Grenzen.

Auf der Grundlage wirtschaftlicher Modelle kommt Elia zu dem Schluss, dass der Kapazitätsmangel ab dem Jahr 2025 nicht in ausreichendem Maße durch die Marktkräfte ausgeglichen werden kann; es gibt keinen ausreichenden Anreiz, in (teure) neue Kapazitäten zu investieren. Elia argumentiert daher, dass ab 2025 strukturelle Eingriffe in den Markt auf der Grundlage eines Kapazitätsvergütungsmechanismus (capacity remuneration mechanism oder CRM) erforderlich sind. Dabei muss das so aufgebaute Produktionssystem nicht nur ausreichend Kapazität bereitstellen, sondern auch in der Lage sein, diese Kapazität mit ausreichender Flexibilität einzusetzen. In der Praxis scheinen moderne Gaskraftwerke vom Typ CCGT (Closed Cycle Gas Turbine) für diesen Zweck am besten geeignet zu sein.

Etwas längerfristig könnte die Lücke weitgehend und allmählich durch erneuerbare Energien geschlossen werden, obwohl auch dann die Verfügbarkeit schnell einsetzbarer Reservekapazitäten notwendig bleibt - und zwar umso mehr, je größer der Anteil der Windenergie am Energiemix¹⁵ ist.

Die Analyse von Elia aus dem Bericht über Angemessenheit und Flexibilität (adequacy and flexibility) für 2021 ist jedoch inzwischen teilweise von der Realität überholt worden. Die Energiekrise und der Krieg in der Ukraine haben die Rahmenbedingungen verändert. Während Elia noch von einem Gaspreis von etwa 6 Euro pro Gjoule ausging, waren die Gaspreise in der ersten Hälfte des Jahres 2022 viermal so hoch¹⁶. Außerdem ist (auf europäischer Ebene) die Versorgungssicherheit für Gas aus Russland gefährdet. Hinzu kamen die Probleme mit den französischen Kernkraftwerken, denn zeitweise war mehr als die Hälfte der französischen Atomparks aufgrund von Wartungsarbeiten und Pannen nicht in Betrieb.

Vor diesem Hintergrund der Ungewissheit möchte sich die Regierung stärker auf die inländischen Produktionskapazitäten konzentrieren und die Abhängigkeit von (ausländischen) fossilen Energieträgern verringern. Die Auktion nach dem CRM-Mechanismus hat zwar genügend Kapazität bereitgestellt, um das von Elia für 2021 berechnete Kapazitätsdefizit von 3,6 GW zu schließen (siehe auch unten), doch stellt sich im aktuellen Kontext die Frage, ob diese Kapazität unter allen Umständen und in allen Szenarien noch ausreicht, wenn man die höheren Preise, die wahrscheinlich geringere Verfügbarkeit ausländischer Kapazitäten (sowohl im Bereich der fossilen Energie als auch der Atomkraft) und die allgemeine geopolitische Instabilität berücksichtigt. Außerdem stecken die CRM-Funktionen derzeit noch in den Kinderschuhen.

In diesem Zusammenhang ist die Laufzeitverlängerung von Doel 4 und Tihange 3 eine logische Entscheidung; sie ermöglicht es, dem Netz relativ kurzfristig eine garantierte Kapazität von 2 GW wieder zur Verfügung zu stellen (d. h. nachdem die Anlagen 2025 zunächst abgeschaltet und nach den erforderlichen Änderungen und Verfahren wieder in Betrieb genommen wurden).

1.2.2.2 Versorgungssicherheit im Zeitraum bis 2025

Selbst für die Jahre bis zum geplanten Atomausstieg im Jahr 2025 besteht ohne Investitionen in zusätzliche Kapazitäten die Gefahr von Engpässen. Die Verfügbarkeit des französischen Atomparks scheint dabei eine wichtige Rolle zu spielen. In den Wintern 2023-2024 und 2024-2025 würde es in Belgien zu Engpässen von 1.000 bzw. 1.400

¹⁵ Elia hat errechnet, dass die Anzahl der Betriebsstunden der neuen effizienten Gaskraftwerke von rund 7.000 Stunden im Jahr 2025 auf 4.000 bis 5.000 Stunden im Jahr 2032 zurückgehen wird, was vor allem auf die stärkere Verbreitung erneuerbarer Energien zurückzuführen ist. Elia geht davon aus, dass der Anteil der erneuerbaren Energien am belgischen Energiemix im Jahr 2032 je nach Szenario zwischen 35 % und 55 % liegen wird. Wenn die Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3 verlängert wird, kann davon ausgegangen werden, dass die Betriebsstunden der Gaskraftwerke niedriger sind als hier angegeben.

¹⁶ Seitdem ist der Gaspreis erheblich gesunken, was jedoch die Volatilität des Marktes verdeutlicht.

MW¹⁷ kommen, während in Frankreich 6 Atomblöcke (zusätzlich zu den „normalen“ Ausfällen) nicht verfügbar wären. Elia geht in ihrem EU-SAFE-Szenario von einer etwas besseren Verfügbarkeit aus, wobei „nur“ 4 oder weniger zusätzliche Blöcke nicht verfügbar wären¹⁸. Unter dieser Annahme könnte sich das oben erwähnte (relativ begrenzte) Defizit in einen Kapazitätsüberschuss verwandeln, zumindest im Winter 2023-2024.

Angesichts der in den letzten Monaten deutlich gewordenen Anfälligkeit der französischen Atomproduktion liegt es auf der Hand, dass die durch den Ausstieg aus der Kernenergie möglicherweise entstehenden Lücken so weit wie möglich durch eigene Kapazitäten geschlossen werden sollten. Dies ist vor allem für den Zeitraum bis etwa 2028 von Bedeutung; danach dürfte normalerweise eine zusätzliche Kapazität von etwa 2,2 GW Windkraft aus der neu zu erschließenden Prinzessin-Elisabeth-Zone in der Nordsee verfügbar werden¹⁹.

Im Hinblick auf die Versorgungssicherheit gibt es zwei entscheidende Zeiträume:

- **Die Winter 2023-2024 und 2024-2025**, in denen die Atomkraftkapazität systematisch reduziert wird. Doel 3 wurde bereits am 23. September 2022 geschlossen. Am 31. Januar 2023 wurde auch Tihange 2 abgeschaltet. Im Jahr 2025 werden dann Doel 1 (15.2.), Tihange 1 (1.10.) und Doel 2 (1.12.) nacheinander endgültig abgeschaltet. Hinzu kommt die Schließung der konventionellen Kraftwerke Rodenhuije und Vilvoorde. Darüber hinaus würden in ganz Europa im Zeitraum 2022-2025 etwa 26 GW an thermischer Kapazität wegfallen. Elia hingegen geht indes davon aus, dass das neue EPR-Kraftwerk in Flamanville ab 2024 zumindest teilweise in Betrieb sein wird. Ein Anstieg der erneuerbaren Energien in diesem Zeitraum trägt ebenfalls dazu bei, einen Teil des Defizits auszugleichen. Dies erklärt, warum im Zeitraum 2021-2025, in dem die Atomkraftkapazität systematisch abgebaut wird, offenbar kein oder nur ein geringer Bedarf an neuen Kapazitäten (zusätzlich zu den bereits geplanten) besteht. Wie bereits erwähnt, spielt die Verfügbarkeit französischer Atomkraftkapazitäten hier eine wichtige Rolle. Eine weitere Voraussetzung ist, dass während dieses Zeitraums keine derzeit verfügbaren Kapazitäten vom Markt genommen werden.
- **Winter 2025-2026 und 2026-2027**. Bis 2025 sollen auch die Kernreaktoren Doel 4 (1/7) und Tihange 3 (1/9) gemäß dem Atomausstiegsgesetz abgeschaltet werden. Diese Abschaltung wird nicht von Dauer sein, denn nach den uns vorliegenden Plänen sollen die beiden Reaktoren im Herbst 2027 wieder hochgefahren werden. Im Zeitraum 2025-2027 werden die notwendigen Vorbereitungen für einen Neustart getroffen. In den beiden dazwischen liegenden Wintern sind jedoch keine Atomkapazitäten verfügbar. Im Vergleich zur Situation vor dem 23. September 2022 werden dann insgesamt 5,9 GW weniger nukleare Erzeugungskapazität zur Verfügung stehen; davon werden 3,9 GW im Jahr 2025 abgeschaltet. Wie aus Abbildung 6 hervorgeht, würde im Zeitraum 2025-2027 ein Kapazitätsbedarf von etwa 3,6 GW bestehen.

Wie bereits erwähnt, trägt das vorliegende Projekt nicht dazu bei, diese Lücke zu schließen, die entsteht, bevor die Verlängerung der Lebensdauer Wirklichkeit wird. Es stimmt jedoch, dass die Regierung ohnehin alle Anstrengungen unternehmen muss, um Engpässe in den Wintern 2025-2026 und 2026-2027 zu vermeiden. Bis dahin wird der CRM-Mechanismus im Prinzip funktionsfähig (und in der Lage sein, die erforderliche Leistung zu erbringen), aber angesichts der mit dem derzeitigen Kontext verbundenen Unsicherheiten kann nicht ausgeschlossen werden, dass zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein werden. Die in diesem Zusammenhang ergriffenen Maßnahmen werden hoffentlich nachhaltig und kosteneffizient genug sein, um auch nach der Wiederinbetriebnahme von Doel 4 und Tihange 3 einen weiteren Beitrag zur Versorgungssicherheit zu leisten.

¹⁷ Der Anstieg der Defizite in den drei Wintern (ohne den Ausbau zusätzlicher Kapazitäten) hängt mit der Schließung oder dem Kapazitätsabbau einiger konventioneller belgischer Kraftwerke (Rodenhuije, Vilvoorde) und der Wahrscheinlichkeit einer geringeren verfügbaren Kapazität in den Nachbarländern zusammen.

¹⁸ Die zusätzliche Nichtverfügbarkeit von 6 bzw. 4 französischen Blöcken bedeutet einen Verlust an verfügbarer Kapazität von etwa 5,4 bzw. 3,6 GW bei einer Gesamtkapazität des französischen Atomparks von etwa 60 GW. Davon stehen in „normalen“ Wintern knapp 10 GW nicht zur Verfügung, aber in den letzten Jahren war die Zahl höher.

¹⁹ Die Föderalregierung geht davon aus, dass mit der erhöhten Kapazität von (zukünftigen) Windkraftanlagen im gleichen Gebiet möglicherweise eine Kapazität von bis zu 3,5 GW ausgebaut werden könnte.

1.2.3 Alternativen

Eine Alternative für ein Projekt kann definiert werden als „eine andere Art zur Erreichung der Plan- oder Projektziele“. Die Frage ist also, ob es alternative Möglichkeiten gibt, das angestrebte politische Ziel zu erreichen.

Das mit der Laufzeitverlängerung von Doel 4 und Tihange 3 verfolgte politische Ziel ist die *Gewährleistung der Stromversorgungssicherheit*. Bei einem vollständigen Atomausstieg, wie er im Gesetz vorgesehen ist, würden bis Ende 2025 etwa 5,9 GW an Erzeugungskapazität wegfallen. Die Laufzeitverlängerung der beiden Reaktoren in Verbindung mit den bereits vorhandenen und weiter auszubauenden Kapazitäten (Gaskraftwerke, erneuerbare Energien usw.) wird die Erreichung dieses Ziels in der Tat stärker verankern.

Die Laufzeitverlängerung um 10 Jahre der Kernreaktoren Doel 4 und Tihange 3 ist in erster Linie eine politische Entscheidung, die durch unerwartete und unerwünschte Entwicklungen auf dem Energiemarkt und in der geopolitischen Lage in Europa bedingt ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Regierung bei der Vorbereitung dieser Entscheidung geprüft hat, ob gleichwertige Alternativen zur Verfügung standen, und wenn ja, die Vor- und Nachteile dieser Optionen abgewogen hat.

Dennoch ist es sinnvoll, kurz auf die möglichen Alternativen einzugehen, die zumindest theoretisch für die Stromversorgungssicherheit zur Verfügung stehen (oder stehen könnten). Theoretisch kommt jede Kombination von Energieformen in Frage, die eine ausreichende Kapazität und ein hohes Maß an Betriebssicherheit gewährleisten kann. Es reicht jedoch nicht aus, theoretische Ersatzalternativen in Form alternativer Energiemixe zu entwerfen. Auch diese Alternativen müssen den Test der Angemessenheit bestehen. Das bedeutet u. a., dass sie realistisch und erfolgversprechend sein müssen, d. h., dass die kurzfristige Realisierung dieser Alternativen eine plausible Option ist. Wir gehen daher im Folgenden kurz auf die verschiedenen offenen Optionen ein.

Der **CRM-Mechanismus** galt bis vor kurzem als die bevorzugte Lösung zur Überbrückung des Zeitraums zwischen der endgültigen Abschaltung aller Kernkraftwerke (im Jahr 2025) und dem Zeitpunkt, an dem ausreichende Kapazitäten für erneuerbare Energien zur Verfügung stehen würden. Wie oben dargestellt, berechnete Elia im Jahr 2021, dass im Jahr 2025, nach der vorgeschlagenen Abschaltung aller Kernkraftwerke, ein Bedarf an zusätzlicher flexibler Erzeugungskapazität von etwa 3,6 GW besteht, um die Standards für Versorgungssicherheit und Flexibilität zu erfüllen. Darüber hinaus hat Elia bereits in der Angemessenheits- und Flexibilitätsstudie 2019 darauf hingewiesen, dass selbst bei einer Laufzeitverlängerung von zwei Reaktoren mit einer Gesamtkapazität von 2 GW (= Doel 4 und Tihange 3) ein struktureller Bedarf an zusätzlichen Kapazitäten bestehen würde. Die Gaskraftwerke (und andere Formen des CRM), deren Bau und Betrieb von der Regierung vorgesehen sind, werden also in jedem Fall notwendig bleiben.

Obwohl der ZRM-Mechanismus im Prinzip für jede Art von bestehender oder künftiger Kapazität (Erzeugung, Speicherung, Nachfragesteuerung) offen ist, scheint es in der Praxis so zu sein, dass die Bewerber hauptsächlich auf Gaskraftwerke (GuD) setzen. Wie bereits erwähnt, ist dies in der derzeitigen Situation mit hohen Gaspreisen und einem Rückgang der Gaslieferungen aus Russland (auf europäischer Ebene) nicht unbedingt die naheliegendste Option. Auch die mit Gaskraftwerken verbundenen CO₂-Emissionen sind ein Problem. Durch das ETS-System wirken sich diese Emissionen auch auf die Produktionskosten aus.

Bei der ersten Auktion im Jahr 2021 wurde auf der Grundlage der Gebote eine Gesamtkapazität von 4447,7 MW ausgewählt, davon 80,6 % in Form von Gas- und Dampfturbinen (GuD). Davon entfiel eine Kapazität von 1607,6 MW auf neue Anlagen. Im April 2022 wurde auf der Grundlage der Auktion von 2021 eine neue Zuteilung von 805,3 MW vorgenommen, die die GuD-Blöcke mit einer Gesamtleistung von 796 MW ersetzt, für die in Flandern keine Umweltgenehmigung erteilt wurde. Bei der Auktion 2022 wurden weitere 807 MW an neuer GuD-Kapazität angeboten, zusammen mit einigen anderen, kleineren Angeboten. Keines dieser Angebote wurde jedoch ausgewählt, da die benötigte Menge vollständig durch die auf die zweite Auktion übertragene Menge abgedeckt war. Die im Jahr 2025 verfügbare zusätzliche Kapazität (von der ein großer Teil noch gebaut werden muss) beträgt somit weiterhin rund 4,48 GW. Im Prinzip reicht dies aus, um die ab 2025 entstehende Kapazitätslücke zu schließen, aber wie bereits erwähnt, möchte sich die Regierung in der gegenwärtigen Situation nicht vollständig und ausschließlich auf die CRM-Kapazität verlassen.

Beim System der **strategischen Reserve** werden die Produzenten dafür bezahlt, bei drohenden (temporären) Engpässen zusätzliche Produktion auf Abruf bereitzustellen. Neben einer zusätzlichen Produktion kann es auch zu einer Verringerung der Abnahme auf der Nachfrageseite kommen. Jedes Jahr ermittelt Elia anhand von Prognosen und Modellberechnungen, ob im folgenden Winter ein Einsatz der strategischen Reserve erforderlich sein könnte und wie groß die zusätzliche Kapazität sein muss. Das System der strategischen Reserve eignet sich jedoch nicht als strukturelle Lösung für einen systemischen Kapazitätsengpass.

Belgien ist eines der am besten vernetzten Länder in Nordwesteuropa. Durch die Verbindungskapazitäten kann etwa die Hälfte des Spitzenbedarfs importiert werden. Dies setzt jedoch voraus, dass auch im Ausland ausreichende Reserven vorhanden sind. Allerdings sind die **Importmöglichkeiten** aus dem Ausland, wie gesehen, seit einiger Zeit unter Druck, unter anderem wegen des deutschen Atomausstiegs und des Ausstiegs aus fossilen Brennstoffen. Vor kurzem kamen die Probleme mit den französischen Kernkraftwerken hinzu (siehe oben). Zwar ist Belgien seit 2019 ein Nettoexporteur von Strom (mit Exporten von 7,88 TWh im Jahr 2021, was mehr als 8 % der belgischen Nettostromerzeugung entspricht), doch wird sich dieser Trend nicht fortsetzen, da der Atomausstieg konkreter wird und die eigene verfügbare Kapazität weiter reduziert wird.

Elia hat beispielsweise errechnet, dass Belgien im Jahr 2025 (wenn der im Gesetz vorgesehene Atomausstieg vollzogen wäre) auf Importkapazitäten von mindestens 3 GW für mehr als 2.000 Stunden pro Jahr und auf Importkapazitäten von mindestens 5 GW für mehr als 200 Stunden pro Jahr angewiesen wäre - unter der Annahme, dass keine neuen Kapazitäten aufgebaut würden, um den in Belgien wegfallenden Atomstrom zu kompensieren. Diese Zahl berücksichtigt natürlich auch nicht die Verlängerung von Doel 4 und Tihange 3.

Der Ausbau der Erzeugung **erneuerbarer Energien** ist in vollem Gange; die geschaffenen Kapazitäten dienen (vor allem auf europäischer Ebene) in erster Linie dazu, den Ausfall fossiler Produktionseinheiten zu kompensieren. Ende 2021 betrug die installierte Gesamtkapazität an erneuerbaren Energien in Belgien 13,06 GW, was etwa 47 % der gesamten installierten Stromerzeugungskapazität entspricht. Aufgrund der relativ geringen Auslastung (load factor²⁰) dieser Erzeugungsanlagen betrug der Anteil der erneuerbaren Energien an der belgischen Gesamterzeugung jedoch nur etwa 18 %, während der Anteil der Kernenergie (mit einem Kapazitätsanteil von nur 21,3 %) 49,7 % der Erzeugung ausmachte. Dies zeigt, dass die Erzeugung erneuerbarer Energien noch erheblichen Nachholbedarf hat, wenn sie die wegfallende Atomkapazität irgendwann vollständig ersetzen soll. Auch hier können u. a. Genehmigungsfragen Probleme verursachen. So ist beispielsweise der Anschluss von etwa 3,5 GW neuer Windenergie aus der so genannten „Prinzessin-Elisabeth-Zone“ in der Nordsee bis 2028 von der Genehmigung und Realisierung des Ventilus-Projekts abhängig.

Elia geht davon aus, dass im Jahr 2032 (im „CENTRAL“-Szenario) 12,2 GW an Solarenergie, 5,4 GW an Onshore-Windkraft, 4,4 GW an Offshore-Windkraft, 157 MW an Wasserkraft und 904 MW an Biomasse zur Verfügung stehen werden, zusammen eine Kapazität von etwa 23 GW, was einem Anstieg von über 76 % gegenüber der Situation im Jahr 2021 entspricht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mehrere der möglichen alternativen Energiequellen keine wirklichen Alternativen sind: Die Kapazitäten für erneuerbare Energien sind noch nicht ausreichend entwickelt, die Importmöglichkeiten stehen unter Druck, und die strategische Reserve ist nicht für eine strukturelle Nutzung vorgesehen. Der CRM-Mechanismus ist die naheliegendste Alternative und wird daher auch weiterentwickelt. In diesem Sinne handelt es sich nicht um eine echte Alternative, sondern um eine zusätzliche Garantie, die in Kombination mit der Laufzeitverlängerung von Doel 4 und Tihange 3 die Stromversorgungssicherheit gewährleistet. Wie bereits erwähnt, geht Elia übrigens davon aus, dass die durch den CRM-Mechanismus bereitgestellte Kapazität auch bei einer Verlängerung der Lebensdauer der beiden Kraftwerke weiterhin benötigt wird. Dies ist auch

²⁰ Verhältnis zwischen der tatsächlichen Produktion und der theoretischen Produktion bei kontinuierlicher Verfügbarkeit bei Nennkapazität.

offensichtlich, da die Lücke im Jahr 2025 auf 3,6 GW geschätzt wurde, von denen nur 2 GW durch die Betriebsverlängerung der Kraftwerke geschlossen werden können.

In der vorliegenden Analyse beschränken wir uns auf die Darstellung der Umweltauswirkungen einer Betriebsverlängerung der Kernreaktoren Doel 4 und Tihange 3 über einen Zeitraum von 10 Jahren. Dabei stellen wir also keinen Vergleich mit den Auswirkungen alternativer (hypothetischer) Lösungen²¹ an, die, wie gesehen, kurzfristig nicht vorhanden sind. Wir vergleichen dies mit der Situation, in der das Projekt nicht durchgeführt worden wäre und somit die Lebensdauererlängerung nicht realisiert worden wäre.

1.2.4 Referenzzustand und Referenzszenario

Bei einer Umweltprüfung ist eine klare Definition der Referenzsituation erforderlich, um die Auswirkungen des Plans oder Projekts zu veranschaulichen. Der Referenzzustand ist per Definition der Zustand der Umwelt, der sich ergeben würde, wenn ein Plan oder Projekt nicht durchgeführt würde; er ist die Grundlage für den Vergleich der Auswirkungen des Plans oder Projekts. Der Referenzzustand ist in diesem Fall also der Zustand, der sich ergeben würde, wenn die Laufzeit von Doel 4 und Tihange 3 nicht verlängert würde, wenn also Doel 4 und Tihange 3 nach dem Zeitplan des Atomausstiegsgesetzes im Jahr 2025 endgültig abgeschaltet würden. Der Zustand, der eintreten würde, wenn das Projekt durchgeführt würde (Verlängerung der Lebensdauer), wird mit diesem Referenzzustand (keine Verlängerung der Lebensdauer) verglichen. Die Differenz zwischen den beiden Werten gibt die Auswirkungen des Plans oder Projekts (in diesem Fall die Lebensdauererlängerung) an (Abbildung 7).



Abbildung 7: Schematische Darstellung des Referenzzustandes.

Der Referenzzustand ist in diesem Fall im Prinzip der Zustand der Umgebung im Jahr 2025.

Es wird davon ausgegangen, dass sich dieser Referenzzustand (unter dem Einfluss von Entwicklungen, die nicht mit dem Betrieb von Doel 4 oder Tihange 3 zusammenhängen) während des Zeitraums der Laufzeitverlängerung nicht grundlegend ändert, zumindest nicht in einer Weise, die die Bewertung der Umweltauswirkungen verändert. Sollte dem jedoch doch so sein, muss die (veränderte) Referenzsituation am Ende dieses Zeitraums berücksichtigt werden.

Neben dem Referenzzustand verwenden wir in dieser UVP auch die Begriffe „Referenzzeitraum“ und „Referenzszenario“. Diese Begriffe ergeben sich aus der Besonderheit des Projekts, die darin besteht, dass die Auswirkungen auf einen bestimmten Zeitraum begrenzt sind, mit feststehendem Beginn und Ende. Dieser zeitlich

²¹ Eine Ausnahme sind dabei die sogenannten „vermiedenen Emissionen“, siehe unten.

begrenzte Zeitraum wird als *Referenzzeitraum* bezeichnet. Bei Auswirkungen, die eine klare zeitliche Dimension haben (z. B. Menge der emittierten Schadstoffe pro Jahr, Menge des erzeugten Abfalls pro Jahr usw.), wird bei der Umweltprüfung auch die kumulative Auswirkung über den Referenzzeitraum betrachtet, indem die Mengen pro Jahr zu einer Gesamtsumme für den Zeitraum addiert werden oder eine vergleichbare Schätzung der kumulativen Auswirkungen über den Verlängerungszeitraum vorgenommen wird.

Schließlich sprechen wir in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung auch über das *Referenzszenario*. Dies beschreibt die projektbezogenen Entwicklungen im Referenzzeitraum, wenn das Projekt nicht umgesetzt wird. Dieses Szenario geht davon aus, dass an den Standorten Doel und Tihange kein Kernreaktor mehr aktiv ist. Für die Kraftwerke Doel 3 und Tihange 2 wird die Nachbetriebsphase bis 2027 weitgehend oder vollständig abgeschlossen sein, und der Rückbau wird begonnen haben. Für die Reaktoren Doel 1, Doel 2 und Tihange 1 läuft die Nachbetriebsphase bis etwa 2030, danach beginnt auch für diese Reaktoren der Rückbau.

Die Form des Rückbaus und die damit verbundenen Umweltauswirkungen sind derzeit nicht bekannt und können daher bei der vorliegenden Umweltverträglichkeitsprüfung nicht berücksichtigt werden. Für den Rückbau der verschiedenen Reaktoren werden jedoch auch in Zukunft umfassende Umweltverträglichkeitsprüfungen auf Projektebene durchgeführt werden.

1.2.5 Potenziell relevante autonome und gesteuerte Entwicklungen

Um die Referenzsituation in Bezug auf die Umweltqualität zu kennen, müssen wir prüfen, ob es zwischen heute und 2025 Entwicklungen gibt, die zu einer Abweichung von der heutigen Situation führen könnten. Darüber hinaus müssen wir auch sehen, ob und wie sich diese Entwicklungen über den Zeitraum der Lebensverlängerung fortsetzen.

In erster Linie gibt es eine Reihe von **autonomen Entwicklungen**, die möglicherweise auf menschliches Handeln zurückzuführen sind, aber innerhalb des zeitlichen und räumlichen Rahmens des Projekts nicht kontrolliert werden können. Ein Beispiel dafür ist der Klimawandel. Es ist davon auszugehen, dass der Zustand des Klimas im Jahr 2037 ein anderer sein wird als im Jahr 2023. Ob dies relevant ist und welche Konsequenzen dies gegebenenfalls hat, wird im Fach Klima erörtert.

Als Nächstes müssen wir **politikgesteuerte Entwicklungen** berücksichtigen, die zu einer Verbesserung der Umweltqualität führen. Dies ist beispielsweise bei der Wasser- und Luftqualität der Fall und wird unter den jeweiligen Fachgebieten näher erläutert. Infolge dieser Entwicklungen wird sich der Zustand der Umwelt im Jahr 2025 voraussichtlich nicht grundlegend vom Zustand im Jahr 2023 unterscheiden. Über den Zeitraum der Lebensverlängerung wird sich die begonnene Verbesserung selbstverständlich (aller Voraussicht nach) fortsetzen.

Schließlich gibt es noch **andere kontrollierte Entwicklungen**, die direkt auf menschliches Handeln zurückzuführen sind, aber nichts mit der Politik zu tun haben. Dies betrifft z. B. neue Projekte, die in der Nähe der Projektstandorte realisiert werden können, oder andere (räumliche) Entwicklungen mit potenziellen Umweltauswirkungen. Wenn diese Entwicklungen Auswirkungen auf die Anfälligkeit des umliegenden Gebiets haben oder wenn sie zu bedeutenden kumulativen Auswirkungen mit den in dieser UVP erörterten Auswirkungen von Doel 4 und Tihange 3 führen könnten, dann wird dies erklärt. Die Verträglichkeitsprüfung wird daher diese Elemente berücksichtigen (falls zutreffend).

Für den Standort **Doel** werden im Folgenden die wichtigsten potenziell relevanten Entwicklungen kurz beschrieben.

- Komplexes Projekt Extra Containerkapazität Antwerpen (KP ECA): Dieses Projekt umfasst den Bau eines neuen Gezeitendocks im Hafen von Antwerpen, östlich des Dorfes Doel, das an das bestehende Deurganck-Dock angeschlossen wird. Große Containerschiffe (mit einer Länge von bis zu 400 m) werden an diesem Dock andocken. An den Containerkais werden Container transportiert, be- und entladen und/oder zwischengelagert. Angrenzend an den Containerkai entsteht zudem ein neues Logistikareal, auf dem z. B. Aktivitäten im Bereich der Mehrwertlogistik stattfinden können.
Im Moment befindet sich dieses Projekt noch in der Entwicklungsphase (= Studienphase). Die Entscheidung über dieses Projekt wird voraussichtlich im Jahr 2023 fallen. Nach der Projektentscheidung wird mit dem Bau des Docks begonnen. Der Bau des Docks wird mehr als drei Jahre dauern. Zum Zeitpunkt

der Wiederinbetriebnahme von Doel 4 könnte das neue Dock also bereits in Betrieb sein, wenn auch wahrscheinlich noch nicht mit voller Kapazität. Diese Kapazität dürfte jedoch im Laufe des 10-Jahres-Zeitraums, der der Laufzeitverlängerung von Doel 4 entspricht, ausgeschöpft werden; parallel dazu werden auch die atmosphärischen Emissionen zunehmen, insbesondere die von Seeschiffen.

Da die auf Doel 4 zurückzuführenden konventionellen atmosphärischen Emissionen im Vergleich zu den ECA-Emissionen (sehr) gering sind (und erst recht im Vergleich zu den Emissionen im gesamten Hafengebiet), werden die kumulierten atmosphärischen Emissionen innerhalb des Untersuchungsgebiets kaum davon beeinflusst, ob Doel 4 in Betrieb bleibt oder nicht. Diese Argumentation gilt mutatis mutandis auch für Mobilitäts- und Lärmauswirkungen. Auch bei diesen Aspekten wird die Umweltqualität in erster Linie durch Entwicklungen bestimmt, die unabhängig von der Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 Auswirkungen auf die Referenzsituation haben, und die zusätzlichen Auswirkungen von Doel 4 auf diese Referenzsituation sind begrenzt.

- Für das Dorf Doel, das nicht für die ECA verschwinden soll, läuft ein separates Projekt, um eine nachhaltige Zukunftsperspektive im Rahmen der bevorzugten Entscheidung über die ECA zu entwerfen. Derzeit ist Doel Wohngebiet (laut Flächennutzungsplan) und es ist faktisch auch eine Nutzung als Wohnraum vorhanden. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Situation (Planung und Realität) nicht grundlegend ändern wird. Während des Verlängerungszeitraums von Doel 4 wird keine signifikante Zunahme oder Abnahme der Einwohnerzahl in Doel angenommen. Die Anfälligkeit der Umwelt in Bezug auf menschliche Rezeptoren wird daher nicht bedeutend verändert. Auch hier wird die Exposition gegenüber konventionellen Umweltauswirkungen in dem Dorf von den Auswirkungen des Hafens dominiert.
- Auf der anderen Seite der Schelde, zwischen Scheldelaan und Kanaaldok B2, plant INEOS das „Project ONE“, eine Propandehydrierungsanlage (PDH), in der Propangas in Propylen umgewandelt wird, und einen Ethancracker, in dem Ethangas in Ethylen umgewandelt wird. Aufgrund seiner Größe und Komplexität wird die Realisierung des Projekts in verschiedenen Phasen über einen Zeitraum von vier bis fünf Jahren erfolgen. Es ist davon auszugehen, dass die Anlagen zum Zeitpunkt des Beginns der Laufzeitverlängerung von Doel 4 bereits weitgehend in Betrieb sein werden. In den ersten Jahren des zusätzlichen Betriebs von Doel 4 wird Ineos Project One schrittweise die volle Kapazität erreichen. Auch hier können wir sagen, dass die Auswirkungen von Doel 4 im Vergleich zu den Auswirkungen von Project One gering sein werden.
- Naturentwicklung: Im Rahmen der Entwicklung des Hafens von Antwerpen und des Sigma-Plans werden Naturentwicklungsprojekte in unmittelbarer Nähe des KKW Doel geplant und umgesetzt. Diese Projekte erhöhen die Naturwerte und damit die potenzielle Anfälligkeit der Umgebung. Da diese Kompensationsprojekte realisiert werden müssen, bevor die Umsetzung der ECA beginnen kann, kann davon ausgegangen werden, dass sie ab 2027 vollständig Teil der Referenzsituation sind.
- Umsetzung der verschiedenen Schritte im Atomausstiegsgesetz: Die vorliegende UVP untersucht die Folgen einer längeren Offenhaltung des Reaktors Doel 4. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die anderen Schritte, die im Atomausstiegsgesetz vorgesehen sind. Während des Referenzzeitraums werden die drei anderen Reaktoren am Standort nicht in Betrieb sein und sich in verschiedenen Stadien der Abschaltung (Nachbetriebsphase oder Stilllegung) befinden, wie oben beschrieben. Die kumulativen Auswirkungen dieser Tätigkeiten werden in dieser UVP nicht ausdrücklich dargestellt, da zu wenig über die Art dieser Tätigkeiten und die damit verbundenen Emissionen bekannt ist. Allerdings müssen auch für die Rückbauaktivitäten Umweltverträglichkeitsprüfungen erstellt werden, die möglicherweise auch den Betrieb von Doel 4 in der Referenzsituation einschließen und somit auch die kumulativen Auswirkungen aufzeigen könnten. Soweit sich die Abschaltung von Doel 1, 2 und 3 auf die Ausgangsbasis auswirkt, an der die Auswirkungen eines längeren Betriebs von Doel 4 gemessen werden (z. B. durch Verringerung der Emissionen), wird dies in der vorliegenden UVP berücksichtigt. Sofern bei der Erörterung der verschiedenen Umweltthemen nicht anders angegeben, gehen wir jedoch davon aus, dass sich die Referenzsituation während der Laufzeitverlängerung von Doel 4 im Vergleich zur heutigen Situation nicht grundlegend ändert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in der Nähe des Standorts mehrere Projekte in Vorbereitung sind, von denen angenommen werden kann, dass sie zum Zeitpunkt der Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4

(zumindest teilweise) in Betrieb sind. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass sich die Auswirkungen dieser Projekte im Laufe des Referenzzeitraums entwickeln können, schlagen wir die Annahme vor, dass diese Projekte (ECA, Project One) ab 2027 mit voller Kapazität in Betrieb sein werden.

Im Vergleich zur heutigen Situation wird die zukünftige *Referenzsituation* im Verlängerungszeitraum für Doel aufgrund der oben beschriebenen Entwicklungen also einerseits durch mehr Naturentwicklung, andererseits aber auch durch mehr Luftemissionen und ein verschlechtertes Lärmklima, verbunden mit einer starken Zunahme der Verkehrserzeugung, gekennzeichnet sein. Soweit kumulative Effekte auftreten, ist der Beitrag von Doel 4 zu diesen Effekten sehr begrenzt.

Im Hinblick auf den Fall des Kraftwerks **Tihange** wird im Folgenden ein Überblick über eine Reihe von autonomen und kontrollierten Entwicklungen gegeben, die für die Bewertung der Umweltauswirkungen des Aufschubs der Abschaltung von Tihange 3 relevant sein können:

- Kapazitätserweiterung der Schleuse von Ampsin, die sich etwa 1 km flussabwärts an der Maas befindet, zur Großraumschleuse. Diese Erweiterung wird die Binnenschifffahrt für Großraumschiffe (4.500 Tonnen im Fall von Ampsin) von Namur über den Albertkanal bis in die Niederlande und nach Antwerpen ermöglichen. Die Bauarbeiten haben bereits begonnen und die Schifffahrt ist schon seit Januar 2022 möglich. Die Arbeiten werden fortgesetzt und sollen im Laufe des Jahres 2024 oder 2025 abgeschlossen werden. Dieses Projekt wird bei der Verlängerung der Kraftwerke umgesetzt worden sein.
- Obwohl es sich um ein großes Infrastrukturprojekt handelt, wird nicht davon ausgegangen, dass es sich mit dem Projekt, das Gegenstand dieser UVP ist, überschneidet. Sofern die mit Umweltauswirkungen (Lärmbelästigung, Emissionen, Verkehrserzeugung usw.) verbundene Bauphase abgeschlossen ist, sind diese Auswirkungen Teil der Referenzsituation der Umweltprüfung für Tihange 3. Da die Auswirkungen in der Betriebsphase mit der Zunahme des Schiffsverkehrs zusammenhängen, wird in Erwägung gezogen, dass keine kumulativen Auswirkungen durch die Verlängerung des Reaktors Tihange 3 zu befürchten sind.
- In einem Umkreis von etwa zehn Kilometern um das Kraftwerk Tihange sind verschiedene industrielle Großprojekte geplant:
 - a. Projekt für ein neues Abfallsortierzentrum, das von der Firma Vanheede in Hermalle-sous-Huy (> 6 km östlich vom KKW Tihange) getragen wird;
 - b. Projekt für ein neues Werk zur Herstellung von Kompressorschaukeln für Flugzeugmotoren, das von der Firma Safran in Marchin ($\pm$ 4,5 km südwestlich vom KKW Tihange) getragen wird;
 - c. Projekt CO₂ncREAT, das aus der von der Firma Orbix entwickelten Karbonatisierungstechnologie hervorgegangen ist, die einen nachhaltigen Verwertungsweg für bestimmte Nebenprodukte der Eisen- und Stahlindustrie bietet: Es geht darum, diese Materialien mit CO₂ reagieren zu lassen, um daraus Bauelemente herzustellen. Das Projekt wird von dem Konsortium Prefer (Produzent von Baumaterialien), Fluxys Belgium (Experte für Rohrleitungen), Lhoist (Kalkproduzent, CO₂-Lieferant) und Orbix getragen. Ihr genauer Standort ist derzeit nicht bekannt, sollte jedoch mehr als etwa 6 km vom KKW Tihange entfernt liegen (zwischen dem bestehenden Standort in Lhoist, der 6 km entfernt ist, und dem Standort in Prefer, der noch weiter östlich liegt).

Zurzeit befinden sich diese Projekte noch in der Entwicklungsphase (= Studienphase). Diese Phase wird, je nach Projekt, normalerweise bis Ende 2023 oder bis 2024 dauern und mit einer Entscheidung über jedes Projekt abschließen. Sobald eine Entscheidung über ein Projekt getroffen wurde, wird mit dem Bau begonnen, was zwischen 1 und 3 Jahren dauern würde. Diese Projekte könnten daher zwischen 2024 und 2027 in Betrieb gehen.

Angesichts der in Betracht gezogenen Entfernungen (> 4 km) sind nur die folgenden möglichen Auswirkungen zu erwarten:

- a. Mobilität: Der Verkehr, der durch diese Projekte während der Bau- und Betriebsphase entsteht, wird überwiegend über die N90 bzw. N684 abgewickelt. Wie im Abschnitt 2.2.1 erwähnt, ist der Verkehr auf diesen Nationalstraßen nicht überlastet und wird nur zu maximal 8 % durch den Verkehrsfluss des Kraftwerks Tihange beeinflusst. Daher sind keine signifikanten kumulativen Auswirkungen mit diesen Projekten zu erwarten;

- b. Luftemissionen: Die potenziellen kumulativen Auswirkungen beziehen sich hauptsächlich auf Emissionen aus Verbrennungsanlagen (z. B. NO_x) und Treibhausgasemissionen (CO₂). Was die Emissionen betrifft, so sind diese aufgrund der Art der Projekte gering (keine Großfeuerungsanlagen - über 50 MWth) und die potenziellen Auswirkungen haben einen begrenzten Wirkungsradius (ca. 3 km), was bedeutet, dass die potenziellen kumulativen Auswirkungen vernachlässigbar sind. Es ist zu erwähnen, dass das CO₂ncREAT-Projekt sogar einen positiven Effekt hätte, indem es die CO₂-Emissionen in dem betrachteten Radius reduzieren würde;
- c. Thermische Auswirkungen in der Maas mit Auswirkungen auf die aquatische Biosphäre infolge der Einleitung von Kühlwasser: Aufgrund der Art der Projekte gibt es keine Großfeuerungsanlagen (über 50 MWth), wodurch die Erzeugung großer Mengen an Kühlwasser eingeschränkt wird. Daher sind keine signifikanten kumulativen Auswirkungen zu erwarten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass angesichts der Entfernung zwischen diesen Projekten und dem KKW Tihange und angesichts der Art der Projekte selbst keine signifikanten kumulativen Auswirkungen mit den großen derzeit geplanten Industrieprojekten in der Umgebung des Kraftwerks zu befürchten sind.

- Wärmekraftwerksprojekte (Combined Cycle Gas Turbine) in Awirs und Seraing: Diese beiden Projekte sollen die Schließung der belgischen Kernreaktoren zwischen 2022 und 2025 teilweise kompensieren (andere Maßnahmen wurden befürwortet, z. B. die Berücksichtigung ausländischer Reserven). Diese Projekte wurden über den Kapazitätsvergütungsmechanismus ausgewiesen, der nach dem geplanten Atomausstieg eingeführt wurde. Für diese Projekte wurden bereits Umweltgenehmigungen erteilt, und die jeweiligen Bauarbeiten haben 2022 begonnen, um die Inbetriebnahme 2025 zu ermöglichen. In beiden Fällen geht es um eine Leistung von 805 MW. Diese Kraftwerke liegen flussabwärts vom KKW Tihange an der Maas, Awirs ± 12 km und Seraing ± 17 km entfernt.
- Wie bei den anderen oben genannten Projekten bedeutet die Entfernung zwischen dem Projekt und diesen Wärmekraftwerken, dass keine kumulativen Auswirkungen auf den gesamten Umweltbereich zu erwarten sind, mit Ausnahme der Wärmeeinleitungen in die Maas, die sich auf die Wasserfauna auswirken könnten. Das KKW Tihange und diese beiden Wärmekraftwerke sind nämlich sehr große Emittenten von Kühlwasser in der Maas, für dessen Verdünnung und Wärmeverlust in der Maas große Entfernungen erforderlich sind. Diesbezügliche Wechselwirkungen wurden bei der Umweltverträglichkeitsprüfung beider Kraftwerke festgestellt und sind in speziellen Betriebsauflagen in den Genehmigungen der Kraftwerke geregelt. Dieser Punkt wird im Rahmen des Abschnittes „Wasser“ der nichtradiologischen Umweltverträglichkeitsprüfung des Kraftwerks Tihange (siehe Abschnitt 6.2) genauer behandelt;
- Umsetzung der verschiedenen Schritte des Atomausstiegsgesetzes: In dieser UVP werden die Folgen einer längeren Betriebsdauer des Reaktors Tihange 3 untersucht. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die anderen im Atomausstiegsgesetz vorgesehenen Schritte. Am 1. Oktober 2025 bzw. am 1. Februar 2023 wird die Stromerzeugung in Tihange 1 und Tihange 2 eingestellt. Während des Referenzzeitraums werden die beiden anderen Reaktoren am Standort daher abgeschaltet und befinden sich, wie oben beschrieben, in verschiedenen Stadien der Stilllegung. Die kumulativen Effekte dieser Aktivitäten werden in dieser UVP nicht explizit ermittelt, da zum jetzigen Zeitpunkt zu wenig Informationen über die Art dieser Aktivitäten und die damit verbundenen Emissionen vorliegen. Allerdings müssen auch für die Rückbauaktivitäten projektbezogene UVP erstellt werden, die den Betrieb von Tihange 3 in ihre Referenzsituation einbeziehen können, wodurch sichergestellt wird, dass kumulative Effekte berücksichtigt werden. Sofern die Abschaltung von Tihange 1 und 2 erheblichen Einfluss auf die Auswirkungen des Betriebs von Tihange 3 hätte (weil sich die Referenzsituation ändert, z. B. durch eine Verringerung der Einleitungen), wird dies in der vorliegenden UVP berücksichtigt. Sofern in der Diskussion der einzelnen Disziplinen nichts anderes angegeben ist, gehen wir jedoch davon aus, dass sich in der verlängerten Betriebszeit von Tihange 1 und 2 die Qualität des nichtradiologischen Hintergrunds der Umwelt nicht wesentlich ändern wird.

1.3 Verfahren

Wie oben erwähnt, wird diese Umweltverträglichkeitsprüfung im Rahmen der europäischen UVP-Richtlinie, der FFH-Richtlinie und der Vogelschutzrichtlinie durchgeführt. Diese Richtlinien enthalten jedoch wenige oder keine Verfahrensvorschriften, wie der Prozess der Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden sollte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die wichtigsten Bestimmungen mit verfahrensrechtlicher Tragweite in der UVP-Richtlinie enthalten sind:

1. Konsultation der Behörden, die „in ihrem umweltbezogenen Aufgabenbereich von dem Projekt berührt sein könnten“ (Artikel 6.1);
2. Frühzeitige Information der Öffentlichkeit im umweltbezogenen Entscheidungsverfahren über das Verfahren, die Möglichkeiten der Öffentlichkeitsbeteiligung und den Gegenstand des Genehmigungsantrags (Artikel 6.2);
3. Zugänglichmachung der Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung und der Stellungnahmen für die Öffentlichkeit (Artikel 6.3);
4. Konsultation der zuständigen Behörden in anderen Mitgliedstaaten (Artikel 7);
5. Information der Öffentlichkeit u. a. über den Inhalt der Entscheidung bezüglich der Genehmigung und die Erwägungen, auf denen die Entscheidung beruht (Artikel 9);
6. Überprüfungsverfahren (Artikel 11).

Diese Bestimmungen werden selbstverständlich befolgt. Es ist auch zu beachten, dass die detaillierten Verfahren, die durch föderale oder regionale Vorschriften vorgeschrieben sind (in Bezug auf z. B. Fristen), für die Umweltverträglichkeitsprüfung für das vorliegende Projekt nicht anwendbar sind.

Die im Rahmen des Espoo-Übereinkommens, des Aarhus-Übereinkommens und der UVP-Richtlinie (grenzüberschreitend und innerhalb Belgiens) erforderlichen Notifizierungen werden von der belgischen Regierung, dem Föderalen Öffentlichen Dienst Wirtschaft und dem Minister für Energie vorgenommen.

Am Donnerstag, den 14. Juli 2022, hat der Föderale Öffentliche Dienst Wirtschaft den Behörden der Länder im Umkreis von 1.000 km um Doel 4 und Tihange 3 über den ESPO-Kontakt eine Vorankündigung über das geplante Projekt, insbesondere die Verschiebung der Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3, geschickt. Abbildung 8 gibt einen Überblick über die Kernkraftwerke in Belgien (Doel und Tihange) und deren Umgebung und zeigt die Länder und deren Kernkraftwerke in einem Umkreis von 1.000 km Doel bzw. Tihange. Die Notifizierung und die Konsultation wurden vom Föderalen Öffentlichen Dienst Wirtschaft in Übereinstimmung mit Artikel 7.1 der UVP-Richtlinie durchgeführt. Länder, die ein Interesse an der Teilnahme an der grenzüberschreitenden Konsultation bekunden, haben die Möglichkeit, der Generaldirektion Energie des FÖD Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie zusammenfassende Stellungnahmen ihrer Öffentlichkeit und der zuständigen Behörden zur Umweltverträglichkeitsprüfung zu übermitteln.

Sobald die Umweltverträglichkeitsprüfungen abgeschlossen sind, wird der Föderale Öffentliche Dienst Wirtschaft eine Konsultation mit den drei belgischen Regionen, den belgischen Provinzen, den interessierten lokalen Behörden, dem Föderalen Rat für Nachhaltige Entwicklung, der Nationalen Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Spaltmaterialien (NERAS) und der Föderalagentur für Nuklearkontrolle (FANK) einleiten.

Darüber hinaus wird für 60 Kalendertage eine Online-Konsultation der Öffentlichkeit über eine Website durchgeführt, die der Veröffentlichung der vollständigen Umweltprüfungsakte über die Verschiebung der Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 gewidmet ist (Umweltverträglichkeitsprüfung auf strategischer Ebene und Arbeiten). Die Bekanntmachung bezüglich der Konsultation und der Beteiligung der Öffentlichkeit erfolgt durch den Föderalen Öffentlichen Dienst Wirtschaft.

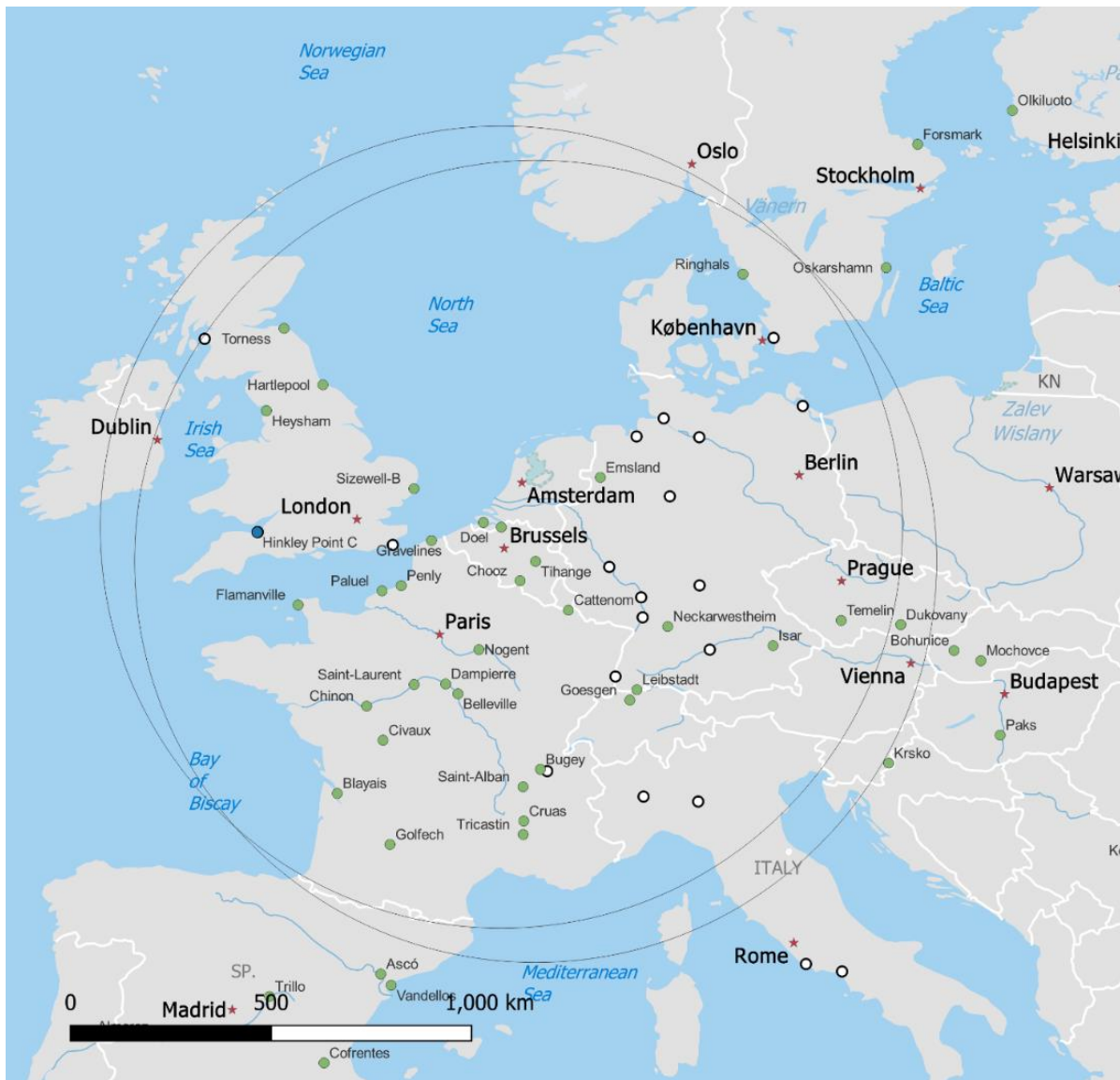


Abbildung 8: Standorte mit Kernkraftwerken in Belgien (Doel und Tihange) und in der weiteren Umgebung. Grün sind Standorte mit in Betrieb befindlichen Reaktorblöcken, weiß sind Standorte, die sich im vollständigen Rückbau befinden, und blau sind Standorte, an denen neue Reaktoren im Bau sind. Karte basiert auf der Datenbank des „Power Reactor Information System“ (PRIS) der IAEA (<https://www.iaea.org/pris>). Die Kreise stellen das Gebiet mit einem Radius von 1.000 km um die Kernkraftwerke Doel bzw. Tihange dar.

2 Allgemeine Methodik

2.1 Bewertung der verfügbaren Informationen

Um die Umweltauswirkungen des Projekts zu bewerten, wurde auf der Grundlage eines Scopings der potenziellen Auswirkungen eine Liste mit den erforderlichen Informationen erstellt. Diese Informationen sind zum Teil öffentlich zugänglich, zum anderen sind zusätzliche Informationen des Betreibers erforderlich, um die Auswirkungen zu bewerten. Dabei handelt es sich zum einen um einen Überblick über die geplanten Arbeiten im Rahmen des Projekts und zum anderen um eine Reihe von technischen Daten, Analysen und Dokumenten zum Betrieb der Kernreaktoren Doel 4 und Tihange 3 und deren Nachbetriebsphase. Zu Beginn der Umweltverträglichkeitsprüfung wurde im September 2022 vom Betreiber der Kernkraftwerke Doel und Tihange eine Liste der erforderlichen Informationen angefordert. Die Informationen des Betreibers wurden im Anschluss an die am 9. Januar 2023 zwischen der belgischen Regierung und dem Betreiber ENGIE Electrabel AG geschlossene Vereinbarung zur Sicherung der zehnjährigen Betriebsverlängerung für die beiden jüngsten Kernreaktoren unseres Landes, Doel 4 und Tihange 3, veröffentlicht. Die meisten Informationen gingen zwischen dem 19. und 30. Januar 2023 ein, zusätzliche Informationen oder Klarstellungen wurden im Februar 2023 eingeholt. Diese wurden noch so weit wie möglich berücksichtigt. Die verfügbaren Informationen waren ausreichend, um eine angemessene Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Wo bestimmte Details fehlten, wurden konservative Annahmen getroffen, um mögliche Auswirkungen abzuschätzen. Darüber hinaus ist die Beschreibung von Wissenslücken Teil der Bewertung.

2.2 Allgemeine Methodik zur Bewertung der nichtnuklearen Auswirkungen

2.2.1 Scoping

2.2.1.1 Konzept

Das Scoping (Auswahl der potenziell bedeutsamen Auswirkungen) zielt darauf ab, die (wahrscheinlich) bedeutendsten Umweltthemen und -auswirkungen von Beginn der UVP an zu identifizieren und von anderen, weniger relevanten Themen zu unterscheiden. Auf diese Weise konzentriert sich der UVP-Prozess auf das Wesentliche.

Das Scoping besteht aus zwei klar unterscheidbaren Schritten:

- der Identifizierung möglicher Auswirkungen (kann die Auswirkung auftreten?);
- der Überprüfung der Signifikanz (besteht die Möglichkeit, dass die Auswirkung signifikant ist?).

Im ersten Schritt wird versucht, sich einen möglichst vollständigen Überblick über die möglichen Auswirkungen zu verschaffen. Im zweiten Schritt wird die Liste der möglichen Auswirkungen eingegrenzt, indem ermittelt wird, welche dieser Auswirkungen (potenziell) signifikant sind. Bei der Feststellung, ob Auswirkungen potenziell signifikant sind, werden in der Regel u. a. folgende Faktoren berücksichtigt:

- die Art, das Ausmaß, die Dauer und die Reversibilität der Auswirkungen;
- die Bedeutung, Seltenheit, Empfindlichkeit oder Anfälligkeit der von der Auswirkung betroffenen Umweltfaktoren;
- der Ort der geplanten Initiative in Bezug auf die politischen Ziele und gesetzlichen Bestimmungen, die für das Aufnahmemilieu gelten (Umweltprioritäten);
- das Ausmaß, in dem die Untersuchung einer bestimmten Auswirkung wesentlich zu der durch die UVP gestützten Entscheidung beiträgt.

2.2.1.2 Vorgehensweise

Das Scoping wurde im Rahmen der vorliegenden Umweltverträglichkeitsprüfung mit Unterstützung der folgenden Maßnahmen durchgeführt:

- Analyse der wichtigsten Merkmale der Standorte Doel und Tihange, insbesondere der Reaktoren Doel 4 und Tihange 3 (und der zugehörigen Anlagen), im Hinblick auf die möglichen Umweltauswirkungen;
- Analyse der Anfälligkeit der Umgebung;
- Einsichtnahme früherer Umweltverträglichkeitsprüfungen für beide Standorte und des darin durchgeführten Scopings;
- Organisation eines Scoping-Workshops in Anwesenheit der verschiedenen UVP-Experten (radiologisch und nichtradiologisch). Die daraus entstandene Interaktion führte zu zusätzlichen Erkenntnissen über den Betrieb der Kraftwerke und die Auswirkungen, die sich daraus ergeben können.

Auf die so ermittelte Auswahl potenziell erheblicher Auswirkungen wird bei der Diskussion der einzelnen Themen näher eingegangen. Die Ergebnisse des Scopings werden im Folgenden in groben Zügen erläutert.

Die Schlussfolgerung aus dieser Übung war, dass sich die Diskussion der Auswirkungen auf die finalen Rezeptoren dieser Auswirkungen konzentrieren muss, nämlich die menschliche Gesundheit einerseits und die biologische Vielfalt andererseits. Dies gilt sowohl für radiologische als auch für nichtradiologische Auswirkungen.

2.2.1.3 Scoping in Umrissen

Schritt 1: Analyse der potenziell auswirkungsgenerierenden Elemente

Im ersten Schritt des Scoping-Prozesses wird abgesteckt, welcher Art die Auswirkungen, die auftreten können, sind. Diese Analyse beginnt mit einer Auflistung der wichtigsten Komponenten und Einrichtungen der Kraftwerke und bewertet dann, ob der Betrieb oder das Vorhandensein dieser Komponenten und Einrichtungen zu Umweltauswirkungen führen kann. Sie nutzt das Wissen von Experten auf dem Gebiet der Ursache-Wirkungs-Beziehungen und stützt sich auch auf Informationen, die in früheren Umweltverträglichkeitsberichten oder Auswirkungsschriftsätzen (Doel: UVP 2010, Screening-Schriftsatz 2015, UVP in Bezug auf die Arbeiten 2021; Tihange: UBP Projekt SF² 2019 und Umwelterklärung en 2012 bis 2022) verfügbar sind.

Das Ergebnis dieser Analyse ist in Tabelle 6 dargestellt. Die Symbole in dieser Tabelle haben die folgenden Bedeutungen:

- X Auswirkungen können auftreten und sind potenziell erheblich; der Schwerpunkt der Bewertung liegt auf diesen Auswirkungen.
- (x) Auswirkungen können auftreten, sind aber wahrscheinlich vernachlässigbar

Die Tabelle unterscheidet zwischen den Rezeptorendisziplinen (Klima, biologische Vielfalt, Mensch und Landschaft) und den anderen Disziplinen, die wir hier als Hilfsdisziplinen bezeichnen. Auswirkungen der Kraftwerke auf die Disziplinen der Rezeptoren erfolgen oft nicht direkt, sondern über die Hilfsdisziplinen. Zum Beispiel haben Pumpen und Generatoren keine direkte Auswirkung auf die biologische Vielfalt, wohl aber durch die von ihnen verursachten Lärm- und Luftemissionen.

Tabelle 6: Übersicht über die wichtigsten Einrichtungen und Tätigkeiten der KKW Doel und Tihange und deren Beziehung zu möglichen Umweltauswirkungen.

Komponente	Hilfsdisziplinen					Rezeptorendisziplinen			
	Wasser	Boden/Grundwasser	Luft	Mobilität	Lärm	Klima	Biologische Vielfalt	Gesundheit	Landschaft
1. Aufbereitung und Einleitung von Abwässern	X		(x)				X	(x)	
2. Einleitung von Kühlwasser	X						X		
3. Bewirtschaftung von Regenwasser	X	(x)							

Komponente	Hilfsdisziplinen					Rezeptorendisziplinen			
	Wasser	Boden/Grundwasser	Luft	Mobilität	Lärm	Klima	Biologische Vielfalt	Gesundheit	Landschaft
4. Entnahme von Kühlwasser	X						X		
5. Kühltürme und Kühlkreisläufe	X		X		X	(x)		(x)	X
6. Dampfkessel, Generatoren und Heizungsanlagen			X		(x)	X	(x)	(x)	
7. Reaktor, Dampfturbinen und Wechselstromgenerator					(x)				
8. Transformatoren und Hochspannungsinfrastruktur		(x)			(x)		(x)	(x)	
9. Kompressoren und Pumpen/Pumpstationen					(x)		(x)		
10. Lagerung nichtnuklearer gefährlicher Stoffe		(x)	(x)						
11. Lagerung von nichtnuklearen Abfällen (Öl, Restmüll usw.)		(x)	(x)						
12. Außenbeleuchtung							(x)		
13. Verkehr			(x)		(x)		(x)		

Die vorliegende UVP zielt nicht darauf ab, die Auswirkungen der Kernkraftwerke Doel und Tihange in vollem Umfang zu beschreiben, sondern lediglich den Unterschied zwischen den Auswirkungen einer Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 im Jahr 2025 einerseits und einer Verlängerung der Laufzeit um 10 Jahre nach der Wiederinbetriebnahme andererseits aufzuzeigen. Das bedeutet, dass nicht alle Auswirkungen, die durch das Kernkraftwerk generiert werden, für diese UVP relevant sind.

Auswirkungen, die *nicht* ausschließlich auf den Betrieb oder das Vorhandensein von Doel 4 bzw. Tihange 3 zurückzuführen sind, sind Teil der Referenzsituation dieser UVP; sie treten in beiden Fällen auf und bestimmen daher nicht den Unterschied zwischen den Situationen mit oder ohne Laufzeitverlängerung der beiden Reaktoren. Ein Beispiel dafür sind die Rückbauarbeiten an den zuvor abgeschalteten Reaktoren an beiden Standorten. Diese Aktivitäten (und die damit verbundenen Auswirkungen) finden in jedem Fall statt, unabhängig davon, ob die Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3 verlängert wird oder nicht. Sie helfen zwar bei der Ermittlung der Gesamtauswirkungen der Standorte Doel und Tihange, aber nicht bei der Beantwortung der Frage, worin genau die Unterschiede zwischen der Situation, in der Doel 4 und Tihange 3 noch in Betrieb sind, und der Situation, in der sie nicht mehr in Betrieb sind, bestehen.

Schritt 2: Auswahl von Themen (Disziplinen), innerhalb derer potenziell relevante Auswirkungen auftreten können

In diesem Schritt wird auf der Grundlage von Tabelle 6 festgelegt, welche Themen in dieser strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung weiter beachtet werden müssen. In der Praxis sind dies die Themen, innerhalb derer potenziell signifikante Auswirkungen auftreten können, die zumindest teilweise auf den Betrieb oder das Vorhandensein von Doel 4 oder Tihange 3 zurückgeführt werden können.

Darüber hinaus wird in diesem Schritt auch der Fokus auf einige so genannte „vermiedene“ Auswirkungen des Projekts erweitert; dies sind Auswirkungen, die bei einer Verlängerung der Lebensdauer nicht, wohl aber bei einer Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 eintreten. Dies wird im Folgenden näher erläutert.

Die Grundzüge des Scopings auf Ebene der Themen ist in Abbildung 9 schematisch dargestellt.

Wie in diesem Diagramm dargestellt, ergeben sich aus dem Scoping drei Gruppen von potenziell erheblichen Auswirkungen: Auswirkungen des Projekts, vermiedene Auswirkungen des Projekts und Auswirkungen auf das Projekt.

Auswirkungen des Projekts

Diese Auswirkungen sind direkt auf das Projekt zurückzuführen, d. h. auf die strategische politische Entscheidung (und verwandte Werke), die zur Verlängerung um 10 Jahre der Lebensdauer der Blöcke Doel 4 und Tihange 3, sowie auf die Auswirkungen der Arbeiten, die erforderlich sind, um diese Verlängerung der Lebensdauer zu ermöglichen.

Wie oben erwähnt, werden bei der Diskussion der Themen weitere Details zu den genauen Auswirkungen gegeben. Wir verfolgen einen rezeptorenbasierten Ansatz, bei dem wir zunächst die Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und die menschliche Gesundheit²² bewerten. Dazu ist es jedoch wichtig, einen Einblick in die Auswirkungen der Kraftwerke auf die Luftqualität einerseits und auf das Wassersystem andererseits zu haben. Treibhausgasemissionen werden in dieser UVP ebenfalls angesprochen, sowohl als direkte Auswirkung als auch als „vermiedene“ Auswirkung.

Luft, Oberflächengewässer, biologische Vielfalt, Gesundheit und Klima sind somit die fünf Themen (Disziplinen), für die in dieser UVP die direkten Auswirkungen des Projekts ermittelt werden. Die erwarteten Auswirkungen und ihre Bewertungskriterien werden für jedes dieser Themen später in dieser UVP ausführlicher behandelt.

²² Gesundheitliche Auswirkungen sind in erster Linie (potenziell) relevant für radiologische Auswirkungen.

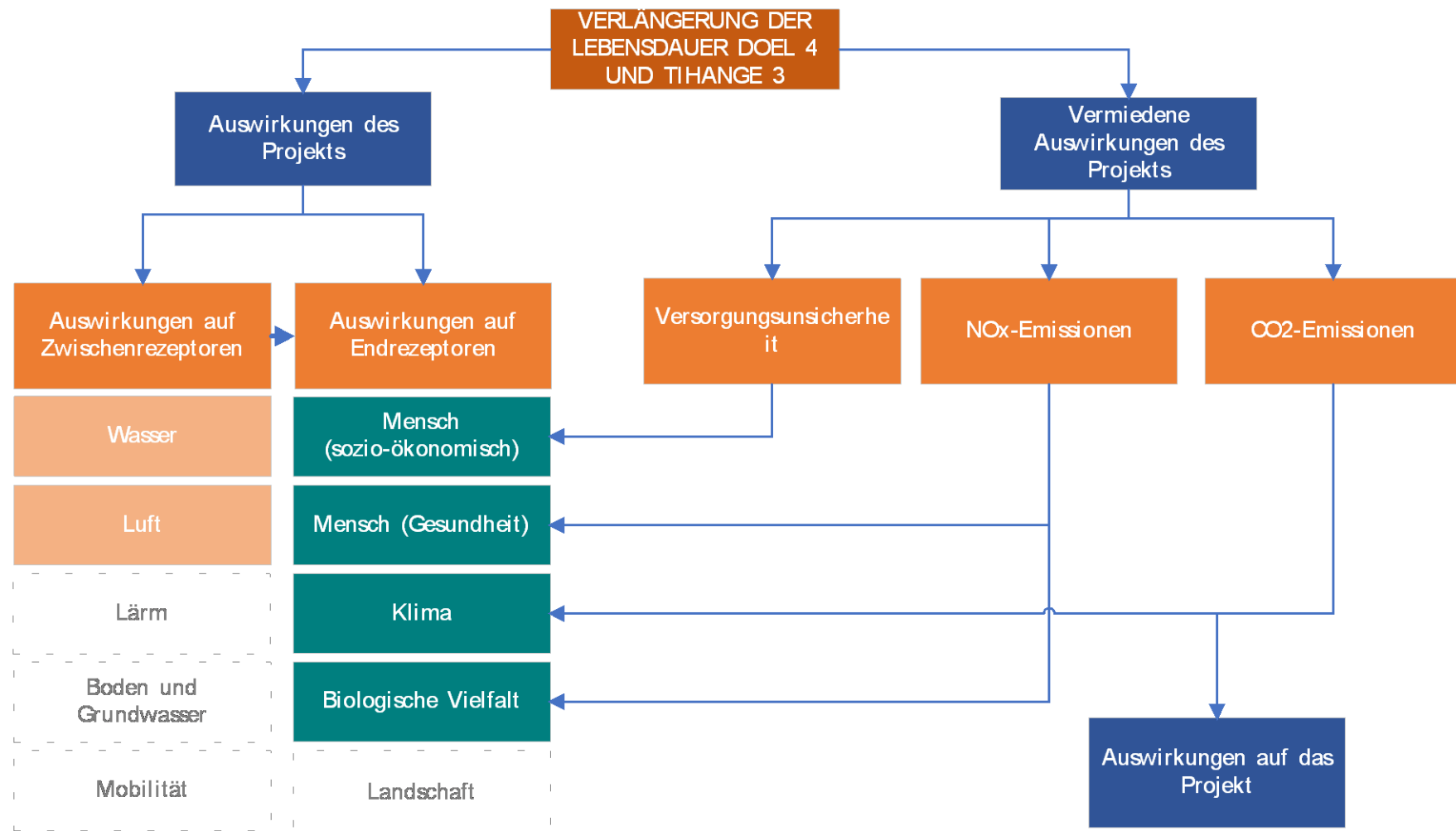


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Grundzüge des Scopings für die Umweltverträglichkeitsprüfung der politischen Entscheidung zur Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3.

Eine Reihe anderer nichtradiologischer Themen wird daher in dieser strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung nicht behandelt. Tabelle 7 enthält eine kurze Begründung für jedes dieser Themen.

Tabelle 7: Übersicht über die Themen, die nicht in der strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht werden mit entsprechender Begründung.

Thema	Gründe für die Nichtberücksichtigung dieses Themas bei der Umweltverträglichkeitsprüfung auf strategischer Ebene
Boden	Die Anlage ist aufgrund der Risiken, die mit der Lagerung von Gefahrstoffen in der Anlage verbunden sind, gesetzlich verpflichtet, eine regelmäßige Bodenuntersuchung durchzuführen. Diese Lagerung erfolgt gemäß den Bedingungen von Vlare II für Doel und der geltenden Umweltgenehmigung für Tihange. Aufgrund früherer Untersuchungen wurden mehrere Parzellen am Standort Doel in das Register der verunreinigten Böden von OVAM aufgenommen, aber keine der Verunreinigung stellte eine ernsthafte Bedrohung für Mensch oder Umwelt dar oder erforderte eine Bodensanierung. Am Standort Tihange wurden bestimmte Parzellen in die wallonische Bodendatenbank (Banque de Données de l'État des Sols) aufgenommen. Bei der Untersuchung einiger Parzellen wurden einige Schadstoffe gefunden. Bei den meisten Schadstoffen wurde jedoch festgestellt, dass sie keine ernsthafte Bedrohung darstellen, und einige andere wurden saniert. Die Lagerung und der Umgang mit gefährlichen Stoffen in großen Mengen (Diesel, Neutralisationsmittel etc.) bergen potentiell gewisse Risiken einer Boden- und Grundwasserkontamination. Ein Teil dieser Lagerung steht auch in direktem Zusammenhang mit Doel 4 und Tihange 3 (z. B. ein Teil des Diesellagers, das benötigt wird, um die Pumpen im Falle eines Ausfalls der Stromversorgung am Laufen zu halten). Ein längeres Offenhalten von Doel 4 und Tihange 3 erhöht daher theoretisch das Risiko einer zusätzlichen Bodenverunreinigung durch undefinierbare Lecke oder Unfälle. Da jedoch an beiden Standorten eine Reihe von Maßnahmen in Übereinstimmung mit den jeweiligen Umweltgenehmigungsvorschriften ergriffen wurden (z. B. Auffang, Ortung von Lecken usw.), kann festgestellt werden, dass die Wahrscheinlichkeit einer signifikanten neuen Bodenverschmutzung während der zusätzlichen 10-jährigen Betriebszeit sehr gering ist. Der Betrieb von Doel 4 und Tihange 3 beinhaltet auch die Bodenversiegelung des Geländeteils, auf dem sich die Anlagen befinden. Lebensdauererlängerung bedeutet, dass diese Bodenbedeckung für mindestens 10 Jahre erhalten bleibt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass selbst bei einer endgültigen Abschaltung der Anlagen im Jahr 2025 die Bodenversiegelung in den darauffolgenden zehn Jahren nicht entfernt würde, da der Rückbau so lange dauert. Die für die Verlängerung erforderlichen Arbeiten führen nicht zu einer wesentlichen Vergrößerung der Bodenversiegelung.
Landschaft	Die Auswirkungen der Kernkraftwerke Doel und Tihange auf die Landschaft werden in erster Linie durch die hohen Kühltürme und ihre charakteristischen Wasserdampffahnen bestimmt, in geringerem Maße auch durch die Reaktorgebäude. Auch die Hochspannungsleitungen tragen zur optischen Beeinträchtigung bei. Unter Berücksichtigung der Dauer der Rückbauarbeiten lässt sich sagen, dass die Auswirkungen beider Standorte auf die Landschaft mindestens bis 2037 erheblich sein werden, unabhängig davon, ob Doel 4 und Tihange 3 abgeschaltet werden oder nicht. Die Auswirkungen auf die Landschaft durch zusätzliche Anlagen, die für die Erweiterung erforderlich wären, können im Vergleich zu den anderen Anlagen auf dem Gelände als vernachlässigbar angesehen werden.
Grundwasser	Das Kernkraftwerk Doel nutzt kein Grundwasser. Ob die Laufzeit von Doel 4 verlängert wird oder nicht, hat also keine Auswirkungen auf diesen Bereich. Das Kraftwerk Tihange pumpt Grundwasser, um die Wasserversorgung der Kühlkreisläufe sicherzustellen, falls andere Wasserquellen ausfallen sollten. Ob sich die Abschaltung von Tihange 3 nun verzögert oder nicht, wird jedoch wenig oder gar keinen Unterschied machen, da die Grundwasserressourcen nur in Ausnahmefällen angezapft werden. Das Vorhandensein mehrerer bereits bestehender Gebäude, deren Fundamente und Gründungspfähle bis in die Tiefe der tertiären Sedimente in Doel und des Maas-Alluviums in Tihange reichen, sowie Schlitzwände

	um mehrere Teile der Anlage können den natürlichen Grundwasserfluss durchaus stören. Diese Situation unterscheidet sich jedoch nicht grundlegend von einer Situation mit oder ohne Laufzeitverlängerung, da die Aktivitäten am Standort noch viele Jahre lang fortgesetzt werden, auch wenn die Stromerzeugung eingestellt wird. Hinsichtlich einer möglichen Grundwasserverschmutzung kann zunächst auf die Überlegungen bzgl. des Boden-Themas (s. o.) verwiesen werden, aus denen hervorgeht, dass die Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Verschmutzung des Bodens (und damit des Grundwassers) durch die Lagerung von Schadstoffen aufgrund der getroffenen Maßnahmen nach den geltenden Vorschriften sehr gering ist. Eine Auswirkung auf den Grundwasserhaushalt wird ebenfalls nicht erwartet, da innerhalb des Referenzzeitraums keine signifikanten Unterschiede in der versiegelten Fläche zwischen der Situation mit und ohne Aufschub der Abschaltung zu erwarten sind.
Mobilität	Die aus dem Betrieb der Standorte Doel und Tihange resultierenden Verkehrsbewegungen werden in erster Linie durch die Fahrzeuge von Mitarbeitern und Subunternehmern zur und von der Baustelle verursacht. Es gibt auch Fahrzeugbewegungen von Mitarbeitern auf den Geländen. Hinzu kommen die Transporte für die Versorgung und Wartung der Anlagen (Chemikalien, Brenn- und Treibstoff, Ersatzteile, Abfallentsorgung...). Der Transport im Zusammenhang mit dem täglichen Betrieb der Kraftwerke erfolgt über die Straße. In Doel führt der (Schwerlast-)Verkehr zum und vom Kernkraftwerk durch den Waaslandhafen, genauer gesagt um das Deurganck-Dock herum, und von dort zur Kreuzung mit der R2 (und vor hier entweder zur A12, E34, E17 oder zur R1). Es werden keine Wohngebiete durchquert. Von dieser Hauptroute gibt es natürlich eine Reihe von Varianten, bei denen der Verkehr durch die Polder, eventuell über Kieldrecht und über die N451 direkt zur Kreuzung mit der E34 verläuft. Im Durchschnitt sind ca. 1.700 Personen auf dem Gelände anwesend (tagsüber) und diese Anwesenheit kann mit ca. 1.300 Fahrzeugen in Verbindung gebracht werden, die sich grob in 900 PKW, 300 Lieferwagen und 100 LKW aufteilen. Die Anzahl der Fahrzeugbewegungen steigt bei größeren Arbeiten/Revisionen. Eine Überlastung des örtlichen Straßennetzes zum Standort Doel findet nicht statt. Allerdings ist starker Verkehr im morgendlichen und abendlichen Berufsverkehr möglich. Der Bau der geplanten westlichen Waaslandhafen-Zufahrtsstraße, der während der Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 erfolgen wird, wird den Zugang zum Standort erheblich verbessern. Selbst bei einer Zunahme der Fahrzeugbewegungen zum und vom Standort (die nicht zu erwarten ist) würde es daher wahrscheinlich keine Auswirkungen auf den Verkehrsfluss geben. Der (Schwerlast-)Verkehr zum und vom Standort Tihange erfolgt über die N90, die einen direkten Zugang zum Standort hat, und die N684, die die Maas überquert und an die E42 (Ausfahrt 15) anschließt. Es handelt sich um breite Straßen (3 bis 4 Fahrspuren), die für den Verkehr aus dem Kernkraftwerk ausgelegt sind. Im Durchschnitt halten sich (tagsüber) etwa 1.200 Personen auf dem Gelände auf: 1.000 Mitarbeiter und 200 Lieferanten, Subunternehmer oder Besucher. Schätzungsweise 900 Fahrzeuge besuchen den Standort täglich, darunter etwa 650 Pkw, 200 Lieferwagen und 50 Lkw. Dies entspricht etwa 950 Pkw-Äquivalenten pro Tag in jeder Richtung. Die Anzahl der Fahrzeugbewegungen steigt bei größeren Arbeiten/Revisionen. Da das Verkehrsaufkommen in der Größenordnung von 15.000 Pkw-Äquivalenten pro Richtung auf der N90 und 12.500 Pkw-Äquivalenten pro Richtung auf der N684 liegt, ergibt sich, dass der auf das Kraftwerk Tihange entfallende Verkehr zwischen 6 und 8 % des Verkehrsaufkommens auf diesen Nationalstraßen ausmacht. Eine Sättigung des lokalen Straßennetzes zum Standort Tihange tritt nicht ein, obwohl in den morgendlichen und abendlichen Stoßzeiten starker Verkehr möglich ist. Die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3 führt im Vergleich zum Zeitraum vor 2025 weder zu einer signifikanten Erhöhung noch zu einer signifikanten Verringerung der Zahl der Fahrzeugbewegungen zum und vom Standort. Der Rückbau von Doel 1, 2 und 3 bzw. Tihange 1 und 2 wird über den gesamten Zeitraum der Laufzeitverlängerung fortgesetzt.
Lärm	Auf dem Gelände des beiden Kernkraftwerken lassen sich mehrere Lärmquellen unterscheiden, die zusammen die gesamte Lärmemission des Betriebs im Freien darstellen. Es muss unterschieden werden zwischen Quellen, die im Dauerbetrieb sind und Quellen, die nur einen begrenzten Teil der Zeit (< 1 %) tatsächlich in Betrieb sind, wie z. B. Notstromaggregate und Notkühlbänke. Die zeitlich begrenzt

	betrieblenen Quellen werden nur in Notsituationen betrieben, aus Sicherheits- und Wartungsgründen jedoch zudem monatlich getestet. Die UVP aus dem Jahr 2010 zeigte, dass die beiden Kühltürme von Doel für 55 % des Lärms verantwortlich sind (hauptsächlich das Geräusch von fallendem Wasser). Die Hilfskühltürme (Ventilatoren) machen einen Anteil von 20 % aus und die Öffnungen und Wände von Maschinenräumen und Reaktorgebäuden weitere 15 %. Kumulativ (d.h. für den gesamten Standort, mit allen Anlagen im Schlepptau) führt dies zu einer Überschreitung der Vlärem-Richtwerte, insbesondere im Osten des Standorts. Während des Zeitraums der Verlängerung der Lebensdauer werden die mit Doel 4 verbundenen Lärmquellen weiterhin in Betrieb sein, aber die Lärmbelastung des Standorts insgesamt wird abnehmen, vermutlich so weit, dass die Überschreitung der Grenzwerte kein Thema mehr sein wird. Die 2019 durchgeführte UVP für Tihange hat ergeben, dass der Standort den wallonischen Lärmschutzvorschriften entspricht. Hier hat die Verlängerung der Lebensdauer also ohnehin keine Auswirkungen. Sollte die Verlängerung der Lebensdauer den Bau oder Betrieb einiger neuer Anlagen oder Gebäude erfordern, so wird davon ausgegangen, dass dies in der Betriebsphase nicht zu einer signifikanten Zunahme des Lärms und der damit verbundenen Belästigung der Anwohner führen würde. Diese Annahme wird durch das Beispiel des jüngsten SF²-Projekts in Tihange bestätigt, das keine nennenswerten Auswirkungen auf den Lärmpegel hatte. Der Rückbau der anderen Reaktoren an den Standorten wird jedoch neue Lärmquellen schaffen.

Vermiedene Auswirkungen des Projekts

Dies sind Auswirkungen, die nicht eintreten, wenn das Projekt durchgeführt wird, aber sehr wohl, wenn das Projekt nicht durchgeführt wird. Es handelt sich also um Auswirkungen, die in der Referenzsituation auftreten. Da das Ausmaß einer Auswirkung durch die Differenz zwischen der Projektsituation und der Referenzsituation bestimmt wird, handelt es sich um negative oder „vermiedene“ Auswirkungen.

Um eine Aussage über das Ausmaß dieser vermiedenen Auswirkungen treffen zu können, ist es notwendig, die Referenzsituation dahingehend weiter zu definieren, wie die verlorenen Produktionskapazitäten im Verlängerungszeitraum aufgefüllt worden wären. Dies ist natürlich eine theoretische Überlegung, ohne die Absicht, die Auswirkungen verschiedener (nicht realisierter) Energiemixe zu vergleichen²³.

Um dies zu vereinfachen, wurde in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung zur Bestimmung der vermiedenen Auswirkungen entschieden, dass die Ausgestaltung der (nicht) wegfallenden Kapazität nach den gleichen Verhältnissen wie innerhalb des derzeitigen Anteils der nichtnuklearen Kapazität erfolgen sollte. Angesichts der großen Ungewissheit, wie die wegfallenden Kapazitäten von Doel 4 und Tihange 3 aufgefangen werden könnten (erneuerbare Energien, GuD-Anlagen oder andere Formen von Kapazitätsvergütungen, Energieeinsparungen, Importe aus dem Ausland...), ist dies die naheliegendste Ausweichoption. Angesichts der Ungewissheit über die tatsächliche Auffüllung der verlorenen Kapazitäten werden einige der Auswirkungen, die damit verbunden sein könnten (die aber stark von der Art und dem Standort der Ersatzanlagen abhängen), nicht untersucht. Dazu gehören beispielsweise Auswirkungen auf die Landschaft, die Luftqualität oder die Wasserqualität.

Konkret beschränken wir die Untersuchung der vermiedenen Auswirkungen auf:

- die vermiedenen Treibhausgasemissionen (mit Folgewirkungen auf die Disziplin Klima);
- die vermiedenen NOx-Emissionen (mit Folgewirkungen auf die Disziplin Mensch und Gesundheit).

Darüber hinaus berücksichtigen wir auch die vermiedene Versorgungsunsicherheit. Diese Unsicherheit zu vermeiden, ist das eigentliche Ziel des Plans und in diesem Sinne kein Nebeneffekt. Dennoch ist es gut, sich ein Bild

²³ Eine solche Überlegung fand in der „Étude sur les perspectives d’approvisionnement en électricité à l’horizon 2030“ des Föderalen Öffentlichen Dienstes Wirtschaft (2015) und dem zugehörigen UVP-Plan statt.

von den Auswirkungen auf diesen Aspekt zu machen, wenn die Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3 nicht verlängert würde. Die Auswirkungen der Versorgungsunsicherheit werden in erster Linie im Zusammenhang mit dem Thema „Mensch“ betrachtet.

Auswirkungen auf das Projekt

Die „Auswirkungen auf das Projekt“ beziehen sich speziell auf die Folgen des Klimawandels auf den Plan. Die Verpflichtung, diesen Aspekt in die Umweltverträglichkeitsprüfung aufzunehmen, ergibt sich aus den Änderungen der UVP-Richtlinie 2011/92/EU durch die Richtlinie 2014/52/EU. Anhang IV dieser Richtlinie besagt, dass eine Umweltverträglichkeitsprüfung eine Beschreibung der *Auswirkung des Projekts auf das Klima* (z. B. Art und Ausmaß der Treibhausgasemissionen) und der *Anfälligkeit des Projekts in Bezug auf den Klimawandel* enthalten muss.

Dies kann sowohl die Integrität als auch die Funktionsfähigkeit des Projekts betreffen. Auch die eigentliche Begründung für ein Projekt kann sich infolge des Klimawandels ändern, und die Auswirkungen eines in einer UVP beschriebenen Projekts können mit dem Klimawandel an Bedeutung gewinnen bzw. verlieren²⁴.

2.2.2 Allgemeiner Bewertungsrahmen

Die Bewertung erfolgt in Bezug auf die verschiedenen politischen Ziele innerhalb einer bestimmten Disziplin/eines bestimmten Politikbereichs. Für jedes politische Ziel treffen wir eine der folgenden Aussagen:

1. Das Projekt leistet einen merklichen Beitrag zur Zielerreichung -> Bewertung „positiv“;
2. Das Projekt trägt nicht merklich zur Zielerreichung bei, wirkt ihr aber auch nicht merklich entgegen -> Bewertung „neutral“;
3. Das Projekt wirkt der Zielerreichung merklich entgegen -> Bewertung „negativ“.

Um festzustellen, ob das Projekt zur Erreichung eines bestimmten Ziels beiträgt oder nicht, müssen bestimmte Auswirkungen untersucht werden. Diese können, müssen aber nicht mit den „klassischen“ Auswirkungen aus z. B. den Richtlinienbüchern übereinstimmen.

Ein Beispiel: Wenn ein naturpolitisches Ziel als „Erhaltung der Arten“ formuliert werden könnte, dann müssen die verschiedenen Auswirkungen, die dies beeinflussen können, diskutiert werden: Flächenverbrauch, Fragmentierung, Störung usw. Diese Auswirkungen werden lediglich diskutiert und nicht bewertet; die Bewertung erfolgt nur auf der Ebene der Ziele.

2.2.3 Spezifische Bewertungsrahmen

In jeder der Disziplinen, die später in dieser UVP behandelt werden, werden die untersuchten Auswirkungen und die verwendeten Bewertungskriterien ausführlicher diskutiert. Soweit relevant, wird jeweils auch angegeben, woran die Ergebnisse der Wirkungsbeschreibung gemessen werden (Bewertungsrahmen).

2.2.4 Tiefe der Bewertung

Wie bereits erwähnt, ist die Umweltverträglichkeitsprüfung im Zusammenhang mit der politischen Entscheidung, die Laufzeit von Doel 4 und Tihange 3 um 10 Jahre zu verlängern, auf einer strategischen Ebene angesiedelt²⁵. Der

²⁴ Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Frage, inwieweit die Auswirkung einer Einleitung in ein Fließgewässer an Bedeutung gewinnen würde, wenn eine klimabedingte Trockenheit den durchschnittlichen Abfluss dieses Fließgewässers verändern würde.

²⁵ Die Auswirkungen der Arbeiten treten zwar auf Projektebene auf, aber da diese Auswirkungen nicht über die Konturen des Geländes hinausgehen und mit den Auswirkungen früherer Instandhaltungsarbeiten verglichen werden können, spielen sie bei der Bestimmung der Gesamtauswirkungen des Projekts keine bedeutende Rolle.

hier gewählte Ansatz unterscheidet sich von dem einer Umweltverträglichkeitsprüfung für ein Durchführungsprojekt.

In der Praxis gibt es keine scharfen Grenzen zwischen dem, was wir als Bewertung auf strategischer Ebene und Bewertung auf Projektebene betrachten. Vielmehr findet ein schrittweiser Übergang vom strategischen zum operativen Denken statt. Die Schlüsselemente und Polaritäten dieses strategisch-operativen Kontinuums sind in Abbildung 10 grafisch dargestellt.

Die vorliegende Umweltverträglichkeitsprüfung liegt eindeutig auf der linken und nicht auf der rechten Seite dieses Kontinuums. Dazu gehört, dass bei dieser UVP in erster Linie vorhandene Daten verwendet werden und dass die Beschreibung und die Bewertung der Auswirkungen in erster Linie nicht quantitativ sein werden. Darüber hinaus liegt der Schwerpunkt der vorliegenden (strategischen) Umweltverträglichkeitsprüfung auf den Auswirkungen, die erheblich sein können. Auswirkungen mit voraussichtlich nur begrenzten Folgen werden in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung nicht behandelt. Dies ist angesichts des strategischen Charakters der Entscheidung, die durch diese UVP untermauert wird, auch akzeptabel.

Projekt: Aufschieb der Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3		
	Umweltverträglichkeitsprüfung der politischen Entscheidung zur Verschiebung	Umweltverträglichkeitsprüfung der zugehörigen Arbeiten
Art der Maßnahme	Strategisch, konzeptionell	Direkt, operativ
Ausmaß der Auswirkungen	Großflächig	Lokal
Zeitraum	Lang- bis mittelfristig	Mittel- bis kurzfristig
Wichtige Datenquellen	Vorhandene Daten aus z. B. Umweltberichten	Daten basieren auf Feldforschungsarbeiten und Projektdaten
Art der Daten	Eher qualitativ	Eher quantitativ
Optionen	Flächendeckend, technologisch, intermodal	Spezifischer Standort, Entwurf
Unsicherheit und Fundierung	Eher unsicher	Eher fundiert

Abbildung 10: Schlüsselemente des strategisch-operativen Kontinuums der Umweltverträglichkeitsstudie^{iv}, angewandt auf die Umweltverträglichkeitsprüfung des Projekts.

2.3 Allgemeine Methodik für die Bewertung nuklearer Auswirkungen, einschließlich radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente

2.3.1 Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt, welche nuklearen oder radiologischen Umweltaspekte im Zusammenhang mit dem Projekt berücksichtigt werden. Erstens ist dies die Bestrahlung gegenüber ionisierender Strahlung, zum einen im Normalbetrieb und zum anderen in Unfallsituationen (nuklearer Zwischenfall oder Unfall), und zwar sowohl für die am stärksten exponierte Person (kritische Person) als auch für die Umwelt (Fauna und Flora). Darüber hinaus werden auch (potenzielle) grenzüberschreitende Auswirkungen berücksichtigt. Zweitens werden die Auswirkungen des Projekts auf die Mengen radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente betrachtet, genauer gesagt die Mengen radioaktiver Abfälle, die während des verlängerten Zeitraums der industriellen Energieerzeugung (des Projekts) anfallen, sowie die beim Rückbau nach der endgültigen Abschaltung erwarteten Abfallmengen. Da die Methodik zur Beschreibung dieser Effekte bei Doel und Tihange identisch ist, werden sie hier gemeinsam behandelt. Die derzeitige Situation, die Auswirkungen im Falle einer Verlängerung der Blöcke Doel 4 und Tihange 3 um 10 Jahre über das Jahr 2025 hinaus (das Projekt) und im Falle einer Nichterneuerung (Deaktivierung oder endgültige Abschaltung) von Doel 4 und Tihange 3 im Jahr 2025 (die Null-Alternative) werden in den spezifischen Abschnitten für Doel 4 und Tihange 3 erörtert.

Um die Auswirkungen und die Methodik richtig interpretieren zu können, geben wir zunächst einen Überblick über die grundlegenden Konzepte von Radioaktivität und Strahlung, die Auswirkungen von Strahlung auf Mensch und Umwelt, radioaktive Abfälle und Strahlenbelastungspfade.

2.3.2 Grundlegende Konzepte des Strahlenschutzes, die bei der Bewertung verwendet werden, einschließlich der relevanten Gesetzgebung

Radioaktivität ist eine Eigenschaft bestimmter Atome, bei der sie spontan Energie in Form von Strahlung abgeben und ihren Zustand verändern – wir nennen das **radioaktiven Zerfall** in eine stabilere Form – bis sie schließlich zu stabilen Atomen werden. Die emittierte Strahlung kann in Form von Teilchen wie Elektronen, Heliumkernen, Neutronen... oder elektromagnetischer Strahlung (Photonen) auftreten. Diese Strahlung ist sehr energiereich und kann mit der Materie, durch die sie sich bewegt, in Wechselwirkung treten, um Atome direkt oder indirekt zu ionisieren, weshalb sie auch als **ionisierende Strahlung** bezeichnet wird.

Es bestehen **verschiedene Formen des radioaktiven Zerfalls**, die ebenfalls spezifische Strahlung aussenden. Die wichtigsten sind zum Beispiel **Alpha-, Beta- und Gammazerfälle**, die jeweils Alpha-, Beta- und Gammastrahlung aussenden. Eine seltenere Form des radioaktiven Zerfalls ist die Spontanspaltung, bei der sich der Kern in zwei Kernspaltungsprodukte aufspaltet und dabei einige Neutronen freisetzt, ebenfalls eine Form der ionisierenden Strahlung. Der letztgenannte Prozess findet auch in einem Kernreaktor statt, wird aber durch die vorhandenen Neutronen induziert und wir bezeichnen ihn dann als induzierte Spaltung (siehe Abschnitt 1.2.1.2). Beim Zerfall bestimmter Atome kann auch eine Kombination dieser verschiedenen Formen des radioaktiven Zerfalls auftreten, wobei ebenfalls eine Kombination der verschiedenen Strahlungsarten ausgesandt wird. Mit anderen Worten: Eine radioaktive Quelle, die nur aus einer einzigen Art radioaktiver Atome besteht, kann verschiedene Arten von Strahlung mit unterschiedlichen Energien aussenden.

Exkurs — Atomare Konstruktion und Notation von Radionukliden

Alle Materie ist aus Atomen aufgebaut, die wiederum aus einem Atomkern und Elektronen bestehen. Der Atomkern selbst enthält eine Anzahl von Protonen und Neutronen. Protonen sind positiv geladen, Elektronen negativ und Neutronen sind nicht elektrisch geladen. Ein neutrales Atom hat eine gleiche Anzahl von Protonen und Elektronen. Die Anzahl der Protonen (Ordnungszahl Z) im Atomkern bestimmt die Art des Atoms, das **chemische Element**. Elemente mit einer bestimmten Anzahl von Protonen im Kern können jedoch eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen (N) haben: Diese werden als **Isotope** eines bestimmten Elements bezeichnet. Nuklide ist die Sammelbezeichnung für die verschiedenen möglichen Kombinationen von Protonen und Neutronen im Atomkern, und wir benennen sie nach dem chemischen Element (oder der dafür verwendeten Abkürzung), gefolgt von der Massenzahl, die der Anzahl der Kernteilchen (Nukleonen: Protonen und Neutronen) entspricht. Nuklide können stabil oder radioaktiv sein, im letzteren Fall spricht man von **Radionukliden**. Einige Beispiele:

- Cäsium-137 (oder Cs-137, oft auch ^{137}Cs) ist ein Cäsium-Atom mit 137 Kernteilchen (Nukleonen). Da Cäsium im Kern immer 55 Protonen hat (Ordnungszahl), enthält Cs-137 82 Neutronen (137 minus 55). Cs-137 ist radioaktiv und zerfällt. Cs-134 ist ein weiteres **Isotop** des Elements Cäsium und ist ebenfalls radioaktiv. Cs-133 hingegen ist eine stabile Form von Cäsium, sogar die einzige stabile Form des Elements Cäsium;
- Wasserstoff-1 (oder H-1, oft auch ^1H) ist die häufigste stabile Form von Wasserstoff; der Kern besteht nur aus einem Proton. Deuterium (Wasserstoff-2, H-2 oder ^2H) ist ebenfalls stabil, und etwa 0,01 % des gesamten Wasserstoffs ist Deuterium, es enthält ein Proton und ein Neutron im Kern. Tritium (Wasserstoff-3, H-3 oder ^3H) ist ebenfalls eine Form von Wasserstoff, enthält aber 2 Neutronen im Kern und ist radioaktiv. Speziell für Wasserstoff haben die verschiedenen Isotope Namen: Wasserstoff, Deuterium und Tritium;
- Technetium-99m (Tc-99m oder $^{99\text{m}}\text{Tc}$) ist ein Technetium-Atom mit 99 Kernteilchen; es ist radioaktiv. Das „m“ bezieht sich auf die Tatsache, dass sich der Technetium-99-Kern in einem höheren energetischen Zustand befindet (wir nennen dies einen angeregten Kernzustand). Tc-99m zerfällt in den Grundzustand von Tc-99, das selbst radioaktiv ist, sodass sich Tc-99m und Tc-99 auf zwei verschiedene Kernzustände desselben Isotops beziehen, die auch beide unterschiedlich zerfallen.

Eine **radioaktive Quelle** ist eine Ansammlung von radioaktiven Atomen, wobei es sich jeweils um die gleichen Radionuklide (z. B. Cs-137) oder eine Mischung von verschiedenen Radionukliden (z. B. Cs-137 und Cs-134) handeln kann.

Tabelle 8: Beispiele für die Aktivität einiger radioaktiver Quellen, in aufsteigender Stärke. Die verwendeten Präfixe (k, M, G, T, P) sind weiter unten im Text zu finden.

Radioaktivität im Meerwasser	12 Bq/Liter
Radioaktivität in Kartoffeln	160 Bq/kg
Im menschlichen Körper vorhandenes K-40	3 kBq
Gesamtaktivität im menschlichen Körper (K-40, H-3, C-14, Ra-226...)	8,5 kBq
Einleitung von radioaktivem I-131 in die Luft aus KKW Doel und KKW Tihange zusammen pro Jahr - Durchschnitt im Zeitraum [2016-2020].	30 MBq
In der Knochenszintigraphie zur Diagnose/bei Patienten verwendetes Tc-99m	740 MBq
Bei der Behandlung von Schilddrüsenkrebs/Patient verwendetes I-131	2 GBq
1 Million Tonnen Uran-Erz	720 TBq
Beim Fukushima-Unfall (2011) in die Atmosphäre freigesetztes Cs-137	6 bis 20 PBq
Beim Unfall in Tschernobyl (1986) in die Atmosphäre freigesetztes Cs-137	85 PBq
Gesamtmenge des bei oberirdischen Atombombentests freigesetzten Cs-137 (hauptsächlich im Zeitraum 1950-1965)	948 PBq

Die **Aktivität** einer radioaktiven Quelle wird in der Anzahl der radioaktiven Atome, die pro Sekunde zerfallen, ausgedrückt. Die Einheit ist das Becquerel (Bq). 1 Becquerel entspricht einem radioaktiven Atom, das pro Sekunde zerfällt. Das Becquerel ist eine kleine Einheit. Schwache radioaktive Quellen, z. B. zum Testen eines Strahlungsmessgeräts, haben in der Regel bereits eine Aktivität von einigen tausend Becquerel (einige kBq). Eine Übersicht über die Aktivität einer Reihe von radioaktiven Quellen finden Sie in Tabelle 8.

Radioaktive Atome können auch mit nichtradioaktivem Material vermischt werden, z. B. wenn Radioaktivität in Wasser eingeleitet wird, enthält dieses Wasser eine bestimmte Aktivität pro Liter Wasser (Bq/l). Analog dazu kann Radioaktivität z. B. in Lebensmitteln (Bq/kg), in der Luft (Bq/m³) oder auf dem Boden (Bq/m²) vorhanden sein.

Exkurs – Verwendung von Präfixen

Für bestimmte Größen bei der Bewertung von radiologischen Auswirkungen wie Aktivität und Dosis werden Standardpräfixe verwendet, um sehr große und sehr kleine Werte in den verwendeten Standardeinheiten darzustellen.

Präfix		Basis 10	Dezimal
Name	Symbol		
Peta	P	10 ¹⁵	1.000.000.000.000.000
Tera	T	10 ¹²	1.000.000.000.000
Giga	G	10 ⁹	1.000.000.000
Mega	M	10 ⁶	1.000.000
Kilo	k	10 ³	1.000
		10 ⁰	1
Milli	m	10 ⁻³	0,001
Mikro	μ	10 ⁻⁶	0,000001
Nano	n	10 ⁻⁹	0,000000001
Piko	p	10 ⁻¹²	0,000000000001
Femto	f	10 ⁻¹⁵	0,000000000000001

Beispiele sind: GBq (Gigabecquerel), PBq (Pëtabecquerel), μSv (Mikrosievert), nSv/h (Nanosievert pro Stunde), ... aber natürlich auch in anderen Bereichen verwendet, man denke an MW (Megawatt), kWh (Kilowattstunde), ...

Die Aktivität einer Quelle eines bestimmten Radionuklids ist proportional zur Anzahl der darin enthaltenen radioaktiven Atome; die Proportionalitätskonstante ist spezifisch für jedes Radionuklid. Dies impliziert, dass die Aktivität einer Quelle eines ganz bestimmten Radionuklids exponentiell mit der Zeit abnimmt. Die Zeit, in der sich die Aktivität halbiert, wird als **Halbwertszeit** bezeichnet. Diese ist radionuklidspezifisch und kann von weniger als einer Millisekunde bis zu Milliarden von Jahren reichen. Zum Beispiel hat Tc-99m eine Halbwertszeit ($T_{1/2}$) von 6,0072 Stunden, I-131 (Jod 131) 8,0252 Tage, Tritium 12,312 Jahre und Cs-137 30,05 Jahre. Halbwertszeiten sind radionuklidspezifisch und weitgehend konstant, es ist jedoch nicht so, dass Faktoren wie z. B. Druck, chemische Umgebung keinen Einfluss auf die Halbwertszeiten von Radionukliden haben, sondern diese Effekte sind extrem gering. Die Stärke einer radioaktiven Quelle nimmt also mit der Zeit ab, wie in der Abbildung unten dargestellt. Nach einer Halbwertszeit ist die Aktivität auf die Hälfte (1/2) der ursprünglichen Aktivität gesunken. Nach 2 Halbzeiten zu einem Viertel (1/4), usw. Nach 10 Halbzeiten beträgt die Aktivität weniger als 1/1.000 der ursprünglichen Aktivität. Neben dem radioaktiven Zerfall gibt es grundsätzlich die Möglichkeit, ein Radionuklid

durch Kernreaktionen in ein anderes (meist ebenfalls radioaktives) Nuklid umzuwandeln. Dies wird Transmutation genannt.

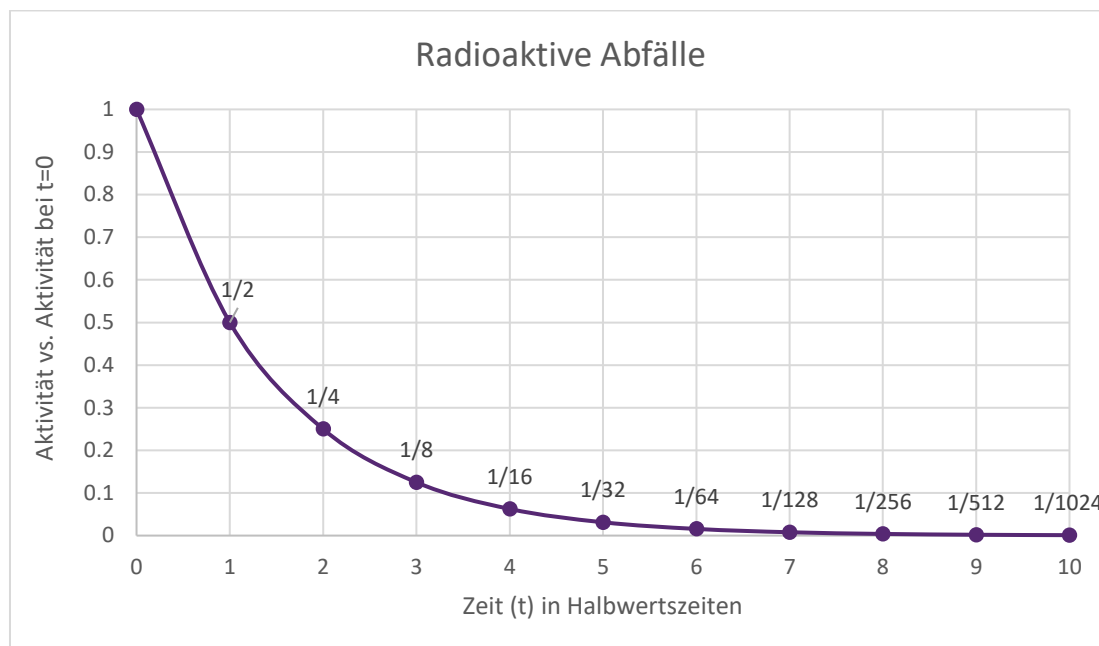


Abbildung 11: Exponentielle Abnahme der Aktivität einer radioaktiven Quelle mit der Zeit (die Zeit wird als Halbwertszeit oder die Zeit angegeben, die benötigt wird, damit die Aktivität einer radioaktiven Quelle um die Hälfte abnimmt).

Da Radioaktivität ein natürliches Phänomen ist und alles um uns herum mehr oder weniger stark radioaktiv ist, unterscheiden wir zwischen **natürlicher** und **künstlicher Radioaktivität**.

Natürliche Radioaktivität wird durch eine Reihe von natürlich vorkommenden Radionukliden verursacht. Der größte Teil von ihnen ist seit der Entstehung der Erde vorhanden; wir nennen sie primordiale Radionuklide. Es handelt sich um *langlebige Radionuklide*, die wichtigsten sind Kalium-40 (K-40), Uran-238 (U-238) und Thorium-232 (Th-232). Kalium-40 zerfällt sofort in stabile Atome, aber U-238 und Th-232 zerfallen über eine ganze Reihe von aufeinanderfolgenden Radionukliden, bis sie stabiles Blei bilden: das sind die natürlichen Zerfallsreihen (Uran- und Thoriumreihe) und sie enthalten radioaktive Elemente wie Radium-226 (Ra-226) und Radon (Rn-222 und Rn-220). Letzteres wird auch Thoron genannt, weil es in der Thoriumreihe vorkommt). Diese Radionuklide sind daher überall auf der Welt vorhanden, mit wichtigen natürlichen Variationen. Weitere natürliche Radionuklide entstehen konstant durch kosmische Strahlung (kosmogene Radionuklide) aus dem Weltraum, die über Kernreaktionen natürliche Radionuklide wie Tritium (H-3) und Kohlenstoff-14 (C-14) entstehen lässt. Diese letzten beiden Radionuklide werden auch beim Betrieb eines Kernreaktors auf künstliche Weise erzeugt.

Künstliche Radioaktivität ist das Ergebnis von vom Menschen hergestellten Radionuklide. Es gibt mehrere Quellen für künstliche Radionuklide: Atombombentests, der Betrieb von Kernreaktoren und Teilchenbeschleunigern, die medizinische Verwendung von Radionukliden, ... Einige künstliche Radionuklide kommen in der Natur (fast) nicht vor und sind daher fast ausschließlich auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen (z. B. Jod-131); andere Radionuklide, wie Tritium und C-14, kommen sowohl in der Natur als auch künstlich vor.

Die Bestrahlung gegenüber ionisierender Strahlung aus radioaktiven Quellen kann auf verschiedene Weise erfolgen:

- Man kann von einer in der Ferne befindlichen radioaktiven Quelle bestrahlt werden; wir nennen dies **externe Bestrahlung**. Gammastrahlen und Neutronenstrahlung sind die Hauptquellen der externen Bestrahlung;
- Man kann **mit radioaktiven Partikeln verunreinigt oder kontaminiert** sein, entweder:
 - äußerlich: nur die Haut ist (teilweise) kontaminiert;
 - innerlich, z. B. durch Einatmen radioaktiver Partikel, Verzehr kontaminierter Lebensmittel oder durch Wunden bei äußerer Kontamination (oder in einem medizinischen Kontext durch Verabreichung einer radioaktiven Quelle zur Diagnose oder Behandlung).

Eine kontaminierte Person (intern oder extern oder beides) wird automatisch ebenfalls bestrahlt. Diese verschiedenen Expositionspfade führen zu unterschiedlichen radiologischen Auswirkungen und werden stets bei einer Analyse der radiologischen Auswirkungen berücksichtigt.

Im Allgemeinen wird man durch externe Bestrahlung nicht kontaminiert: nur externe Bestrahlung mit Neutronen (und sehr hochenergetischer Gamma- oder Röntgenstrahlung, die in diesem Zusammenhang nicht anwendbar ist) kann zu einer Aktivierung führen, bei der radioaktive Atome durch Kernreaktionen stabiler Atome mit Neutronen entstehen. Ein Beispiel dafür ist die Bildung von radioaktivem Tritium durch Neutronenabsorption (Neutroneneinfang) bei Interaktion mit dem stabilen Deuterium. Ein weiteres Beispiel ist, dass begrenzte Mengen des im Reaktorbehälter vorhandenen stabilen Kobalt-59 (Co-59) Neutronen absorbieren, wodurch radioaktives Co-60 entsteht.

Die beim Alphazerfall emittierte Alphastrahlung (α -Strahlung) besteht aus He-4-Kernen, die ihre gesamte Energie über eine sehr kurze Distanz (Zentimeter in der Luft, Mikrometer im Gewebe) abgeben, so dass sie bei äußerer Bestrahlung keine oder nur eine sehr geringe Gefahr darstellen, bei innerer Kontamination aber sehr gefährlich sein können (Gewebeschäden).

Betastrahlung (β -Strahlung), die beim Betazerfall abgegeben wird, besteht aus Elektronen oder Positronen und gibt ihre Energie über eine begrenzte Entfernung (Meter in Luft, Millimeter in Wasser oder Gewebe) ab und kann daher sowohl ein externes Strahlungsproblem, als auch ein externes oder internes Kontaminationsproblem darstellen. Da diese Teilchen ihre Energie über eine größere Entfernung/Volumen abgeben, sind sie weniger gefährlich als Alphastrahler bei innerlicher Kontamination.

Gammastrahlung (γ -Strahlung) ist eine Form der elektromagnetischen Strahlung (wie Licht, aber mit einer viel kleineren Wellenlänge oder höheren Frequenz), die beim Gammazerfall ausgesandt wird. Die Gammastrahlung tritt häufig nach dem Alpha- oder Betazerfall auf und hat eine lange Reifezeit (Hunderte von Metern in der Luft, zehn Zentimeter im Gewebe) und ist daher sowohl bei der externen Bestrahlung als auch bei Kontamination von Bedeutung.

Neutronen, die durch spontane oder induzierte Kernspaltung oder andere Kernreaktionen emittiert werden, haben eine lange Halbwertszeit, es werden spezielle Materialien zur Abschirmung benötigt und sie sind besonders wichtig für die externe Bestrahlung.

Die Wirkung oder Auswirkung ionisierender Strahlung wird mit dem Begriff der **Dosis** beschrieben. Es gibt jedoch mehrere Größen für die Dosis: die physischen Größen, die im Strahlenschutz verwendeten Größen und die betrieblichen Größen (die bei der praktischen Überwachung, z. B. durch Messungen, verwendet werden). Oft werden diese Begriffe synonym verwendet, dennoch ist es wichtig, sie zu unterscheiden — siehe Abbildung 12. Wir erörtern hier die wichtigsten dosimetrischen Größen im Zusammenhang mit der Bewertung der radiologischen Auswirkungen auf den Menschen.

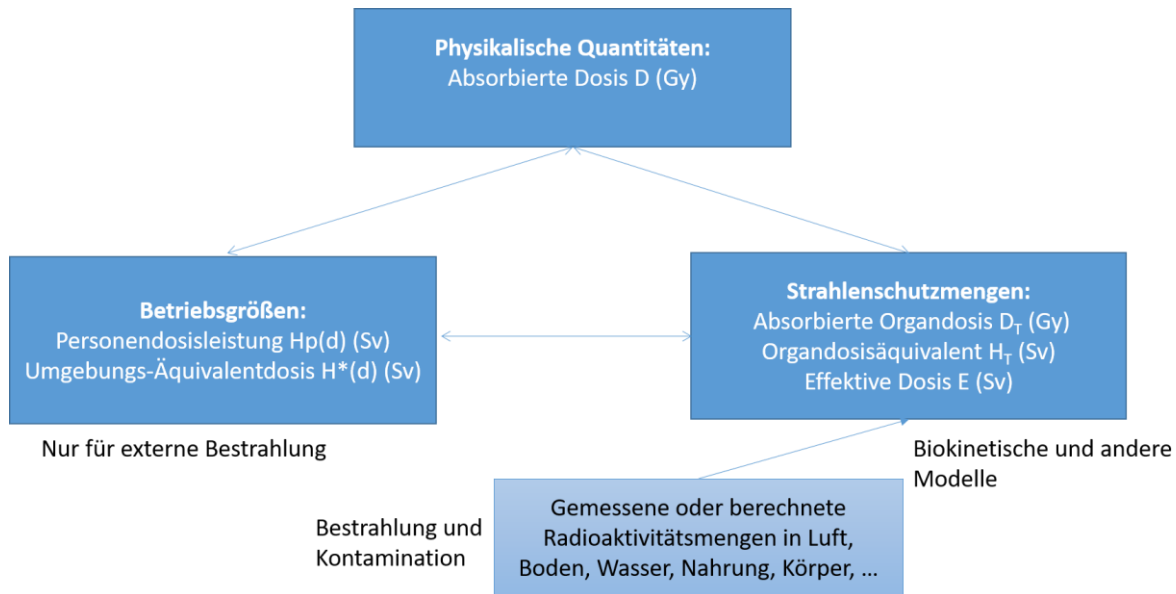


Abbildung 12: Übersicht über die verschiedenen Dosisstärken mit ihrem Symbol und ihrer Einheit (siehe Text für weitere Erläuterungen).

Die **Energiedosis** ist die Energiemenge, die pro Masse absorbiert wird: $D = \frac{dE}{dm}$, und wird in Gray (Gy) ausgedrückt, was 1 Joule (Einheit der Energie) pro Kilogramm entspricht oder $1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}}$. Das Gray ist eine große Einheit, denn bei einer kompletten externen Körperbestrahlung mit Gammastrahlung in kurzer Zeit mit 4 bis 5 Gy (also 4 bis 5 Joule pro Kilogramm) hat die bestrahlte Person ohne medizinische Behandlung nur eine 50 %ige Überlebenschance (tödliche Dosis). Die Person wird daher bei dieser Dosis Strahlensymptome aufweisen, die auch als deterministische Wirkungen oder nach der neueren Terminologie als Gewebereaktionen bezeichnet werden. Die absorbierte Dosis wird daher zur Beschreibung dieser Gewebereaktionen verwendet. Diese Wirkungen treten ab einer bestimmten Schwellendosis auf, z. B. Rötung der Haut und Schädigung der Darmzellen. Die Energiedosis kann auch für einen bestimmten Körperteil (Gewebe oder Organ) verwendet werden, dies wird dann oft mit D_T (wobei T für das englische Wort „tissue“ steht) angegeben, aber auch für die Bestrahlung von Gegenständen, Pflanzen und Tieren. Deterministische Effekte oder Gewebereaktionen wollen wir auf jeden Fall vermeiden.

Die **Äquivalentdosis** ist die für die Strahlungsart gewichtete Energiedosis, um den biologischen Effekt der Strahlungsart zu berücksichtigen. Bei gleicher Energiedosis verursacht die Alphastrahlung viel mehr Schaden als die Beta- oder Gammastrahlung. Auch Neutronen haben im Allgemeinen einen größeren biologischen Effekt. Die Äquivalentdosis ist dann für ein bestimmtes Organ oder Gewebe definiert als:

$$H_T = \sum_R w_R D_T$$

mit w_R ein Gewichtungsfaktor für die Strahlungsart (das R steht hier für „Radiation“), der den biologischen Effekt der Strahlungsart beschreibt: $w_R = 20$ für Alphastrahlung, $w_R = 1$ für Beta- und Gammastrahlung und w_R für Neutronen in Abhängigkeit ihrer Energie^v. Die Äquivalentdosis wird in Sievert (Sv) angegeben und ist ebenfalls eine Größeneinheit.

Die **effektive Dosis** ist die Äquivalentdosis gewichtet nach der Empfindlichkeit der verschiedenen Organe.

$$E = \sum_T w_T H_i$$

Dieser Gewichtungsfaktor ist gewebe-/organabhängig. Die neuesten Gewichtungsfaktoren finden sich im Königlichen Erlass vom 19. August 2020 zur Änderung des Königlichen Erlasses vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen. Die Gewichtungsfaktoren werden verwendet, um das Risiko stochastischer Effekte zu bestimmen, und somit ist die effektive Dosis immer mit einer Abschätzung der Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahlungseffekte verbunden, insbesondere der Induktion von (tödlichen) Krebserkrankungen und genetischen Effekten. Dies ist die wichtigste Größe im Strahlenschutz und ermöglicht den Vergleich verschiedener Bestrahlungen/Bestrahlungssituationen. Auch Dosisgrenzwerte oder Referenzwerte werden häufig als effektive Dosis definiert (siehe unten).

Gewebereaktionen (oder deterministische Effekte) treten nur auf, wenn eine bestimmte Schwellendosis überschritten wird. Unterhalb dieser Schwellendosis tritt der Effekt nicht auf. Die Schwellendosis ist für verschiedene Strahlenwirkungen unterschiedlich, liegt aber für das Auftreten klinischer Effekte typischerweise über 1 Gy, Dosen, die auf jeden Fall vermieden werden sollten und nur bei sehr schweren Strahlenunfällen überschritten werden. Hinzu kommen **stochastische Effekte**, insbesondere das Krebsrisiko und genetische Effekte, die bereits bei niedrigeren Dosen auftreten können. Aus epidemiologischen Studien wissen wir, dass die Inzidenz dieser Erkrankungen linear mit der effektiven Dosis ansteigt. Bei niedrigen Dosen ist das Auftreten von stochastischen Effekten daher gering und nicht von einem spontanen Auftreten (ohne Strahlenexposition) zu unterscheiden. Im Strahlenschutz geht man bis zu sehr niedrigen Dosen von einer linearen Beziehung aus, ohne eine Schwellendosis in Betracht zu ziehen (Linear non-threshold oder LNT-Ansatz). Bei der radiologischen Umweltverträglichkeitsprüfung, wie sie hier für den Normalbetrieb von Kernreaktoren wie Doel 4 und Tihange 3 durchgeführt wird, und auch bei einer beträchtlichen Anzahl möglicher Unfallszenarien, befinden wir uns in diesem Bereich von effektiven Dosen (oft sehr weit) unter 50-100 mSv, in dem Strahlenwirkungen noch nie epidemiologisch festgestellt wurden.

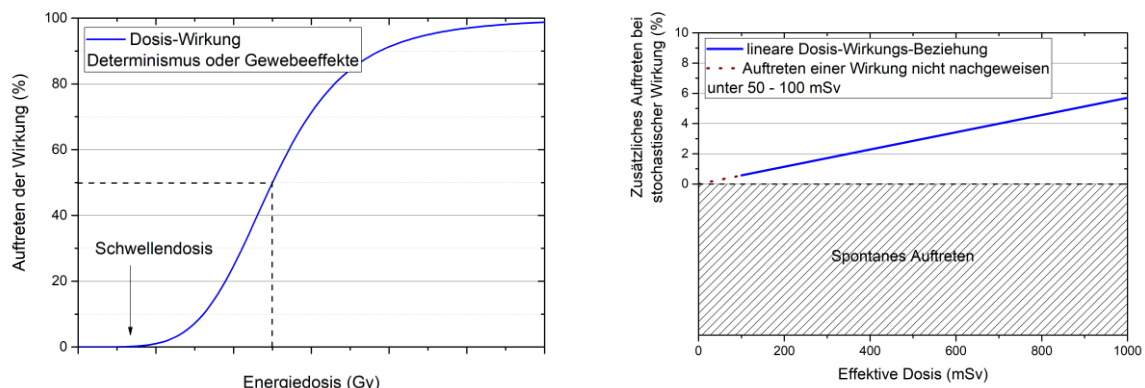


Abbildung 13: Schematische Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Gewebereaktionen (links) und für stochastische Effekte (rechts). Gewebereaktionen treten ab einer bestimmten Schwellendosis auf. Danach nimmt die Inzidenz rasch zu, bis sie bei allen Menschen auftritt. Das Auftreten von stochastischen Effekten steht in linearer Verbindung zur Dosis, der man ausgesetzt ist. Bei niedrigen Dosen (unter 50-100 mSv effektiver Dosis wurde dies jedoch nie nachgewiesen und es wird vorsichtshalber eine lineare Extrapolation angenommen). Hier wird das gesamte Auftreten von stochastischen Effekten (Krebserkrankungen und genetische Effekte) für eine Person aus der Öffentlichkeit bei niedriger Dosisleistung dargestellt, wobei bei 1 Sv effektiver Dosis ein zusätzliches Auftreten 5,7 % (zusätzlich zum spontanen Auftreten, das viel wahrscheinlicher ist) von stochastischen Effekten zu erwarten ist.

Tabelle 9: Wahrscheinlichkeit stochastischer Wirkungen aufgrund einer Strahlenexposition oberhalb des natürlichen Hintergrunds in Prozent bei einer effektiven Dosis von 1 Sv bei niedriger Dosisleistung (auf der Grundlage des Vorsorgeprinzips und gemäß dem „linearen Nicht-Schwellenwert“-Ansatz ergibt eine Bestrahlung von 1 mSv oberhalb der natürlichen Bestrahlung 1/1.000 der nachstehenden Werte).

	Krebs	Erbliche Erkrankungen	Insgesamt
Arbeitnehmer	4,1 %/Sv	0,1 %/Sv	4,2 %/Sv
Bevölkerung	5,5 %/Sv	0,2 %/Sv	5,7 %/Sv

Mit der effektiven Dosis können unterschiedliche Bestrahlungen und damit deren Risiko verglichen werden. Tabelle 10 zeigt die effektive Dosis pro Jahr für eine(n) durchschnittliche(n) Belgier/-in (für das Jahr 2015), wobei der Beitrag aus verschiedenen Bestrahlungsformen angegeben ist.

Tabelle 10: Durchschnittliche effektive Dosisbelastung in Belgien im Jahr 2015^{vi}.

Dosisbelastung pro Kopf im Jahr 2015	mSv/Jahr
Kosmos (kosmische Strahlung, kosmogene Radionuklide, Flugreisen, Aufenthalt in höheren Lagen)	0,35
Erdstrahlung (externe Strahlung natürliche Radioaktivität im Boden)	0,40
Einatmen von natürlichen Radionukliden (Radon, Thoron und Zerfallsprodukte)	1,40
Aufnahme natürlicher Radionuklide (gesamte natürliche Radioaktivität in Nahrung und Trinkwasser)	0,29
Industrielle Anwendungen (Einleitungen etc.)	<0,01
Medizinische Anwendungen (Röntgen, CT, SPECT, PET usw.)	1,53
Insgesamt (Durchschnitt)	3,98

Es sei darauf hingewiesen, dass es geografische Unterschiede bei der terrestrischen Strahlung durch Radon/Thoron gibt, wobei die Strahlenbelastung im Süden des Landes, vor allem in den Ardennen, höher ist, was auf eine höhere Konzentration primordialer Radionuklide im Boden und damit verbundene höhere Radon- und Thoronkonzentrationen zurückzuführen ist. So beträgt die Kombination aus kosmischer und terrestrischer Strahlung in der Umgebung von Doel 0,70-0,75 mSv/Jahr und in der Umgebung von Tihange 0,90-0,95 mSv/Jahr. Andererseits gibt es natürlich auch individuelle Unterschiede, vor allem aufgrund unterschiedlicher medizinischer Bestrahlung, aber auch aufgrund von Unterschieden in der Häufigkeit von Flugreisen, der Ernährung usw. Wir können außerdem zwischen natürlicher Bestrahlung (kosmische und terrestrische Strahlung, Inhalation und Ingestion natürlicher Nuklide) und künstlicher Bestrahlung (industrielle Anwendungen und medizinische Bestrahlung) unterscheiden, und diese belaufen sich auf 2,44 mSv/Jahr bzw. 1,54 mSv/Jahr für einen durchschnittlichen Belgier. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern ist die Bestrahlung gegenüber natürlicher Strahlung in den Niederlanden am geringsten (1,48 mSv/Jahr) und in Finnland am höchsten (6,16 mSv/Jahr). Die durchschnittliche natürliche Bestrahlung in Europa beträgt 3,20 mSv/Jahr. Auch bei der künstlichen Bestrahlung gibt es erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen europäischen Ländern, insbesondere bei der Exposition durch medizinische Verfahren. Dabei liegen die belgischen Bestrahlungswerte im Vergleich zu den medizinischen Bestrahlungen in den verschiedenen anderen europäischen Ländern am oberen Ende des Spektrums, zeigen aber einen leichten Abwärtstrend.

Neben der Energie-, der Äquivalent- und der effektiven Dosis gibt es eine Reihe operativer dosimetrischer Größen, wie z. B. das **Personen-Dosisäquivalent $H_p(d)$** , eine Größe, die in der Personendosimetrie verwendet wird, und das **Umgebungs-Dosisäquivalent $H^*(d)$** , die bei Umgebungsmessungen der Strahlendosis verwendet wird und bei der sich d auf die Tiefe bezieht, in der sie ausgewertet wird, und standardmäßig 10 mm entspricht.

Bei dosimetrischen Größen kann neben der Gesamtdosis auch die Dosis pro Zeiteinheit, also die Dosisleistung, betrachtet werden (z. B. die Umgebungsäquivalentdosisleistung, wie sie von einem aktiven Strahlungsdetektor gemessen wird, kurz auch „Dosisleistung“ genannt).

Im **Strahlenschutz** (ICRP103^{vii}) wird zwischen 3 möglichen Expositionssituationen unterschieden, die auch in der Richtlinie 2013/59/EURATOM und in der belgischen Gesetzgebung eingeführt wurden:

- geplante Bestrahlungen, wie z. B. der Betrieb eines Kernkraftwerkes, insbesondere Doel 4 und Tihange 3 mit allen dazugehörigen Aktivitäten, gehören in diese Kategorie;
- bestehende Bestrahlungssituationen, d. h. eine Bestrahlungssituation, die zu dem Zeitpunkt, zu dem eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss, bereits besteht und für die die Anwendung von Sofortmaßnahmen nicht oder nicht mehr erforderlich ist; z. B. historische Kontamination aufgrund früherer Tätigkeiten, bei denen z. B. andere Einleitungsgrenzwerte galten;
- Bestrahlung in Notsituationen (siehe auch speziell Nukleare Notfallplanung).

Das **Strahlenschutzsystem** stützt sich auf die folgenden 3 Hauptsäulen:

- Rechtfertigung;
- Dosisoptimierung;
- Dosisbegrenzung

für alle Situationen, in denen eine Exposition auftreten kann.

Rechtfertigung, geplante Bestrahlungen sind dann gerechtfertigt, wenn sichergestellt werden kann, dass der Nutzen, den sie für den Einzelnen oder die Gemeinschaft beinhalten, die gesundheitlichen Schäden, die sie verursachen können, überwiegt. Die Genehmigung ist der Nachweis der Rechtfertigung (K. E. 19.08.2020).

Die Dosisoptimierung erfordert, dass die Bestrahlung von Personen so optimiert wird, dass die individuellen Dosen, die Wahrscheinlichkeit der Bestrahlung und die Anzahl der bestrahlten Personen so niedrig wie möglich gehalten werden. Diese Säule wird praktisch durch die Begrenzung der Zeit bei der Strahlungsquelle, die Maximierung des Abstands zur Strahlungsquelle und die Vermeidung oder Begrenzung der Abschirmung der Strahlungsquelle/Diffusion erreicht.

Dosisbegrenzung - Dosisgrenzwerte²⁶ werden für geplante Bestrahlungen definiert und per K. E. festgelegt. Die neuesten Dosisgrenzwerte finden sich im K. E. vom 19. August 2020^{viii} und sind in Tabelle 11 aufgeführt. Es wird zwischen Einzelpersonen der Bevölkerung und beruflich exponierten Personen (z. B. Personen, die im kerntechnischen Bereich eines Kernkraftwerks arbeiten) unterschieden.

²⁶ Dosisgrenzwerte beziehen sich auf die kombinierte Bestrahlung, die sich aus allen Einwirkungen ergibt, die eine Erhöhung der empfangenen Dosis verursachen können, während sich Dosisbegrenzungen auf die Bestrahlung beziehen, die sich aus einer bestimmten Einwirkung ergibt.

Tabelle 11: Dosisgrenzwerte^{ix}.

Dosisgrenzwerte		Öffentlichkeit	Beruflich exponierte Personen (*)	Schüler und Studenten (16 – 18 Jahre)
Effektive Dosis (E)		1 mSv pro Jahr 1 mSv während der Schwangerschaft	20 mSv pro 12 aufeinanderfolgende Gleitmonate	6 mSv pro Jahr
Äquivalentdosen (H)	Okular	15 mSv pro Jahr	20 mSv pro 12 aufeinanderfolgende Gleitmonate	15 mSv pro Jahr
	Haut (durchschnittliche Dosis über eine Fläche von 1 cm ²)	50 mSv pro Jahr	500 mSv pro 12 aufeinanderfolgende Gleitmonate	150 mSv pro Jahr
	Hände, Unterarme, Füße und Knöchel	Nicht anwendbar	500 mSv pro 12 aufeinanderfolgende Gleitmonate	150 mSv pro Jahr

(*) Ein Arbeitnehmer gilt als beruflich exponiert, wenn die Gefahr besteht, dass einer der für die Öffentlichkeit festgelegten Dosisgrenzwerte überschritten wird.

Der Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr für die effektive Dosis für die Bevölkerung sowie die anderen Dosisgrenzwerte sind als die zusätzliche Dosis zu verstehen, die durch menschliche Aktivitäten zusätzlich zu der Dosis aufgrund natürlicher Exposition und der Dosis im Rahmen einer medizinischen Diagnose oder Behandlung erhalten wird. Der durchschnittliche Belgier erhält jedoch weniger als 1 % dieses Dosisgrenzwerts (<0,01 mSv/Jahr) aufgrund industrieller nuklearer und radiologischer Anwendungen, einschließlich Kernkraftwerken zur Energieerzeugung.

Für die Bewertung der radiologischen Wirkungen auf den Menschen werden die Strahlenschutzkenngößen wie oben beschrieben verwendet. Im Normalbetrieb sind die Dosen so gering, dass nur stochastische Effekte berücksichtigt werden sollten. So werden die effektiven Dosen berechnet und mit dem Grenzwert von 1 mSv/Jahr für die Bevölkerung verglichen. Bei Unfällen sollen jederzeit Gewebereaktionen vermieden werden (siehe Unfallmethodik), und die effektive Dosis sowie die Schilddrüsen-Äquivalentdosis sind die allgemein bewerteten Größen.

Eine wichtige Anmerkung in diesem Zusammenhang ist, dass die Berechnungen der effektiven Dosis und auch der Organdosen, wie z. B. der Schilddrüsendosis, altersabhängig sind und die Bewertung immer für ein kritisches Individuum, d. h. für die empfindlichste Altersgruppe²⁷ und für die am stärksten exponierte Person dieser Kategorie, durchgeführt wird. Für die am stärksten exponierte Person wird angenommen, dass sie (i) sich ständig an dem Ort mit der höchsten Radioaktivitätskonzentration aufhält, (ii) sich in erheblichem Maße von Produkten aus dem Garten mit der höchsten Deposition ernährt und (iii) sich von Produkten aus der örtlichen Landwirtschaft, Jagd und Fischerei ernährt. Was die Altersgruppe betrifft, so hängt die Exposition neben der vorhandenen Radioaktivität von der Ernährung, dem Atemvolumen pro Zeiteinheit, den biokinetischen Prozessen und der Empfindlichkeit gegenüber ionisierender Strahlung ab. Folgende Altersgruppen werden berücksichtigt:

²⁷ Dies ist nicht in jeder Bestrahlungssituation gleich, es ist durchaus möglich, dass bei einer Exposition Kleinkinder am empfindlichsten sind und bei einer anderen Exposition Jugendliche oder Erwachsene, weil die Dosiswirkung nicht nur von der Empfindlichkeit des Gewebes gegenüber Strahlung abhängt, sondern auch von Faktoren wie Ernährung, Atemvolumen, Zeit usw.

- Säuglinge: Alter <1 Jahr;
- Kinder im Alter von 1-2 Jahren;
- Kinder im Alter zwischen 2 und 7 Jahren;
- Kinder im Alter zwischen 7 und 12 Jahren;
- Kinder im Alter zwischen 12 und 17 Jahren;
- Erwachsene: Alter > 17 Jahre.

Radioaktivität, die über die Atmung oder die Nahrung in den Körper gelangt, kann den Menschen je nach physikalischen und biologischen Eigenschaften über einen längeren Zeitraum hinweg einer Strahlung aussetzen. Einige radioaktive Elemente verschwinden aufgrund des radioaktiven Zerfalls und/oder biokinetischer Faktoren rasch aus dem Körper, während andere über Jahrzehnte im Körper verbleiben können. Bei der Berechnung der Organ-Äquivalentdosen (z. B. der Schilddrüsendosis) und der effektiven Dosis wird dies wie folgt berücksichtigt: Bei einer einmaligen inneren Kontamination durch Einatmen oder Verschlucken wird die Gesamtdosis, die eine Person infolge dieser inneren Kontamination erhält, über einen Zeitraum von 50 Jahren ab der Kontamination für Erwachsene und bis zum Alter von 70 Jahren für die anderen Altersgruppen (Kinder und Säuglinge) berücksichtigt. Dies wird als **Folgedosis** bezeichnet (zugesagte Äquivalentdosis und zugesagte effektive Dosis). Die Berechnung der Gesamtdosis einer Person ergibt sich immer aus der Kombination der Dosis durch äußere Bestrahlung (bei direkter oder unmittelbarer Exposition) und der Folgedosis (durch Einatmen, Verschlucken), und diese Schätzung wird immer sehr konservativ vorgenommen, vgl. die im obigen Absatz beschriebene kritische Person.

Das Kriterium für die Bewertung der **radiologischen Auswirkungen auf die Umwelt, insbesondere der Auswirkungen auf Fauna und Flora** durch die Exposition mit radioaktiver Strahlung, ist die Energiedosisleistung. Die Einheit hierfür ist Joule pro Kilogramm oder Gray pro Zeiteinheit. Die Radionuklidkonzentrationen in der Umwelt werden in die effektive Dosisleistung umgerechnet, wobei die möglichen Expositionspfade der betrachteten Arten berücksichtigt werden. Um die Variation in den mit den verschiedenen Strahlungsformen (Gamma, Beta, Alpha) verbundenen biologischen Auswirkungen zu berücksichtigen, wird häufig ein Gewichtungsfaktor für die Energiedosis eingeführt. Es wird angenommen, dass die Energiedosis gleichmäßig im Organismus verteilt wird. Die Energiedosisleistung ist die Energiedosis pro Zeiteinheit für Fauna und Flora üblicherweise ausgedrückt in Mikrogray pro Stunde ($\mu\text{Gy h}^{-1}$).

Die radiologischen Auswirkungen einer Einrichtung auf die Umwelt sind durch Ströme und/oder Konzentrationen von Radionukliden gekennzeichnet, die in die Umwelt freigesetzt werden können. In radiologischen Sicherheitsstudien wird untersucht, (1) ob diese Größen mit Strömen und Konzentrationen vergleichbar sind, die natürlich in der Umwelt vorkommen, und (2) ob die berechnete Auswirkung eine Beeinträchtigung der Umwelt verursachen kann. Für die radiologischen Einwirkungen wird das Risiko für die Umwelt anhand eines spezifischen Sicherheitsindikators, eines Screening-Werts, berechnet, der in Mikrogray pro Stunde ($\mu\text{Gy h}^{-1}$) ausgedrückt wird.

2.3.3 Allgemeine Methodik der Exposition im Normalbetrieb

In diesem Abschnitt wird die Methodik beschrieben, die zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt während des normalen Betriebs eines Kernkraftwerks verwendet wird. Zu diesem Zweck wird die Gesamtdosis für die kritischste Person bzw. für Referenzorganismen ermittelt, weshalb es wichtig ist, die Strahlenexpositionspfade beim Betrieb eines Kernkraftwerks zu kennen. Die verschiedenen Expositionspfade beim Betrieb eines Kernkraftwerks sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst. Wie sie weiter bewertet werden, wird in den folgenden Absätzen erörtert.

Tabelle 12: Zusammenfassung der potenziellen Expositionspfade beim Betrieb eines Kernkraftwerks.

Herkunft der Exposition	Art der Exposition		Anmerkungen
Radioaktivität und Strahlung am Standort	Direkte Strahlenbelastung		Radioaktivität und ionisierende Strahlung treten in einem Kernkraftwerk an mehreren Stellen auf (Reaktor, Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle usw.) und sind nach außen hin sehr gut abgeschirmt. Dies betrifft also nur Strahlung mit hoher Durchschlagskraft wie Gamma- und Neutronenstrahlung, die potenziell zu diesem Expositionspfad beitragen könnte.
Gasförmige Einleitungen			Ein System aus Absperrungen, Abgasbehältern und Filtersystemen sorgt dafür, dass gasförmige Einleitungen begrenzt werden.
	Interne Exposition	Einatmen	Das Einatmen von Radioaktivität in der vorbeiziehenden Wolke, prinzipiell auch das Einatmen nach Ablagerung von Radioaktivität auf dem Boden und anderen Oberflächen nach Resuspension ist möglich, aber im Allgemeinen von geringer Bedeutung.
		Verzehr	Neben Ablagerung und Aufnahme natürlich auch stark mit der Ernährung verbunden (welche Art von Lebensmitteln, Mengen und von welchem Ort).
	Externe Exposition	Exposition gegenüber der vorbeiziehenden Wolke, die die gasförmigen Einleitungen enthält.	Hauptsächlich durch Gammastrahlung, die durch den Zerfall der radioaktiven Wolke während des Vorbeiziehens entsteht.
		Exposition gegenüber Ablagerungen an der Bodenoberfläche	Die Ablagerung kann sowohl unter trockenen Bedingungen (trockene Ablagerung) als auch durch Niederschlag (nasse Ablagerung) erfolgen. Nicht alle Radionuklide lagern sich auf die gleiche Weise ab: Edelgase zum Beispiel lagern sich nicht ab.
Flüssige Einleitungen			Radioaktives Abwasser wird zunächst behandelt und vor der Einleitung überwacht/gemessen.
	Interne Exposition	Direkte Nutzung des Wassers, in das die Einleitungen erfolgen.	-
		Bewässerung von für den direkten menschlichen Verbrauch und für die Tierernährung (Futtermittel) bestimmten Kulturen mit Wasser, in das die Einleitungen gelangen.	Aufgrund seines Salzgehalts wird das Wasser der Schelde beim KKW Doel nicht zur Bewässerung verwendet.
	Externe Exposition	Schwimmen und Wassersportarten	-

		Schifffahrt	-
		Aufenthalt an Ufern und Baggerschlamm	-

2.3.3.1 Direkte Strahlenbelastung

Dies wird durch Messungen am Rande des Geländes ermittelt. Diese Messungen werden einerseits im Rahmen der radiologischen Überwachung auf dem belgischen Staatsgebiet (FANK, siehe Abschnitt 2.3.5) und andererseits durch den Betreiber durchgeführt.

2.3.3.2 Gasförmige und flüssige Einleitungen

Während des normalen Betriebs des KKW Doel und des KKW Tihange werden begrenzte Mengen an Radioaktivität kontrolliert eingeleitet:

- in die Atmosphäre in Form von gasförmigen Einleitungen;
- in das Oberflächengewässer in Form von flüssigen Einleitungen.

Die gasförmigen Einleitungen in die Atmosphäre enthalten radioaktive Stoffe in gasförmiger Form (Gas und Dampf) oder, im Falle von festen oder flüssigen Partikeln in Suspension in der abgegebenen Luft, in Form von Aerosolen. Diese Abwässer stammen u. a. aus Prozessen zur Entgasung des Primärkühlwassers und können zunächst in Lagerbehältern gesammelt werden, in denen die kurzlebigen Radionuklide zerfallen und damit ihre Aktivität stark reduziert wird, bevor sie eingeleitet werden. Die gasförmigen Abgase stammen auch aus der allgemeinen Belüftung der Nukleargebäude. In allen nuklearen Anlagen schreiben die Sicherheitsvorschriften vor, dass die Luft im Inneren der Gebäude durch Belüftung per Saugzug ständig erneuert werden muss. Die nach außen abgegebenen Luftmengen, die vom Volumen der Gebäude und den Lüftungsvolumenströmen abhängen, sind anlagenspezifisch.

Die flüssigen Einleitungen enthalten radioaktive Stoffe, im Falle von gelösten ionischen Salzen, in Form einer Lösung, oder, im Falle von festen Partikeln, in Form einer Suspension, die mit den Einleitungen vermischt sind. Diese Einleitungen stammen hauptsächlich aus Prozesskreisläufen, wie etwa zur Aufbereitung von Primärkühlwasser in den Kernkraftwerken. Hinzu kommen das Sanitärabwasser (Duschen, Waschbecken usw.) und das Reinigungswasser von den Fußböden in den kerntechnischen Zonen, die als möglicherweise radioaktive Abwässer geführt werden, obwohl sie normalerweise keine Radioaktivität enthalten.

Aufgrund der radiologischen Auswirkungen dieser Einleitungen auf Mensch und Umwelt werden Einleitungsgrenzwerte festgelegt, die Bestandteil der Betriebsgenehmigung der Kernkraftwerke sind. Die dabei festgelegten Schritte sind in Abbildung 14 dargestellt.



Abbildung 14: Schritte in der Methodik für Einleitungen mit radiologischen Auswirkungen bei Normalbetrieb.

In allen Fällen müssen die genehmigten Einleitungsgrenzwerte unter dem gesetzlichen Grenzwert für die Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung gegenüber ionisierender Strahlung liegen. Der Grenzwert für die effektive Dosis ist auf 1 mSv (Millisievert) pro Jahr festgelegt (siehe Grundlegende Konzepte). Dieser Wert bezieht sich ausschließlich auf die zusätzliche Exposition, die durch menschliche Tätigkeiten verursacht wird, u. a. durch den Betrieb der gesamten Kernkraftwerke Doel und Tihange, zu denen Doel 4 bzw. Tihange 3 gehören, und zwar unabhängig von der natürlichen Exposition (kosmische Strahlung, Radon usw.) oder der medizinischen Exposition (Röntgenaufnahmen, Scanner usw.). Außerdem sollten angesichts des im Strahlenschutz angewandten Optimierungsprinzips die Einleitungsgrenzwerte so niedrig festgelegt werden, wie dies unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise möglich ist. Je nach Lebensgewohnheiten kann die Exposition in der Bevölkerung sehr unterschiedlich sein. Die zulässigen Einleitungsgrenzwerte sollten ausreichend niedrig sein, und zwar für den am stärksten exponierten Teil der lokalen Bevölkerung (kritische Personen).

Da das Prinzip der Dosisoptimierung befolgt wird, erfolgt eine Optimierung der tatsächlichen Einleitungen (siehe unten) im Vergleich zu den genehmigten Einleitungen, wobei die Grenzwerte der Genehmigung ausreichend unter dem Grenzwert von 1 mSv/Jahr liegen. Dies entspricht den Grundsätzen, wie sie z. B. international von der ICRP empfohlen werden und in Abbildung 15 dargestellt sind, zusammen mit der durchschnittlichen Gesamtstrahlungsdosis, die ein Belgier pro Jahr erhält.

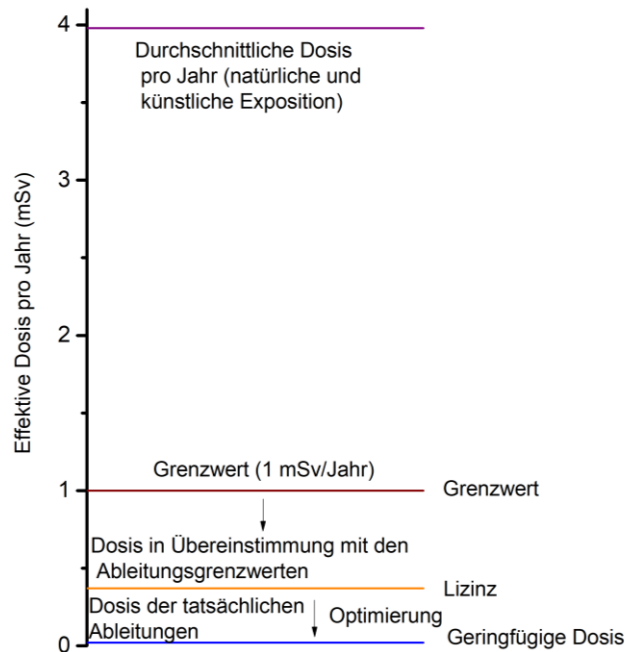


Abbildung 15: Prinzip der Dosisgrenzwerte und der Optimierung: der Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr im Verhältnis zur durchschnittlichen Dosis, die ein Belgier pro Jahr durch alle Expositionen (natürliche, medizinische und industrielle) erhält, und im Verhältnis zu den typischen Werten der Dosen aus radioaktiven Einleitungen (sowohl die Dosis aus Einleitungsgrenzwerten als auch die Dosis aus realen Einleitungen sind angegeben) für die Kernkraftwerke Doel und Tihange.

Gasförmige Einleitungen

Wie oben beschrieben, können während des Normalbetriebs eines Kernkraftwerks begrenzte Mengen flüchtiger radioaktiver Verbindungen an die Atmosphäre abgegeben werden. Diese flüchtigen radioaktiven Verbindungen werden nach ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften in die folgenden Gruppen eingeteilt:

- Edelgase
 - wobei die wichtigsten Xenon-133 (Xe-133), Xenon-135 (Xe-135), Krypton-85 (Kr-85), Krypton-88 (Kr-88) als Kernspaltungsprodukte und Argon-41 (Ar-41) als Aktivierungsprodukt durch Neutronenabsorption durch das stabile Argon-40 (Ar-40) sind;
- Jod
 - mit den Hauptisotopen: Jod-131 (I-131) und Jod-133 (I-133), die Kernspaltungsprodukte sind, kann Jod in verschiedenen Formen vorkommen: als I_2 , als Aerosole oder in organischer Form;
- Aerosole, manchmal weiter abgebaut durch radioaktiven Zerfall
 - Beta-Gamma-Aerosole
 - mit insbesondere Strontium-90 (Sr-90), Kobalt-60 (Co-60), Cäsium-134 und -137 (Cs-134, Cs-137), die eine Kombination von Kernspaltungsprodukten als Aktivierungsprodukte sind;
 - Alpha-Aerosole
 - einschließlich Americium-241 (Am-241);
- Tritium (H-3) in Form von tritiiertem kondensiertem Wasser;

- Kohlenstoff-14 (C-14), der aus verschiedenen Kernreaktionen der beim Abrieb im Reaktorbetrieb erzeugten Neutronen mit stabilen Isotopen von Elementen wie Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff entsteht und in verschiedenen chemischen Formen freigesetzt werden kann. Bei DWR geschieht dies hauptsächlich in Form von Kohlenmonoxid, Methan und anderen Kohlenwasserstoffen.

Die Einleitungen werden kontinuierlich überwacht und es wird geprüft, ob die Einleitungsgrenzwerte nicht überschritten werden. Ausnahmen sind die gasförmigen Einleitungen von Kohlenstoff-14 (C-14) und Tritium (H-3), da sie schwer zu messen sind. Kohlenstoff-14 wird daher auf der Grundlage der Reaktorleistung bestimmt. Hierzu wurden ausführliche internationale Studien durchgeführt, die eine Reihe möglicher Werte für Kohlenstoff 14 für DWR in Abhängigkeit von der installierten elektrischen oder thermischen Leistung liefern^{x, xi}. Es wird ein konservativer Wert von 185 GBq/Jahr für eine installierte Leistung von 1.000 MW_e angenommen. Für Doel und Tihange mit einer installierten elektrischen Gesamtleistung von jeweils 3 GW (Stand vor der endgültigen Abschaltung von Doel 3 und Tihange 2) sind dies 15 Ci (= $5,55 \cdot 10^{11}$ Bq = 555 GBq). Seit 2019 werden am Schornstein von Tihange 2 C-14-Einleitungen gemessen. Diese Messwerte liegen deutlich unter den konservativ angenommenen Werten und wurden daher kürzlich in die Dosisberechnungen für das KKW Tihange einbezogen.

Die Auswirkungen dieser radioaktiven Einleitungen auf Mensch und Umwelt können auf 2 sich ergänzende Arten bewertet werden:

- die *potenziellen Einleitungen*, die durch das Projekt entstehen, können mit den Einleitungsgrenzwerten für die Standorte verglichen werden. Die Einleitungsgrenzwerte sind so festgelegt, dass für die Einleitungen aus dem gesamten KKW Doel und dem KKW Tihange mindestens der Wert von 1 mSv/Jahr nicht überschritten und so niedrig wie vernünftigerweise möglich gehalten wird. Die Überwachung der Einleitungen und die Einhaltung der Einleitungsgrenzwerte ist dann eine Garantie dafür, dass die Auswirkungen begrenzt bleiben;
- für *reale Einleitungen* können dann spezifische Berechnungen der radiologischen Auswirkungen durchgeführt werden, die durch Umweltmessungen ergänzt werden können, um etwaige Spuren dieser Einleitungen zu quantifizieren. Die Bestimmung der Auswirkungen auf der Grundlage der Messergebnisse ist dann möglich.

Es wurden Modelle für theoretische Referenzgruppen erstellt, um die radiologischen Auswirkungen radioaktiver Einleitungen in die Umwelt zu bestimmen. Die effektive Folgedosis aufgrund radioaktiver Einleitungen wird auf der Grundlage der von der FANK akkreditierten Richtlinien [NRC, 1977] der United States Nuclear Regulatory Commission (US-NRC) und der von der FANK erstellten Berechnungsmethodik [FANK, 2013a] berechnet.

Um die Auswirkungen der Einleitungen in die Atmosphäre zu berechnen, werden atmosphärische Ausbreitungsmodelle verwendet, um die Aktivitätskonzentration der verschiedenen Radionuklide zu bestimmen, die in die Luft (in Bq/m³) und durch Ablagerung (Deposition) auf den Boden (in Bq/m²) eingeleitet werden. Diese Berechnungen erfordern meteorologische Daten, die für den Standort über einen längeren Zeitraum (typischerweise ein Jahr oder länger) repräsentativ sind. Die Radioaktivität wird mit dem Wind weggetragen und die Konzentration verdünnt sich stark mit der Entfernung. Abbildung 16 zeigt die relative Häufigkeit des Auftretens einer bestimmten Windrichtung in Doel einerseits und in Tihange andererseits, basierend auf stündlichen Daten über einen Zeitraum von 5 Jahren (1.1.2018 bis 1.1.2023, Quelle KMI - ECMWF). Die Windrichtung ist definiert als die Richtung, aus der der Wind weht (in Grad im Uhrzeigersinn von Norden). Betrachtet man die Einleitungen über einen längeren Zeitraum, so ist die Auswirkung in der Richtung, in die der Wind am häufigsten weht, am größten. Für die KKW Doel und Tihange ist die vorherrschende Windrichtung Südwest, sodass die erwarteten Auswirkungen in nordöstlicher Richtung von den Standorten aus am größten sind. Diese Informationen werden beispielsweise auch genutzt, um ein Überwachungsprogramm rund um beide Standorte einzurichten, bei dem Proben gezielt an der Stelle mit der höchsten potenziellen Belastung und Referenzproben in größerer Entfernung in der am wenigsten vorherrschenden Windrichtung genommen werden.

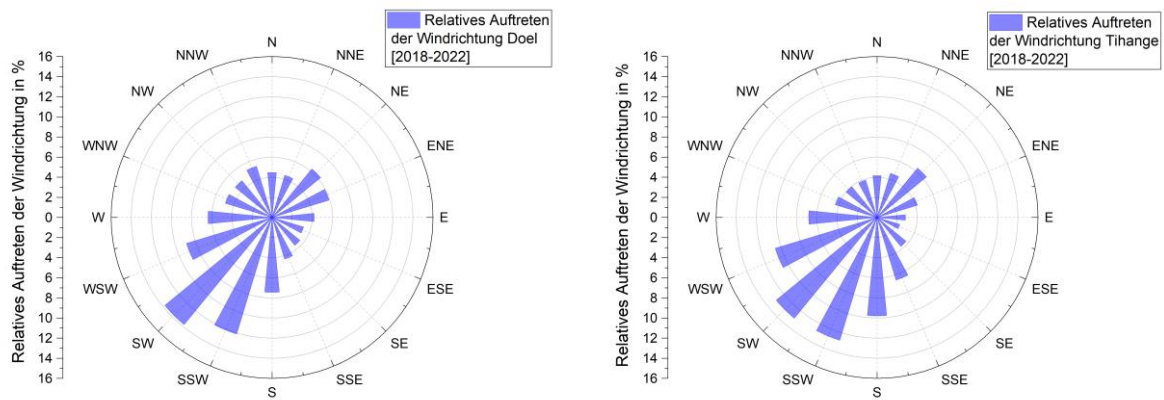


Abbildung 16: Relatives Auftreten der Windrichtung (links Doel - rechts Tihange) basierend auf stündlichen Daten für einen 5-Jahreszeitraum [2018-2022] (Quelle: KMI - ECMWF²⁸).

Neben der Windrichtung sind auch die Windgeschwindigkeit, die Niederschlagsmenge und die atmosphärische Stabilität notwendige Parameter. Bei der Berechnung der atmosphärischen Dispersion wird auch die Höhe der Einleitung berücksichtigt (Kaminhöhe mit einer eventuellen Korrektur für Niederschlagseffekte der Fahne und einem eventuellen Anstieg der Einleitungsfahne aufgrund der Bewegungsmenge und des Wärmeinhalts der Einleitungsfahne). Es werden bi-gaußsche Modelle verwendet, bei denen die Konzentrationsverteilung in der Einleitungsfahne als gaußverteilt in beiden Richtungen senkrecht zur Windrichtung angenommen wird. Die Breite der Gaußverteilung in horizontaler und vertikaler Richtung, die in Abhängigkeit von der Entfernung zum Einleitungspunkt zunimmt, wird durch spezifische, dem Gelände angepasste Parameter beschrieben, die für die atmosphärische Stabilität zum Zeitpunkt der Einleitung spezifisch sind. Die Ablagerung auf dem Boden wird mit Depositionsparametern beschrieben. Für die trockene Deposition ist dies die trockene Depositionsrate, für den Niederschlag ein „Auswaschkoeffizient“. Diese Parameter hängen von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der eingeleiteten radioaktiven Stoffe ab; so lagern sich beispielsweise Edelgase nicht ab, und bei elementarem Jod wird angenommen, dass es sich unter trockenen Bedingungen bei gleicher Konzentration in Bodennähe zehnmal stärker ablagert als Aerosole.

Das Ergebnis dieser atmosphärischen Ausbreitungsmodelle sind durchschnittliche Konzentrationen und Depositionen für eine Einheitseinleitung (Einleitung von 1 Bq); auch Verdünnungskoeffizienten genannt, für die am stärksten exponierte Person außerhalb des Standorts.

Flüssige Einleitungen

Die Einleitungsgenehmigung enthält neben den Höchstmengen, die jährlich eingeleitet werden dürfen, auch die Art der eingeleiteten radioaktiven Stoffe. Die Kernkraftwerke leiten hauptsächlich Tritium in die Schelde und in die Maas ein. Die anderen Radionuklide (z. B. ^{110m}Ag , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{140}La , ^{106}Ru , ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{95}Zr , ^{241}Am usw.) werden in wesentlich geringeren Mengen eingeleitet.

Die Radionuklide in flüssigen Einleitungen in die Schelde oder Maas lassen sich nach ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften in die folgenden Gruppen einteilen;

²⁸ Daten zur Verfügung gestellt vom Königlichen Meteorologischen Institut (KMI), Daten auf der Grundlage numerischer Wetterdaten basierend auf dem „European Centre for Medium-Range Weather Forecasts“ (ECMWF).

Tritium in Form von tritiiertem Wasser Tritium entsteht hauptsächlich im Primärkühlwasser von Kernreaktoren, das im Kern zirkuliert. Es liegt in Form von tritiumhaltigem Wasser (HTO) oder Tritiumgas (HT) vor und kann daher gleichzeitig in flüssigen und gasförmigen Einleitungen vorkommen.

- Beta-, Gammastrahler: ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Nb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$. Die meisten dieser Radionuklide entstehen bei der Spaltung von Kernbrennstoff im Reaktorkern und können sowohl in flüssigen als auch in gasförmigen Einleitungen gefunden werden.
- Alphastrahler: Am-241 ist radiologisch gesehen der wichtigste Alphastrahler und wird in Kernreaktoren aus Plutonium 241 durch Betazerfall erzeugt und kann auch in den flüssigen und gasförmigen Abwässern bzw. Abgasen gefunden werden.

Zur Berechnung der Konzentrationen der eingeleiteten Radionuklide in den Gewässern von Schelde und Maas wird ein einfaches Flussmodell verwendet, das die Verdünnung der eingeleiteten Mengen durch die Fließgeschwindigkeit des Flusswassers berücksichtigt.

Die Schelde ist ein Tidefluss. In Doel sind die Tidedurchflussmengen sehr hoch, im Durchschnitt $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ mit einer daraus resultierenden Abflussmenge zum Meer von $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Diese Abflussmenge sorgt dafür, dass die im Scheldewasser eingeleiteten Stoffe stark verdünnt werden.

Der Verdünnungsfaktor in der Maas ist aufgrund der höheren Abflussrate höher. Der normale durchschnittliche Durchfluss der Maas beträgt $300 \text{ m}^3/\text{s}$ im Winter und $50 \text{ m}^3/\text{s}$ im Sommer. (FANK, 2011²⁹).

Das Flussmodell berücksichtigt weder die Adsorption von Radionukliden auf dem Sediment, die die Konzentrationen von Radionukliden im Wasser (und damit auch die Dosiswirkung) weiter senken würde, noch die Tatsache, dass die Gezeiten des Flusses die Verweilzeit von Radionukliden in der Schelde (und damit möglicherweise auch die Dosiswirkung) erhöhen würden. Bei den Berechnungen der Dosiswirkung für die Bevölkerung wird für die Schelde eine durchschnittliche Durchflussmenge von $101 \text{ m}^3/\text{s}$ zugrunde gelegt. Für die Maas wird ein durchschnittlicher Durchfluss von $239 \text{ m}^3/\text{s}$ berücksichtigt.

2.3.3.3 Auswirkungen auf den Menschen

Einzelpersonen der Bevölkerung, die in der Nähe von Kernkraftanlagen leben oder sich dort regelmäßig aufhalten, können den radioaktiven Stoffen, die von den atmosphärischen Einleitungen der Anlagen ausgehen, im bestimmten Maße ausgesetzt sein. Die Expositionsarten sind allgemein bekannt und werden in zwei verschiedene Kategorien eingeteilt:

- externe Bestrahlung durch ionisierende Strahlung, die beim radioaktiven Zerfall von Radionukliden entsteht, die:
 - in der Luft vorhanden (und daher proportional zur Konzentration in der Luft) sind;
 - durch Ablagerung auf dem Boden und anderen Oberflächen abgelagert werden (und daher proportional zur Deposition sind);
- innere Exposition durch Aufnahme von Radioaktivität in den Körper:
 - durch Einatmen von radioaktiven Stoffen in der Luft;
 - durch den Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln (Obst, Gemüse, Getreide usw.), die durch Ablagerung auf den Boden Radioaktivität aufgenommen haben, und/oder durch den Verzehr von Fleisch und tierischen Produkten (Milch, Käse usw.), die von Tieren aus der heimischen Zucht stammen, die selbst solche Pflanzen gefressen haben.

Die Berechnungen der radiologischen Auswirkungen für die aktuelle Situation und die geplante Tätigkeit werden für die am stärksten exponierte Person durchgeführt. Die Berechnungen werden für die 6 Alterskategorien

²⁹ FANK, 2011. Belgische Widerstandstests. Nationaler Bericht für Kernkraftwerke.

durchgeführt: Säuglinge, Kinder von 1 bis 2 Jahren, von 2 bis 7 Jahren, von 7 bis 12 Jahren, Jugendliche von 12 bis 17 Jahren und Erwachsene. Für sie werden bei den Berechnungen bestimmte Parameter angenommen, wie z. B. das eingeatmete Volumen pro Zeiteinheit, die Ernährung und die spezifischen zur Bestimmung der effektiven Dosis verwendeten Dosiskoeffizienten. Außerdem werden die Ergebnisse auf der Grundlage konservativer Lebensgewohnheiten berechnet, um Hüllwerte für die Dosisbelastung zu erhalten.

Der Betreiber des Kernkraftwerks ist verpflichtet, die Auswirkungen der routinemäßigen Einleitungen auf den Menschen zu berechnen und nachzuweisen, dass die Dosis unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr liegt. Bei der Berechnung der Dosis werden alle möglichen Expositionspfade berücksichtigt. Die Bevölkerung kann der Radioaktivität durch die Nutzung von Flusswasser, den Aufenthalt am Wasser oder am Flusssufer oder durch den Verzehr von Fischen aus dem Fluss ausgesetzt sein. Die anfallende Dosis kann je nach Lebensstil der Bevölkerung stark variieren. Die Dosis aus flüssigen Einleitungen im Fluss wird nach der FANK-Richtlinie zur Berechnung der radiologischen Auswirkungen von kerntechnischen Anlagen der Klasse I berechnet, wobei analog zu den atmosphärischen Einleitungen bei der Dosisermittlung ein „Worst-Case“-Szenario angewandt wird, wobei insbesondere konservative Eingabewerte für Verbrauch, Verweilzeiten etc. verwendet werden, damit die Exposition der Bevölkerung nicht unterschätzt wird.

Für die Berechnung der Dosis für die repräsentative Person aufgrund von Einleitungen im Fluss werden die folgenden Expositionspfade berücksichtigt;

- Interne Exposition durch:
 - Konsum von Flusswasser als Trinkwasser;
 - Verzehr von Fisch.
- Externe Exposition durch Aufenthalt am Ufer, Schifffahrt, Aufenthalt auf dem durch Baggersediment verunreinigten Boden.

Die Dosis für die repräsentative Person wurde ebenfalls für die 6 Alterskategorien berechnet, wobei die in der FANK-Richtlinie genannten Verbrauchswerte berücksichtigt wurden. Wie bei der Dosisberechnung infolge der atmosphärischen Einleitungen wird von einer kritischen Person ausgegangen, die sich ständig am Ort der maximalen Dosisbelastung aufhält.

2.3.3.4 Auswirkungen auf die biologische Vielfalt (Fauna und Flora)

Bis in die 1990er Jahre ging man davon aus, dass, wenn der Mensch vor ionisierender Strahlung geschützt ist, auch die Umwelt automatisch geschützt ist. In den letzten Jahrzehnten hat ein Paradigmenwechsel stattgefunden, der zum einen auf das weltweit wachsende Interesse an ökologischer Nachhaltigkeit und zum anderen auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass es Situationen geben kann, in denen die Umwelt einer höheren Strahlenbelastung ausgesetzt ist als der Mensch. Mehrere internationale Organisationen, wie die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO), die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP), der Wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen atomarer Strahlung (UNSCEAR) sowie verschiedene nationale Organisationen (z. B. US DOE, UK Environment Agency) haben seitdem Ratschläge und Richtlinien zum Schutz der Umwelt vor ionisierender Strahlung herausgegeben.

In Belgien gibt es noch keine Richtlinien mit einer Beschreibung der zu befolgenden Methodik. Es wurden jedoch Daten über die Auswirkungen von Strahlung oder der Exposition gegenüber Radionukliden auf die Fauna und Flora von verschiedenen (inter-)nationalen Organisationen und Expertengruppen gesammelt und ausgewertet, um daraus Schwellenwerte abzuleiten. Die Art und Weise, wie Schwellenwerte abgeleitet werden, ihre Interpretation und das Schutzniveau (Individuen, Populationen, Ökosysteme) können daher unterschiedlich sein. In einem regulatorischen Kontext zielt der Umweltschutz auf den Schutz von Artenpopulationen ab, wodurch auch die biologische Vielfalt geschützt wird. Die meisten numerischen Schwellenwerte sind daher auch zum Schutz von Populationen gedacht. Um Schwellenwerte abzuleiten, die auf Populationsebene relevant sind, sollten nur Effekte in die Analyse einbezogen werden, die einen direkten Bezug zur Populationsdynamik haben. Von der IAEO^{xii} und dem UNSCEAR^{xiii} werden Schwellenwerte von 40 µGy h⁻¹ für Landtiere und 400 µGy h⁻¹ für Landpflanzen und aquatische Organismen

vorgeschlagen, abgeleitet aus verfügbaren Studien über Wirkungsdaten. Der UNSCEAR^{xiv} überprüfte die seit 1996 gewonnenen Daten zu den Auswirkungen und kam zu dem Schluss: „Insgesamt kam der Ausschuss zu dem Schluss, dass chronische Dosisleistungen von weniger als 100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für die am stärksten exponierten Individuen wahrscheinlich keine signifikanten Auswirkungen auf die meisten terrestrischen Tiergemeinschaften haben und dass maximale Dosisleistungen von 400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für einen kleinen Teil der Individuen in Populationen aquatischer Organismen keine schädlichen Auswirkungen auf Populationsebene haben würden.“ [freie Übersetzung aus dem Englischen]

Die ICRP [4] empfiehlt die Verwendung von „Derived Consideration Reference Levels“ (DCRL) für eine Reihe von Referenztieren und -pflanzen (Reference animals and plants, kurz: RAP). Diese Referenzwerte sind als Anhaltspunkte für die Bewertung der möglichen Auswirkungen ionisierender Strahlung auf Fauna und Flora gedacht. Die DCRL definieren Dosisleistungsintervalle, innerhalb derer für die jeweiligen Referenzbiota-Kategorien (RAP) eine gewisse Wahrscheinlichkeit für eine mögliche schädliche Wirkung ionisierender Strahlung besteht. Diese Referenzwerte wurden aus den verfügbaren Studien über Wirkungsdaten für die verschiedenen RAP abgeleitet. DCRL können je nach betrachteter RAP stark variieren und reichen von 4-40 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für beispielsweise Säugetiere bis 400-4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für beispielsweise Wirbellose. Die ICRP [4] gibt keine Interpretation darüber, wie sich die auf individueller Ebene beobachteten Effekte auf der Populationsebene manifestieren können. Die Schwellenwerte der ICRP^{xv} beziehen sich also ebenfalls auf das Individuum und nicht auf die Bevölkerung.

Die im EC-ERICA-Projekt^{xvi,xvii} und im EU-Projekt PROTECT^{xviii} vorgeschlagenen Schwellenwerte wurden anhand von Methoden abgeleitet, die für chemische kontaminierende Stoffe verwendet werden^{xix}. Im Rahmen des ERICA-Projekts wurde ein generischer Schwellenwert PNEDR (Predicted No Effect Dose Rate) von 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ abgeleitet. Dieser PNEDR wird als Schwellenwert angesehen, unterhalb dessen die Struktur und die Funktionen allgemeiner Ökosysteme (einschließlich aller Populationen) geschützt sind. Situationen, für die die vorhergesagte Dosisleistung (Predicted Environmental Dose Rate, kurz: PEDR) niedriger ist als die PNEDR ($\text{PEDR}/\text{PNEDR} < 1$), können daher als nicht zu einem schädlichen Effekt auf die Population oder das Ökosystem führend betrachtet werden. Die PNEDR kann als Schwellenwert für eine zusätzliche, d. h. über die Hintergrundstrahlung hinausgehende Exposition verwendet werden. Der ERICA-Referenzwert ist sicherlich nicht als Grenzwert oder Auslösewert gedacht. EU-PROTECT schlägt ebenfalls einen allgemeinen Grenzwert von 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ vor, gibt aber zusätzlich eine Reihe von Grenzwerten für bestimmte Organismengruppen an: 2 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Wirbeltiere, 200 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Wirbellose und 70 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ für Pflanzen.

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die von den verschiedenen (inter-)nationalen Organisationen empfohlenen Grenzwerte von 4 bis 4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ stark variieren. Die natürlichen Hintergrunddosisleistungen für Fauna und Flora variieren deutlich weniger, zwischen 0,07 und 6 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ ^{xx,xxi}.

Das Risiko der Strahlenexposition für die Fauna und Flora lässt sich am besten quantitativ bestimmen, indem die geschätzte Dosisleistung mit einem Schwellenwert, z. B. den PNEDR-Schwellenwerten, verglichen wird. Für die meisten der zu beurteilenden Szenarien liegen jedoch nicht genügend Informationen vor, um eine quantitative Einschätzung der Strahlenexposition zu ermöglichen. Außerdem wurden die meisten Effektdaten gewonnen und Wirkungsmodelle für Gleichgewichts- und nicht für Unfallsituationen entwickelt. Daher werden die verschiedenen Szenarien gegebenenfalls auf der Grundlage der Wahrscheinlichkeit des Ausbleibens einer signifikanten Exposition verglichen. Basierend auf der oben zitierten Literatur haben wir einen Signifikanzrahmen entwickelt, der in Tabelle 13 dargestellt ist.

Tabelle 13: Signifikanzrahmen für die radiologischen Auswirkungen auf Fauna und Flora.

Dosisleistung	Wahrscheinlichkeit, dass keine signifikante Exposition vorliegt
< 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Sehr hoch
10-100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Hoch
100-400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Relativ hoch
400-4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Mäßig
>4.000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Niedrig

Da die Auswirkungen auf ein Ökosystem aufgrund seiner Komplexität schwer zu bewerten sind, werden verschiedene Kategorien von Referenzorganismen verwendet, um die radiologische Auswirkung auf die Umwelt zu bestimmen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Referenzorganismen repräsentativ für die Lebensräume sind, in denen sie sich aufhalten, für die Aufnahme von Radionukliden und für ihre Größe (mit Auswirkungen auf die Dosisberechnung). Die Gesamtheit der Referenzorganismen verweist auf ein Ökosystem (terrestrisch, aquatisch). Die Referenzorganismen sollten so ausgewählt werden, dass sie verschiedene trophische Ebenen abdecken und eine vereinfachte Darstellung der Struktur und Funktionsweise des Ökosystems bieten. Daher muss man ein konzeptionelles Modell des Untersuchungsgebiets erstellen, ein Verständnis für den Quell-Term und die Expositionspfade haben und repräsentative Referenzorganismen für die Wirkungsanalyse auswählen. Da die Organismen, die in einer bestimmten Umweltverträglichkeitsprüfung als Indikatorarten betrachtet werden, für einen bestimmten Standort repräsentativ sein müssen, werden sie folglich von Bewertung zu Bewertung variieren. Daher wird bei der Auswahl von Indikatorarten oder bestimmter Referenzorganismen besonders auf den „Wert“ eines Organismus innerhalb des untersuchten Ökosystems geachtet.

Als zusätzliche Information führen wir hier die Unterschiede zwischen der Methodik zur Ermittlung der Auswirkungen auf die Umwelt und die Bevölkerung an (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Hauptunterschiede zwischen der Methodik zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.

Mensch	Umwelt (Fauna und Flora)
Schutz auf Ebene des Individuums	Schutz auf Ebene der Populationen/Ökosysteme
Gewebereaktionen und stochastische Effekte der Radioaktivität werden berücksichtigt.	Im Allgemeinen werden nur die Auswirkungen auf der Ebene des Organismus oder der Population berücksichtigt.
Interne Dosen werden mit biokinetischen Modellen berechnet, die die Aufnahme von Radionukliden im menschlichen Körper simulieren.	Interne Dosen werden anhand von Transferfaktoren berechnet, die auf der Aktivität in der Umgebung basieren.
Referenzperson (biokinetisches Modell)	Referenzorganismen (dargestellt als einfache Ellipsoide)
Verschiedene Altersklassen	Keine Altersklassen
Die Anreicherung von Radionukliden in den Organen ist zu berücksichtigen.	Die Radionuklide sind gleichmäßig im gesamten Organismus verteilt.
Effektive Dosis (mSv)	Absorbierte Dosisleistung (Gy s^{-1}) ($\mu\text{Gy h}^{-1}$)

2.3.4 Allgemeine Unfallmethodik

Während der gesamten Laufzeit einer kerntechnischen Anlage muss die Anlage beständig gegen Störfallbedingungen sein, und es müssen die dafür erforderlichen Maßnahmen getroffen werden. Eine kerntechnische Anlage ist präventiv mit einer Reihe von Barrieren nach dem Prinzip der „mehrschichtigen Abschirmung“ ausgelegt, um zu vermeiden, dass die Bevölkerung und die Umwelt einer unakzeptablen Dosis ionisierender Strahlung ausgesetzt werden. Das Prinzip der mehrschichtigen Abschirmung zielt darauf ab: i) die Auswirkungen äußerer Gefahren zu minimieren, seien es extreme Gefahren und Gefahren, die durch die Natur oder durch eine unbeabsichtigte menschliche Handlung verursacht werden, ii) einen anormalen Betrieb oder Störungen zu verhindern, iii) einen anormalen Betrieb zu kontrollieren oder Störungen zu erkennen, iv) Auslegungsstörfälle zu kontrollieren, v) die Modalitäten der Auslegungserweiterung zu kontrollieren und insbesondere die Entwicklung von Unfällen zu schweren Unfällen zu verhindern und die Folgen schwerer Unfälle zu begrenzen, und vi) das Management von Notfallsituationen zu ermöglichen (siehe Abschnitt 9.4.1)^{xxii}. Um das Prinzip der mehrschichtigen Abschirmung anzuwenden, muss zunächst eine detaillierte Analyse der möglichen Ereignisse, sowohl derjenigen innerhalb der Auslegung (Auslegungsstörfall) als auch derjenigen, die in der erweiterten Auslegung auftreten können (auslegungsüberschreitende Unfälle), durchgeführt werden, gegen die die Anlage in der Lage sein muss, zu widerstehen oder die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen. Diese Ereignisse können zu Störfällen führen, und zwar zu Auslegungsstörfällen (Design Basis Accidents) und auslegungsüberschreitenden Unfällen (Beyond Design Basis Accidents).

Die relevanten internationalen und europäischen Richtlinien im Hinblick auf Störfallszenarien sowie eine Zusammenfassung ihrer (wichtigsten) Inhalte sind in Tabelle 15 aufgeführt.

Tabelle 15: Einschlägige internationale und europäische Richtlinien zur Ermittlung von Störfallszenarien.

Internationale und europäische Richtlinie	Relevante Inhalte für Störfallsituationen
IAEA Safety Standard Series SSR-2/1, 2012 ^{xxiii}	Diese IAEA-Richtlinie gibt die Sicherheitsanforderungen für die Auslegung eines Kernkraftwerkes vor.
IAEA Safety Standard Series SSR-2/1 (Rev. 1), 2017 ^{xxiv}	Diese IAEA-Richtlinie ist eine nach dem Fukushima-Unfall initiierte Überarbeitung der vorherigen Richtlinie. Die Überarbeitung dieser Richtlinie führte zu einer Reihe von begrenzten Änderungen.
IAEA Safety Standards Series SSG-2, 2010 ^{xxv}	Diese IAEA-Richtlinie bietet einen Leitfaden für die deterministische Sicherheitsanalyse von Kernkraftwerken. Die Sicherheitsanalyse dient zur Identifizierung und Klassifizierung von Ereignissen und zur Ermittlung von Unfallszenarien.
IAEA Safety Standards Series SSG-2 (Rev. 1), 2019 ^{xxvi}	Diese IAEA-Richtlinie ist Überarbeitung, basierend auf den Erfahrungen aus dem Fukushima-Unfall, der vorherigen Richtlinie.
Euratom-Vertrag, 2012 ^{xxvii}	Der Euratom-Vertrag über die Gründung einer Europäischen Atomgemeinschaft. Eines der Hauptziele ist die Festlegung einheitlicher Sicherheitsstandards zum Schutz der Bevölkerung und der Arbeitnehmer.
Richtlinie 2014/87/EURATOM, 2014 ^{xxviii}	Diese EU-Richtlinie ist eine nach dem Fukushima-Unfall initiierte Überarbeitung der Richtlinie 2009/71/Euratom. Mit der Richtlinie wird ein Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit von kerntechnischen Anlagen in der Europäischen Union geschaffen.

Der Zustand, in dem sich ein Kernkraftwerk befinden kann, wurde von der IAEA wie in Abbildung 17 schematisch dargestellt. Es werden zwei Kategorien von Unfallbedingungen betrachtet: a) Auslegungsbasis („Design Basis“) und b) erweiterte Auslegungsbedingungen („Design Extension Conditions“). Darüber hinaus werden unter der letztgenannten Kategorie zwei Arten von Ereignissen betrachtet: (a) Ereignisse ohne signifikante

Spaltstoffdegradation und (b) Ereignisse mit Kernschmelze. Bei auslegungsüberschreitenden Unfällen sind die radiologischen Folgen schlimmer als bei Auslegungsstörfällen, oder sie verursachen zusätzliche Störungen ^{xxiv}.

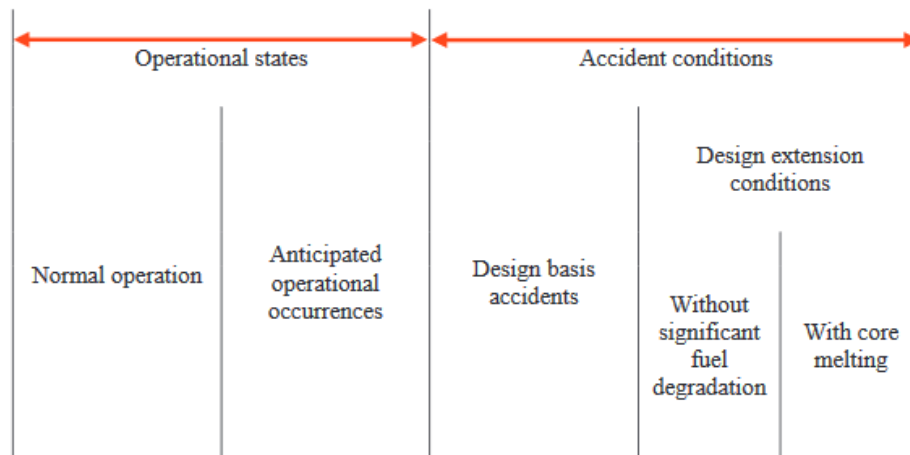


Abbildung 17: Betriebs- und Störfallzustand eines Kernkraftwerks ^{xxiv}.

Zusätzlich zu den IAEA- und EU-Richtlinien hat die WENRA („Western European Nuclear Regulators' Association“), deren Mitglied Belgien ist, 2014 harmonisierte Sicherheitsniveaus und -anforderungen an die Auslegungsbasis und erweiterte Auslegung für bestehende Reaktoren veröffentlicht ^{xxix}.

Verwendete Terminologie für Störfälle

Auslegungsbasis: die Bandbreite von Bedingungen und Ereignissen, die ausdrücklich bei der Auslegung einer Anlage (einschließlich Modernisierungen) gemäß festgelegten Kriterien berücksichtigt werden und denen die Anlage durch den geplanten Betrieb von Sicherheitssystemen standhalten kann, ohne zulässige Grenzwerte zu überschreiten.

Auslegungsstörfall: ein Unfall, der in der Auslegungsbasis betrachtet wird.

Erweiterte Auslegungsbedingungen: die Menge der Umstände und Ereignisse, die komplexer oder schwerwiegender sind als die in der Auslegungsbasis enthaltenen. Diese Umstände können durch mehrere auslösende Ereignisse, mehrere Ausfälle, höchst unwahrscheinliche Ereignisse oder postulierte Umstände verursacht werden.

Auslegungsüberschreitender Unfall: ein Unfall, der in der erweiterten Auslegungsbasis betrachtet wird. Es werden zwei Kategorien von Störfällen betrachtet:

- Auslegungsüberschreitende Unfälle innerhalb der Domäne „A“ (DEC-A), bei denen es möglich ist, frühzeitige oder massive radioaktive Einleitungen sowie ggf. Brennstoffschäden zu vermeiden.
- Auslegungsüberschreitende Unfälle innerhalb der Domäne „B“ (DEC-B oder Schwere Unfälle), bei denen es nicht möglich ist, frühzeitige oder massive radioaktive Einleitungen sowie ggf. Brennstoffschäden zu vermeiden.

Auf belgischer Ebene wurden die Auslegungs- und auslegungsüberschreitenden Unfälle im Königlichen Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung der Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen definiert und die notwendigen Anforderungen festgelegt ^{xxx}. Der K. E. wurde im Laufe der Jahre sowohl inhaltlich als auch terminologisch angepasst. Der vorgenannte K. E. vom 30. November 2011 ist die Umsetzung der EU-Richtlinie und der WENRA-Sicherheitsstufen in belgisches Recht. In der neuesten Version des K. E. werden Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitende Unfälle in Übereinstimmung mit den neuesten IAEA- und EU-Richtlinien berücksichtigt und weiter erörtert.

2.3.4.1 Auslegungsstörfall

Das Ziel der Auslegungsbasis im oben erwähnten Königlichen Erlass ist es, Maßnahmen zu ergreifen, „um sicherzustellen, dass die potenziellen radiologischen Folgen für die Bevölkerung, die Arbeitnehmer und die Umwelt die vorgeschriebenen Grenzwerte nicht überschreiten und so niedrig wie vernünftigerweise möglich gehalten werden.“ Speziell in Bezug auf Unfälle gilt: „Die Auslegungsbasis sollte sein, vorhersehbare Betriebsstörungen und Unfälle zu verhindern und, falls dies nicht gelingt, deren Folgen zu begrenzen.“

Bei der Erstellung der Auslegungsbasis ist „eine Liste aller mutmaßlichen auslösenden Ereignisse zu erstellen, die alle Ereignisse enthält, die die nukleare Sicherheit der Anlage beeinträchtigen können. Aus dieser Liste ist auf der Grundlage einer Kombination von deterministischen Methoden, probabilistischen Methoden und Expertenurteilen eine Anzahl von Auslegungsstörfällen auszuwählen, um die Randbedingungen festzulegen, unter denen Strukturen, Systeme und Komponenten, die für die nukleare Sicherheit wichtig sind, auszulegen sind, um nachzuweisen, dass die geforderten Sicherheitsfunktionen gewährleistet sind und die Ziele der Auslegungsbasis erreicht werden“^{xxx}.

Weitere Anforderungen für die Erstellung der Liste der auslösenden Ereignisse in der Auslegung sind in Artikel 20 des K. E.^{xxx}.

„bei der Erstellung der Initiator-Ereignisliste werden Erfahrungsrückmeldungen und Analysen zu ähnlichen Anlagen und Standorten werden berücksichtigt.

Glaubwürdige Kombinationen von Einzelereignissen werden identifiziert und bilanziert.

Die ausgewählten Ereignisse internen Ursprungs müssen mindestens Folgendes umfassen:

- *Ausfall von Geräten;*
- *Unfälle mit Verlust der Primärkühlung (LOCA);*
- *menschliches Versagen;*
- *andere Gefahren wie Brand, Explosion, Überflutung mit interner Ursache.*

Zu den ausgewählten Ereignissen externen Ursprungs gehören mindestens folgende, die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind:

- *Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linienflugzeugs und eines repräsentativen Militärflugzeugs;*
- *Unfälle, die durch Transport und industrielle Aktivitäten in der Umgebung verursacht werden, einschließlich Brände, Explosionen und andere plausible Bedrohungen für die Sicherheit von Kernanlagen.“ [freie Übersetzung]*

Für Ereignisse externen Ursprungs, genauer gesagt für den Absturz eines repräsentativen kommerziellen Linien- oder Militärflugzeugs, kann auch ein alternatives Ereignis in Betracht gezogen werden, aber ein angemessenes Schutzniveau muss durch die Gewährleistung angemessener Margen und die Verwendung konservativer Methoden, Hypothesen und Argumente nachgewiesen werden.

2.3.4.2 Auslegungsüberschreitender Unfall

Der Entwurf der Erweiterung im K. E. zielt darauf ab, die Sicherheit zu verbessern, „indem die Fähigkeit verbessert wird, mit Störfällen oder Bedingungen umzugehen, die schwerer sind als die der Auslegungsbasis; indem, soweit vernünftigerweise praktikabel, radioaktive Einleitungen minimiert werden, die für die Öffentlichkeit und die Umwelt während solcher Störfälle oder Bedingungen schädlich sind.“. Der K. E. unterscheidet wie folgt zwischen einer Analyse der DEC-A („Design Extension Conditions“ – A) und DEC-B:

„Die DEC-A-Analyse zielt darauf ab, vernünftigerweise durchführbare Maßnahmen zu identifizieren, um signifikante Brennstoffschäden und Bedingungen verhindern zu können, die zu vorzeitigen oder massiven radioaktiven Einleitungen führen könnten.

Erhebliche Schäden durch die abgebrannten Brennelemente im Abklingbecken sind mit hoher Wahrscheinlichkeit als extrem unwahrscheinlich einzustufen, es sei denn, die Folgen können durch einen Einschluss ausreichend begrenzt werden.

Die DEC-B-Analyse zielt darauf ab, vernünftigerweise durchführbare Maßnahmen zu identifizieren, um die Folgen signifikanter Brennstoffschäden und Bedingungen abzuschwächen, die zu vorzeitigen oder massiven radioaktiven Einleitungen führen könnten, ermöglichen würden, soweit solche Schäden oder Zustände nicht mit einem hohen Grad an Vertrauen als extrem unwahrscheinlich eingestuft wurden.“ [freie Übersetzung]

Eine repräsentative Liste der erweiterten Auslegungsbedingungen muss wie folgt erstellt werden^{xxx}

„Eine repräsentative Liste von erweiterten Auslegungsbedingungen wird auf der Grundlage einer Kombination von deterministischen und probabilistischen Methoden und Expertenurteilen erstellt und begründet.

Dabei werden die Ereignisse, die gleichzeitig mehrere Anlagen an einem Standort betreffen können, sowie die verschiedenen möglichen Wechselwirkungen zwischen den Anlagen am Standort oder an anderen nahe gelegenen Standorten berücksichtigt.

Das Auswahlverfahren von DEC-A-Bedingungen geht von Ereignissen oder Kombinationen von Ereignissen aus, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht als sehr unwahrscheinlich angesehen werden können und zu erheblichen Brennstoffschäden oder vorzeitigen oder massiven radioaktiven Einleitungen führen könnten.

Das Auswahlverfahren der DEC-A Bedingungen basiert auf:

- *Ereignisse, die in den verschiedenen Betriebszuständen auftreten;*
- *Ereignisse, die sich aus internen oder externen Risiken ergeben;*
- *Ausfälle mit einer gemeinsamen Ursache.*

Die Liste der DEC-B-Bedingungen umfasst jene Situationen, für die die Fähigkeit, entweder signifikante Brennstoffschäden oder vorzeitige oder massive radioaktive Einleitungen zu verhindern, unzureichend ist, oder jene Situationen, für die die Präventionsmaßnahmen nicht wie gewünscht funktionieren.

Die Liste der DEC-B-Bedingungen enthält die vorausgesetzten Störfälle mit signifikanten Brennstoffschäden, auch für den im Abklingbecken verwendeten Brennstoff, soweit solche Störfälle nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit extrem unwahrscheinlich gemacht werden.“ [freie Übersetzung]

Im K. E. werden die auslegungsüberschreitenden Unfälle in Artikel 21 näher beschrieben.

„Unfälle, die schwerwiegender sind als Auslegungsstörfälle, sollten als Teil der erweiterten Auslegungsanalyse identifiziert werden.

Wenn ein in der Auslegungsbasis enthaltenes Naturphänomen mit hoher Wahrscheinlichkeit extrem unwahrscheinlich ist, dann sollte für dieses Ereignis kein auslegungsüberschreitender Unfall berücksichtigt werden.

Die Auswahl der Ereignisse für die Analyse der erweiterten Auslegungsanalyse basiert, wenn möglich, auf einer Überschreitungshäufigkeit der Schwere des Unfalls oder auf anderen Parametern bezüglich des Unfalls.

Die Analyse von auslegungsüberschreitenden Unfällen:

1. *zeigt, dass ein ausreichender Spielraum in Bezug auf die „Klippeneffekte“ besteht, die zum Verlust einer grundlegenden Sicherheitsfunktion führen könnten;*
2. *identifiziert und bewertet die robustesten Mittel zur Gewährleistung der grundlegenden Sicherheitsfunktionen;*
3. *trägt der Tatsache Rechnung, dass:*
 - a) *verschiedene redundante oder diversifizierte Gruppen eines Sicherheitssystems;*
 - b) *unterschiedliche Strukturen, Systeme und Komponenten;*
 - c) *verschiedene Installationen des Standorts sowie die Infrastruktur des Standorts;*

d) die umliegende Infrastruktur, externe Versorgung und andere Gegenmaßnahmen von den Ereignissen betroffen sein können;

- 4. zeigt, dass an Standorten mit mehreren Reaktorblöcken, die eine gemeinsame Nutzung von Geräten oder Dienstleistungen vorsehen, ausreichend Ressourcen verfügbar bleiben;*
- 5. umfasst Kontrollen vor Ort so weit wie möglich.“ [freie Übersetzung]*

Schließlich können wir hier auch einen Blick auf historische Unfälle (Häufigkeit und Schwere) mit Reaktoren eines ähnlichen Typs wie Doel 4 und Tihange 3 werfen. Bei Doel 4 und Tihange 3 handelt es sich um Kernkraftwerke des Typs „leichtwassermoderierter und -gekühlter Druckwasserreaktor“ (DWR). Seit dem ersten großen DWR-Kernkraftwerk, der „Shippingport Atomic Power Station“ in den USA, im Jahr 1957^{xxxv}, wurde weltweit eine ganze Flotte von DWR-Kernkraftwerken gebaut. Ende 2021 gab es weltweit 372 bestehende DWR-Kernkraftwerke (sowohl in Betrieb als auch nicht in Betrieb), basierend auf den von der IAEA verfügbaren Daten^{xxxvi}. Diese weltweite Flotte von DWR ist nach den im IAEA PRIS^{xxxvii} verfügbaren Daten seit der Inbetriebnahme des ersten DWR insgesamt 8.295 Jahre in Betrieb gewesen. In diesen Betriebsjahren hat es einen Unfall mit einem DWR gegeben, nämlich mit dem Reaktor 2 des Kernkraftwerks „Three Mile Island“ (TMI) in den USA im Jahr 1979. Nach der INES-Skala (International Nuclear and Radiological Event Scale), die erst 1990 entwickelt wurde, wäre dieser Unfall in die INES 5 eingestuft worden.

Die INES-Skala wurde 1990 von der IAEA und der OECD/NEA nach dem Tschernobyl-Unfall entwickelt und ist ein Instrument, um der Öffentlichkeit die Bedeutung der Sicherheit von nuklearen und radiologischen Ereignissen zu vermitteln. INES 1 bis 3 beziehen sich auf Störungen, während INES 4 bis 7 sich auf Unfälle beziehen^{xxxviii}.

Der Unfall am 28. März 1979 im Kernkraftwerk Three Miles Island (TMI) war der schwerste Atomunfall in einem DWR. Bei diesem Unfall kam es zu einer Kernschmelze, es gab keine Todesopfer oder Verletzten und die radioaktive Kontamination war begrenzt. Die Ursachen, die zur Kernschmelze von Block 2 des Kernkraftwerks (TMI-2) führten, sind eine Abfolge von Konstruktionsfehlern, menschlichen Fehlern und Hardwarefehlern. Schließlich kam es weder zu einer Explosion noch einem Brand und der Reaktoreinschluss wurde aufrechterhalten. Die radioaktiven Einleitungen hatten vernachlässigbare Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt (siehe z. B. ^{xxxv}, ^{xxxvi} und ^{xxxvii}). Nachdem diese gerade noch abgewendete Katastrophe untersucht worden war, wurden die Anforderungen an die Konstruktion, die Kontrollsysteme, die Schulung des Personals und die Notfallverfahren stark verschärft und verbessert.

2.3.4.3 Analyse der Auswirkungen

Um die Auswirkungen von Unfällen zu berechnen, gehen wir von dem in die Atmosphäre eingeleiteten Quell-Term aus. Dabei handelt es sich um die Menge und Zusammensetzung der Radioaktivität, die über den Schornstein oder undichte Stellen in der Umschließung in die Außenluft abgegeben wird. Darüber hinaus werden Einleitungsparameter wie die Höhe der Einleitung usw. einbezogen. Auf der Grundlage von atmosphärischen Ausbreitungs- und Depositionsmodellen, die neben dem Quell-Term und den Einleitungsparametern auch meteorologische Informationen verwenden, werden analog zu den für Einleitungen im Normalbetrieb verwendeten Modellen die Konzentration und Deposition von Radionukliden für den lokalen Maßstab (erste Kilometer um den Standort) berechnet, um die Exposition (z. B. effektive Dosis, Schilddrüsendosis) der kritischen Person zu bestimmen. Die Expositionspfade in einer Unfallsituation mit Einleitung von Radioaktivität in die Atmosphäre sind in Abbildung 18 dargestellt.

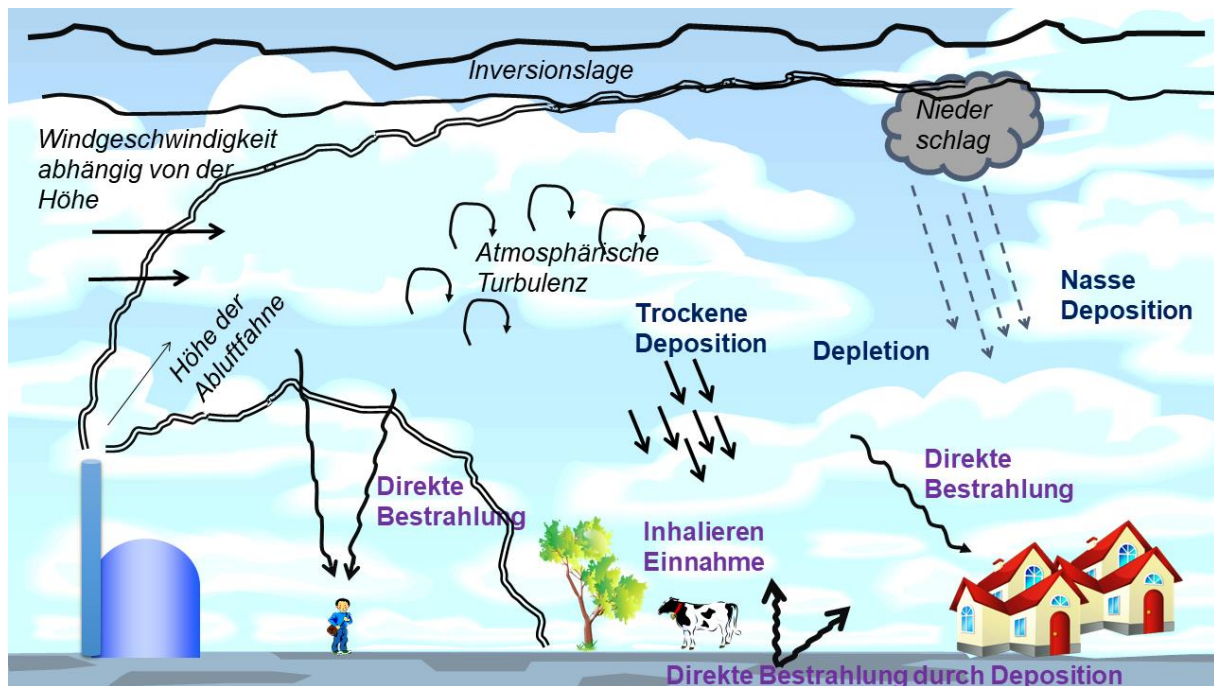


Abbildung 18: Ausbreitung der Radioaktivität und Expositionspfade für Personen in der Umgebung bei einem Unfallszenario mit Einleitung von Radioaktivität in die Atmosphäre.

Auslegungsstörfälle sind in Artikel 37 des Euratom-Vertrags definiert.

Die allgemeinen Angaben gemäß Artikel 37 des Euratom-Vertrags für die Blöcke Doel 3 und Doel 4 wurden 1981 erstellt. Zu diesem Zweck wurden zwei Auslegungsstörfälle identifiziert: i) Hauptleitungsbruch und ii) Herabfallen eines bestrahlten Brennelements^{xxxviii}. Die Genehmigungsgrenzwerte für die radiologischen Folgen von Auslegungsstörfällen am Rande des Standorts und an der nächstgelegenen Grenze (Niederlande in 3,15 km Entfernung), basieren auf dem pessimistischsten Szenario (Hauptleitungsbruch) für die Schilddrüsendosis und die effektive Gesamtdosis.

Die allgemeinen Angaben gemäß Artikel 37 des Euratom-Vertrags für die Blöcke Tihange 2 und Tihange 3 wurden ebenfalls 1981 erstellt. Zu diesem Zweck wurden auch zwei Auslegungsstörfälle identifiziert: i) Hauptleitungsbruch und ii) Herabfallen eines bestrahlten Brennelements^{xxxix}. Die Genehmigungsgrenzwerte für die radiologischen Folgen von Auslegungsstörfällen am Rande des Standorts und an der nächstgelegenen Grenze basieren auf dem pessimistischsten Szenario (Hauptleitungsbruch) für die Schilddrüsendosis und die effektive Gesamtdosis.

Diese Genehmigungsgrenzen müssen für die kritische Person eingehalten werden. Die am stärksten exponierte Person wird an einem Ort betrachtet, an dem sie der höchsten (zeitintegrierten) Konzentration der radioaktiven Einleitungen ausgesetzt ist^{xli}. Diese Person gehört zu der Altersgruppe, die am meisten von der Exposition gegenüber radioaktiven Einleitungen betroffen ist.

Im Folgenden wird eine kurze Beschreibung dieser Unfälle gegeben:

Ein **Hauptleitungsbruch in der Primärleitung (Kühlmittelverlust oder LOCA)** ist das Ergebnis eines vermuteten Bruchs im Primärkreislauf oder einer an den Primärkreislauf angeschlossenen Leitung vor dem ersten Absperrventil, bei dem die Brennstoffhüllen unter dem Einfluss hoher Temperaturen beschädigt werden. Durch den Verlust von Kühlmittel heizt sich der Kern auf, bis die Brennstoffhülle beschädigt wird. Gasförmige Kernspaltungsprodukte werden im Primärkreislauf freigesetzt und gelangen beim Durchbruch in das Innere des Reaktorgebäudes. Ein Teil der gasförmigen Kernspaltungsprodukte entweicht dann durch den Reaktorsicherheitsbehälter unter anderem in

den Zwischenraum und auch direkt in die Atmosphäre. Es wird ferner angenommen, dass unter anderem die Sicherheitseinspritzsysteme in Betrieb sind und die Rückführung zur Kühlung des Kerns eingeleitet wird, dass das Wasser kontaminiert ist und dass ein Teil dieser Kontamination in die Umwelt entweicht. Es wird davon ausgegangen, dass die Einleitung in die Umwelt 30 Tage lang andauert und die Intensität mit der Zeit abnimmt.

Wenn ein **bestrahltes Brennelement (Fuel Handling Accident oder FHA)** während eines Vorgangs mit abgebrannten Brennelementen herunterfällt, wird davon ausgegangen, dass alle Brennstäbe beschädigt sind. In diesem Fall befinden sich die gasförmigen Kernspaltungsprodukte im Raum zwischen der Hülle und dem Brennstoff und werden in das Wasser freigesetzt, in dem sich die Brennelemente befinden. Ein Teil der Kernspaltungsprodukte wird vom Beckenwasser absorbiert. Der Rest verteilt sich in der Umwelt und wird schließlich durch den Abzug in den Schornstein und die Atmosphäre abgegeben (Einleitung über den Schornstein).

Für Doel und Tihange wurde auf der Grundlage einer probabilistischen Sicherheitsanalyse und im Einklang mit den WENRA-Leitlinien 2014, die die Lehren aus dem TEPCO-Unfall in Fukushima Dai 2011 berücksichtigen, ein einhüllender Auslegungsstörfall ermittelt. Für dieses Szenario wird ein **„Complete Station Black-Out“ (CSBO) mit Kernschmelze** (entsprechend DEC-B) angenommen, vorausgesetzt, die Notfallmaßnahmen sind erfolgreich. Infolge einer Kernschmelze bei diesem Unfall wird die Radioaktivität zum einen durch einen Entwurfsleck am Sicherheitsbehälter und zum anderen durch kontrollierte Entlüftungen in die Umwelt freigesetzt, wenn der Druck über das Containment Filtered Venting System (CFVS), ein Filtersystem, das Jod und Aerosole mit großer Effizienz auffängt, um sie durch den Schornstein des CFVS in die Atmosphäre abzugeben, zu stark ansteigt. Es wird davon ausgegangen, dass über einen Zeitraum von 10 Tagen mehrere Entlüftungsöffnungen und ein kontinuierliches Entwurfsleck vorhanden sind. Die Tractebel-Berechnungen sind spezifisch für Doel 4 und Tihange 3, und die Codes MELCOR und ASTEC wurden zur Berechnung des Quell-Terms dieses schweren Unfalls verwendet. Der CSBO-Auslegungsstörfall schließt auch Ereignisse externen Ursprungs ein, darunter den Absturz eines Flugzeugs in das Kernkraftwerk.

Die allgemeinen Angaben für das KKW Doel und das KKW Tihange gemäß Artikel 37 des Euratom-Vertrags umfassen auch die Genehmigungsgrenzen für die nächstgelegene Grenze zu den Niederlanden. Es gibt keine gesetzlichen Grenzwerte für radiologische Unfälle in größeren Entfernungen von Unfällen. Als Anhaltspunkt kann der Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr verwendet werden, wie er in Artikel 12 der Richtlinie 2013/59/Euratom für den Normalbetrieb angegeben ist.

Zur Bewertung der Auswirkungen der Auslegungsstörfälle auf die kritischste Person wurden die Ausbreitung der Radioaktivität und die daraus resultierende effektive Folgedosis auf der Grundlage einer von der United States Nuclear Regulatory Commission (NRC, 1977) entwickelten und von der FANK genehmigten Methodik berechnet. Die Ergebnisse sollten dem königlichen Erlass über die Genehmigungen zur Errichtung der Kernkraftwerke Doel und Tihange und den damit verbundenen allgemeinen Angaben gemäß Artikel 37 des Euratom-Vertrags entsprechen (siehe oben). Die geforderten Sicherheitsstudien sind in den Sicherheitsberichten dokumentiert und werden regelmäßig auf der Grundlage neuer Erkenntnisse und Normen aktualisiert.

Andererseits werden zusätzliche Studien von Tractebel auf der Grundlage der neuen FANK- und Bel-V-Richtlinien zur Bewertung dieser Unfälle und auch für den Auslegungsstörfall herangezogen.

Im Jahr 2017 veröffentlichte die FANK eine Direktive für die Durchführung des Sicherheitsnachweises für neue kerntechnische Anlagen der Klasse I^{xl}. Die Empfehlungen in dieser Richtlinie geben detaillierte Informationen zu den Anforderungen der FANK hinsichtlich der „mehrschichtigen Abschirmung“ und der quantitativen radiologischen Ziele im Rahmen des Sicherheitsnachweises für neue kerntechnische Anlagen der Klasse I. Da es sich bei Doel 4 und Tihange 3 um bestehende Anlagen der Klasse I handelt, ist diese Richtlinie nicht direkt anwendbar, aber die Empfehlungen können dennoch zur Bewertung des Sicherheitsnachweises auf der Grundlage der geltenden Normen herangezogen werden.

Die FANK-Richtlinie wurde durch eine Bel V-Richtlinie ergänzt, die Empfehlungen zur Anwendung von konservativen und weniger konservativen Ansätzen für die Analyse der in der FANK-Richtlinie genannten radiologischen Folgen^{xii} gibt. Wie die FANK-Richtlinie richtet sich auch die Bel V-Richtlinie an neue kerntechnische Anlagen der Klasse I. V

Die Unterschiede in den Ergebnissen sind im Großen und Ganzen auf eine etwas andere Methodik zur Berechnung der Ausbreitung und die Verwendung neuerer Dosiskoeffizienten zurückzuführen. Es ist anzumerken, dass beide Methodiken konservativ sind, aber der Unterschied in den Ergebnissen spiegelt hauptsächlich den Unterschied im Konservatismus des Ansatzes wider.

Neben den Grenzwerten für Auslegungstörfälle im Rahmen von Artikel 37 Euratom und den Kriterien für Störfälle im Rahmen von Neuanlagen der Klasse 1 können die Ergebnisse der Analysen auch mit den Leitlinien für Gegenmaßnahmen aus dem föderalen Nuklearen und Radiologischen Notfallplan (K. E. vom 18. März 2018) verglichen werden^{cvi}. Dazu gehören spezifische Referenzwerte in Form von Dosiskriterien für sofortige, dringende Schutzmaßnahmen: Schutzmaßnahmen, Evakuierung und die Einnahme von stabilem Jod zum Schutz der Schilddrüse (siehe Tabelle 16), abgeleitete Bodenkontaminationswerte für verschiedene Radionuklide, bei denen Maßnahmen in der Nahrungskette erforderlich sein können (

Tabelle 17) und die zulässigen Höchstwerte für den freien Verkehr von Lebens- und Futtermitteln innerhalb der EU (Tabelle 18).

Tabelle 16: Spezifische Referenzwerte für sofortige, dringende Schutzmaßnahmen. () außerhalb der Ingestion.*

Schutzmaßnahme	Dosierungskriterien und Integrationszeitraum	Zielgruppe	Richtwert
Aufenthalt in geschlossenen Räumen	Effektive Dosis in 24 Stunden (*)		5 mSv
Einnahme von stabilem Jod	Äquivalentdosis für die Schilddrüse (*)	Kinder, schwangere und stillende Frauen	10 mSv
		Erwachsene	50 mSv
Evakuierung	Effektive Dosis in 7 Tagen (*)		50 mSv

Tabelle 17: Abgeleitete Werte der Bodenverunreinigung (Bq/m²).

	Milch	Gemüse	Fleisch
⁹⁰ Sr	10.000	4.000	300.000
¹³¹ I	4.000	10.000	40.000
¹³⁴ Cs	10.000	6.000	10.000
¹³⁷ Cs	10.000	6.000	10.000

Tabelle 18: Höchstwerte für den freien Verkehr von Lebens- und Futtermitteln (Bq/kg) innerhalb der EU.

	Lebensmittel (Bq/kg)					Futtermittel
	Babynahrung	Milcherzeugnisse	andere Lebensmittel mit Ausnahme von Lebensmitteln von geringer Bedeutung	Lebensmittel von geringer Bedeutung	Flüssige Lebensmittel	
Strontium-Isotope insgesamt, insbesondere ⁹⁰ Sr	75	125	750	7.500	125	
Jodisotope insgesamt, insbesondere ¹³¹ I	150	500	2.000	20.000	500	
Alpha-emittierende Isotope von Plutonium und Transplutoniumelementen insgesamt, insbesondere ²³⁹ Pu und ²⁴¹ Am	1	20	80	800	20	
Alle anderen Nuklide mit einer Halbwertszeit von mehr als zehn Tagen insgesamt, insbesondere ¹³⁴ Cs und ¹³⁷ Cs	400	1.000	1.250	12.500	1.000	Schweine: 1.250 Geflügel, Lämmer, Kälber: 2.500 Sonstige 5.000

Zur Abschätzung der potenziellen Auswirkungen einer radioaktiven Einleitung in die Atmosphäre bei einem Unfall in den Kernkraftwerken Doel und Tihange auf die Nachbarländer wurde eine Reihe von Berechnungen mit dem stochastischen Lagrangeschen Partikelmodell Flexpart durchgeführt. Flexpart berechnet den Transport und die Ausbreitung von radioaktiven Partikeln durch die Atmosphäre nach einer atmosphärischen Einleitung. Das Modell berücksichtigt auch die trockene und feuchte Abreicherung und berechnet die entsprechende trockene und feuchte Deposition, falls zutreffend. Der Schwerpunkt liegt hier auf Entfernungen von mehr als 10 Kilometern: Die potenziellen Auswirkungen von Doel auf die Niederlande werden daher nicht mit dieser Methode untersucht, sondern wurden angesichts der Entfernung von Doel zur niederländischen Grenze (3,15 km) mit der Methode der lokalen Auswirkungen bewertet.

Die Flexpart-Berechnungen wurden für das gesamte Jahr 2020 durchgeführt, um unterschiedliche Wetterbedingungen zu berücksichtigen. Die Berechnungen wurden anhand historischer numerischer Wetterdaten des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) durchgeführt. Diese Daten wurden über das Königliche Meteorologische Institut Belgiens (KMI) bezogen. Bei den Berechnungen wurde eine Einleitungszeit von 1 Stunde angenommen. Durch Aggregation der Berechnungsergebnisse können auch andere Einleitungen berücksichtigt werden (z. B. eine 6-Stunden-Einleitung). Die Berechnungen wurden für Edelgase (keine trockene oder feuchte Verarmung), elementares Jod I₂ und Aerosole durchgeführt. Während der Einleitung wurde von konstanten Emissionen in Höhe von 1 TBq ausgegangen. Da die Konzentration und die Deposition linear mit der Einleitung skalieren, können die Ergebnisse auch für Einleitungen gemäß den Unfallszenarien verwendet werden.

Die Berechnungen wurden 48 Stunden nach dem Ende der Einleitung eingestellt. Bei den Berechnungen für elementares Jod 131 wurde der radioaktive Zerfall berücksichtigt, während bei den Berechnungen für Edelgase und Aerosole der radioaktive Zerfall nicht berücksichtigt wurde. Letzteres ist konservativ, da die Konzentrationen in der Realität aufgrund des radioaktiven Zerfalls mit der Zeit abnehmen.

Die Ergebnisse der Berechnungen wurden stündlich in zwei verschiedenen Berechnungsrastern mit den in Abbildung 19 gezeigten Abmessungen eingetragen. Das kleine Raster hat eine Auflösung von $0,01^\circ$ ($\pm 0,9$ km), während das große Raster eine Auflösung von $0,1^\circ$ (± 9 km) hat. Dann wurde für jede Simulation die Luftkonzentration über die Zeit summiert, um die zeitintegrierte Konzentration (TIC) zu erhalten. Die kumulierte trockene und feuchte Deposition wurde ebenfalls für jede Simulation addiert. Zwei Beispiele für solche Berechnungen sind in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt. Dann wurde der höchste Wert der TIC und der Gesamtablagerung für beide in Abbildung 19 dargestellten Raster für verschiedene Gebiete ermittelt: Die Niederlande, Deutschland, Frankreich, Luxemburg und das Vereinigte Königreich. Der Vollständigkeit halber wurde auch das Maximum über See und Land ermittelt.

Für ein bestimmtes Kernkraftwerk (Doel oder Tihange), ein bestimmtes Radionuklid (Edelgas, Jod oder Aerosol), eine bestimmte Einleitungsdauer und ein bestimmtes Gebiet (Niederlande, Deutschland, Frankreich, Luxemburg und Vereinigtes Königreich, Land oder Meer) gibt es 8.784 Werte für die maximale TIC und Gesamtd deposition. Das liegt daran, dass die Flexpart-Berechnungen für jede Stunde des vollen Jahres 2020 gestartet wurden ($24 \cdot 366 = 8.784$). Dies ermöglicht eine statistische Auswertung der Ergebnisse. Wir geben hier zwei Beispiele. Abbildung 22 zeigt die Verteilung der maximalen zeitintegrierten Konzentration radioaktiver Edelgase in Frankreich nach einer fiktiven 6-stündigen Einleitung aus dem Kernkraftwerk Doel. Abbildung 23 zeigt die Verteilung der maximalen Deposition in Deutschland nach einer fiktiven Einleitung von radioaktivem Aerosol aus Tihange während 6 Stunden. Für die endgültige Berechnung der Auswirkungen wird der höchste Wert verwendet, der für das Jahr 2020 für ein bestimmtes Szenario ermittelt wurde. Dies ist eine sehr vorsichtige Schätzung: Sie bezieht sich nämlich auf die einzig mögliche meteorologische Situation in einem Jahr (2020), so dass zu allen anderen Zeiten des Jahres die meteorologischen Bedingungen günstiger sind, was bedeutet, dass die Auswirkungen bei demselben Unfallszenario geringer sind. Aus diesen Abbildungen ist auch ersichtlich, dass die Auswirkungen in 99 % der meteorologischen Situationen nur die Hälfte bis ein Drittel der maximalen Auswirkungen betragen werden.

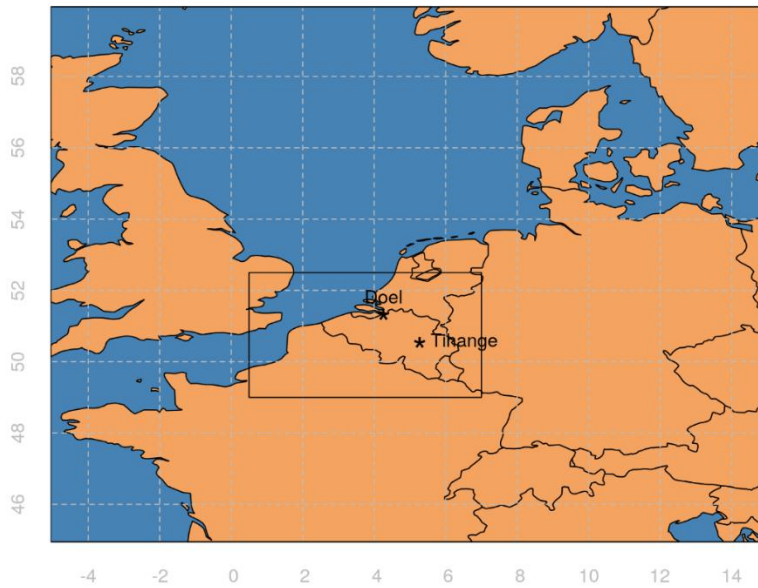


Abbildung 19: Berechnungsgebiet für die grenzüberschreitenden Auswirkungen der Unfallszenarien. Die Zahlen am unteren Rand der Abbildung stehen für den Längengrad [°], die Zahlen links davon für den Breitengrad [°]. (Siehe Text für weitere Erklärungen).

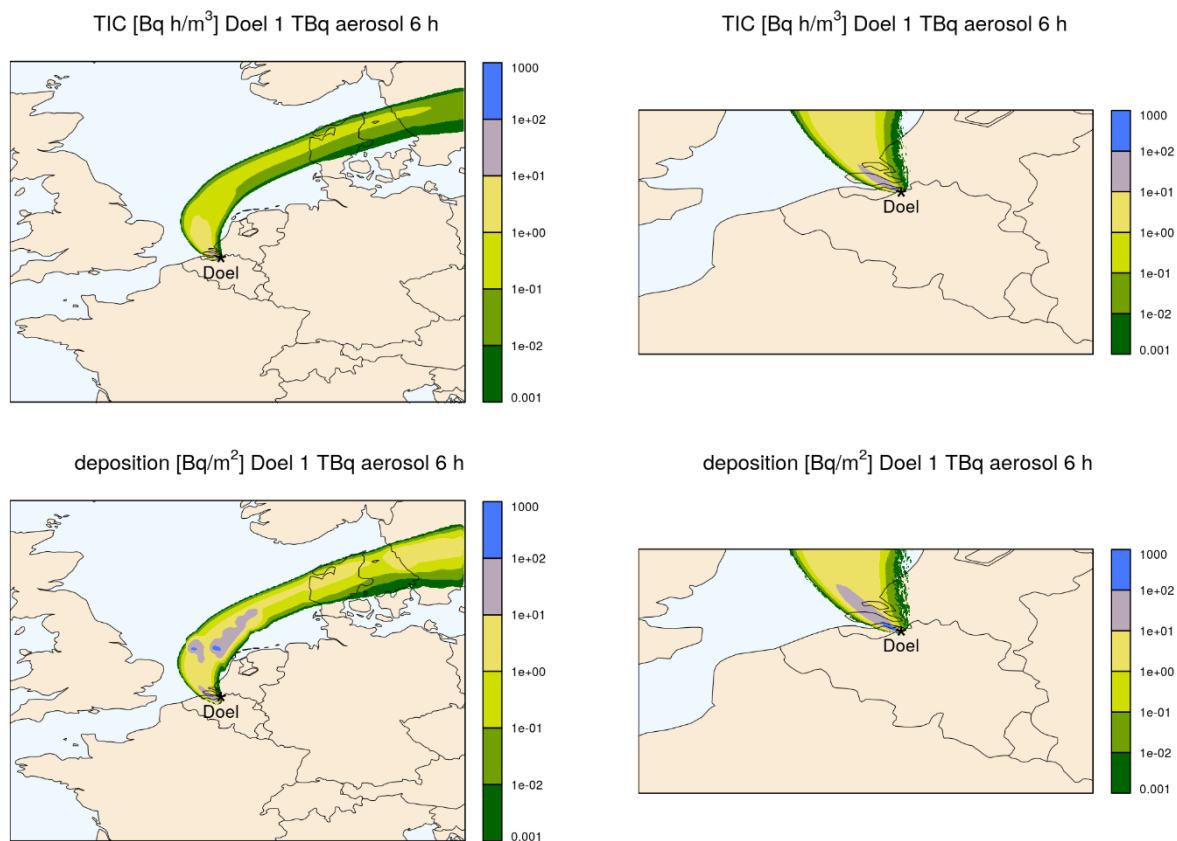


Abbildung 20: Flexpart-Beispielrechnung für eine fiktive Einleitung von 1 TBq radioaktiver Aerosole aus dem Kernkraftwerk Doel am 1. Januar 2020 zwischen 00:00 UTC und 06:00 UTC. Die obere Reihe zeigt die

zeitintegrierte Konzentration, die untere Reihe die Gesamtablagerung. Die Ergebnisse der Berechnungen sind für das große Raster (linke Spalte) und das kleine Raster (rechte Spalte) dargestellt.

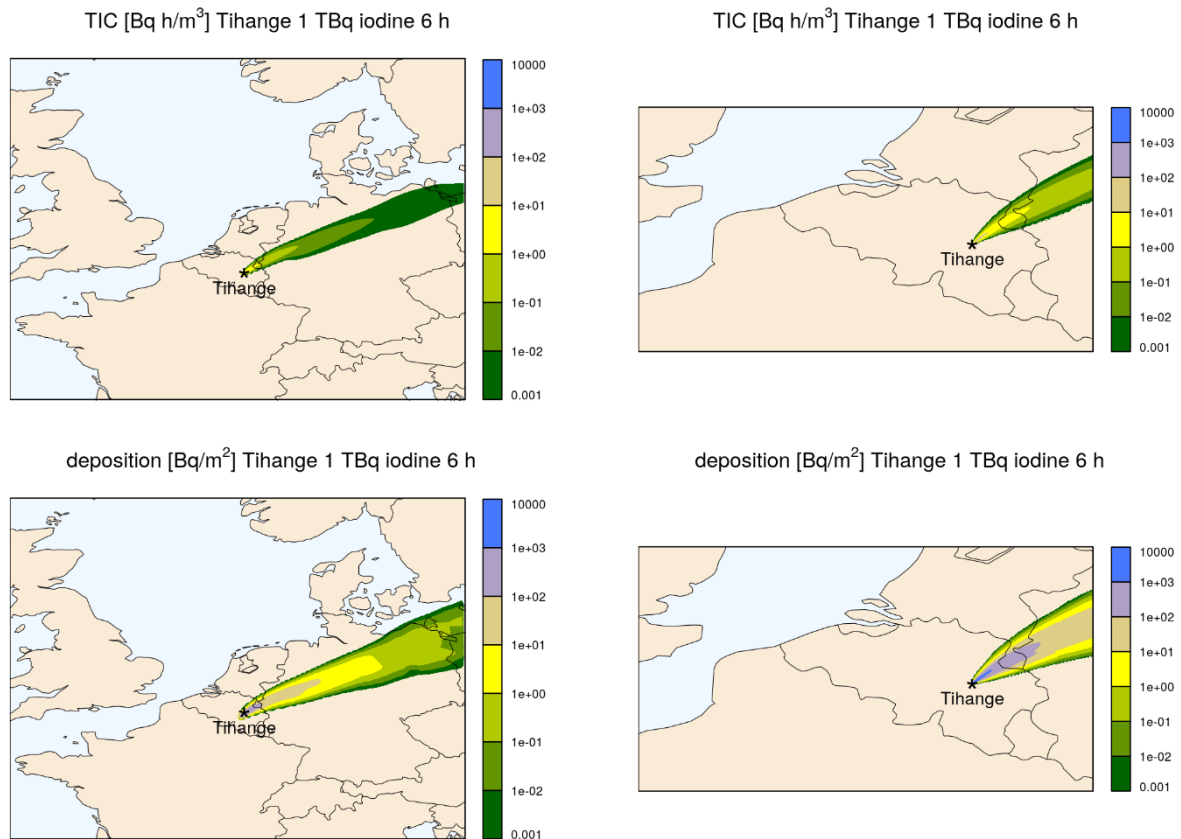


Abbildung 21: Beispiel einer Flexpart-Berechnung für eine fiktive Einleitung von 1 TBq elementarem Jod 131 aus dem Kernkraftwerk Tihange am 1. Juli 2020 zwischen 00:00 UTC und 06:00 UTC. Die obere Reihe zeigt die zeitintegrierte Konzentration, die untere Reihe die Gesamtablagerung. Die Ergebnisse der Berechnungen sind für das große Raster (linke Spalte) und das kleine Raster (rechte Spalte) dargestellt.

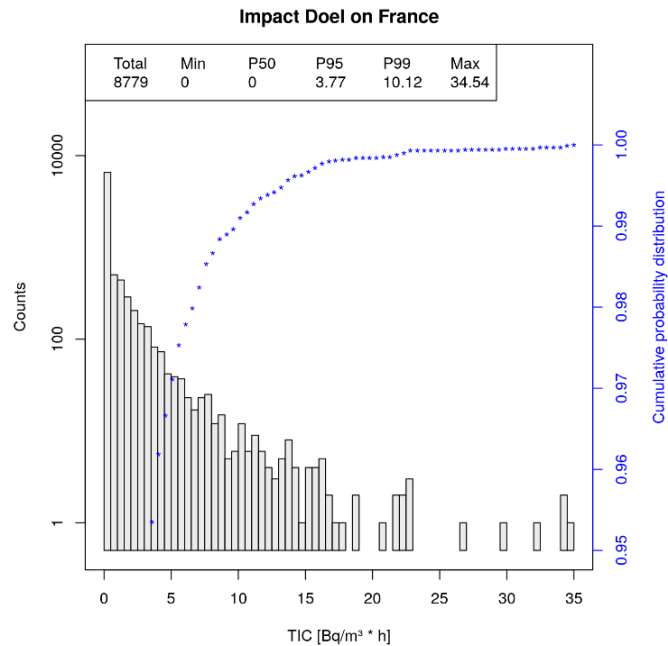


Abbildung 22: Verteilung der maximalen zeitintegrierten Konzentration (TIC) in Frankreich nach einer hypothetischen 6-stündigen Einleitung von radioaktiven Edelgasen aus dem Kernkraftwerk Doel. Die Gesamtzahl der in der Verteilung angezeigten TIC-Werte beträgt 8.779³⁰.

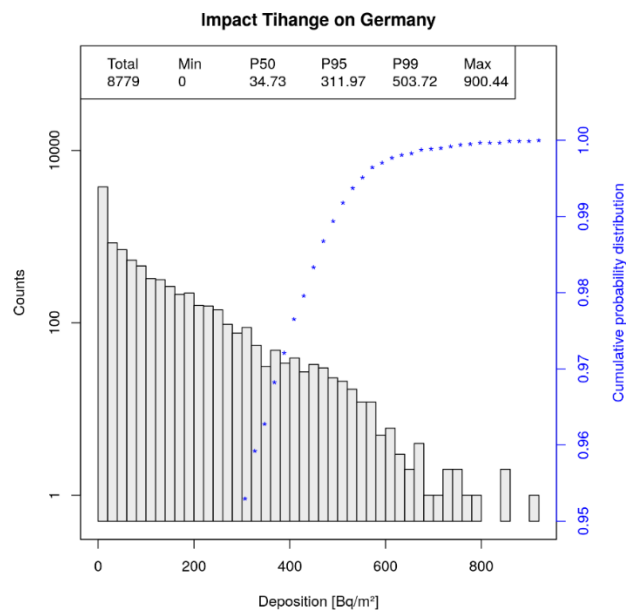


Abbildung 23: Verteilung der maximalen Gesamtdeposition in Deutschland nach einer hypothetischen 6-stündigen Einleitung radioaktiver Aerosole aus dem Kernkraftwerk Tihange. Die Gesamtzahl der in der Verteilung angezeigten TIC-Werte beträgt 8.779.

³⁰ Dies ist etwas weniger als $24 \times 366 = 8.784$, da 8.784 stündliche Einleitungsberechnungen zu 8.779 6-stündlichen Einleitungen im Jahr 2020 aggregiert wurden.

Auf der Grundlage der Berechnungen zur atmosphärischen Dispersion und Deposition werden dann die effektive Gesamtdosis und die Schilddrüsen-Äquivalentdosis für die verschiedenen betrachteten Unfälle ermittelt.

2.3.5 Überwachung des radiologischen Zustands der Umwelt.

Belgien ist, wie alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union, im Rahmen des Euratom-Vertrags verpflichtet, die Anforderungen der Europäischen Kommission (EK) zu erfüllen. Gemäß Artikel 35 Euratom-Vertrag muss jeder Mitgliedstaat die erforderlichen Einrichtungen zur ständigen Überwachung des Gehalts der Luft, des Wassers und des Bodens an Radioaktivität schaffen und für die Einhaltung der grundlegenden Sicherheitsnormen sorgen. Die Formulierung „Luft, Wasser und Boden“ wird als allumfassend angesehen und schließt alle Kompartimente der Biosphäre ein. Die Umwelt ist nicht auf die Umgebung einer kerntechnischen Anlage beschränkt, sondern gilt für das gesamte Staatsgebiet.

Darüber hinaus ist Artikel 36 über die Mitteilung von Überwachungsdaten zur Radioaktivität in der Umwelt (Radioaktivität in der Luft, Partikel in der Luft, Oberflächenwasser und Trinkwasser, Milch und Lebensmittel) zu beachten. Dazu gehören auch die neuen Anforderungen an die Überwachung der Nahrungskette, die sich aus den Schutzmaßnahmen nach den Katastrophen von Tschernobyl und Fukushima ergeben, sowie die Empfehlung 2000/473/EURATOM 2 zu Artikel 36 des Euratom-Vertrags, die in Punkt 4 vorsieht, dass die Mitgliedstaaten der Kommission alle erforderlichen Daten zur Überwachung der Radioaktivität im „gemischten Regime“ übermitteln, um Gesamtinformationen über die Aufnahme von Radioaktivität durch den Menschen über die Nahrungskette zu erhalten.

Das OSPAR-Übereinkommen (OSlo-PARis) zum Schutz der Meeresumwelt der Nordsee und des Nordostatlantiks verpflichtet die Vertragsstaaten, Überwachungs- und Forschungsprogramme zu den Auswirkungen radioaktiver Einleitungen in die Meeresumwelt zu entwickeln. Das Programm ist in sechs Strategien organisiert: (1) Schutz und Erhaltung der biologischen Vielfalt und der Ökosysteme des Meeresgebiets; (2) Eutrophierung; (3) Schadstoffe; (4) Offshore-Öl- und Gasindustrie; (5) Radioaktive Substanzen; (6) Monitoring und Bewertung. Das Übereinkommen sieht eine drastische Reduzierung der radioaktiven Einleitungen in die Meeresumwelt vor, bis hin zu Konzentrationen nahe Null für künstliche Radioaktivität. Im Rahmen der OSPAR-Strategie fordert die Europäische Kommission die Mitgliedstaaten außerdem auf, in grundlegende Forschungsprogramme zu investieren, die sich mit den Auswirkungen radioaktiver Einleitungen in die Meeresumwelt (Flora, Fauna und Menschen) befassen.

Und schließlich gibt es auch internationale Richtlinien, wie die der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO Safety Guide N° RS-G-1.8 „Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection“). Gemäß diesen Richtlinien muss ein Überwachungsprogramm außerhalb des Standortes die Messung der externen Dosis oder Dosisleistung und der Radionuklidaktivität in Umweltproben, die für die menschliche Exposition relevant sind, insbesondere in Luft, Trinkwasser, Boden, Sedimenten, landwirtschaftlichen Produkten und natürlichen Lebensmitteln sowie Bioindikatoren (Flechten, die Radioaktivität konzentrieren und über die Zeit eine bestimmte Tendenz aufzeigen können) umfassen.

Die FANK ist für die Überwachung der Radioaktivität des gesamten Staatsgebiets und für die Überwachung der Dosis ionisierender Strahlung, die an die Bevölkerung abgegeben wird, zuständig und führt dieses radiologische Überwachungsprogramm auf belgischem Staatsgebiet seit 2001 durch. Das Überwachungsprogramm betrifft sowohl natürliche als auch künstliche Radioaktivität und wird auf zwei Arten durchgeführt:

Auf **kontinuierlicher Basis**: durch das automatische Netzwerk TELERAD zur Messung der lokalen Umweltradioaktivität; dieses besteht aus einem Netzwerk von 250 Messstationen, die über das gesamte belgische Staatsgebiet verteilt sind und kontinuierlich die Radioaktivität (genauer gesagt Gammastrahlung) in der Luft und im Wasser der Flüsse messen. Dadurch ist es möglich, 24 Stunden am Tag nahezu unmittelbar (in Echtzeit) auf die Strahlungswerte zuzugreifen und schnell zu reagieren, wenn der Strahlungspegel einen bestimmten vorgegebenen Schwellenwert überschreitet. Das Netz verfügt über Verdichtungen um kerntechnische Anlagen wie die KKW Doel

und Tihange, die aus Ringstationen, die am Rande des Standorts installiert sind, und Agglomerationsstationen in der Nähe des Standorts bestehen.

Das TELERAD-Netzwerk ist mit 5,3 Stationen pro 1.000 km² eines der dichtesten Netzwerke zur Messung von Strahlungswerten in Europa und der Welt. Es umfasst:

- 162 *Umgebungs-dosis-Äquivalentstationen* (Geiger-Müller-Detektor, H*[10]), zur Messung der Gammaradioaktivität in der Umgebung;
- 64 *spektroskopische Messstationen*: 1,5" x 1,5" Natriumjodid (NaI)-Szintillationsdetektoren + Geiger-Müller(GM)-Zähler für Dosisleistungen > 400 µSv/h zur Messung der Gammaradioaktivität in der Umgebung und zur Messung einer Anzahl von Radionukliden (10 vordefinierte Radionuklide). Diese sind entlang des Umzäunung um die kerntechnischen Standorte des SCK CEN, die Kernkraftwerke in Doel und Tihange sowie um das IRE verteilt;
- 11 *Messstationen entlang von Flüssen* (LaBr₃), die kontinuierlich die Gammastrahlung im Flusswasser messen;
- 13 *Wetterstationen* (30 Meter hohe Masten).

Alle Stationen messen die Dosisleistung (Umgebungs-Äquivalentdosisleistung H*[10]) und sind in der Lage, sowohl genaue Hintergrundwerte zu messen, bei denen die Variation der natürlichen Hintergrundstrahlung im Verlauf der Zeit beobachtet werden kann, als auch stark erhöhte Dosisleistungen (Unfallsituationen) genau zu messen. Die Daten sind online über die Website <https://telerad.fgov.be/> verfügbar. Daten aus allen europäischen Ländern werden auch über EURDEP gesammelt und zur Verfügung gestellt: „The Radioactivity Environmental Monitoring (REM) group of the Joint Research Centre (JRC)“ der Europäischen Kommission: <https://eurdep.jrc.ec.europa.eu/Entry/Default.aspx>. Neben belgischen Daten können dort auch Daten aus anderen europäischen Messnetzwerken eingesehen werden, wie z. B. die Ergebnisse des vom RIVM geleiteten niederländischen Nationalen Radioaktivitätsüberwachungsnetzes, das in der Nähe des KKW Doel gleich hinter der Grenze Stationen hat (siehe auch: <https://www.rivm.nl/nationaal-meetnet-radioactiviteit/resultaten>, auf Niederländisch).

Auf der Grundlage der kontinuierlichen TELERAD-Daten kann auch die Dosis durch externe Strahlung auf Jahresbasis bestimmt werden. Dies wird gezeigt in *Abbildung 24*.

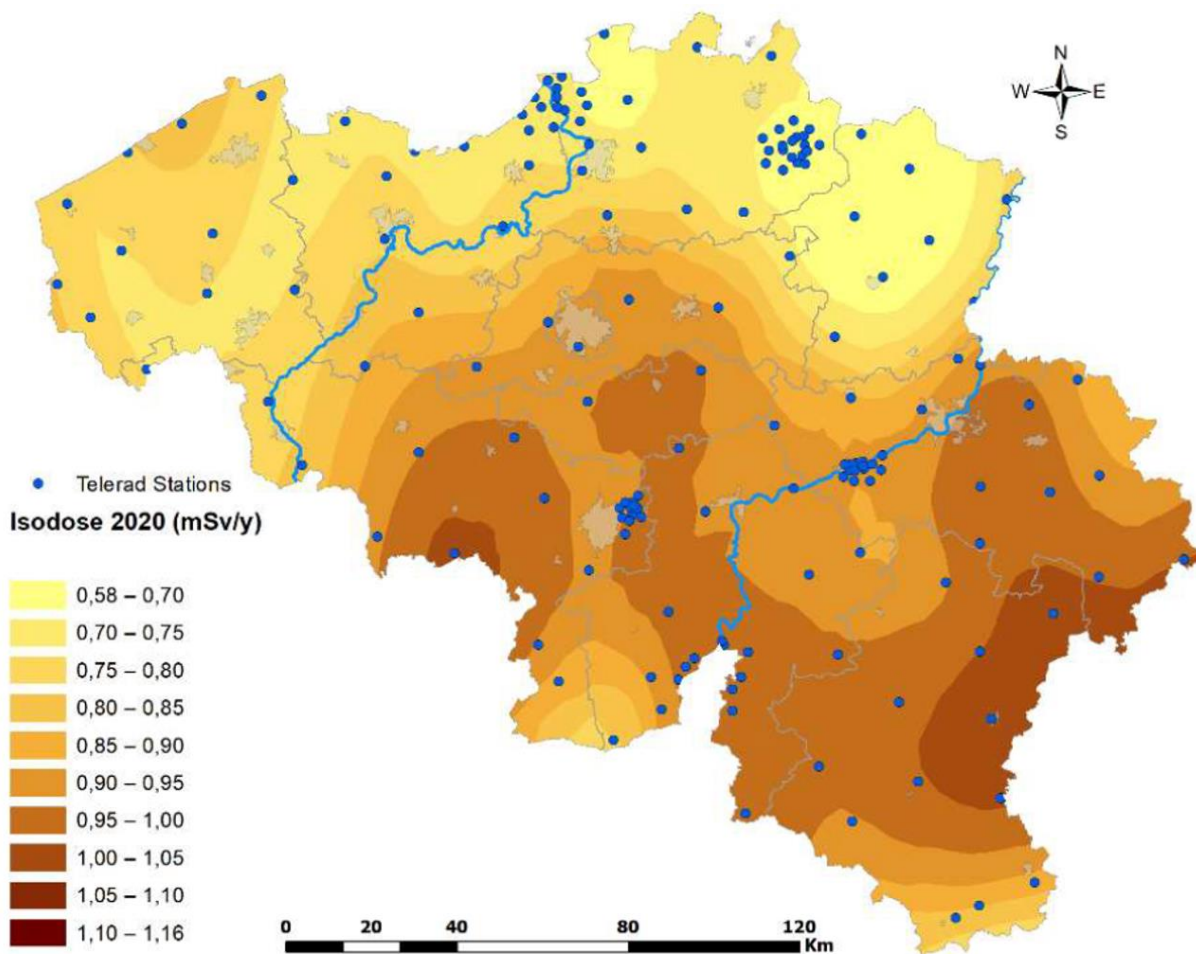


Abbildung 24: Dosis in mSv pro Jahr durch externe Strahlung (kosmische und terrestrische), ermittelt aus TELERAD-Messungen (Jahr 2020). Vor allem aufgrund der Zusammensetzung des Untergrunds schwankt die externe Dosis in Belgien auf Jahresbasis erheblich und liegt zwischen 0,58 und 1,16 mSv/Jahr. Diese Abbildung zeigt auch sehr schön die verschiedenen Schichten des TELERAD-Netzes: ein verdichtetes Netz um die kerntechnischen Anlagen mit Ringstationen und Agglomerationsstationen und zusätzlich das nationale Netz, das das gesamte Gebiet mit typischerweise einem Detektor alle 20 km x 20 km abdeckt (Abbildung: FANK).

Diskontinuierlich: durch regelmäßige Messungen an Ort und Stelle (Probenahme), die dann in spezialisierten Labors analysiert werden. Dies ermöglicht es, sehr kleine Mengen an Radioaktivität messen zu können.

Das Ganze sorgt für eine Kontrolle der Radioaktivität u. a. in der Luft, im Regenwasser, in Oberflächengewässern und im Trinkwasser, in Böden und Flusssedimenten, in Küstengebieten und in Produkten der Nahrungskette.

Das Überwachungsprogramm hat außerdem zwei Komponenten: (1) eine globale Überwachung, die das gesamte Staatsgebiet außerhalb der Gebiete mit nuklearen Aktivitäten abdeckt, und (2) eine enge Überwachung rund um die kerntechnischen Anlagen. Außerdem wurde ein spezielles Referenzgebiet definiert, nämlich Brüssel. Die Ergebnisse beider sind mit Berichten für die Jahre 1996 bis 2021 öffentlich zugänglich^{xlii}.

Neben dem Überwachungsprogramm der FANK verfügt die Electrabel AG über ein eigenes radiologisches Überwachungsprogramm im Umfeld der KKW Doel und Tihange, dessen Konzeption und Ergebnisse in den jeweiligen Abschnitten der Umweltverträglichkeitsprüfung von Doel 4 und Tihange 3 erläutert werden.

Während des normalen Betriebs der Kernkraftwerke liefert die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt ein ergänzendes Bild zur Überwachung der gasförmigen und flüssigen Einleitungen, um die radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt abzuschätzen, wie in Abbildung 25 dargestellt.

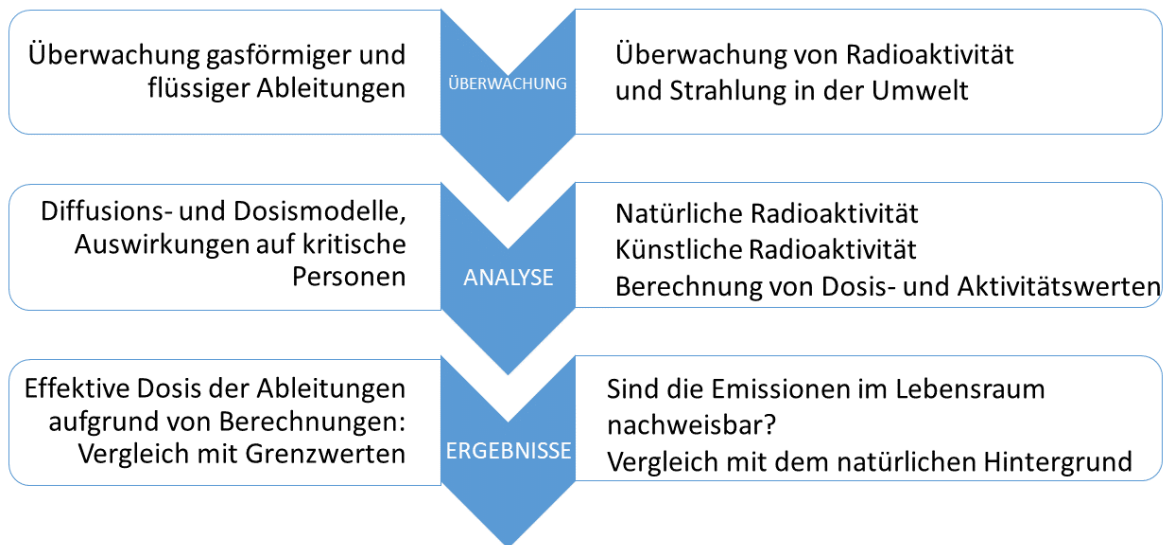


Abbildung 25: Die Auswirkungen des Betriebs der KKW Doel und Tihange auf Mensch und Umwelt werden auf zwei sich ergänzenden Wegen überwacht: Überwachung der Einleitungen und Überwachung des Lebensraums.

Bei potenziellen Zwischenfällen und Unfällen ist das Überwachungsprogramm ebenfalls ein wichtiges Bindeglied; das kontinuierliche Netz liefert sofortige Informationen über erhöhte Strahlungswerte und/oder Radioaktivität in der Umgebung. Bei Überschreitung der voreingestellten Werte werden automatisch Reaktionsmaßnahmen ausgelöst. Das diskontinuierliche Programm kann aufgrund seiner höheren Empfindlichkeit beim Nachweis sehr geringer Mengen von Radioaktivität in Luft, Wasser, Boden und Lebensmitteln auch sehr kleine potenzielle Anomalien im Zusammenhang mit dem Betrieb von Kernkraftwerken erkennen. Für Notfälle wird dieses Überwachungsprogramm durch die Bestimmungen des nuklearen und radiologischen Notfallplans für das belgische Staatsgebiet (Königlicher Erlass vom 1. März 2018) ergänzt.

2.3.6 Einstufung radioaktiver Abfälle und Entsorgung dieser Abfälle und abgebrannter Brennelemente

Gemäß dem Gesetz vom 3. Juni 2014 zur Umsetzung der europäischen Richtlinie 2011/70/Euratom werden radioaktive Abfälle wie folgt definiert³¹:

„Radioaktiver Abfall: ein radioaktiver Stoff in gasförmigem, flüssigem oder festem Zustand, für den der Staat oder eine natürliche oder juristische Person, deren Entscheidung durch die Verabschiedung einer Nationalen Politischen Maßnahme in Bezug auf diesen Stoff gemäß Absatz 6 und Absatz 7 dieses Artikels angenommen wurde, keine weitere Verwendung mehr vorsieht oder in Betracht zieht und der von der zuständigen Aufsichtsbehörde als radioaktiver Abfall betrachtet wird, oder wenn dieser Stoff aufgrund einer gesetzlichen oder behördlichen Bestimmung als radioaktiver Abfall zu betrachten ist.“ [freie Übersetzung]

Eine ordnungsgemäße Klassifizierung von radioaktivem Abfall ist notwendig, um sicherzustellen, dass die Sammlung, der Transport, die Lagerung und die Handhabung von Abfall in einer Weise erfolgt, die die Umwelt und die menschliche Gesundheit schützt und den gesetzlichen Anforderungen entspricht.

Radioaktive Abfälle werden im Hinblick auf den betrieblichen Strahlenschutz an KKW-Standorten anhand der Kontaktdosisleistung in drei Kategorien eingeteilt:

- schwachradioaktiver Abfall (Dosisleistung < 5 mSv/h);
- Mittelaktiver Abfall (Dosisleistung ≥ 5 mSv/h und ≤ 2 Sv/h);
- Hochaktiver Abfall (Dosisleistung > 2 Sv/h).

Im Hinblick auf die langfristige Entsorgung werden radioaktive Abfälle nach der Menge (Aktivität) und der Art der Strahlung sowie nach dem Zeitraum, in dem sie radioaktiv bleiben (Halbwertszeit), klassifiziert. Auf der Grundlage dieser Eigenschaften können die Abfälle nach dem Grad des Einschlusses und der Isolierung eines Entsorgungssystems klassifiziert werden, der erforderlich ist, um ihre langfristige Sicherheit zu gewährleisten, wobei das Gefahrenpotenzial der verschiedenen Abfallarten berücksichtigt wird. Dies spiegelt einen graduellen Ansatz zur Gewährleistung der Sicherheit wider.

In Belgien klassifiziert die NERAS (die belgische Nationale Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Spaltmaterialien) radioaktive Abfälle in drei Kategorien: A, B und C.

- **Kategorie A:** bezieht sich auf schwach- und mittelradioaktive, kurzlebige Abfälle. Schwachradioaktiver Abfall enthält geringe Mengen an Radioaktivität. Er entsteht vor allem durch den Betrieb von Kernkraftwerken, aber auch durch die Wiederaufbereitung, die Forschung und die Produktion von Radioisotopen und deren Einsatz in der Nuklearmedizin und der Industrie. Beispiele für Abfälle der Kategorie A sind kontaminierte Schuhüberzüge und Kleidung, Fasern, Mopps, Filter, medizinische Schläuche, Wattestäbchen, Injektionsnadeln, Spritzen, Abfälle von toten Tieren (Kadavern) und andere Gewebe. Die Kategorie kann auch feuerfeste Stoffe und schützende Kunststoffabdeckungen enthalten, die bei Wartungsarbeiten verwendet werden, sowie Ausrüstungsteile, die aus einem Kraftwerk entfernt wurden.
- **Kategorie B:** gruppiert schwach- und mittelradioaktive, langlebige Abfälle. Mittelradioaktive Abfälle enthalten eine höhere Radioaktivität als schwachradioaktive Abfälle und müssen bei der Behandlung abgeschirmt werden. Sie entstehen hauptsächlich bei der Herstellung von Kernbrennstoffen, in der Kernforschung und bei der Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente. Beim Rückbau eines Reaktors werden einige Teile des Reaktors ebenfalls als mittelradioaktive Abfälle eingestuft.

³¹ Diese Definition unterscheidet sich geringfügig von der in Art. 3 des ARBIS (K. E. vom 20. Juli 2001) verwendeten: „Radioaktive Abfälle: alle radioaktiven Stoffe, die aus einem genehmigten Betrieb oder aus einer beruflichen Tätigkeit stammen, die ganz oder teilweise als nicht freigestellter Betrieb gemäß Artikel 9 Absatz 3 gilt und für die keine weitere Verwendung innerhalb des Betriebs vorgesehen ist, sowie die radioaktiven Stoffe, die aus einer Intervention gemäß Artikel 72a oder aus einer Schutzmaßnahme im Falle einer radiologischen Notstandssituation stammen.“ [freie Übersetzung]

- **Kategorie C:** enthält hochradioaktive, langlebige Abfälle. Sie stammen hauptsächlich aus abgebrannten Brennelementen, die als Abfall deklariert wurden, und aus der Aufbereitung von abgebrannten Brennelementen. Abfälle der Kategorie C haben eine solch hohe Strahlung, dass sie Wärme erzeugen und eine starke Abschirmung erfordern.

2.3.7 Allgemeine Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen

2.3.7.1 Ziel

Das übergeordnete Ziel der Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle ist der Schutz von Mensch und Umwelt, jetzt und in Zukunft. Der beste Weg, dies zu tun, ist, den Abfall zu konzentrieren, einzuschließen und von der Umwelt zu isolieren. Dies ermöglicht es, eine eventuelle Freisetzung in die Umwelt zu begrenzen und den Vorschriften zu unterwerfen. Die Erzeugung von radioaktivem Abfall muss vermieden oder, wenn dies nicht vernünftigerweise durchführbar ist, in Bezug auf Menge und Aktivität begrenzt werden.

Akteure

Synatom

Synatom AG belgischen Rechts ist ein privates Unternehmen, dessen Kapital zu 100 % von der ENGIE Electrabel AG gehalten wird, an dem aber der belgische Staat eine Goldene Aktie besitzt, die dem Föderalminister der Energie ein Vetorecht bei Vorstandsentscheidungen gibt, die der Energiepolitik unseres Landes zuwiderlaufen könnten. Nach einer Erweiterung im Jahr 2003 hat Synatom die Aufgabe, die Tätigkeiten im Zusammenhang mit dem Kernbrennstoffkreislauf sowie die für den Rückbau von Kernkraftwerken und die Entsorgung der in diesen Anlagen bestrahlten Kernspaltungsprodukte gebauten Anlagen zu verwalten.

Betreiber

Die Betreiber (Electrabel AG, EDF Luminus, Belgoprocess, IRE, Krankenhäuser, Isotopenproduzenten, Forschungszentren wie SCK CEN usw.) sind die Parteien, die zuerst für die in ihren Anlagen anfallenden radioaktiven Abfälle verantwortlich sind. Sie sind verantwortlich für die Erstellung und Umsetzung der Gesamtbewirtschaftungsstrategie für ihre Einrichtung und für die Finanzierung der Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle nach dem Verursacherprinzip. Die Electrabel AG betreibt die Kernkraftwerke Doel und Tihange.

Organisation für die Abfallentsorgung: NERAS

Die NERAS, die Nationale Einrichtung für Radioaktive Abfälle und Angereicherte Spaltmaterialien, wurde durch Artikel 179 Absatz 2 Nummer 1 des Gesetzes vom 8. August 1980 gegründet^{xliii}. Als nationale Abfallentsorgungsorganisation ist sie für die sichere kurz- und langfristige Entsorgung radioaktiver Abfälle (unabhängig von deren Ursprung und Herkunft) zuständig^{xliiv}. Belgoprocess AG ist eine Tochtergesellschaft der NERAS, die eine Reihe von Lagergebäuden für radioaktive Abfälle betreibt und auch die Verarbeitung und Lagerung radioaktiver Abfälle für Erzeuger anbietet, die dies wünschen.

Sicherheits- und Regulierungsbehörde: FANK

Die FANK, die Federalagentur für Nuklearkontrolle, ist die zuständige Behörde auf dem Gebiet der Sicherheit und Sicherung nuklearer Anwendungen und wurde durch Artikel 2 des Gesetzes vom 15. April 1994 eingerichtet^{xliv}. Die 2007 gegründete Tochtergesellschaft Bel V der FANK sorgt für die notwendige technische Unterstützung. Die Aufsichtsaufgaben, die die FANK an Bel V delegieren kann, und deren praktische Modalitäten wurden in die Änderung der AOSIS vom 6. Dezember 2018 aufgenommen. Im Jahr 2019 wurde ein Entsorgungsvertrag zur Konkretisierung dieses K. E. unterzeichnet.^{xlvi}

Föderaler Öffentlicher Dienst Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie

Der Dienst Nukleare Anwendungen der Generaldirektion Energie des FÖD Wirtschaft, KMB, Mittelstand und Energie beaufsichtigt die nuklearen Forschungsaktivitäten und überwacht zudem die Aktivitäten von Synatom und der NERAS, unter anderem unter der Aufsicht der Minister der Energie und der Wirtschaft.

2.3.7.2 Abfallbegrenzung, -behandlung und -konditionierung

Die Verringerung der Produktion von radioaktivem Abfall ist ein wichtiger erster Schritt in der Abfallbewirtschaftung. Daher müssen die Betreiber versuchen, eine Anlage so zu entwerfen, zu bauen, zu betreiben und stillzulegen, dass sowohl das Abfallvolumen als auch die Radioaktivität auf ein absolutes Minimum reduziert werden. Zu den wichtigsten Elementen der Abfallbegrenzung gehören:

- die Reduzierung an der Quelle, sowohl die Volumenreduzierung als auch die Vermeidung von Verschmutzung/Aktivierung;
- die Wiederverwendung und das Recycling von Wertstoffen aus dem Abfallkreislauf; und
- die Optimierung der Abfallbehandlung.

Das Ziel der Abfallbehandlung und -konditionierung ist es, radioaktive Abfälle in ein festes und stabiles Endprodukt umzuwandeln, das den Spezifikationen für die Lagerung und endgültige Beseitigung entspricht.

Die Prozesse zur Aufbereitung und Konditionierung der radioaktiven Abfälle werden entweder in den Kernkraftwerken selbst angewendet (für einen Teil der eigenen Abfälle) oder sind am Standort von Belgoprocess in Dessel zentralisiert.

Abhängig von der Art des Abfallstroms wird die Abfallverarbeitung bei Belgoprocess wie folgt durchgeführt^{xlvii}:

- Flüssige radioaktive Abfälle werden in Behältern gesammelt und durch chemische oder thermische Behandlung auf ein geringes Volumen an Schlamm reduziert;
- feste, brennbare radioaktive Abfälle werden bei einer Temperatur von 900 °C verbrannt;
- feste, nicht brennbare radioaktive Abfälle werden in Stahlfässern gesammelt, die möglichst unter sehr hohem Druck (2.000 Tonnen) zu einer Scheibe mit einer Höhe von etwa 25 Zentimetern gepresst werden;
- nicht brennbare und inkompressible Abfälle werden zerkleinert und in Standardfässern gesammelt.

Der nach der Bearbeitung verbleibende Rückstand wird in Zement eingekapselt, um die radioaktiven Partikel einzuschließen. Danach wird alles in Stahlfässer verpackt. Sobald der radioaktive Abfall bearbeitet und in einem Fass eingeschlossen ist, wird er als „konditioniert“ bezeichnet.

2.3.7.3 Lagerung

Die Lager sind für die Aufnahme von Abfallkolli in einer geeigneten kerntechnischen Anlage ausgelegt, wobei die Möglichkeit der Rückholung aus dieser Anlage besteht. Da die Lagerung auf aktive Elemente der Wartung, Steuerung und Überwachung angewiesen ist, stellt sie keine langfristige Entsorgungslösung dar. Es gibt jedoch mehrere Gründe für die *Zwischenlagerung* radioaktiver Abfälle, wie etwa:

- für den Zerfall von kurzlebigen Radionukliden bis zu einem Niveau, bei dem der radioaktive Abfall von der regulierenden Kontrolle ausgenommen ist;
- zum Sammeln und Zurückholen einer ausreichenden Menge radioaktiver Abfälle vor dem Transfer zu einer anderen Einrichtung zur Bearbeitung/Konditionierung oder Entsorgung;
- zur Reduzierung der Wärmeentwicklung von hochradioaktivem Abfall.

In Belgien werden die konditionierten radioaktiven Abfälle in entsprechenden abgeschirmten Lagergebäuden auf dem Gelände von Belgoprocess zwischengelagert. Belgoprocess verfügt über acht geeignete Bunkergebäude für schwachradioaktiv konditionierte Abfälle, mittelaktive konditionierte Abfälle, hochaktive verglaste Abfälle und Abfälle, die Alphateilchen abgeben.

Hochradioaktive Abfälle haben das geringste Volumen (1,4 % aller Abfälle), stellen aber 98 % der Radioaktivität aller gelagerten Abfälle dar. Hochradioaktiver Abfall besteht hauptsächlich aus verglasten Abfällen, die nach der Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente aus belgischen Kernkraftwerken in Frankreich nach Belgien transportiert wurden.

Abgebrannte Brennelemente werden derzeit (noch) nicht als Abfall eingestuft. Der derzeitige Eigentümer des Kernbrennstoffs, Synatom, hat noch keine Entscheidung über die mögliche (teilweise) Wiederverwendung von

Rohstoffen aus den abgebrannten Brennelementen getroffen. Bis vor einigen Jahren ging Synatom in seinem Referenzprogramm von einem Szenario aus, bei dem etwa 1.200 tHM (das entspricht etwa einem Viertel des voraussichtlichen Bestands an abgebrannten Brennelementen am Ende der Laufzeit der Reaktoren) wiederaufbereitet werden sollten^{xlviii}. Synatom war der Ansicht, dass die teilweise Wiederaufbereitung zunächst eine Lösung für die fehlenden Lagerkapazitäten sein könnte. Da jedoch das Aufwertungspotenzial des zurückgewonnenen spaltbaren Materials zu begrenzt war³² und vor kurzem (2021) die Genehmigungen für die Errichtung und den Betrieb neuer Lager sowohl in Doel als auch in Tihange im Rahmen des Projekts „Spent Fuel Storage Facility“ (SF²)^{xlix} erteilt wurden, erscheint ein Szenario ohne Wiederaufbereitung nun wahrscheinlicher. Bis zur endgültigen Entscheidung werden die abgebrannten Brennelementbündel heute an den Standorten der Kernkraftwerke Doel und Tihange zwischengelagert.

In Doel ist die Lagerung des trockenen Typs. Die abgebrannten Brennelemente befinden sich in Fässern mit doppeltem Verwendungszweck („dual purpose“ casks - DPC) (Abbildung 26), die in einem speziellen Gebäude auf dem Gelände von Doel gelagert werden. DPC sind Container, die sowohl für die Zwischenlagerung als auch für den Transport innerhalb und außerhalb des Standorts verwendet werden können. Das derzeitige Lagergebäude für abgebrannte Brennelemente in Doel (SCG) hat eine maximale Lagerkapazität von 165 Kernbrennstoffbehältern des Typs DPC und wird nach 2024 seine Sättigung erreichen.

Das SF²-Projekt wird zusätzliche Zwischenlagerkapazitäten für abgebrannte Brennelemente am Standort des KKW Doel schaffen. Das Projekt SF² ermöglicht die Entleerung der Kernbrennstoffdocks der Kernkraftwerke nach der endgültigen Abschaltung der Kernblöcke. Die Entleerung der Docks ist notwendig, bevor mit dem Rückbau der Kernblöcke begonnen werden kann. Das SF²-Projekt umfasst drei Gebäude: das Hauptgebäude (SFB), in dem Kernbrennstoffbehälter vom Typ DPC gelagert werden, das Nebengebäude (AUX) und das Lagergebäude für Ausrüstung (ASB). Die maximale Kapazität des SFB umfasst 108 Container. In Wirklichkeit werden maximal 97 Container gelagert, da 2 Positionen für den Containerumschlag und 9 Positionen für Abhilfemaßnahmen bei einem Unfall freigehalten werden. Die Electrabel AG geht davon aus, dass das neue Lagergebäude im Jahr 2025 in Betrieb genommen werden kann.^{li}

In Tihange werden zurzeit Abfälle des nassen Typs gelagert. Die Brennelemente werden in speziellen Bädern gelagert, die sich im Lagergebäude DE am Standort Tihange befinden. Selbst dort wäre die Speicherkapazität nach 2022 gesättigt. Das SF²-Projekt in Tihange^{lii} sieht den Bau eines neuen Lagers in ähnlicher Weise wie in Doel vor, d. h. für die trockene Lagerung von Brennstoffbehältern des Typs DPC. Bei maximaler Kapazität wird das neue Lagergebäude 117 DPC-Container aufnehmen können. Das neue Lagergebäude am Standort Tihange befindet sich derzeit im Bau und soll im Jahr 2023 in Betrieb genommen werden.

³² Die Herstellung von Brennelementen auf der Grundlage aufbereiteter bestrahlter Brennelemente ist erst nach einer Abkühlungsphase von mehreren Jahren möglich. Der gesamte Wiederaufbereitungsprozess dauert nach Angaben von Areva etwa 10 Jahre. Folglich ist die verbleibende Zeit bis zur Abschaltung des letzten Reaktors (viel) zu kurz, um den Kernbrennstoff aus der Wiederaufbereitung des gesamten belgischen Kernbrennstoffbestands in unseren Kraftwerken wieder zu verwenden. Zu diesem zeitlichen Aspekt kommt noch die Erlangung einer neuen Betriebsgenehmigung für den möglichen MOX-Brennstoff hinzu. Kein belgischer Kernreaktor verfügt derzeit über eine solche Genehmigung.^{xlviii}

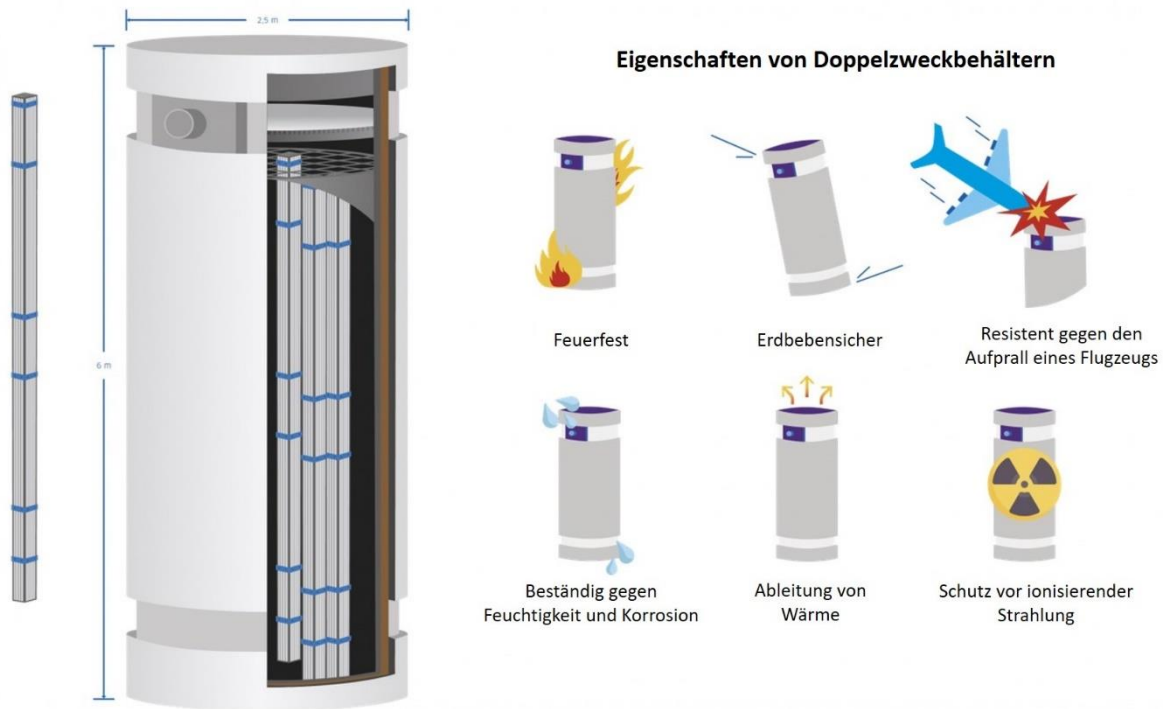


Abbildung 26: Prinzip der Trockenlagerung abgebrannter Brennelemente in Behältern vom Typ Dual Purpose Cask (DPC), wie sie in den SF²-Lagern vorgesehen sind^{liii}. Die Verpackung besteht aus einer Metallstruktur, die dazu dient, die Restwärme der abgebrannten Brennelemente durch interne Leitung, Strahlung und natürliche Konvektion passiv abzuleiten. Die Verpackung besteht aus Metall und anderen Materialien, die vor ionisierender Strahlung schützen.

Beide neuen Lager sind für eine Betriebsdauer von 80 Jahren ausgelegt, so dass sie nach dem Rückbau der anderen kerntechnischen Anlagen völlig unabhängig werden können.

2.3.7.4 Endlagerung

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle, wie sie in der belgischen Gesetzgebung, definiert ist, bezieht sich auf ihre Unterbringung in einer Anlage ohne die Absicht der Rückholung, jedoch unbeschadet der Möglichkeit einer eventuellen Rückgewinnung.

Der Begriff „Oberflächenlagerung“ bezieht sich auf die Entsorgung von kurzlebigen schwach- und mittlradioaktiven Abfällen (Kategorie A) in einer geeigneten Anlage an der Erdoberfläche.

Der Begriff „Tiefenlagerung“ bezieht sich auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle in einem unterirdischen Endlager innerhalb einer stabilen geologischen Formation, um die Abfälle langfristig einzuschließen und von der zugänglichen Biosphäre zu isolieren. Die Tiefenlagerung wird international als geeignete Entsorgungslösung angesehen, um Mensch und Umwelt nachhaltig vor den Risiken zu schützen, die mit hochradioaktiven und/oder langlebigen Abfällen (Kategorie B und C) verbunden sind.

Oberflächennahe Endlagerung

Der Genehmigungsantrag für die Oberflächenlagerung für Abfälle der Kategorie A in Dessel ist in Bearbeitung. Mit Beschluss der Föderalregierung vom 16. Januar 1998^{liv} und 23. Juni 2006^{lv} wurden Abfälle der Kategorie A zur Entsorgung in einem Oberflächenlager auf dem Gebiet der Gemeinde Dessel bestimmt. Das Ziel der Oberflächenlagerung in Dessel ist die sichere Lagerung aller gegenwärtigen und geplanten Abfälle der Kategorie A

in Belgien in einem Oberflächenlager, das aus 34 Entsorgungseinheiten (Betonmodulen) besteht. Das Gesamtvolumen des Endlagers beträgt 163.200 m³ (4.800 m³ pro Modul) für die Abfalllagerung. Dieses Lagervolumen, das den Außenabmessungen der Senkkästen (Betonboxen) entspricht, die nach dem Befüllen mit Abfällen und Füllmörtel als Monolithen bezeichnet werden, ermöglicht ein Lagervolumen von 70.500 m³ Abfällen der Kategorie A.

Es gibt 3 Arten von Senkkästen, in denen die Abfälle gelagert und immobilisiert werden (Abbildung 27):

- Senkkästen des Typs I können 4.400-Liter-Fässer oder 5.220-Liter-Fässer mit konditioniertem Abfall aufnehmen;
- Senkkästen des Typs II (begrenzte Anzahl) werden für nicht standardisierte Verpackungen mit typischerweise größerem Volumen verwendet; und
- Senkkästen des Typs III sind für die direkte Einbringung von rohen und/oder verarbeiteten radioaktiven Abfällen (Massenabfällen) vorgesehen. Die Abfälle werden in einen Innenkorb gelegt, um das Innere des Senkkastens vor Erschütterungen während der Beladung zu schützen und das Vorhandensein von Füllmörtel zwischen den Innenwänden des Senkkastens und den Abfällen zu fördern.



Abbildung 27: Illustrationen der drei Senkkastentypen^{lvii} mit Abfall: Typ I (links), Typ II (Mitte) und Typ III (rechts). Nach dem Aufsetzen des Deckels und dem Ausfüllen des Raums zwischen Abfall und Senkkasten mit Füllmörtel werden diese Lagerungskolli als „Monolithen“ bezeichnet.

Die Monolithen werden mit einem Trolley zu den Modulen transportiert. In den Modulen werden die Monolithen mit Hilfe eines Brückenkrans und eines dafür vorgesehenen Greifers positioniert und gestapelt. Die Füllung der Module erfolgt in Schichten von 12 × 13 Monolithen (Abbildung 28). Ein Modul kann 936 Monolithen vom Typ I in 6 Schichten oder 780 Monolithen vom Typ II oder III in 5 Schichten enthalten.

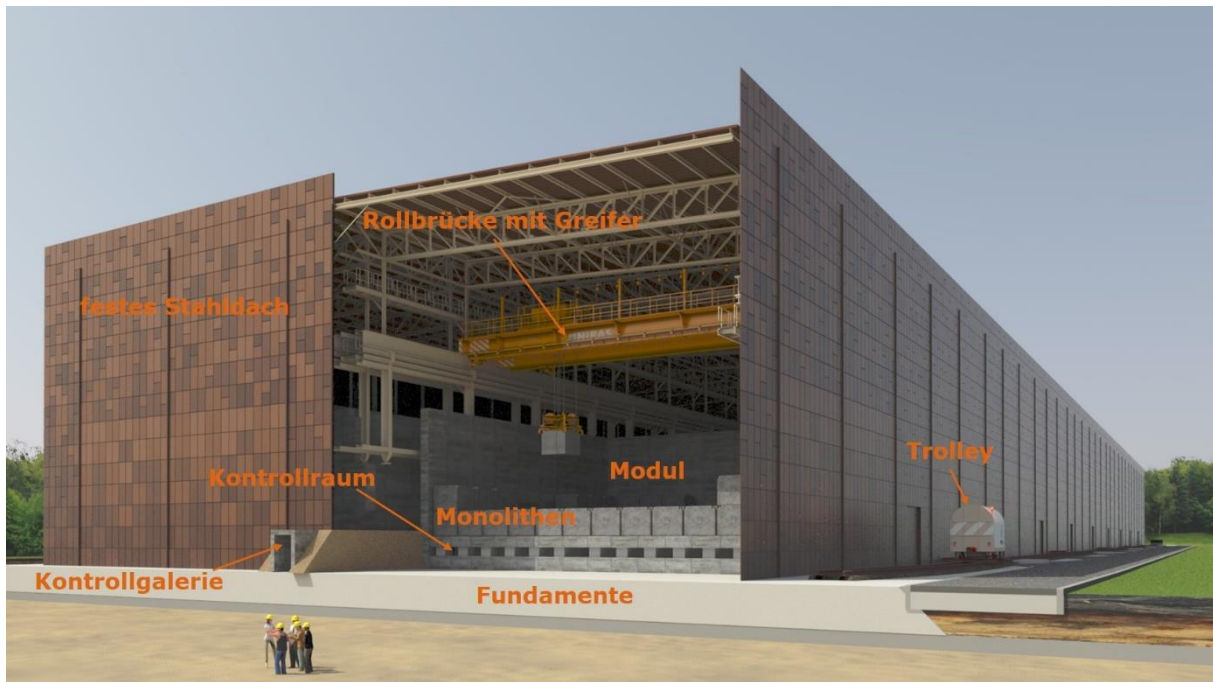


Abbildung 28: Skizze der Lagerstätte für Abfälle der Kategorie A bei der Verfüllung mit Monolithen^{lvii}.

Die genaue Menge der zu entsorgenden Abfälle hängt unter anderem von der künftigen Produktion von Betriebs- und Rückbauabfällen ab und wird auch durch die radiologische Kapazität des Endlagers begrenzt³³.

Tiefenlagerung

Unter Tiefenlagerung ist die Einlagerung radioaktiver Abfälle in ein Endlager in angemessener Tiefe in einer geeigneten geologischen Formation zu verstehen, um die Bevölkerung und die Umwelt vor den von diesen Abfällen ausgehenden radiologischen und physikalisch-chemischen Risiken zu schützen. Die Tiefenlagerung wird als Referenzlösung für B&C-Abfälle vorgeschlagen, d. h. für hochradioaktive Abfälle und langlebige schwach- und mittelaktive Abfälle, einschließlich abgebrannter Brennelemente, die als Abfall eingestuft sind.

Im September 2020 legte die NERAS den Vormundschaftsministern den Entwurf eines königlichen Erlasses zur Festlegung des ersten Teils der nationalen Politik in Bezug auf die Langzeitverwaltung für hochradioaktive und/oder langlebige Abfälle³⁴ und zur Klarstellung des schrittweisen Verfahrens zur Festlegung der anderen Teile dieser nationalen Politik vor.^{lviii} Zusammengefasst lautet der Vorschlag wie folgt:

1. Die Tiefenlagerung auf belgischem Staatsgebiet an einem oder mehreren Standorten ist konzeptionell die empfohlene wissenschaftlich-technische und soziale Wahl für die Endlagerung dieser Abfallkategorien. Die Wahl der Tiefenlagerung steht im Einklang mit internationalen Standards und Empfehlungen, mit der Richtlinie 2011/70/Euratom, mit dem weltweiten wissenschaftlichen Konsens und mit den Empfehlungen der FANK.

³³ Die langfristigen Auswirkungen der Endlagerung und ihre Akzeptanz hängen in hohem Maße von dem betrachteten radiologischen Quell-Term ab. Ausgehend von dem Grundsatz, den Aktivitätsgehalt auf langlebige Radionuklide zu begrenzen, werden Beschränkungen für die Radionuklide mit den stärksten Auswirkungen auferlegt.

³⁴ Für die am stärksten radioaktive Fraktion der radiumhaltigen Abfälle, die aus der historischen Radiumproduktion in Olen stammen, wird eine spezielle Maßnahme entwickelt.

2. Die folgenden Teile der nationalen politischen Maßnahme werden im Rahmen eines schrittweisen, partizipatorischen, schrittweisen und reversiblen Entscheidungsprozesses zur Vorbereitung künftiger Entscheidungen vorbereitet, entwickelt und gegebenenfalls angepasst; diese Teile umfassen zumindest den Entscheidungsprozess, die Modalitäten für die Reversibilität, die Rückholbarkeit und die Überwachung während eines noch festzulegenden Zeitraums sowie den/die Ort(e), an dem/denen die Tiefenlagerung erfolgen soll.
3. Um die Varianten, Alternativen und die Optimierung der geologischen Endlagerung zu bewerten, wird zum einen eine kontinuierliche Verfolgung der wissenschaftlichen, technischen, finanziellen und sozialen Entwicklungen auf internationaler und nationaler Ebene³⁵ durchgeführt und zum anderen die Möglichkeit der Entwicklung eines gemeinsamen Endlagers in Belgien oder einem anderen Land bewertet.

Vor kurzem, am 22. November 2022, wurde ein königlicher Erlass veröffentlicht, der den ersten Teil der nationalen Politik für die Langzeitverwaltung hochradioaktiver und/oder langlebiger Abfälle in Belgien festlegt. Er ratifiziert damit die Grundsatzentscheidung zur Tiefenlagerung auf belgischem Hoheitsgebiet und schafft die Grundlage dafür, dass die Durchführungsmodalitäten zu einem späteren Zeitpunkt und in einem klaren Rahmen festgelegt werden können. Dies geschieht allmählich durch einen partizipativen, transparenten und schrittweisen Entscheidungsprozess (Teil 2), der zur Auswahl eines oder mehrerer Durchführungsstandorte führt (Teil 3).

Weltweit werden geologische Endlager in stabilen geologischen Formationen als der am besten geeignete Entsorgungsort für diese Art von Abfällen herausgearbeitet. Die am meisten untersuchten Formationen in diesem Zusammenhang sind Granitformationen (u. a. skandinavische Länder), Salz (u. a. USA, Deutschland, Niederlande) und Ton (u. a. Frankreich, Schweiz, Kanada, Niederlande). Schwach verfestigte Lehmschichten³⁶ in Belgien werden auch von der NERAS als Wirtgestein für die Tiefenlagerung untersucht. Boomscher Ton³⁷ zum Beispiel wird in diesem Zusammenhang seit den 1970er Jahren untersucht. Anfang der 1980er Jahre wurde ein unterirdisches Labor (HADES) im Boomschen Ton in 223 m Tiefe unter dem nuklearen Gelände Mol errichtet, um die Machbarkeit der Endlagerstruktur zu demonstrieren und verschiedene *In-situ*-Experimente in relevantem Maßstab durchzuführen. Als alternatives Wirtgestein prüft die NERAS auch die Eignung des tiefer gelegenen Yperscher Tons³⁸. Insbesondere die niederländische Provinz Brabant drängt darauf, diese Möglichkeit zu erforschen, da sie zusätzlich isoliert ist und es in dieser Tiefe kein frisches Grundwasser gibt. Die NERAS bereitet derzeit eine *methodische* Sicherheits- und Durchführbarkeitsakte für die geologische Endlagerung vor, die für 2025 geplant ist. In dieser Akte wird die Tiefenlagerung in verschiedenen Tiefen zwischen 200 und 600 Metern in (nicht spezifiziertem) schwach verfestigtem Ton geprüft.

Für alle Arten von B- und C-Abfällen wurden Entsorgungskonzepte entwickelt, die auf Betonbehältern beruhen, die eine ausreichende Abschirmung für den Betrieb unter Tage gewährleisten (Abbildung 29). Eine solche Verpackung wurde auch für die abgebrannten Brennelemente entwickelt, die nicht wiederaufbereitet werden sollen (Abbildung 30).

³⁵ Dabei wird die NERAS insbesondere die Entwicklungen im Zusammenhang mit der Tiefbohrung und den nuklearen Spitzentechnologien beobachten.

³⁶ Schwach verfestigter Ton bezieht sich auf Tonsorten, die nicht so weit verdichtet sind, dass sie ihre Plastizität verloren haben. Die Plastizität sorgt für eine gute Selbstabdichtung.

³⁷ Der Boomsche Ton ist eine tertiäre Formation, die zur Rupelgruppe gehört und im frühen Oligozän (vor 33,9 bis 28,4 Millionen Jahren) entstand. Sie besteht aus abwechselnd tonhaltigen Siltschichten und siltigen Tonschichten mit hohem Pyrit- und Glaukonitgehalt in den siltigen Schichten.

³⁸ Yperscher Ton bezieht sich auf den Ton der Kortrijk-Formation, die im frühen Eozän (vor etwa 52 Millionen Jahren) entstanden ist. Er ist durch siltige, manchmal sandige Einlagerungen gekennzeichnet, die nach Osten hin an Bedeutung gewinnen.

Für hochradioaktiven Abfall (wärmeabgebende Abfälle der Kategorie C) werden diese Verpackungen als „Supercontainer“ bezeichnet. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem Overpack aus Kohlenstoffstahl, die in einem vorgefertigten Betonpuffer untergebracht ist. Der hohe pH-Wert des Betons sorgt für eine Passivierung des Kohlenstoffstahls, so dass eine sehr lange Einschlusszeit motiviert werden kann, die zumindest die thermische Phase³⁹ einschließen sollte. Ein Supercontainer kann entweder 2 Standard-CSD-V-Kanister mit verglasten Abfällen (Abbildung 29 links) oder 4 UOX-Brennelemente oder 1 MOX-Brennelement (Abbildung 30) aufnehmen. Die höhere Wärmeabgabe im Falle von MOX-Brennstoff (und die eher geringe Wärmetoleranz von Ton als Wirtsformation) sorgt dafür, dass die Endlagerdichte begrenzt ist.

Für Abfälle der Kategorie B, wie z. B. die vorhandenen Wiederaufbereitungsabfälle in Standard-CSD-C-Kanistern, die aus Hülsen und Endstücken und anderen technologischen Abfällen bestehen, und die Fässer mit historischen bituminierten Abfällen, werden dementsprechend verschiedene Arten von „Monolithen“ verwendet. Es handelt sich ebenfalls um Betonverpackungen, in die die Kanister oder Fässer gestellt und die Leerräume mit Mörtel gefüllt werden (Abbildung 29 rechts).

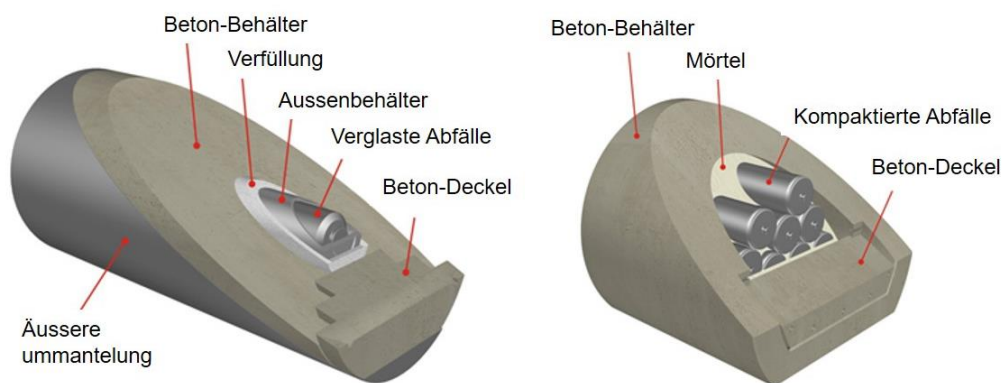


Abbildung 29: Supercontainer für verglaste Abfälle (links)^{lix} und Monolith B für verdichtete Abfälle (rechts)^{lx}.

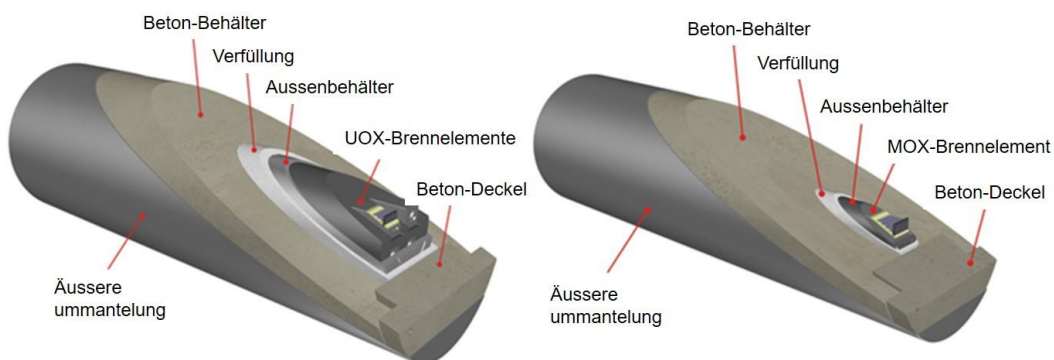


Abbildung 30: Supercontainers voor Abgebrannte Brennelemente indien deze als afval beschouwd worden: een supercontainer kan 4 UOX splijstofbundels bevatten (links) of 1 MOX splijstofbundel (rechts)^{lix}.

³⁹ Einfach ausgedrückt, ist die thermische Phase der Zeitraum, in dem die Wirtsformation aufgrund der von den Abfällen erzeugten Zerfallswärme deutlich wärmer ist als normal. Für (vorhandene) verglaste Abfälle liegt diese Dauer in der Größenordnung von 800 Jahren, für abgebrannte Brennelemente bei mehreren tausend Jahren.

Die Art und die Mengen der zu entsorgenden B&C-Abfälle hängen von den Entscheidungen ab, die im Rahmen des belgischen Spaltstoffzyklus noch zu treffen sind.

2.3.8 Allgemeine Methodik für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente

2.3.8.1 Radioaktive Betriebsabfälle und abgebrannte Brennelemente

Für den Teil der radioaktiven Abfälle und spaltbaren Materialien werden die möglichen Auswirkungen der Verschiebung der Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 im Vergleich zum Referenzszenario als kumulative Mengen veranschlagt, die während der zehnjährigen Verlängerung des Betriebs im Zeitraum 2025-2037 anfallen. Die Auswirkungen dieser zusätzlichen Mengen an Abfällen und Kernspaltungsprodukte werden im Hinblick auf die in Abschnitt 2.3.7 erörterten Bewirtschaftungsmaßnahmen bewertet.

2.3.8.2 Rückbau

Hinsichtlich des Rückbaus kann die längere Lebensdauer der Reaktoren Doel 4 und Tihange 3 zu einem Unterschied in der Gesamtaktivierung von Komponenten, wie z. B. dem Stahl des Reaktorbehälters, führen. Dabei ist es nicht ausgeschlossen, dass es zu einer Verschiebung der Mengenverteilung von Abfällen der Kategorien A und B aus dem Rückbau kommt. Dies wird anhand von Aktivierungsberechnungen untersucht und getestet.

Teil II. Umweltverträglichkeitsprüfung aufgrund der Verschiebung der Abschaltung des Kernkraftwerks Doel 4

3 Nichtradiologische Auswirkungen Doel 4

3.1 Allgemeines

Für die Wirkungsbeschreibung und -bewertung der verschiedenen Disziplinen in diesem Kapitel wird die folgende Struktur verwendet:

Relevante politische Ziele

Eine Beschreibung der verschiedenen politischen Ziele, die geprüft werden sollen. Als Quelle für diese Ziele dienen die verschiedenen relevanten politischen Dokumente. Dies sind High-Level-Ziele.

Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Eine Beschreibung der Auswirkungen, die relevant sind, um ein Urteil darüber abgeben zu können, inwieweit das Projekt zur Erreichung der politischen Ziele beiträgt oder nicht, sowie über die Ursache-Wirkungs-Beziehung zum Projekt.

Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Ausgangspunkt ist im Prinzip die Situation im Jahr 2025, dem Jahr, in dem die Entscheidung über die Betriebsverlängerung für Doel 4 in Kraft treten wird. Wir beschreiben hier auch alle (autonomen oder gesteuerten) Entwicklungen, die dazu führen könnten, dass sich die Situation im Jahr 2025 (grundlegend) von der aktuellen Situation im Jahr 2023 unterscheidet, sowie diejenigen, die sich auf die Entwicklung des Referenzzustands während des Verlängerungszeitraums auswirken. Wenn es solche Entwicklungen gibt, berücksichtigen wir sie in der Wirkungsbeschreibung (Entwicklungsszenario oder zweite Referenzsituation).

Beschreibung der Auswirkungen

Hier beschreiben wir die Auswirkungen, die für die Bewertung im nächsten Schritt relevant sind. Wo möglich und relevant, geben wir auch einen Hinweis auf die kumulativen Auswirkungen über die zehn Jahre (z. B. kumulierte Emissionen; ggf. unter Berücksichtigung jährlicher Schwankungen der Emissionen).

Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Hier erfolgt die Bewertung (über die Auswirkungen hinweg), inwieweit die Erreichung der verschiedenen politischen Ziele durch die Auswirkungen unterstützt wird oder nicht.

3.2 Thema Wasser

3.2.1 Relevante politische Ziele

Für das Thema Wasser, das bezüglich der nichtradiologischen Auswirkungen auf das Wassersystem eine regionale Zuständigkeit ist, sind für den in dieser UVP betrachteten Bezugszeitraum für die Verlängerung des Betriebs von Doel 4 die flämischen politischen Ambitionen, wie sie in den Visionsdokumenten „Vizier 2030“ und „Visie 2050“ (Vision 2050) formuliert sind, wichtig, die Bestimmungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die im Dekret Integrale Wasserpolitik und im Wassergesetzbuch umgesetzt wurden, der Konkrete politische Plan zur Wasserpolitik 2020-2025 und in geringerem Maße, aber in Verbindung damit, der Blue Deal (2020), die

Bewirtschaftungspläne für die Flusseinzugsgebiete und die Stellungnahme „Weerbaar Waterland“ (Widerstandsfähiges Wasserland) sind relevant.

Flämische politische Ambitionen „Vizier 2030“ und „Visie 2050“

Für die politischen Ambitionen im Bereich Wasser mit dem Horizont 2030 kann zunächst auf „**Vizier 2030**“⁴⁰ verwiesen werden, den Plan der flämischen Regierung, der sicherstellen soll, dass Flandern seinen Beitrag zur Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG) der globalen Agenda 2030 der Vereinten Nationen leistet. Der Schwerpunkt liegt auf Zielen, auf die Flandern einen Einfluss hat. Die Ziele von „Vizier 2030“ sind auch ein Zwischenschritt auf dem Weg zu den Zielen der „Visie 2050“ (siehe unten), dem Zukunftsplan für Flandern im Jahr 2050. „Vizier 2030“ umfasst 53 Ziele und 111 Indikatoren. Die für das Thema Wasser relevantesten sind:

- Ziel 44: Bis 2030 wird die Wasserverschmutzung weiter reduziert und die Hydromorphologie wiederhergestellt, so dass in den meisten flämischen Wasserläufen und Grundwasserschichten ein guter Zustand erreicht werden kann, als entscheidender Schritt zu einem robusten Wassersystem und als Beitrag zum Schutz der Meeresumwelt, wobei als Indikatoren der ökologische Zustand der flämischen Oberflächenwassersysteme und der Anteil der Grundwassersysteme in gutem Zustand (qualitativ und quantitativ) gelten;
- Zielvorgabe 45: Bis 2030 wird die Wasserversorgung durch den Schutz von Oberflächen- und Grundwasserressourcen und die Bereitstellung von ausreichend Platz und Speichermöglichkeiten für Wasser einerseits und die Vermeidung von Verschwendung, die Maximierung alternativer Wasserquellen und die Förderung der Wiederverwendung von Wasser andererseits sichergestellt, wobei der Grundwasserspiegel als Indikator dient.

Die 2030-Ziele aus den verschiedenen langfristigen sektoralen politischen Plänen sind in „Vizier 2030“ integriert; im Hinblick auf das Thema Wasser betrifft dies den Konkreten politischen Plan zur Wasserpolitik, der in den Bewirtschaftungsplänen für die Flusseinzugsgebiete und Instrumenten wie dem Blue Deal (siehe unten) weiter ausgearbeitet wird. Die Umsetzung der „Vizier 2030“-Ziele ist ein Zwischenschritt zu dem Flandern, wie es die flämische Regierung 2050 erreichen möchte. Die „**Visie 2050**“⁴¹ zielt darauf ab, Wohlstand und Wohlergehen auf intelligente, innovative und nachhaltige Weise in einem sozialen, offenen, widerstandsfähigen und internationalen Flandern zu schaffen, in dem jeder zählt.

Aus der „Visie 2050“ geht hervor, dass die meisten der langfristigen Megatrends bereits jetzt sichtbar sind: das Wachstum der (Welt-)Bevölkerung, die Verstädterung, die Überalterung, der Klimawandel, die steigende Nachfrage nach Energie und Wasser, die Digitalisierung, eine diverse und individualisierte Gesellschaft, Ungleichheiten in Bezug auf Wohlstand und Wohlergehen und so weiter. Diese Themen prägen bereits jetzt und auch in den kommenden Jahren die politische und gesellschaftliche Debatte. Die Zukunftsvision zeigt eine global vernetzte Region, die Materialien intelligent nutzt und Wohlstand und Wohlergehen mit deutlich weniger Rohstoffen und Ressourcen als heute sichert. Flandern wird dann über ein kohlenstoffarmes, nachhaltiges, zuverlässiges und erschwingliches Energiesystem und ein robustes Wassersystem verfügen, das (Klima-)Schocks abfedern kann.

Dieses robuste Wassersystem im Jahr 2050 schützt Ökosysteme und bietet gleichzeitig zahlreiche Funktionen und Dienstleistungen. Das Wassersystem schützt vor Überschwemmungen, dient der Wasserspeicherung, der Trinkwasserversorgung sowie der Bereitstellung von Prozess- und Kühlwasser. Es dient der Be- und Entwässerung. Es bietet Freizeit- und Erlebnismöglichkeiten sowie Verbindungen für den Güterverkehr und die sanfte Mobilität. Zu diesem Zweck setzt Flandern auf eine Kombination aus intelligenter Technologie, robuster Infrastruktur und ausreichend Platz. Auf diese Weise wird das Ziel 6 der nachhaltigen Entwicklung erreicht: „Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und sanitären Einrichtungen für alle sicherstellen“. Die Grundlage für das

⁴⁰ Flämische Regierung (2019) VIZIER 2030. Ein Rahmen für die 2030-Ziele für Flandern, VR 2019 0802 DOC.0130/2, 19 S.

⁴¹ Flämische Regierung (2016) „Visie 2050“. Eine langfristige Strategie für Flandern, 105 S.

Wassersystem ist eine gute Wasserqualität, denn damit lassen sich Risiken und Kosten unter Kontrolle halten, sowohl für die Wasserversorgung (Trinkwasser, Landwirtschaft, Industrie...) als auch im Falle von Überschwemmungen. Eine gute Wasserqualität bietet auch mehr Möglichkeiten für Erholung und Tourismus und ist Teil der Umweltqualität. Durch die Kreislaufwirtschaft und die Verwendung umweltfreundlicher Materialien und Produktionsmethoden wird daher die Umweltverschmutzung so weit wie möglich vermieden. Im Jahr 2050 ist die Rehabilitationsinfrastruktur ausgebaut und es sind Maßnahmen zu ihrer gezielten Gestaltung und effizienten Verwaltung ergriffen worden.

Eine Herausforderung besteht darin, dass die globale Wassernachfrage im Zeitraum 2015 – 2050 um weitere 55 % steigen wird. Auch in Flandern selbst steigt das Risiko von Wasserknappheit, da durch den Klimawandel die Sommerniederschläge abnehmen und aufgrund der steigenden Temperaturen mehr Wasser verdunstet. Schon jetzt steht im Vergleich zu anderen Ländern pro Person nur wenig Wasser zur Verfügung, was teilweise zu einer Abhängigkeit von anderen Regionen führt. Das Bewusstsein für die Dringlichkeit der Wasserversorgung wie auch der Wasserverschmutzung steckt in Flandern noch in den Kinderschuhen (vgl. Initiativen wie den Aktionsplan „Droogte en Wateroverlast“⁴² (Dürre und Hochwasser), den Blue Deal und vor kurzem die Stellungnahme „Weerbaar Waterland“ (Widerstandsfähiges Wasserland) (siehe unten). Die strukturelle Vermeidung von Verschwendung, der sparsame Umgang mit Wasser in Zeiten des Überflusses und der Schutz der Grundwasserressourcen sind derzeit noch kein automatischer Reflex. Ein besonderes Problem ist, dass der verfügbare Platz in Flandern begrenzt und bereits überfüllt ist. Darüber hinaus wird dieser begrenzte Raum sowohl für die Sicherung der Wasserversorgung als auch für die Beherrschung des zunehmenden Hochwasserrisikos infolge des Klimawandels benötigt. Die Lösungen müssen noch maßgeschneiderter und vor allem schneller erarbeitet werden.

Wasserrahmenrichtlinie, Dekret über die integrale Wasserpolitik und Wassergesetzbuch

Die Europäische **Wasserrahmenrichtlinie** (WRRL) (2000/60/EG) ist die Grundlage für den Schutz und die Bewirtschaftung von (terrestrischen) Oberflächengewässern, Übergangsgewässern, Küstengewässern und Grundwasser. Ziel ist es, die Qualität dieser Gewässer und der mit ihnen verbundenen Ökosysteme zu schützen und, wo nötig, wiederherzustellen. Auf diese Weise soll die Verschmutzung von Gewässern verringert und verhindert, eine nachhaltige Wassernutzung gefördert und die Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren gemildert werden. Die WRRL wird durch andere Rechtsvorschriften ergänzt, die sich mit spezifischen Aspekten der Wasserpolitik befassen, zum Beispiel in Schutzgebieten⁴³. Sie hat zwei Tochterrichtlinien: die Grundwasserrichtlinie und die Richtlinie über prioritäre Stoffe. In diesen Richtlinien werden Normen für Grundwasser und Oberflächengewässer festgelegt.

Die Hochwasserrichtlinie (Richtlinie 2007/60/EG) soll sicherstellen, dass die Mitgliedstaaten das Hochwasserrisiko besser einschätzen und Maßnahmen zur Schadensminderung ergreifen können. Sie baut auf den Strukturen und Plänen der Wasserrahmenrichtlinie auf. In Flandern wurden die Wasserrahmenrichtlinie und die Hochwasserrichtlinie in das **Dekret „Integrale Wasserpolitik“**⁴⁴ umgesetzt und im „Wassergesetzbuch“ koordiniert, das den rechtlichen Rahmen für die integrale Wasserwirtschaft in Flandern bildet. Die Wasserrahmenrichtlinie zielt darauf ab, bis 2027 einen „guten Zustand“ der ausgewiesenen Wassersysteme (Oberflächen- und Grundwasserkörper) zu erreichen. Die

⁴² Der Aktionsplan für Dürre und Hochwasser (2019-2021) war ein kurzfristiger Aktionsplan, der die zweiten Bewirtschaftungspläne für die Flusseinzugsgebiete 2016-2021 ergänzte und zu den dritten Bewirtschaftungsplänen für die Flusseinzugsgebiete 2022-2027 führte.

⁴³ Für Schutzgebiete wie Trinkwasserentnahmegebiete, Badegewässer, nährstoffempfindliche Gebiete und Natura-2000-Gebiete stellt die Wasserrahmenrichtlinie zusätzliche Anforderungen. Hier bezieht sich die Richtlinie auf spezifische Verordnungen wie die Vogelschutz- und Habitatrichtlinie, die Nitratrichtlinie und die Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser. Teile des Hafengebiets gehören zum Gebiet der Vogelschutzrichtlinie, die Schelde zum Gebiet der Habitatrichtlinie (siehe unten Disziplin biologische Vielfalt).

⁴⁴ Dekret vom 18. Juli 2003 über die integrierte Wasserpolitik, koordiniert am 15. Juni 2018.

praktische Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie erfolgt auf der Grundlage von Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen für die Einzugsgebiete.

Konkreter politischer Plan zur Wasserpolitik 2020-2025

Für den Zeitraum 2020-2025 hat Flandern drei strategische Ziele und sechs Hauptaktionslinien für seine Wasserpolitik formuliert:

- Das Ziel eines guten Zustands der Wasserkörper⁴⁵ anstreben:
 - Durch die weitere Verbesserung der Qualität der Oberflächengewässer und des Grundwassers. Dies kann durch stufenweises Hinarbeiten auf einen guten Gewässerzustand (mit Formulierung angepasster Zwischenziele für Wasserkörper, bei denen der Zielabstand noch groß ist), die weitere Bewältigung der Nährstoffproblematik, die ökologische Wiederherstellung von Wasserläufen und Uferzonen, die Erarbeitung konkreter Lösungen für (neu auftretende) Gefahrstoffe, die Ausrichtung der Wasserpolitik auf die Wechselwirkungen innerhalb des Gewässersystems und mit den anderen Umweltkompartimenten sowie den gebietsspezifischen Schutz der Rohwasserquellen zur Trinkwassergewinnung geschehen.
 - Durch nachhaltiges Management der Wasserkette. Dies ist möglich, indem man sich auf den weiteren Ausbau und die Optimierung der Abwasserinfrastruktur, wo nötig, auf die Instandhaltung der Abwasserinfrastruktur für einen effizienten und effektiven Betrieb, auf die Optimierung und Instandhaltung des Trinkwassernetzes, auf die Durchsetzung der privaten Wassereinleitungsverpflichtungen und auf die Begrenzung der Auswirkungen von Einleitungen von Industrieabwasser konzentriert.
- Das Ziel eines mehrschichtigen Risikomanagements in Sachen Wassersicherheit und Dürre (Prävention, Schutz, Vorsorge) anstreben:
 - Indem Hochwasserrisiken nachhaltig reduziert werden, die Auswirkungen des Klimawandels so weit wie möglich abgefedert werden, Bürger/-innen und Sektoren für Hochwasserrisiken sensibilisiert und zum Handeln ermutigt werden, Hochwasserschäden begrenzt werden, dem Wasser der Raum zurückgegeben wird, den es braucht, und der Oberflächenabfluss von Wasser und Sediment reduziert wird.
 - Durch die Reduzierung von Wasserknappheit und die Minimierung der Auswirkungen von Dürre. Dies ist möglich, indem die Auswirkungen des Klimawandels so weit wie möglich abgefedert werden, ein sparsamer Umgang mit Wasser gefördert wird, die Verfügbarkeit von Wasser erhöht wird, Wasser bei Wasserknappheit und Dürren optimal verteilt wird, um die Schäden zu begrenzen, und eine nachhaltige Wasserversorgung sichergestellt wird.
- Stärkung von Innovation, Finanzierung, Kooperation und Abstimmung mit anderen Politikbereichen:
 - Indem die Arbeit und Funktionsweise der Partner in allen Politikbereichen ausgebaut und in Innovationen investiert wird. Dies ist möglich, indem man sich auf eine bessere Koordination zwischen der Wasserpolitik und der angrenzenden Politik konzentriert, indem man dem Wasser eine prominente Rolle als strukturierendes Element gibt, das gebietsorientierte Prozesse mitbestimmt, indem man den gebietsorientierten Betrieb rund um das Wasser stärkt, indem man die Interessenvertreter stärker einbezieht, um die Ziele der integrierten Wasserpolitik zu verwirklichen, und indem man Flandern zu einem Versuchsfeld für Innovationen in der integrierten Wasserbewirtschaftung macht.

⁴⁵ In der Praxis läuft dies auf eine Bewertung anhand der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) hinaus.

- Durch die Entwicklung hin zu einer ausgewogenen Finanzierung von Wasserpolitik und -bewirtschaftung. Dazu werden die Finanzströme entsprechend der Erreichung der Umweltziele neu ausgerichtet, gestärkt und ausgeweitet, die Bezahlbarkeit der Maßnahmen geprüft und das Verursacher- und Kostendeckungsprinzip konsequenter angewendet.

Blue Deal (2020)

2020 genehmigte die flämische Regierung den **Blue Deal**, um die Anstrengungen im Kampf gegen Dürre und Wasserknappheit zu erhöhen. Als Reaktion auf den Klimawandel und die zunehmende öffentliche Unterstützung hat sich die flämische Regierung dafür entschieden, das Problem der Dürre auf strukturelle Weise anzugehen, mit einem verstärkten Einsatz von Ressourcen und geeigneten Instrumenten, unter Einbeziehung von Industrie und Landwirten als Teil der Lösung und mit einer klaren Vorbildfunktion für die flämischen und andere Behörden.

Der Blue Deal verfolgt sechs Linien:

- Öffentliche Verwaltungen gehen mit gutem Beispiel voran und sorgen für eine angemessene Regulierung;
- Nachhaltiger Wasserverbrauch als Regel;
- Landwirtschaft und Natur als Teil der Lösung;
- Sensibilisierung und Stimulierung von Einzelpersonen, um die Wasserhärte zu senken;
- Erhöhung der Versorgungssicherheit (bezogen auf Wasser);
- Gemeinsames Investieren in Innovationen, um unser Wassersystem intelligenter, robuster und nachhaltiger zu machen.

Mit dem Blue Deal bewegt sich Flandern durch konkrete Maßnahmen in Richtung weniger Bodenversiegelung, mehr Feuchtigkeit und maximale Kreislaufnutzung des Wassers. Die Maßnahmen des Blue Deal bilden die Grundlage für das Kapitel „Minimierung der Risiken von Wasserknappheit und Überschwemmungen“ des flämischen Klimaanpassungsplans 2021-2030. Der Deal ist auch ein Eckpfeiler des Plans zum Management von Wasserknappheit und Dürre Risiken, der Teil der Bewirtschaftungspläne für die Einzugsgebiete 2022-2027 ist.

Der Blue Deal konzentriert sich auf einen integrierten Wasser- und Dürretest. Der Schwerpunkt sollte daher nicht nur auf Überschwemmungen, sondern auch auf der strukturellen Qualität von Wasserläufen, Dürre, Wasserverfügbarkeit usw. liegen. Eine ordnungsgemäße Wasserprüfung berücksichtigt die aktuellsten Vorschriften, einschließlich der (kürzlich überarbeiteten) Regenwasserverordnung und anderer wasserbezogener Bestimmungen in VLAREM.

Weerbaar Waterland (Widerstandsfähiges Wasserland)

Nach den jüngsten Überschwemmungsproblemen in der Wallonie und entlang der Flüsse Maas und Demer ernannte die flämische Regierung im Oktober 2021 ein multidisziplinäres Expertengremium für Hochwasserschutz, das im Juli 2022 eine mit Gründen versehene Stellungnahme zur Verbesserung des Hochwasserschutzes in Flandern abgab und das gewünschte Niveau des Hochwasserschutzes definierte. Die **Stellungnahme „Weerbaar Waterland“** befasste sich mit der angepassten Strategie für die Wassersicherheit (= Wassersicherheit und Wasserverfügbarkeit) in Flandern.

Das angestrebte Niveau der Wassersicherheit kann in Flandern nur erreicht werden, wenn das natürliche Funktionieren des Wassersystems in jeder flussaufwärts gelegenen Landschaft und jedem Tal wiederhergestellt wird. Wenn dem Wasser nicht der nötige Raum gegeben wird, schafft es sich diesen Raum selbst, was zu Überschwemmungen führt. Dieser Raum für Wasser sollte überall in Flandern vorhanden sein, nicht nur in den Tälern. Um dies zu erreichen, werden vier „Wasserbaustellen“ vorgeschlagen: Tideflüsse, Wasserläufe, Schwammlandschaften und Städte und Dörfer. Dies dient nicht nur der Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Niederschlagsereignissen (Wassersicherheit), sondern auch der Wiederauffüllung der Wasserressourcen zur Überbrückung von Dürreperioden (Wasserverfügbarkeit).

Die Hauptaussagen der Stellungnahme sind eindeutig: mehr natürliche Überschwemmungsgebiete schaffen, auf eine durchgreifende Bodenentsiegelungspolitik hinarbeiten, strukturelle Mittel bereitstellen und vor allem sofortige Maßnahmen ergreifen. Um eine rasche und entschlossene Umsetzung zu gewährleisten, wird die Ernennung eines

Wasserkommissars empfohlen. In der Stellungnahme wird die Strategie für die Wassersicherheit in 10 kohärente Aktionen und einen Aktionsplan umgesetzt. Die Stellungnahme „Weerbaar Waterland“ ist der Beginn eines neu kalibrierten systemischen Ansatzes für die Wassersicherheit in Flandern.

Bewirtschaftungspläne für Flusseinzugsgebiete

Im dritten **Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet der Schelde (2022-2027)** wird die Wasserpolitik konkreter auf bestimmte Gebiete in Flandern übertragen. Die Pläne beinhalten Maßnahmen und Aktionen zur Verbesserung des Grundwassers und der Oberflächengewässer und zum Schutz vor Überschwemmungen und Dürre. Dieser Plan baut auf dem vorigen Plan für den Zeitraum 2016-2021 auf.

Das Kernkraftwerk Doel befindet sich im Scheldebecken, genauer gesagt im Niederscheldebecken. Auf der Grundlage der aktuellen Wasserqualität und des Abstands zu den auferlegten Zielen der Wasserrahmenrichtlinie wurden im Einzugsgebiet der Niederschelde eine Reihe von vorrangigen Gebieten ausgewiesen, in denen bis 2027 ein guter Wasserzustand erreicht werden muss. Darüber hinaus wurde eine Reihe von Schwerpunktgebieten identifiziert, darunter die Seeschelde und das Gebiet „Scheldehafen“. Schwerpunktgebiete sind Gebiete mit Oberflächenwasserkörpern, für die ein guter ökologischer Zustand bis 2033 als machbar angesehen wird (Klasse 4) oder für die eine signifikante Verbesserung der Wasserqualität erreicht werden kann (Klasse 5), unter der Bedingung, dass die in den aktuellen dritten und in den (nächsten) vierten Bewirtschaftungsplänen für das Flusseinzugsgebiet enthaltenen Maßnahmen umgesetzt werden.

Das Aktionsprogramm für die Seeschelde, das mit dem Gebiet „Scheldehafen“ ein Schwerpunktgebiet der Klasse 5 ist, beinhaltet als gebietsspezifische Maßnahme die weitere Umsetzung des Sigma-Plans im Niederscheldebecken entlang der Schelde. Auch für das Gebiet „Scheldehafen“ wurden eine Reihe von Maßnahmen festgelegt, sowohl auf der Ebene der Docks als auch im Hafengebiet selbst. Um einen guten Status in diesem Schwerpunktgebiet zu erreichen, sind auch allgemeine Maßnahmen in den Bereichen Landwirtschaft, Haushalte und Unternehmen erforderlich. Maßnahmen zum weiteren Ausbau und zur Optimierung der Abwasserbehandlung sind Teil der generischen Maßnahmen sowie der Flächennutzungspläne und flächendeckenden Umsetzungspläne.

Basierend auf den oben beschriebenen Plänen und politischen Zielen können zur Überprüfung des Projekts, den Betrieb von Doel 4 für weitere 10 Jahre zu verlängern, die folgenden Ziele für das Wassersystem und also auch Gründe für die Bewertung des Vorhabens verwendet werden:

- Einen guten Zustand der Oberflächengewässer erhalten, erreichen und eine Verschlechterung vermeiden;
- (Einen guten Zustand des Grundwassers erhalten, erreichen und eine Verschlechterung vermeiden);
- Das Ziel einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserkette anstreben;
- Verringerung des Hochwasserrisikos und Vermeidung von Dürren;
- Das Ziel einer nachhaltigen Wasserversorgung anstreben.

Wie oben angegeben (Scoping, siehe Abschnitt 2.2.1.3) wurde die Auswirkung auf das Grundwasser auf der Grundlage der Analyse der mit den LTO-Arbeiten verbundenen Eingriffe im Zeitraum 2015 – 2020 und der Abwesenheit zusätzlicher Auswirkungen des Kraftwerks auf das Grundwassersystem (wie in den zuvor durchgeführten Umweltverträglichkeitsprüfungen beschrieben) herausgefiltert.

Der ursprüngliche Grundwasserzustand im Gebiet des Kernkraftwerks war vor dem Bau und der erstmaligen Inbetriebnahme der Kraftwerke Doel 1 und 2 im Jahr 1975 und Doel 3 und 4 im Jahr 1982 bzw. 1985 gestört. Durch die Anhebung des Geländes um 4 bis 8 m mit sandigem Baggergut hat sich in dieser Schicht neues Grundwasser in einer phreatischen Zone entwickelt. In diesem Zeitraum wurde der lokale Grundwasserhaushalt (Strömung) auch in der tieferen Grundwasserschicht durch das Anbringen von Fundamenten und Schlitzwänden bis in stabile Tertiärschichten (bis zu einer Tiefe von ca. 15 m) gestört. Und schließlich hat sich die Grundwasserzufuhr seit 1975 durch die Versiegelung des Geländes verändert. In den folgenden Jahrzehnten wurde das Grundwasser in der phreatischen Zone in der Deckschicht durch unfallbedingte Bodenverunreinigungen aufgrund der Lagerung und Verwendung von Schadstoffen am Standort lokal verunreinigt. Seit mehreren Jahrzehnten werden systematisch

gesetzlich vorgeschriebene, explorative und deskriptive Bodenuntersuchungen durchgeführt, da VLAREBO-Aktivitäten vorliegen.⁴⁶ Die Auswertungen zeigen, dass die historische Grundwasserverschmutzung die Sanierungsstandards nicht überschreitet und kein Risiko für die Umwelt und die Gesundheit darstellt. Neue Verunreinigungen wurden in den letzten Jahrzehnten durch die Einhaltung der VLAREM-Vorschriften zur Lagerung gefährlicher Stoffe und durch entsprechende Maßnahmen (Vorbeugung und Sanierung) bei Unfällen, bei denen der Boden oder das Grundwasser verunreinigt werden könnten, vermieden.

Außerdem wird während des Betriebs⁴⁷ des Kraftwerks kein Grundwasser verbraucht und das Kraftwerk hat auch keine weiteren Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel oder die lokal (historisch bedingte) vorhandene Grundwasserverschmutzung. Das bestehende Kanalisations- und Kühlwassersystem hat jedoch an einigen Stellen Lecks und Grundwasser einleitet.

Die Arbeiten, die im Rahmen der Anpassungen für die LTO (Erneuerung von) D1 und D2 (2015-2020) stattfanden, hatten nur begrenzte Auswirkungen auf das Grundwasser. Während der Arbeiten fand keine Entwässerung statt und die zusätzliche Bodenversiegelung hielt sich in Grenzen, sodass es keine signifikanten zusätzlichen Auswirkungen auf das Grundwasser gab. Für den Zeitraum 2027-2036 besteht die Möglichkeit, dass es infolge von Unfällen bei regulären Wartungsarbeiten zu einer lokalen Boden- oder Grundwasserverschmutzung kommt. Derartige Unfälle werden ebenfalls in geeigneter Weise und in Übereinstimmung mit den gesetzlich geltenden Vorschriften behandelt, sodass keine signifikante Verunreinigung von Boden und Grundwasser zu erwarten ist. Weitere Auswirkungen auf das Grundwassersystem werden nicht erwartet.

3.2.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Um beurteilen zu können, ob das Projekt zur Erreichung der politischen Ziele für das Wassersystem beiträgt oder nicht, und um die Ursache-Wirkungs-Beziehung des Projekts beurteilen zu können, wird im Folgenden ein Überblick über die wichtigsten vorhersehbaren Auswirkungen des Projekts (die Verlängerung oder die Verschiebung der Abschaltung von Doel 4 um 10 Jahre) auf das Wassersystem gegeben.

Neben den Brennelementen ist Wasser möglicherweise der zweitwichtigste Rohstoff bzw. die zweitwichtigste Ressource des Kernkraftwerks. Das Kernkraftwerk Doel ist für seinen Betrieb nämlich stark vom Wassersystem abhängig, da der tertiäre Kreislauf zur Kühlung der Kondensatoren des zweiten Kreislaufs mit Wasser aus der Schelde gespeist wird. Bei den Blöcken Doel 1 und 2 handelt es sich um zwei direkte Kühlkreisläufe mit einer einmaligen Nutzung des Kühlwassers, bei den Blöcken Doel 3⁴⁸ und 4 um geschlossene Kühlsysteme mit einer Zirkulation des absorbierten Scheldewassers zwischen den Kondensatoren und den Kühltürmen. Das Ergebnis ist, dass eine große Menge Oberflächenwasser hochgepumpt wird, sich erwärmt und teilweise verdunstet und dann mit einer etwas höheren Temperatur wieder in die Schelde eingeleitet wird.

Neben dem Temperatureffekt hat das Kühlwasser auch einen erhöhten Chloridgehalt durch die Zugabe von Produkten zur Vermeidung von mikrobiellem Wachstum und Schaumbildung.

Ein positiver Effekt der Verwendung des Scheldewassers, der vor allem im Sommer zum Tragen kommt, ist, dass das eingeleitete Kühlwasser aufgrund des Betriebs der Kühltürme einen höheren Sauerstoffgehalt hat als das Wasser in der Schelde. Oberflächenwasser werden manchmal auch für die Produktion von Betriebswasser (Demineralisierungswasser) verwendet, das nach Gebrauch und Reinigung wieder in die Schelde eingeleitet wird.

⁴⁶ Die Ergebnisse dieser Bodenuntersuchungen wurden in der Projekt-UVF für die Neugenehmigung (2010) beschrieben und in der UVF für die Laufzeitverlängerung von Doel 1 und 2 ergänzt (Arcadis/NRG, 2021).

⁴⁷ Das Grundwasser in der Nähe der Schelde ist salzhaltig und aus diesem Grund nicht als Betriebswasser geeignet.

⁴⁸ Doel 3 ist seit September 2022 endgültig abgeschaltet.

Das Kernkraftwerk verbraucht zudem Stadtwasser (Trinkwasser) als Quelle für das Betriebswasser, die Sanitäranlagen und die Auffüllung der Kühlteiche (für die Blöcke Doel 3 und 4). Überschüssiges Betriebswasser wird nach einer chemisch-physikalischen Behandlung wieder in die Schelde eingeleitet. Das Sanitärabwasser wird zusammen mit dem Regenwasserabfluss von Dächern und versiegelten Böden in fünf Biorotoren gereinigt und in die Schelde eingeleitet.

Das Kraftwerk verfügt über zwei Entnahmestellen für Scheldewasser, eine für die Blöcke Doel 1 und 2 und eine näher am Ufer gelegene für den Block Doel 4 (und zuvor Doel 3). Jeder Biorotor für die Aufbereitung von Sanitärabwasser hat nur eine Einleitungsstelle, das Industrieabwasser und das Kühlwasser werden an derselben Stelle in die Schelde eingeleitet.

Sanitär- und Industrieabwasser sowie Kühlwasser müssen die in der Umweltgenehmigung festgelegten Einleitungsnormen erfüllen (Basisgenehmigung aus dem Jahr 2011, zuletzt geändert im Jahr 2019).

Grundwasser wird dabei nicht im Prozess verwendet, ebenso wenig wie aufgefangenes Regenwasser. Das Kraftwerk befindet sich nicht in einem überflutungsgefährdeten Bereich (erhöhtes Gebiet). Auch infolge des Klimawandels (mit höheren Wasserständen und stärkeren Regenfällen) werden für die Zukunft keine größeren Probleme erwartet.

In der Nähe der Entnahmestellen kann es durch den Sog der Pumpen zu einer Fischsterblichkeit kommen. Diese Auswirkung und die sekundäre Auswirkung der (thermischen) Einleitungen auf das aquatische Leben wird im Thema biologische Vielfalt diskutiert und bewertet.

Die wichtigsten zu erwartenden Auswirkungen auf die Oberflächengewässer sind daher die Wassermengen, die als Rohstoff verbraucht werden (Wasserhaushalt), die Auswirkungen auf den Durchfluss und die Folgen für Temperatur und Wasserqualität der Seeschelde.

Das Wasser, das in die Schelde eingeleitet wird, kommt nicht mit dem Primärkreislauf (dem nuklearen Teil der Anlage) in Berührung. Es besteht daher unter normalen Betriebsbedingungen keine Gefahr einer radioaktiven Verunreinigung der Schelde.

Hinsichtlich der Oberflächengewässer muss eine weitere Aufnahme von Stadt- und Scheldewasser sowie eine Einleitung von Abwasser (Sanitär- und Industrieabwasser) und Kühlwasser für einen verlängerten Betriebszeitraum von 10 Jahren berücksichtigt werden. Weitere Auswirkungen auf die Wasserqualität und -quantität der Schelde sind folglich in diesem Zusammenhang zu erwarten. Da keine Arbeiten an den bestehenden Einleitungs- oder Entnahmestellen in der Schelde geplant sind, werden die Auswirkungen auf die Strukturqualität der Schelde als nicht relevant betrachtet.

3.2.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Das *Untersuchungsgebiet* für die Disziplin Wasser umfasst alle zum öffentlichen Gewässernetz gehörenden Oberflächengewässer, deren Qualität, Quantität und/oder Struktur durch eine Verschiebung der Abschaltung von Doel 4 beeinträchtigt werden könnte. Die genaue Abgrenzung des Untersuchungsgebietes hängt von dem Umfang der Auswirkungen ab, die Gegenstand der Untersuchung ist. Konkret wird das Untersuchungsgebiet durch die Seeschelde und genauer gesagt durch die Einflusszone bestimmt, innerhalb derer sich Auswirkungen auf die Wasserqualität infolge von thermischen und Abwassereinleitungen manifestieren können. Im Hinblick auf den Gezeiteneffekt kann grob der Teil der Seeschelde bis ca. 5 km flussaufwärts und flussabwärts der Einleitstellen des Kernkraftwerks als Untersuchungsgebiet definiert werden.

Übertragen auf die im Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet definierten Wasserkörper wird der Zustand des Oberflächenwasserkörpers Seeschelde IV diskutiert.

Die *Referenzsituation* ist im Prinzip die Situation des betroffenen Oberflächengewässers im Jahr 2027. Wir gehen davon aus, dass in den meisten Fällen die aktuelle Situation (2023) eine hinreichend gute Annäherung an die Situation 2027 bieten wird. Mögliche autonome oder gesteuerte Entwicklungen, die dazu führen könnten, dass sich die Situation im Jahr 2027 (grundlegend) von der Situation im Jahr 2023 unterscheidet, könnten für die Seeschelde

zum einen eine weitere Verbesserung der Wasserqualität sein (durch weitere Sanierungsbemühungen im Flusseinzugsgebiet und durch die Abschaltung von Doel 3 und demnächst Doel 1 und 2), zum anderen mögliche beobachtbare Auswirkungen als Folge des Klimawandels in diesem Zeitraum (Temperatureffekte oder Veränderungen der Strömung oder der Gezeiten).

Ein umfassender Überblick über die Qualität der Seescheide auf der Grundlage von Messdaten der VMM im Zeitraum 2013-2019 wurde im Umweltverträglichkeitsbericht zu den Arbeiten zur Erweiterung des Betriebs und des Betriebs von Doel 1 und 2 (Arcadis/NRG, 2021) gegeben.

Die Seescheide, sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts der Einleitstelle des KKW Doel, erfüllt nicht alle Qualitätsziele. Die kritischsten Parameter sind Temperatur (im Sommer mehrere Tage über 25 °C), gelöster Sauerstoff (der P10-Wert von 6 mg O₂/L wird nicht immer eingehalten), chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Nitrat + Nitrit + Ammonium, gelöstes Bor, Arsen, Beryllium, Cadmium und Uran. Basierend auf dem Prati-Index für gelösten Sauerstoff wird seit Beginn der Messungen im Jahr 1994 jedoch eine allmähliche Verbesserung der Sauerstoffbilanz an allen Messstellen beobachtet. Generell hat sich die Sauerstoffbilanz vor allem stromabwärts des Kernkraftwerks verbessert, was auf die größere Gezeitenströmung in Stromabwärtsrichtung zurückzuführen ist.

Für die Beschreibung und Charakterisierung der Qualität der Oberflächengewässer der Schelde im Zeitraum 2005-2019 kann auch auf die Zustandsbewertung im Rahmen des 2. und 3. Bewirtschaftungsplans für das Flusseinzugsgebiet der Schelde (Niederschelde) gemäß Wasserrahmenrichtlinie verwiesen werden (Tabelle 19).

Die Schelde auf Höhe des KKW Doel ist Teil des flämischen Wasserkörpers Seescheide IV mit dem Code VL17_43 (früher VL08_43). Dieser Wasserkörper ist als Übergangsgewässer des Typs brackiges makrotides Tiefland-Ästuar (O1b) kategorisiert und hat den Status eines stark veränderten Wasserkörpers. Die Bewertung im Rahmen des zweiten Bewirtschaftungsplans für das Flusseinzugsgebiet (2016-2021) basiert auf Messergebnissen aus den Jahren 2005-2013, die Zustandsbewertung im Rahmen des dritten Bewirtschaftungsplans für das Einzugsgebiet (2022-2027) auf Messergebnissen aus den Jahren 2016-2018 und kann daher als repräsentativ für die aktuelle Situation 2023 und als Ausgangspunkt für den Bezugszeitraum 2027-2036 angesehen werden.

Tabelle 19: Bewertung des Zustands des Wasserkörpers Seescheide IV.

Rahmenwerk: Zweiter Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet	Rahmenwerk: Dritter Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet
Messergebnisse 2005-2013	Messergebnisse 2018
Die Gesamtbewertung des ökologischen Potenzials der Seescheide IV ist allgemein unzureichend .	Die Gesamtbewertung des ökologischen Potenzials der Seescheide IV ist allgemein unzureichend .
Die Bewertung der biologischen Elemente lautet unzureichend : - unzureichend für Makrophyten; - mäßig für Makroinvertebraten; - unzureichend für Fische.	Die Bewertung der biologischen Elemente lautet unzureichend : - unzureichend für Makrophyten; - mäßig für Makroinvertebraten; - gut für Fische.
Die Bewertung der physikalisch-chemischen Elemente, die die biologischen Elemente bestimmen, lautet allgemein schlecht . Für die Bewertung der einzelnen physikalisch-chemischen Elemente gilt: - Schlechte Bewertung für Nitrat+Nitrit+Ammonium; - Gute Bewertung für Temperatur, gelösten Sauerstoff und pH-Wert.	Die Bewertung der physikalisch-chemischen Elemente, die die biologischen Elemente bestimmen, lautet allgemein schlecht . Für die Bewertung der einzelnen physikalisch-chemischen Elemente gilt: - Schlechte Bewertung für Nitrat+Nitrit+Ammonium;

Rahmenwerk: Zweiter Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet	Rahmenwerk: Dritter Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet
Messergebnisse 2005-2013	Messergebnisse 2018
	- Gute Bewertung für gelösten Sauerstoff und pH-Wert. ⁴⁹
Das Ergebnis der Bewertung für die spezifischen Schadstoffe, die die biologischen Elemente bestimmen, lautet schlecht . Es gibt eine Überschreitung für gelöstes Arsen, Bor und Uran.	Das Ergebnis der Bewertung für die spezifischen Schadstoffe, die die biologischen Elemente bestimmen, lautet nicht gut . Es gibt eine Überschreitung für gelöstes Arsen, Bor und Uran.
(Die Bewertung der Hydromorphologie lautet unzureichend)	Die Bewertung der Hydromorphologie lautet unzureichend .
Die Bewertung des chemischen Zustands für die Seescheide IV lautet schlecht . Es gibt Überschreitungen für PAK und Gesamtquecksilber.	Das Ergebnis der Bewertung des chemischen Zustands für die Seescheide IV lautet nicht gut . Es gibt Überschreitungen für PAK, polybromierte Diphenylether, Tributylzinn, Perfluoroktansulfonsäure, Heptachlorepoxyd und Gesamtquecksilber.
Der Gewässergrund der Seescheide IV ist verschmutzt .	Der Gewässergrund der Seescheide IV ist leicht verschmutzt .

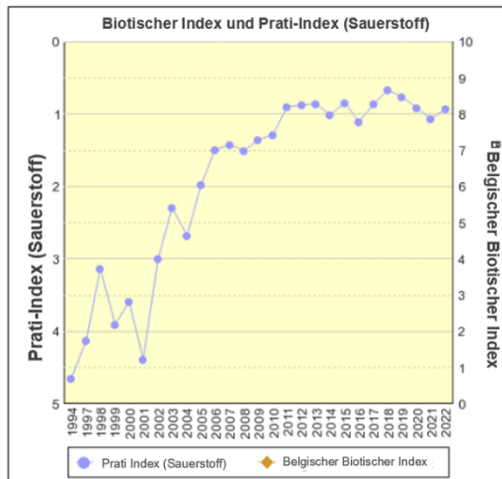
Der globale ökologische Zustand der Seescheide IV ist in den letzten Jahrzehnten gleich geblieben (unzureichend), es war jedoch eine Verbesserung des Fischbestandes zu beobachten. Für diesen Wasserkörper und seine Abflusszone wird das ökologische Potenzial nach der Bewertung im Bewirtschaftungsplan für das Flusseinzugsgebiet bis 2027 noch nicht erreicht sein.

In Abbildung 31 ist die Entwicklung der Qualität der Seescheide an einer Messstelle in Zandvliet flussabwärts des Kernkraftwerks anhand der Sauerstoffsättigung nach dem Prati-Index dargestellt. Seit etwa 2000 hat sich der Sauerstoffgehalt der Seescheide stark verbessert. Auch bei anderen Parametern ist eine Verbesserung zu verzeichnen, aber die Gesamtbewertung des Zustands der Seescheide gemäß der WRRM-Methodik bleibt unzureichend.

⁴⁹ Im dritten Bewirtschaftungsplan für das Einzugsgebiet ist die Temperatur als sogenannter „Leitparameter“ zur Beurteilung des physikalisch-chemischen Zustands gemäß der WRRM-Systematik nicht mehr enthalten. Die Umweltqualitätsnorm bleibt selbstverständlich bestehen (wie für andere physikalisch-chemische Parameter, die keine Leitparameter sind) und gilt für alle Oberflächenwasserkörper. Auch die Temperatur ist nach wie vor im Messnetz enthalten. Im Zeitraum 2016-2018 wurde die Temperatur für die Seescheide IV mit „mäßig“ bewertet.

Nummer : 154100
 Beschreibung : Zandvliet, Grenze Doel: Fahrwasser in der Mitte der Schelde bei Boje P
 Gemeinde : Antwerpen
 Wasserlauf : Zeeschelde – Beneden-Zeeschelde
 Gewässer : VL17_43 – Zeeschelde IV
 Becken : Unteres Scheldebecken
 Salinität : Unbekannt
 Strömung : Fließend

Qualität : Basisqualität



Jahr	Prati Index (Sauerstoff)	Belgischer Biotischer Index
1994	4.65	
1997	4.13	
1998	3.13	
1999	3.91	
2000	3.59	
2001	4.39	
2002	3.00	
2003	2.29	
2004	2.68	
2005	1.98	
2006	1.50	
2007	1.43	
2008	1.91	
2009	1.35	
2010	1.28	
2011	0.90	
2012	0.88	
2013	0.85	
2014	1.01	
2015	0.84	
2016	1.10	
2017	0.85	
2018	0.66	
2019	0.76	
2020	0.92	
2021	1.01	
2022	0.93	

Abbildung 31: Entwicklung der Sauerstoffsättigung (Prati-Index) in der Seeschelde (Messstelle 154100) zwischen 1994 und 2022 (Quelle: MM, „Geoloket waterkwaliteit“).

Da ein Verlängerungsprojekt aufgrund der Einleitung von Industrieabwässern und Kühlwasser Auswirkungen auf die Wasserqualität haben kann, sind weitere Untersuchungen erforderlich, um festzustellen, welche Auswirkungen auf den ökologischen Zustand des betroffenen Wasserkörpers (Seeschelde IV - VL17_43) zu erwarten sind. Schließlich darf sich die Situation nicht verschlechtern. Hydromorphologische Veränderungen oder eine Auswirkung auf den Grundwasserkörper sind bei dem Projekt nicht gegeben.

Im Falle eines Übergangsgewässers sind die zu bewertenden physikochemischen Elemente: gelöster Sauerstoff, (Temperatur), pH-Wert und Nitrat + Nitrit + Ammonium. Für die Vorhersage von Auswirkungen auf biologische Elemente müssen die Parameter biochemischer Sauerstoffverbrauch (BSV) und chemischer Sauerstoffverbrauch (CSV) untersucht werden (ohne Berücksichtigung für die Zustandsbewertung).

Darüber hinaus muss eine Bewertung für bestimmte Schadstoffe, die zur Bestimmung des ökologischen Zustands beitragen, und für Schadstoffe, die den chemischen Zustand bestimmen, für diejenigen Parameter durchgeführt werden, bei denen die Umweltqualitätsnorm im gegenwärtigen Zustand überschritten wird oder bei denen die Konzentration ansteigen würde. Und schließlich müssen die biologischen Qualitätselemente bewertet werden (wenn möglich).

In der Umweltverträglichkeitsprüfung für die Arbeiten zur Verlängerung von Doel 1 und 2 im Zeitraum 2015 - 2025 (Arcadis/NRG, 2021) wurde die folgende Bewertung durchgeführt:

- Physikalisch-chemischen Elemente, die die biologischen Elemente bestimmen:

Für gelösten Sauerstoff wird angenommen, dass keine Verschlechterung eintritt, wenn die Normen für den biologischen und chemischen Sauerstoffbedarf eingehalten werden. Wenn die physikalisch-chemischen

Elemente eine Verschlechterung aufweisen, wird davon ausgegangen, dass auch die biologischen Qualitätselemente betroffen sind und sich der Zustand des Wasserkörpers verschlechtert.

Im Durchschnitt erfolgen die Einleitungen bei neutralem pH-Wert; es werden keine Veränderungen des pH-Wertes durch das Projekt erwartet.

Hinsichtlich der zu erwartenden Auswirkungen der Einleitung auf die Temperatur der Schelde wird gefolgert, dass es zu keiner Verschlechterung der Temperatur des gesamten Wasserkörpers infolge der thermischen Einleitung aus dem KKW Doel kommen wird.

Für die Parameter Nitrit + Nitrat + Ammonium, BSV und CSV wurde die Auswirkung der Einleitung als vernachlässigbar berechnet; daher wird keine Veränderung des Zustands des Wasserkörpers erwartet.

- Spezifische Schadstoffe, die den ökologischen Zustand mitbestimmen:

Uran ist kein relevanter Parameter, da es vom KKW Doel nicht eingeleitet wird. Die berechnete Auswirkung für die Parameter Arsen und Bor ist vernachlässigbar; daher wird für die „Bewertung der spezifischen Schadstoffe, die zum ökologischen Zustand beitragen“ keine Verschlechterung erwartet.

- Schadstoffe, die den chemischen Zustand bestimmen:

Im jetzigen Zustand überschreiten folgende Parameter die Basisumweltqualitätsnorm: PAK, polybromierte Diphenylether, Tributylzinn, Perfluoroktansulfonsäure, Heptachlorepoxid und Gesamtquecksilber.

Für den Parameter Quecksilber wurde die Auswirkung der Einleitung berechnet. Die Auswirkung ist vernachlässigbar. Die anderen Parameter werden vom KKW Doel nicht eingeleitet. Für die Schadstoffe, die den chemischen Zustand bestimmen, wird daher keine Verschlechterung erwartet.

- Biologische Qualitätselemente:

Die Auswirkungen auf biologische Qualitätselemente können nicht quantitativ bestimmt werden. Basierend auf den Bewertungen in der Disziplin biologische Vielfalt zu den Auswirkungen von Wasserentnahme, Kühlwassereinleitung und Einleitung chemischer Stoffe auf aquatische Organismen in der Schelde wird keine Verschlechterung der biologischen Qualitätselemente im gesamten Wasserkörper erwartet.

Aufgrund dieser Bewertung wurde davon ausgegangen, dass ein verlängerter Betrieb von Doel 1 und 2 im Zeitraum 2015 - 2025 Doel 4 nicht zu einer Verschlechterung des Zustands oder zu einer Beeinträchtigung der für den gesamten Wasserkörper festgelegten Ziele führen würde. Der Beitrag des Kernkraftwerks zur Verschmutzung der Seeschelde ist sehr gering. Aus der in der UVP für die Erweiterung von D1 und D2 durchgeführten Analyse wurde ferner abgeleitet, dass diese Aussage auch im Falle der Abschaltung von Doel 1 und 2 gelten würde, da in dieser Situation die über die Einleitungen in die Seeschelde gelangende Schadstoffbelastung geringer wäre als im Falle der Betriebsverlängerung um 10 Jahre von Doel 1 und 2.

In den folgenden Absätzen werden die möglichen Auswirkungen einer Verlängerung von Doel 4 um einen Zeitraum von 10 Jahren (2027 bis 2037) auf das Wassersystem untersucht.

3.2.4 Beschreibung der Auswirkungen

Die Beschreibung der zu erwartenden Auswirkungen basiert auf den verfügbaren Daten und Informationen, die in den jährlichen Umwelterklärungen (bis einschließlich 2021) des Kraftwerksbetreibers und den verschiedenen Umweltverträglichkeitsprüfungen im Zeitraum 2010 – 2021 (Projekt-UVp für die Neugenehmigung von Doel 1, 2, 3 und 4 im Jahr 2010, Screening-Schriftsatz für die LTO-Arbeiten zum verlängerten Betrieb von Doel 1 und 2 im Jahr 2015, UVp für die Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und 2 (KENTER, 2021) und die UVp für die Laufzeitverlängerung von Doel 1 und Doel 2 (Arcadis/NRG, 2021).

Die Verschiebung um 10 Jahre der Abschaltung von Doel 4 bedeutet, dass während dieser Zeit weiterhin Wasser vom Kraftwerk Doel 4 verbraucht und eingeleitet wird. Das Kraftwerk verwendet Trinkwasser/Stadtwasser (als

Sanitary and technical water balance

Inputs:

- Stadtwasser: 630.314,0 m³
- Scheldewasser: 1.312.178.270 m³

Internal Flows:

- Sanitäranlagen: 27.912,00 m³
- Auffüllung Kühlbecken: 248.289,0 m³
- Demins + Umkehr-osmose: 354.113,0 m³
- Verdunstung, Vergießen, Undichtigkeit: 271.415,4 m³
- Entsorgung: 0 m³
- Verdampftes Kühlwasser: 22.350.000 m³

Outputs:

- Industrielle Abwässer: 330.986,6 m³
- Kühlwasserabfluss: 1.289.828.270 m³
- Biorotor H1: 6.202,7 m³
- Biorotor H2: 6.202,7 m³
- Biorotor H3: 3.101,3 m³
- Biorotor H4: 9.304,0 m³
- Biorotor H5: 3.101,3 m³

Stadtwasser wird hauptsächlich für die Produktion von demineralisiertem Wasser verwendet, das für die Dampferzeugung im Sekundärkreislauf, für die Auffüllung von Kühlbecken und für sanitäre Zwecke eingesetzt wird.⁵⁰

Das *Industrieabwasser* besteht aus dem Abwasser aus der Regeneration der Demineralisierungsanlagen von Doel 1 bis Doel 4 und aus der Wasser- und Abwasseraufbereitungsanlage, Reinigungswasser (Böden) aus allen Anlagen und aus der Wasser- und Abfallaufbereitungsanlage, (nichtradioaktivem) behandeltem Abwasser und Destillat aus dem Primärkreislauf aus der Wasseraufbereitungsanlage und ammoniakreichem Abwasser aus den Vakuumpumpen (Umkehrosmose-Anlage). Die verschiedenen Abwasserströme werden neutralisiert und physikalisch-chemisch behandelt, bevor sie eingeleitet werden.

- Chloride, aus der Salzsäure, die zur Regeneration der Ionenaustauscher der Demineralisierungsanlagen verwendet wird;
- Metalle, wie Molybdän und Chrom, die zur Behandlung der spezifischen Wasserkreisläufe verwendet werden;

sck: cen

- Bor, das aus der Borsäure im Wasser aus dem Primärkreislauf stammt. (Die Borsäure wird zur Steuerung der Reaktivität des Kerns verwendet). Wenn die Borsäure nicht zurückgewonnen werden kann, wird sie nach der Reinigung eingeleitet;
- Stickstoff, aus stickstoffhaltigen Bestandteilen im Abwasser aus den Konditionierungsmitteln in den Wasser-Dampf-Kreisläufen und den im Stadtwasser vorhandenen Nitraten/Nitriten. Im Sekundärkreislauf wird die Korrosion mittels pH-Kontrolle und den Einsatz von Ammoniak und Hydrazinhydrat kontrolliert.

Im Jahr 2021 betrug der Jahresdurchfluss für Industrieabwasser ca. 330.987 m³.

Scheldewasser wird nur als *Kühlwasser* im Tertiärkreislauf verwendet. Das Kühlwasser wird an zwei Stellen aus der Schelde entnommen: eine offene Entnahme in der Nähe des Scheldeufers für Doel 3 und 4 und eine Entnahmestelle in der Schelde selbst für Doel 1 und 2. Das Kühlwasser wird nach Gebrauch über eine gemeinsame Einleitstelle wieder in die Schelde eingeleitet. Das Wasser wird über eine Pumpstation zu den Blöcken Doel 1 und Doel 2 gepumpt. Die Kühlkreisläufe von Doel 1 und 2 sind direkte oder offene Kühlkreisläufe, d. h. das Kühlwasser, das durch den Kondensator fließt, wird einmal verwendet. Beim Kühlkreislauf von Doel 3 und 4 handelt es sich um geschlossene Kühlkreisläufe, bei denen das Kühlwasser zwischen den Kühltürmen und dem Kondensator zirkuliert. Der Teil des Kühlwassers, der verdunstet oder eingeleitet wird, wird aufgefüllt. Das gesamte Kühl- und Reinigungsabwasser wird über 1 Einleitstelle (Punkt K3) eingeleitet. Über ein Verteilersystem kann das Kühlwasser von Doel 1 und 2 jedoch entweder direkt zur Einleitstelle K3 gefördert oder zu den Kühltürmen von Doel 3 und/oder 4 gepumpt werden.

Das benutzte Kühlwasser wird zusammen mit dem Reinigungs- und dem Industrieabwasser an der gleichen Stelle in die Schelde eingeleitet.

Im Jahr 2021 wurden 1.312.178.270 m³ Kühlwasser aus der Schelde entnommen und etwa 1.289.828.270 m³ zurückgeführt. Das genehmigte Fördervolumen beträgt 1.500.000.000 m³.

Abbildung 33 zeigt die Kühlwassermenge, die über einen 10-Jahres-Zeitraum (2027-2036) für das Verlängerungsprojekt Doel 4 im Vergleich zum Referenzzeitraum (keine Verlängerung) eingeleitet wird. Die Zahlen bis 2021 beruhen auf den im Zeitraum 2013–2021 gemessenen Einleitungsmengen (Quelle: Electrabel AG, Wasserbilanzdaten). Die durchschnittliche jährliche Wasserentnahme aus der Schelde betrug in diesem Zeitraum ca. 1.169 Mio. m³, die durchschnittliche jährliche Einleitung von Kühlwasser ca. 1.151 Mio. m³, wobei ca. 1,5 % verdunsteten. Die größeren Mengenschwankungen sind auf die Abschaltung einiger Anlagen (z. B. in den Jahren 2015 und 2018) oder in geringerem Maße auf Temperatureffekte (wärmere gegenüber kälteren Jahren) zurückzuführen.

Für die künftige Situation ab 2023 sollten die Mengen die Abschaltung von Doel 3 ab 2023 und die Abschaltung von D1 und D2 (ab dem Jahr 2026) berücksichtigen. Auf der Grundlage des durchschnittlichen Verbrauchs wurde von der Electrabel AG im Rahmen der UVP und des Berichts über die Umweltauswirkungen für die Laufzeitverlängerung von Doel 1 und Doel 2 (2021) eine Prognose für die kommenden Jahre erstellt, wobei der Anteil der verschiedenen Blöcke auf der Grundlage der erwarteten Anzahl von Betriebsstunden und der durchschnittlichen stündlichen Durchflussmenge der Pumpen an der Ansaugstelle für Doel 3 und 4 geschätzt wurde. Der künftige jährliche Schelde-Wasserverbrauch für Doel 3 und 4 wurde dabei auf etwa 704 Mio. m³ (Jahresmenge) geschätzt, was etwa 60 % des Schelde-Wasserverbrauchs der vier Kraftwerke zusammen (1.173 Mio. m³) entspricht. Daraus wurde ein kombinierter Verbrauch von Doel 1 und 2 von etwa 469 Millionen m³ pro Jahr abgeleitet. Außerdem wird angenommen, dass der Verbrauch von Doel 3 in der gleichen Größenordnung liegt wie der von Doel 4 (jeweils 30 %).

Doel 3 ist ab 2023 in „beiden Alternativen“ nicht mehr in Betrieb. Ab Ende 2025 sind im Referenzszenario (keine Verlängerung) auch Doel 1 und 2 außer Betrieb, was bedeutet, dass ab 2026 der Bedarf an Kühlwasser stark reduziert (nur für Doel 4) bis vollständig eliminiert wird (Referenzszenario, keine Verlängerung).

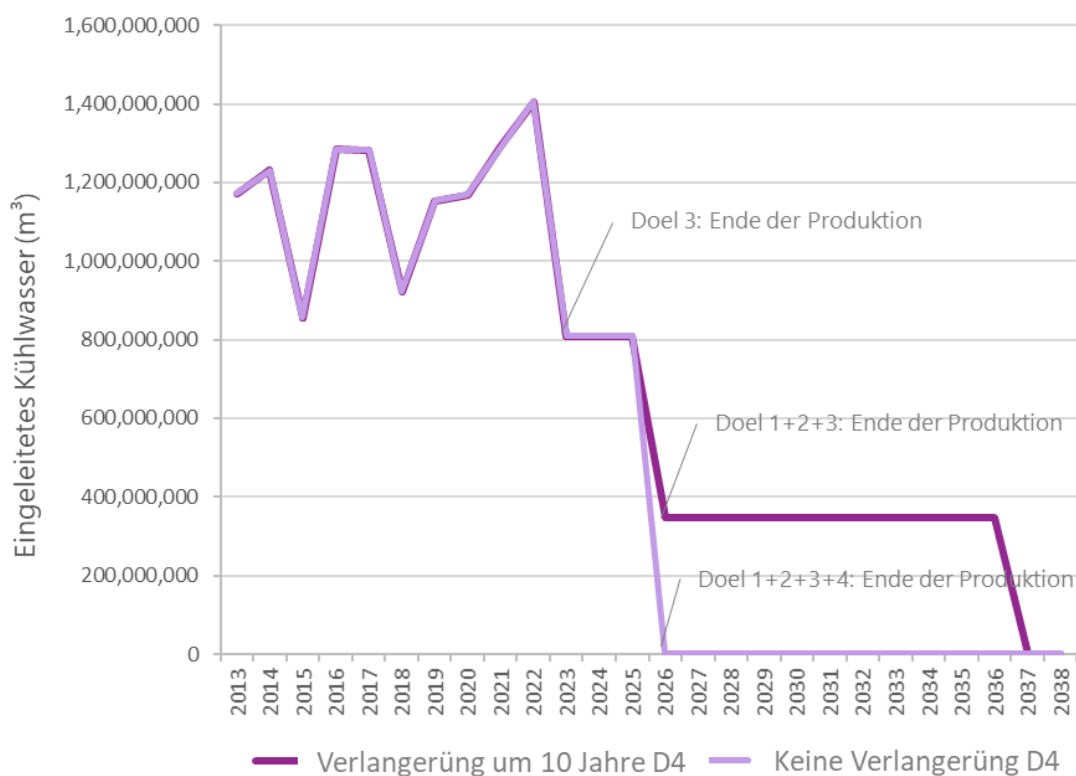


Abbildung 33: Eingeleitetes Kühlwasservolumen (m³) als Ergebnis der 10-jährigen Betriebsverlängerung von Doel 4 im Vergleich zur Referenzsituation (keine Verlängerung).

Der Verbrauch von Stadtwasser wird im Referenzszenario ebenfalls sinken, allerdings wird davon ausgegangen, dass es sich aufgrund der Abschaltung von Doel 3 noch nicht um einen drastischen Rückgang handeln wird. Dies hat die Electrabel AG in Zeiträumen beobachtet, in denen bestimmte Kraftwerke wegen Wartungsarbeiten außer Betrieb waren. Nur der Verbrauch von Stadtwasser für den Dampfkreislauf wird im Zeitraum 2023-2026 voraussichtlich leicht zurückgehen. Durch die zusätzliche Außerbetriebnahme von Doel 1 und Doel 2 im Jahr 2026 wird auch der städtische Wasserverbrauch in größerem Umfang sinken, hierfür wurde ein Rückgang von 50 % angenommen.

Hinsichtlich der Oberflächengewässer muss eine weitere Aufnahme von Stadt- und Scheldewasser sowie eine Einleitung von Abwasser (Sanitär- und Industrieabwasser) und Kühlwasser für einen verlängerten Betriebszeitraum von 10 Jahren von Doel 4 berücksichtigt werden. Tabelle 20 fasst die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien in Bezug auf die Kühl- und Abwassermengen (Sanitär- und Industrieabwasser) zusammen. Über einen Zeitraum von 10 Jahren werden jährlich ca. 347 Mio. m³ Kühlwasser, ca. 24.500 m³ Sanitärabwasser und ca. 140.000 m³ Industrieabwasser eingeleitet werden. Der Stadtwasserverbrauch ist ebenfalls in der Tabelle enthalten (pro Jahr). Über einen Zeitraum von 10 Jahren bedeutet dies im Falle einer Verlängerung einen weiteren Verbrauch an Stadtwasser von etwa 2,1 Mio. m³ oder etwa 211.000 m³ pro Jahr. Es ist daher mit weiteren Auswirkungen auf den Stadtwasserverbrauch und die Wasserqualität und -menge der Schelde durch die Einleitung von Abwasser und Kühlwasser infolge der Verlängerung von Doel 4 zu rechnen. Ohne die Verlängerung wird es natürlich keine Auswirkungen auf das Schelde-Wassersystem ab 2027 geben.

Tabelle 20: Menge des eingeleiteten Kühlwassers, Abwassers und Stadtwassers mit und ohne Verlängerung.

Einleitung		Verlängerung um 10 Jahre	Referenzszenario (keine Verlängerung)
Kühlwasser	Gesamtmenge	3,47 Mrd. m ³	Keine Einleitungen
	Durchschnitt pro Jahr	347 Mio. m ³	Keine Einleitungen
Sanitärabwasser	Gesamtmenge	245.000 m ³	Keine Einleitungen
	Durchschnitt pro Jahr	24.500 m ³	Keine Einleitungen
Industrieabwasser	Gesamtmenge	1,4 Mio. m ³	Keine Einleitungen
	Durchschnitt pro Jahr	140.000 m ³	Keine Einleitungen
Verbrauchtes Stadtwasser	Gesamtmenge	2,11 Mio. m ³	Kein Verbrauch
	Durchschnitt pro Jahr	211.000 m ³	Kein Verbrauch

Aus den von der Electrabel AG veröffentlichten jährlichen Umwelterklärungen, den Umweltgenehmigungen und den Umweltverträglichkeitsprüfungen von 2010 und 2021 und dem Screening-Schriftsatz von 2015 lässt sich ableiten, dass die Hauptauswirkung des Betriebs des Kernkraftwerks auf das Wassersystem die Einleitung von Abwasser und Kühlwasser in die Schelde ist. In diesem Zusammenhang sind Auswirkungen auf die Quantität (Durchfluss) und die Qualität der Schelde zu erwarten, die im Folgenden näher erläutert werden.

Quantität

Unter normalen Umständen werden ca. 180.000 m³/h Scheldewasser zu Kühlzwecken in den Tertiärkreislauf gepumpt. Dies entspricht 0,71 % der Durchflussmenge der Schelde, die auf der Höhe von Doel ca. 7.000 m³/s beträgt. Dieser Wert ist der Durchschnitt einer Messung über sechs Stunden während der Flutphase. Trotz der sehr großen Menge an entnommenem Scheldewasser kann die Auswirkung auf die Strömung der Schelde als vernachlässigbar angesehen werden⁵¹.

Im Jahr 2021 hat das Kernkraftwerk Doel 1,312 Millionen m³ Scheldewasser verbraucht (alle Reaktoren in Betrieb). Etwa 22 Millionen m³ verdampften in den Kühltürmen und 1,290 Millionen m³ wurden wieder in die Schelde eingeleitet. Im Jahr 2021 wurden rund 27.912 m³ sanitäres und rund 330.987 m³ Industrieabwasser eingeleitet. Diese Mengen sind ein Bruchteil des entnommenen Kühlwasservolumens und kompensieren einen kleinen Teil des Verdunstungsverlustes (1,6 %), aber, wie gesagt, vernachlässigbar im Vergleich zum Kühlwasserdurchfluss (der an sich keinen signifikanten Einfluss auf den Durchfluss der Schelde hat).

Im Zeitraum 2013—2022 schwankte die Menge des verbrauchten Kühlwassers je nachdem, ob ein oder mehrere Blöcke abgeschaltet waren oder nicht, zwischen einem Minimum von 867 Millionen m³ im Jahr 2015 und einem Maximum von 1.427 Millionen m³ im Jahr 2022⁵².

Für den Zeitraum 2023-2025 wird nach der Abschaltung von Doel 3 im Jahr 2022 noch eine jährliche Scheldewasserentnahme von rund 821 Mio. m³ und ab 2026 nach der Abschaltung von Doel 1 und 2 im Jahr 2025

⁵¹ Dies gilt übrigens auch für die kumulative Wirkung aller (Netto-)Entnahmen in der Zeeschelde flussabwärts von Antwerpen. Aufgrund der vorherrschenden Gezeitenwirkung sind die verfügbaren Wassermengen hier praktisch unbegrenzt.

⁵² Zahl noch nicht in einer Umwelterklärung veröffentlicht, mündliche Mitteilung der Electrabel AG, Januar 2023.

von rund 352 Mio. m³ erwartet (nur Doel 4 ist dann noch in Betrieb). Selbst dann werden die Auswirkungen auf das Wassersystem im Hinblick auf die Durchflussmenge nie ein Problem darstellen, aber natürlich größer sein als im Referenzszenario für den Zeitraum 2027—2036, in dem Doel 3 ab Ende 2022 und Doel 1 und 2 ab 2026 abgeschaltet werden und somit kein Kühlwasser oder Abwasser mehr eingeleitet wird.

Für den Zeitraum 2027-2036 werden keine wesentlichen Unterschiede beim Bodenversiegelungsgrad erwartet, weder für das Projekt mit der Verlängerung von Doel 4 noch für das Referenzszenario, bei dem zusätzlich zu Doel 3 auch Doel 1 und 2 außer Betrieb genommen werden. Der hohe Versiegelungsgrad (ca. 52 %, das entspricht ca. 56 ha versiegelter Fläche) und die Tatsache, dass das abfließende Regenwasser zusammen mit dem Sanitärabwasser in einer Mischkanalisation landet, die bei (starken) Regenfällen zu häufigen Überläufen der Sammelgruben in die Schelde führt, hat in beiden Varianten einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Abfluss der Schelde, aber einen negativen Einfluss auf die Wasserqualität. Schließlich erfüllt die Schelde noch nicht die Umweltqualitätsnormen für N, P und CSV.

Eine Frage, die auch im Rahmen des Wassertests (zu dem am 1. Januar 2023 ein neuer Erlass in Kraft getreten ist⁵³) gestellt werden muss, ist die, ob das Gelände des KKW Doel in seinem jetzigen Zustand und in naher Zukunft (bis etwa 2037) hochwassergefährdet ist. Zunächst kann anhand der Wassertestkarte (Abbildung 34) geprüft werden, ob aufgrund des Klimawandels in naher Zukunft mit erhöhten Überschwemmungsrisiken durch intensivere Niederschläge, Überschwemmungen aus Wasserläufen oder steigenden Meeresspiegel zu rechnen ist. Die zuständige Wasserbehörde ist „Vlaamse Waterweg“, Abteilung „Regio Centraal, Polder van het Land van Waas“. Das Kernkraftwerk ist (nur) anfällig für Regenüberschwemmungen, befindet sich aber weder in einem Gebiet, das für Überschwemmungen durch das Meer oder durch Flüsse/Wasserläufe anfällig ist, noch in einem Signalgebiet (unbebautes Gebiet mit fester Bestimmung im Regionalplan). Immerhin ist das Kraftwerk auf stark erhöhtem Gelände (+ 8,86 m TAW) gebaut und der Sigma-Deich liegt lokal bei 12,08 m TAW. Weitere Details entnehmen Sie bitte der Disziplin Klima.

Aus Abbildung 34 geht hervor, dass es in Zukunft aufgrund starker Regenfälle (im Winter oder im Sommer) auf dem KKW-Gelände (in der Nähe bestimmter Gebäude) örtlich zu „Wasser auf den Straßen“ kommen kann.

⁵³ Erlass der flämischen Regierung vom 25. November 2022 zur Änderung verschiedener Erlasse im Zusammenhang mit dem Wassertest und der Informationspflicht gemäß Artikel 1.3.1.1 und 1.3.3.3.2 des Erlasses vom 18. Juli 2003 über die integrierte Wasserpolitik, koordiniert am 15. Juni 2018, und des Rundschreibens OMG/2022/1 vom 16. Dezember 2022 über Richtlinien für die Anwendung eines klimafesten Wassertests und die Sicherstellung der Wasserspeicherkapazität in Signalgebieten.

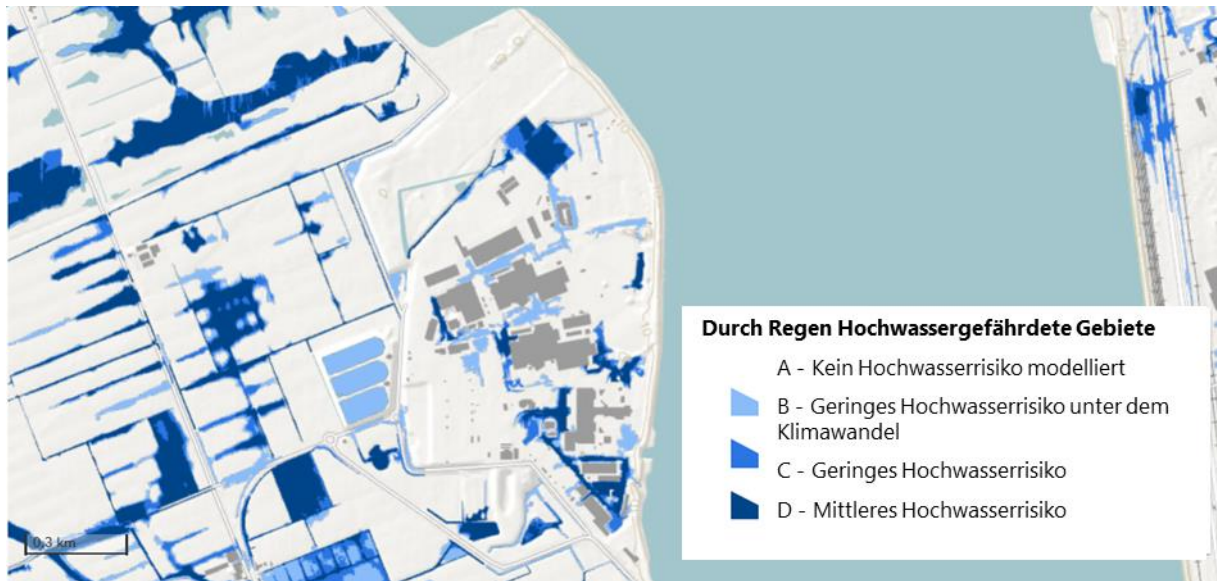


Abbildung 34: Durch Regen hochwassergefährdete Gebiete (Wassertestkarte, Quelle: waterinfo.be).

Die Wassertiefenkarten für das aktuelle Klima (Abbildung 35) und für das zukünftige Klima⁵⁴ (Abbildung 36) geben einen Überblick über die höchsten Wassertiefen, die bei einem Hochwasserereignis zu erwarten sind. In Umsetzung der europäischen Hochwasserrichtlinie wurden aktualisierte Hochwassergefahrenkarten für drei Szenarien erstellt: geringe Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode 1.000 Jahre), mittlere Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode 100 Jahre) und hohe Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode 10 Jahre) von Hochwasser. Die Hochwasserwahrscheinlichkeiten sind wie folgt definiert:

- Gebiete mit mittlerer Hochwasserwahrscheinlichkeit sind solche mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren oder weniger und entsprechen von der Wiederkehrperiode her der Abgrenzung ehemaliger hochwassergefährdeter Gebiete;
- Geringfügige Hochwasserereignisse sind Hochwasserereignisse, die eine geringere Wahrscheinlichkeit als eine mittlere Hochwasserwahrscheinlichkeit haben und in der Hochwasserrichtlinie als außergewöhnliches Ereignis definiert sind. In Anbetracht der Wasserbombe im Juli 2021 sollte jedoch bedacht werden, dass es sich in Ausnahmefällen um sehr dramatische Hochwasserereignisse handeln könnte.
- Kleine Hochwasserwahrscheinlichkeit unter Klimawandel: Dieses Hochwasserereignis projiziert die Auswirkungen von Überschwemmungen für ein außergewöhnliches Ereignis auf die Größenordnung in der Zukunft unter dem Einfluss des Klimawandels. Für die Erstellung der Karten wurde der Klimahorizont 2050 und nicht der noch weiter reichende Horizont 2100 verwendet.

⁵⁴ Mit Klimaprojektion 2050.

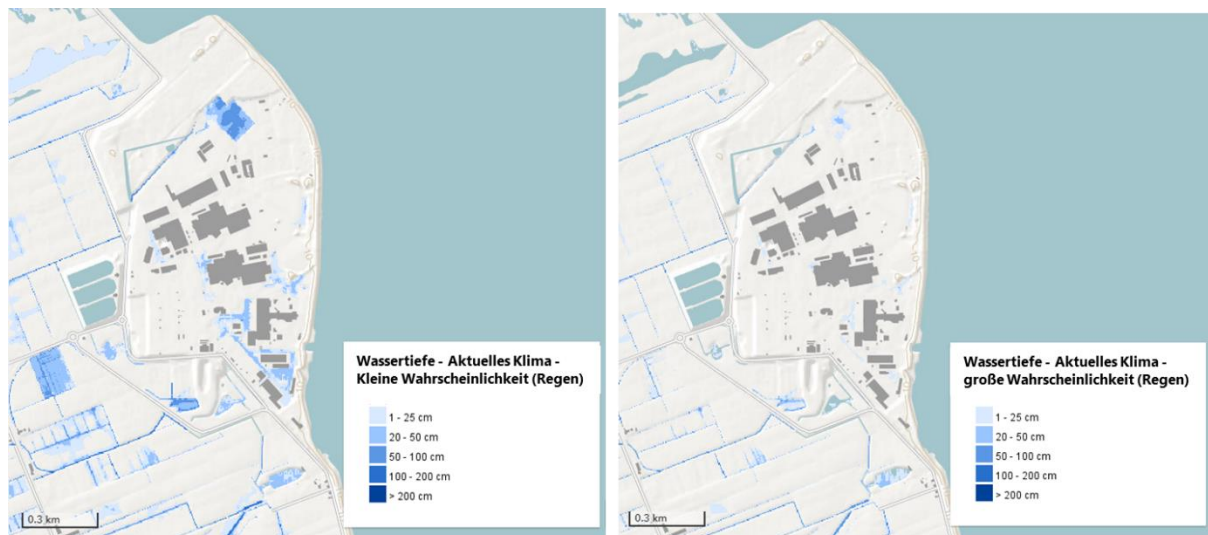


Abbildung 35: Karte der Überschwemmungsgefahr durch Regen für das heutige Klima bei geringer und hoher Eintrittswahrscheinlichkeit (Quelle: waterinfo.be).

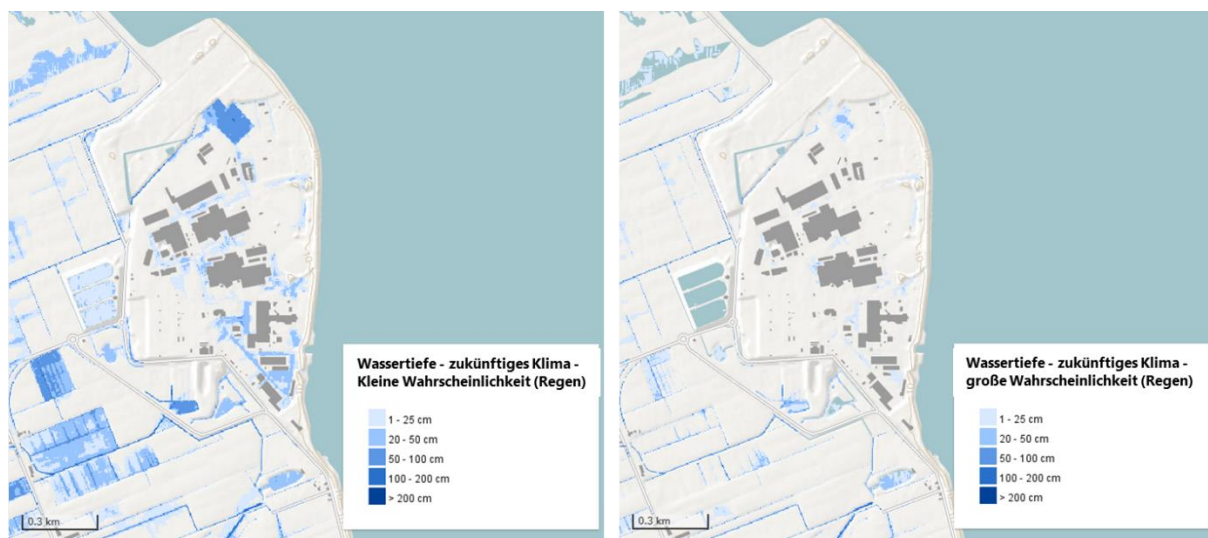


Abbildung 36: Karte der Überschwemmungsgefahr durch Regen für das künftige Klima bei geringer und hoher Eintrittswahrscheinlichkeit (Quelle: waterinfo.be).

Aus den Karten geht hervor, dass innerhalb des KKW-Geländes in Zukunft unbedingt auf hochwassersichere (Wieder-)Bebauung geachtet werden sollte, indem man sich darauf konzentriert, ausreichend hoch zu bauen und gegebenenfalls einen Ausgleichsraum für Wasser zu schaffen (Sicherung der Wasserspeicherkapazität), um nicht an anderer Stelle neue Problemgebiete zu schaffen.

Qualität

Sanitärabwasser wird in einer biologischen Kläranlage (5 Biorotoren) behandelt und in die Schelde eingeleitet. Das Industrieabwasser ist schadstoffarm und wird über ein einfaches Vorbehandlungsverfahren in die Schelde eingeleitet. Auch das Kühlwasser wird nach der Nutzung in die Schelde zurückgeführt.

In der Kanalisation für Mischwasser zur Einleitung von Regen- und Sanitärabwasser aus dem Kernkraftwerk gelangt auch austretendes Kühlwasser aus den unterirdischen Stollen und sogar Grundwasser (das von Natur aus Arsen

enthält) über das Erdreich in die Kanäle und Schächte. Dieses Eindringen von Kühlwasser und in geringerem Maße auch von Grundwasser in die Kanalisation für Mischwasser erklärt auch die häufigen Überläufe. Im Zeitraum 2015–2019 (als alle Blöcke in Betrieb waren) variierte die Dauer des Überlaufbetriebs der Sammelbecken zwischen 12 und 46 Tagen pro Jahr. Bei Betriebsverlängerung von Doel 4 um weitere 10 Jahre wird die Überlaufsituation zwar beibehalten (durch Beibehaltung der anschließenden Bodenversiegelung), aber durch die geringere Menge an Sanitärabwasser wird die Überlaufhäufigkeit möglicherweise geringfügig gesenkt und die Belastung durch diese Abwässer verringert, so dass die Auswirkungen auf die Wasserqualität geringer sind als in der derzeitigen Situation. In dem Referenzszenario bzw. der Null-Alternative wird sich der Versiegelungsgrad zwar nicht wesentlich ändern, aber es wird kein Kühlwasser mehr in die Kanalisation gelangen und der Anteil des Sanitärabwassers wird weiter sinken oder sogar ganz verschwinden.

Hinsichtlich der Qualität muss weiterhin zwischen eingeleitetem Kühlwasser, Sanitärabwasser und Industrieabwasser unterschieden werden.

Das Kühlwasser hat eine thermische Auswirkung auf die Schelde, einen erhöhten Chlorgehalt durch die Beigabe von NaOCl zur Verhinderung von mikrobiellem Wachstum und einen erhöhten Sauerstoffgehalt durch die Belüftung in den Kühltürmen. Bevor das Kühlwasser zurück in den Fluss fließt, wird es in den Kühltürmen abgekühlt, wo der aufsteigende Luftstrom die Sauerstoffkonzentration im Wasser erhöht und die Temperatur senkt. Die Einleitungsnormen schreiben vor, dass das Kühlwasser, das zurück in die Schelde fließt, nicht heißer als 33 °C sein darf. Die durchschnittliche tägliche Einleitungstemperatur muss unter 32 °C liegen und die durchschnittliche Einleitungstemperatur über 30 Tage gesehen darf den Grenzwert von 30 °C nicht überschreiten. Im Jahr 2019 wurden die gesetzlichen Grenzwerte, trotz der Hitzewelle, eingehalten. Auch in den Jahren 2020 und 2021, die ebenfalls von Hitzewellen geprägt waren, wurden die Normen eingehalten. Die durchschnittliche momentane Einleitungstemperatur im Jahr 2021 betrug 24,72 °C, der Tagesdurchschnitt 24,58 °C und der Monatsdurchschnitt 24,60 °C. In den Jahren 2017 und 2018 (beides ebenfalls sehr warme Jahre) wurden diese Normen ebenfalls eingehalten und es wird erwartet, dass dies unter ähnlichen Bedingungen auch im kommenden Zeitraum (2023–2027) der Fall sein könnte.

In den UVP von 2010 (Vinçotte) und 2021 (Arcadis/NRG) wurden die Auswirkungen von Abwasser und Kühlwasser auf die Schelde ausführlich erörtert. Die wichtigste Schlussfolgerung ist, dass, soweit es sich um Abwasser handelt, die durchschnittliche berechnete Konzentrationserhöhung in der Schelde aufgrund der Aktivitäten des KKW Doel im Vergleich zu den Umweltqualitätsnormen (UQN) in den Jahren 2013–2014 kleiner als 0,1 % war, was als vernachlässigbare Auswirkung angesehen wurde. Da die Qualität des Abwassers im Zeitraum 2015–2021 insgesamt nicht schlechter war, kann für diesen Zeitraum davon ausgegangen werden, dass auch keine relevanten Auswirkungen auf die Qualität der Schelde zu beobachten sind. Auch für den künftigen Zeitraum (2023–2027) werden unter normalen Betriebsbedingungen keine nennenswerten Auswirkungen auf die Wasserqualität erwartet, zumal die Abschaltung von Doel 3 (Ende 2022) und die geplante Abschaltung von Doel 1 und 2 (Ende 2025) die Auswirkungen auf die Wasserqualität weiter verringern werden. Wenn sich die Qualität des Scheldewassers in den nächsten Jahren noch weiter verbessert, kann der relative Beitrag der Einleitung des KKW Doel natürlich etwas größer ausfallen, aber die Auswirkung wird insgesamt immer noch vernachlässigbar sein. Im Referenzszenario (ohne Verlängerung von Doel 4) werden die Auswirkungen auf die Schelde im Zeitraum 2027–2036 vollständig verschwinden.

Im Zeitraum 2013–2017 trat jedoch ein Problem in Bezug auf eine zu hohe Nitritkonzentration im Industrieabwasser auf. Im Jahr 2013 wurde die Einleitungsnorm (2 mg/l) überschritten, in den Jahren 2014 und 2015 lag die durchschnittliche Konzentration unter der Einleitungsnorm, aber es wurden immer noch Spitzenkonzentrationen über der Einleitungsnorm gemessen, und in den Jahren 2016 und 2017 wurden zwei Spitzen und eine Einleitungsspitze beobachtet. Es wurde vermutet, dass die Stillstände der Geräte einen Einfluss darauf hatten. Die Ursache für die Spitzen war ein Zusammentreffen von unvermeidbaren Bedingungen, die ideale Voraussetzungen für die Entwicklung von biologischem Wachstum in einem Abwasserbehälter schufen. Durch die Umsetzung geeigneter Maßnahmen (z. B. kontinuierliche Messung und schnelleres Eingreifen), die Modifizierung der Anlage,

den besseren Betrieb der Sammelanlage von Doel 3 und Verfahren bei Nichtverfügbarkeit konnte eine Nitritspitze im Jahr 2018 vermieden werden. Im Jahr 2019 wurde die Einleitungsnorm für Nitrit vorübergehend von 2 auf 8 mg Nitrit-N pro Liter erhöht (bis Ende 2021), wodurch (für Nitrit) weiterhin innerhalb der Normen operiert und der Engpass in der Zwischenzeit gelöst werden konnte. Die gesamte eingeleitete N-Belastung ist seit 2017 unter Kontrolle (Abbildung 37). Im Zeitraum 2019–2021 wurde die zukünftige Norm von 2 mg N-NO₂/l noch sporadisch überschritten, aber die Konzentration lag im Durchschnitt unter dem Standard.

Stickstoffabgabe

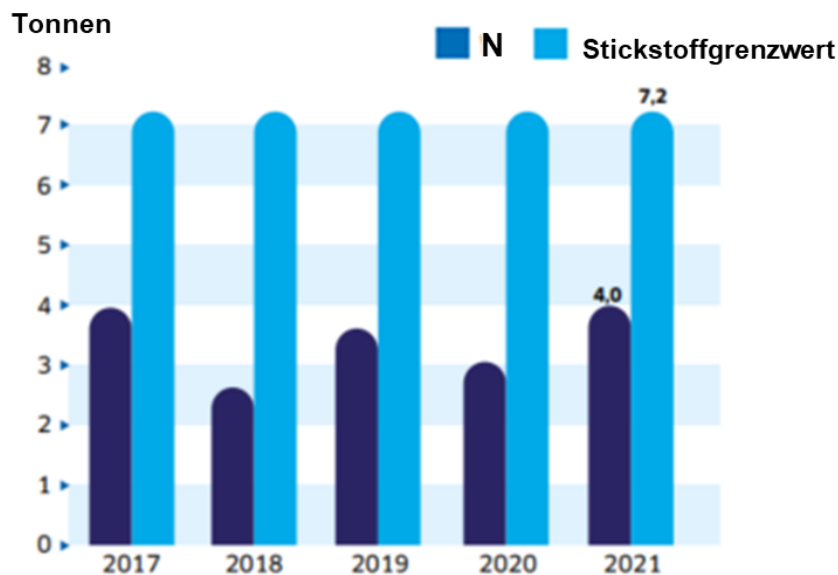


Abbildung 37: -Belastung im Industrieabwasser im Zeitraum 2017-2021 (Quelle: Electrabel AG, Umwelterklärung 2022).

Ein weiteres Problem, das sich anno 2019 noch stellte, ist das Auftreten überhöhter AOX-Werte in Sanitär- und Industrieabwässern sowie im Kühlwasser. NaOCl wird dem Kühlwasser als Konditionierungsmittel zugegeben, um ein Wachstum im Kühlsystem zu verhindern. Dies kann zur Bildung von AOX führen. Eine optimale Konditionierungsregelung kann dafür sorgen, dass der Umfang des NaOCl-Einsatzes und der Zeitraum der Konditionierung reduziert wird, wodurch die Bildung und Einleitung von AOX verringert wird. Der wichtigste Regelparameter scheint der Einsatz von Aktivchlor zu sein. Derzeit basiert die Dosierung von NaOCl auf der Analyse des überschüssigen aktiven Chlors und den Erfahrungen mit der Kühlturmdichtung, aber da die Nachweisgrenze der Aktivchlormessung zu hoch ist, ist noch keine Feinabstimmung mit dem Ziel eines geringeren NaOCl-Verbrauchs, geringerer Aktivchlorgehalte im eingeleiteten Kühlwasser und weniger AOX-Bildung möglich.

Bezüglich der Einleitung von Kühlwasser ist als Folge der Kühlwassereinleitung des KKW Doel eine erhebliche Temperaturerhöhung (über 3 °C) im Bereich des Leitdamms bis maximal ca. 1.050 m von der Einleitstelle zu beobachten. Relevante, aber akzeptable Temperaturerhöhungen zwischen 1 °C und 3 °C treten bei Ebbe und beim Stillstand bei Niedrigwasser bis maximal 1.300 m von der Einleitstelle entfernt auf, also noch innerhalb des Leitdamms. Bei Flut tritt außerhalb des Leitdamms bis maximal 500 m Entfernung von der Einleitstelle in östliche Richtung und maximal 800 m stromaufwärts der Einleitstelle eine relevante Temperaturerhöhung zwischen 1 °C und 3 °C auf. Das Gebiet innerhalb des Leitdamms bildet eine Wärmesperre für bestimmte Wasserorganismen. Für dieses Gebiet werden die Umweltqualitätsnormen bezüglich der Temperatur für die Schelde infolge der Kühlwassereinleitung des KKW Doel nicht eingehalten. Die Fahrrinne der Schelde östlich des Leitdamms bleibt für Wasserorganismen jedoch passierbar. Die durchschnittliche Querschnittsfläche des Gebiets innerhalb des

Leitdamms scheint nicht größer als 25 % der Querschnittsfläche der Schelde zu sein. Die Fahrrinne der Schelde östlich des Leitdamms wird jedoch jederzeit als passierbar für Wasserorganismen erachtet. Für eine weitere Bewertung dieser Auswirkung sei auf die Disziplin biologische Vielfalt verwiesen. Da die Menge des Kühlwassers im Zeitraum 2027–2036 geringer sein wird als die bis 2022 (vor der Abschaltung von Doel 3) benötigte Menge, kann man schließen, dass die Auswirkungen auf die thermische Verschmutzung (Größe der Wärmefahne, Temperaturanstieg) während der Verlängerung von Doel 4 geringer sein werden, auch wenn sich die (geringere) Auswirkung über einen zusätzlichen Zeitraum von 10 Jahren erstreckt.

Längerfristig kann der Klimawandel einen negativen Einfluss auf die Kühlkapazität des Scheldewassers haben. Wenn die Temperatur der Schelde infolge des Klimawandels ansteigt, wird die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers proportional ansteigen, mit der Möglichkeit einer häufigeren Begrenzung der maximal einzuleitenden thermischen Belastung auf Tagesbasis (vgl. Genehmigungsbedingungen), insbesondere im Sommer. Darüber hinaus sind längerfristig weitere negative Auswirkungen zu erwarten, wenn es infolge des Klimawandels zu einer deutlichen Abnahme der Durchflussmenge der Schelde kommt. Angesichts des prognostizierten Anstiegs des Meeresspiegels (und der bereits spürbaren Zunahme der Gezeitenbewegung) scheint dies jedoch keine Probleme für den Tidefluss, der die Schelde an dieser Stelle ist, zu verursachen, insbesondere nicht innerhalb der nächsten 5 Jahre, und auch nicht im Zeitraum 2027–2036. Es konnte noch nicht messbar festgestellt werden, dass die Temperatur der Schelde als Folge des jüngsten Klimawandels gestiegen ist. Das Wasser in der Seeschelde wurde zwar in den 1970er und 1980er Jahren etwas wärmer, aber es scheint wahrscheinlich, dass frühere Einleitungen von Kühlwasser dazu beigetragen haben.⁵⁵ Hinsichtlich der Auswirkung des Klimawandels auf die Temperatur von Oberflächengewässern wird in INBO (2015)⁵⁶ für „Oberflächengewässer im Allgemeinen“ angegeben, dass ein Anstieg von 0,5 bis 0,6 °C pro 10 Jahre zu berücksichtigen ist. Dies würde bedeuten, dass die Wassertemperatur der Schelde im Zeitraum 2022–2036 theoretisch um 0,75 bis 0,9 °C steigen könnte. Geht man jedoch davon aus, dass dies möglicherweise als Maximum für den Tidefluss Seeschelde zu betrachten ist, dürfte dieser Verlust an Kühlleistung durch eine bessere Überwachung der Seeschelde-Temperatur und eine angepasste Steuerung der vorhandenen Kühlleistung keine größeren Probleme verursachen (eine Erhöhung der thermischen Belastung, eine Überschreitung der Einleitungsnormen, eine größere Wärmesperre im Sommer und dies während des empfindlichsten Zeitraums – Stillstand bei Niedrigwasser). Darüber hinaus wird Doel 3 ab 2023 außer Betrieb genommen, wodurch sich die Wärmebelastung bis dahin verringern wird, und ab 2026 gilt das Gleiche für Doel 1 und 2.

Eine Betriebsverlängerung von Doel 4 um 10 Jahre von 2027 bis 2037 bedeutet daher, dass 10 Jahre lang eine geringere Abwassermenge (siehe oben) mit ähnlicher Zusammensetzung und Konzentration sowie eine geringere jährliche Gesamtschadstoffbelastung als in den Jahren 2013-2014 (Konzentrationsanstieg von weniger als 0,1 %) eingeleitet wird und ebenfalls vernachlässigbare Auswirkungen auf die Schelde haben wird. Die eingeleitete Schadstoff- und Wärmebelastung des Kühlwassers wird im Zeitraum 2023–2027 um etwa 70 % sinken. Auch für die kommenden Jahre ist davon auszugehen, dass das Nitrit- und AOX-Problem weiter unter Kontrolle bleiben wird, wie in den Vorjahren. Auch die Sanitär- und Industrieabwässer werden in diesem Zeitraum deutlich zurückgehen.

Im Referenzszenario (alle Kraftwerke geschlossen) wird es im Zeitraum 2027–2036 keine Auswirkungen auf die Schelde geben (keine Einleitung von Kühlwasser, keine Einleitung von Abwasser, keine Wärmefahne mehr in der Schelde).

⁵⁵ VNSC (2019) Systeemanalyse natuur Schelde-estuarium. Gezamenlijk feitenonderzoek van stakeholders, deskundigen en de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, 62 S.

⁵⁶ Van der Aa B., Vriens L., Van Kerckvoorde A., De Becker P., Roskams P., De Bruyn L., Denys L., Mergeay J., Raman M., Van den Bergh E., Wouters J., Hoffmann M. (2015). Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.9952476). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brüssel.

Das Wasser, das in die Schelde eingeleitet wird, kommt nie mit dem Primärkreislauf (dem nuklearen Teil der Anlage) in Berührung. Es besteht daher unter normalen Bedingungen keine Gefahr einer radioaktiven Verunreinigung der Schelde.

Regenwasser wird nicht im Betrieb oder für Sanitäranlagen verwendet. Das auf Dächer und den Großteil der versiegelten Flächen fallende Regenwasser wird zusammen mit dem Sanitärabwasser über die Biorotoren in die Schelde eingeleitet. Das Wasser von den Parkplätzen am Firmeneingang läuft in einen Bach im nahegelegenen Polder (Doorloop). Die Nutzung von Regenwasser zur Erzeugung von demineralisiertem Wasser oder zur Verwendung als Kühlwasser ist prinzipiell möglich, aber die notwendige Infrastruktur ist derzeit nicht vorhanden.

Qualität der Struktur

Da keine Arbeiten an den bestehenden Einleitungs- oder Entnahmestellen in der Schelde geplant sind, werden die Auswirkungen auf die Strukturqualität der Schelde als nicht relevant betrachtet.

3.2.5 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Für das Wassersystem kann dann überprüft werden, inwieweit die oben beschriebenen Auswirkungen, die durch den um 10 Jahre verlängerten Betrieb von Doel 4 auftreten können, mehr oder weniger zur Erreichung der für das Wassersystem als wichtig erachteten politischen Ziele beitragen oder diese möglicherweise behindern. Relevante politische Ziele, die in diesem Projekt zum Tragen kommen, sind das Erreichen eines guten Zustands der Oberflächengewässer, das Streben nach einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserkette, die Reduzierung von Hochwasser- und Dürrerisiken und das Streben nach einer nachhaltigen Wasserversorgung.

Erreichen eines guten Zustands der Oberflächengewässer

Wenn Doel 4 10 Jahre länger in Betrieb bleibt, bedeutet dies, dass weitere 10 Jahre lang (gereinigtes) Sanitärabwasser, aufbereitetes Industrieabwasser und (erwärmtes) Kühlwasser eingeleitet werden. Bei einigen Parametern (z. B. AOX, Nitrit) wurden die Einleitungsnormen in der Vergangenheit (Zeitraum 2014–2017) aufgrund einiger Spitzenkonzentrationen sporadisch überschritten. Durch entsprechende Maßnahmen konnten die durchschnittlichen Einleitungsnormen in den letzten Jahren eingehalten werden. Da die festgelegten Einleitungsnormen eingehalten werden können und der berechnete Beitrag zum Konzentrationsanstieg (örtlich) begrenzt bis vernachlässigbar ist, bedeutet dies immer noch eine Restverschmutzung, die für weitere 10 Jahre in die Seeschelde gelangt. Der Teil der Seeschelde, in den eingeleitet wird, befindet sich derzeit noch in einem „unzureichenden“ ökologischen Zustand und erfüllt nicht alle Umweltqualitätsnormen (Temperatur, O₂-Gehalt, CSV, Nitrit + Nitrat + Ammonium, Bor, Arsen, Beryllium, Cadmium und Uran). Die Wasserqualität hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert, aber der Fluss ist immer noch anfällig für jede Form der Verschmutzung. Gemessen an der Gesamtschadstoffbelastung kann das Kernkraftwerk ohnehin als bedeutender Verursacher bezeichnet werden, auch wenn Doel 1 und 2 in Zukunft abgeschaltet werden. Die Selbstreinigungskraft der Seeschelde ist noch nicht ausreichend wiederhergestellt. Es gibt jedoch keinen Grund, eine Verschlechterung des ökologischen Zustands der Seeschelde durch die Betriebsverlängerung von Doel 1 und 2 für weitere 10 Jahre zu befürchten, vorausgesetzt, dass der Überwachung und rechtzeitigen Anpassung weiterhin ständige Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Angesichts der begrenzten Auswirkungen des Kernkraftwerks auf die Wasserqualität, aber der fortgesetzten Bemühungen, die Auswirkungen in Zukunft zu reduzieren, kann davon ausgegangen werden, dass das Projekt das Erreichen des guten ökologischen Potenzials der Oberflächengewässer nicht gefährdet. Seit der Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes hat sich der Zustand der Seeschelde verbessert; die unternommenen und noch zu unternehmenden Anstrengungen zur Einhaltung der Einleitungsnormen werden ebenfalls zu dieser Verbesserung beigetragen haben. Eine Verschlechterung des derzeitigen (zugegebenermaßen) unzureichenden Zustands der Seeschelde ist durch eine Betriebsverlängerung von Doel 4 um 10 Jahre nicht zu befürchten. Natürlich würde ein Verzicht auf die Verlängerung (Referenzszenario) einen positiven Beitrag leisten, aber ob dies allein dazu führt, dass sich der Zustand der Seeschelde von „unzureichend“ zu „mäßig“ entwickelt, ist unsicher.

Da Doel 1 und 2 zusammen ca. 40 % des Wasserverbrauchs des gesamten Kernkraftwerks ausmachen und Doel 3 und 4 jeweils ca. 30 %, und da die Beschaffenheit (Zusammensetzung und Schadstoffbelastung) des Abwassers und des Kühlwassers für alle Blöcke ähnlich ist, kann davon ausgegangen werden, dass auch die Auswirkungen einer Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 (das einen kleineren Anteil als Doel 1 und 2 zusammen ausmacht) nicht zu einer Verschlechterung des Zustands führen würden oder dass eine Betriebsverlängerung von Doel 4 die vorgeschlagenen Ziele für den gesamten Wasserkörper gefährden würde.

Ziel: eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserkette

Eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserkette setzt (weitere) Anstrengungen zum Ausbau und zur Optimierung der sanitären Infrastruktur voraus. Probleme im derzeitigen Betrieb liegen auch in der Tatsache, dass das Regenwasser nicht vom Sanitärabwasserstrom abgekoppelt ist, mit zu häufigen Überlaufereignissen von (wenn auch verdünntem) Sanitärabwasser bei Starkregen. Es ist kein separates Kanalisationssystem vorhanden. Ein zusätzliches Problem ist, dass auch Kühlwasser und in geringerem Maße auch Grundwasser eingeleitet wird und in die Kanalisation für Mischwasser gelangt und dadurch ebenfalls zur Überlaufproblematik beiträgt. Da intensivere Niederschläge als Folge des bereits festzustellenden Klimawandels unvermeidlich sind, ist dies ein Engpass, der in den kommenden Jahren des Weiterbetriebs des Kernkraftwerks (Doel 4) beachtet werden muss. Eine solche Verdünnung der Abwasserströme führt nicht zu einer effizienten und effektiven Reinigung.

Im Allgemeinen hält das Kernkraftwerk schon die für Sanitärabwasser, Industrieabwasser und Kühlwasser auferlegten Einleitungsnormen ein, jedoch ist dies für einige Parameter (z. B. Nitrit, AOX) nicht immer der Fall. Es müssen noch Anstrengungen unternommen werden, um die Sanierungsinfrastruktur auch für diese Parameter anzupassen oder noch besser quellenorientierte Maßnahmen zu ergreifen, um diese Problempunkte zu lösen.

Für eine Reihe von Parametern, die im Sanitärabwasser, Industrieabwasser oder Kühlwasser vorhanden sind, werden die Messungen nicht immer einheitlich durchgeführt oder die Nachweisgrenze in den Messungen ist höher als die Einleitungsnorm, was bedeutet, dass es Unsicherheiten gibt, ob die Einleitungsnormen eingehalten werden oder nicht. Speziell für das Kühlwasser muss beispielsweise noch eine Lösung für eine adäquate Überwachung des aktiven Chlorgehalts gefunden werden, um die AOX-Bildung zu reduzieren und eine optimale Dosierung von NaOCl zur Kontrolle des mikrobiellen Wachstums im Kühlwasser zu erhalten.

Die maximale Begrenzung der thermischen Belastung und die optimale Nutzung der Kühlkapazität sind ebenfalls Maßnahmen, die zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserkette beitragen, vor allem angesichts des Klimawandels. Es wird empfohlen, die Auswirkungen der thermischen Einleitungen stärker auf die Entwicklung des Temperaturgradienten zwischen der niederländischen Grenze und Antwerpen abzustimmen. Eine solche Überwachung und Abstimmung der Kühlleistung des Kraftwerks auf die kumulierte thermische Belastung der Seeschelde kann weiter zu einer maximalen Begrenzung der Größe der thermischen Einleitung beitragen.

Die Betriebsverlängerung von Doel 4 für weitere 10 Jahre bedeutet, dass die Probleme der Mischkanalisation und des Überlaufs in diesem Zeitraum möglicherweise fortbestehen (obwohl vielleicht in geringerem Umfang) und dass weitere Anstrengungen zur Wiederverwendung von Regenwasser nicht unternommen werden. Auch die thermischen Auswirkungen auf die Seeschelde werden anhalten. Ohne die Anwendung der oben genannten Maßnahmen lässt dies nicht den Schluss zu, dass die Wasserkette bereits auf eine maximal nachhaltige Weise bewirtschaftet wird.

Begrenzen der Hochwasser- und Dürreerisiken

Was die Hochwasserrisiken betrifft, so gibt es derzeit keine Probleme, und kurz- oder mittelfristig sind keine Probleme mit Überschwemmungen durch Flüsse oder durch den Anstieg des Meeresspiegels zu erwarten. Folglich trägt eine Betriebsverlängerung von Doel 4 nicht nennenswert zur Verringerung oder Verursachung von Überschwemmungsrisiken durch See oder Wasserläufe bei. Infolge intensiverer Regenfälle kann es im gegenwärtigen Zustand und aufgrund des Klimawandels in der Zukunft durchaus zu mehr Überschwemmungen

(Wasser auf den Straßen) kommen. Es gibt zurzeit jedoch keine Hinweise darauf, dass das Kraftwerk unerwünschte Hochwasserrisiken flussabwärts (in den tief liegenden Poldern) verursacht oder aufrechterhält.

In Bezug auf die Dürre ist festzustellen, dass derzeit weniger Anstrengungen unternommen werden, um die Rückhaltung, Wiederverwendung und lokale Versickerung von Regenwasser zu optimieren. Da das Regenwasser größtenteils sofort über Dächer und versiegelte Flächen abgeleitet wird, kann man sagen, dass das Kernkraftwerk eine austrocknende Wirkung auf die umliegenden Polder hat. Die Wirkung ist begrenzt und führt im derzeitigen Zustand nicht zu einer nennenswerten Austrocknung. Angesichts der zunehmenden Trockenheit in Flandern und insbesondere des Versalzungsproblems in diesem Gebiet erscheint es ratsam, der Entsiegelung des Bodens und der Bewirtschaftung des Regenwassers (Wiederverwendung, Versickerung und verzögerte Einleitung) bei weiteren Renovierungsarbeiten auf dem Gelände oder bei Anpassungen des Abwassersystems größte Aufmerksamkeit zu schenken. Die Betriebsverlängerung von Doel 4 um 10 Jahre wird den Austrocknungseffekt (in begrenztem Maße) aufrechterhalten.

Ziel: nachhaltige Wasserversorgung

Hier wird beurteilt, ob eine Betriebsverlängerung von Doel 4 zu einem sparsamen Umgang mit Wasser beiträgt, ob das eingesetzte Wasser ausreichend nachhaltig genutzt wird und ob Entsiegelungsmaßnahmen ergriffen werden. Nachteile in dieser Bewertung sind u. a. die Tatsache, dass für bestimmte Anwendungen kein Regenwasser verwendet wird (z. B. in Sanitäranlagen, zur Wartung oder in bestimmten Prozessen, oder in Kombination mit Versickerung und Grünflächen als Kühlelement zur Bekämpfung von Hitzestress und Wärmeinseleffekt im Sommer...), was zu erheblichen Einsparungen beim Stadtwasserverbrauch führen könnte. In diesem Sinne erscheint es auch sinnvoll, die Verwendung von Stadtwasser im Kühlwasserkreislauf und als Prozesswasser so weit wie möglich zu vermeiden. Das Fehlen von Bemühungen, weitergehende Formen der Kreislaufwassernutzung einzuführen oder Abkopplungs- bzw. Entsiegelungsprojekte zu realisieren, führt dazu, dass die Beurteilung für dieses Politikziel eher negativ ausfallen sollte. Die Abschaltung von Doel 3, 1 und 2 wird sicherlich Möglichkeiten in diesem Bereich bieten.

3.2.6 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Die Bewertung anhand der Wassersystemziele ist in Tabelle 21 zusammengefasst. Der Plan, den Betrieb von Doel 4 um zehn Jahre zu verlängern, wird keine negativen Auswirkungen auf das ökologische Potenzial der Seeschelde haben und das Hochwasserrisiko nicht erhöhen. Im Bereich des nachhaltigen Managements der Wasserkette, der Vermeidung von Dürren und des Engagements für eine nachhaltigere Wasserversorgung sind noch Optimierungen möglich.

Tabelle 21: Zusammenfassung der Bewertung in Bezug auf das Wassersystem.

Ziel	Projektbeitrag (Verlängerung von Doel 4 um 10 Jahre)	Bewertung
Guter Zustand der Oberflächengewässer	Keine Verschlechterung des Zustands und keine Gefährdung für das Erreichen des guten ökologischen Potenzials.	Neutral
Nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserkette	Aufrechterhaltung einer suboptimalen Situation in Bezug auf nachhaltige Bewirtschaftung	Negativ
Begrenzung der Hochwasserrisiken	Kein bemerkenswerter Beitrag	Neutral
Vermeidung von Dürre	Aufrechterhaltung eines begrenzten Austrocknungseffekts	Begrenzt negativ
Nachhaltige Wasserversorgung	Keine Bemühungen/Pläne für eine stärker kreislaforientierte Wassernutzung	Negativ

3.2.7 Minderungsmaßnahmen

Empfehlungen zur weiteren Erfüllung der genannten strategischen Ziele in Bezug auf das Wassersystem wurden bereits oben im Text angegeben und werden im Folgenden zusammengefasst:

- Verhinderung der Einleitung von Grund- und Kühlwasser in die Mischwasserkanalisation und Abkopplung von Regenwasser (z. B. bei Neubauten oder Wartungsarbeiten), was zu einer Verdünnung des Abwassers und häufigen Überläufen führt;
- Eine weitere Optimierung der Abwasseraufbereitung ist angezeigt, um frühere Engpässe (Nitrit, AOX) zu beseitigen und eine einheitlichere Messung einiger anderer Parameter zu ermöglichen, damit die Einhaltung der Einleitungsnormen überprüft werden kann;
- Trennung des Regenwassers vom Sanitärabwasser und Wiederverwendung des Regenwassers als Sanitärwasser, so weit wie möglich Vermeidung des Gebrauchs von Stadtwasser;
- Entsiegelung (Versickerung), Bau von Gründächern oder Wasserflächen (Pufferung) auf dem Gelände, um den Wärmeinseleffekt zu verringern, (Regen-)Wasser besser zurückzuhalten und zu speichern sowie Austrocknung und Versalzung zu verhindern;
- Künftige Umbauten und Renovierungen sollten so hochwasser- und klimaresistent sein, dass sie die Auswirkungen intensiverer Regenfälle in der Zukunft bewältigen können und keine Überschwemmungen an die Umgebung weitergeben;
- Vorausschauende Feinabstimmung der Kühlleistung auf Basis der Überwachung der Seeschelde-Temperatur.
- Das Abschalten von Doel 3 (2022) und Doel 1 und 2 (2025) kann als Gelegenheit genutzt werden, die Wasseraufbereitung und (Regen-)Wasserbewirtschaftung für Doel 4 zu optimieren.

3.2.8 Wissenslücken und Überwachung

Es bestehen keine Wissenslücken, die eine hinreichend genaue Beurteilung der Auswirkungen auf das Wassersystem verhindern würden. Eine Informationslücke besteht darin, den genauen Anteil des Abwassers von Doel 4 und damit den genauen Beitrag des Betriebs von Doel 4 zur Restverschmutzung der Schelde während der 10 Jahre des verlängerten Betriebs zu kennen. Zur Abschätzung der Auswirkungen in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung wurde eine (Worst-Case-)Annahme getroffen.

Eine zusätzliche Überwachung gegenüber dem bestehenden Überwachungsprogramm mit Ausnahme der Überwachung der kumulativen thermischen Belastung in der Schelde wird nicht als notwendig erachtet.

3.3 Thema Biologische Vielfalt

3.3.1 Relevante politische Ziele

Sowohl das Naturdekret (und verschiedene Durchführungserlasse) als auch das Dekret Integrale Wasserpolitik enthalten relevante politische Ziele, anhand derer der politische Plan bewertet werden muss. Das Walddekret schafft auch einen Rahmen für dessen Schutz sowie im Falle von Waldverlusten für den Ausgleich von Wald. Da der Plan jedoch nicht dazu führt, dass Wald verschwindet, ist dies kein relevantes politisches Ziel für diese UVP.

Aus der Perspektive des **Naturdekrets** sind zwei generische Konzepte wichtig, die in Flandern auf horizontaler Ebene gelten: das **Stillstandsprinzip** und die **Sorgfaltspflicht**. Das Prinzip besagt, dass die geplanten neuen Entwicklungen nicht zur Verschlechterung der Natur beitragen dürfen (auf flämischer Ebene). Dies gilt sowohl für die Oberfläche als auch für die Qualität. Die Sorgfaltspflicht bedeutet, dass geprüft werden muss, ob Projekte und Pläne, einschließlich der Entscheidung über die Verlängerung der Laufzeit von Doel 4, keine **vermeidbaren „Schäden“** verursachen (vgl. Naturdekret) für die Natur.

Dazu gehört der Schutz der bestehenden Natur und der Naturelemente, unabhängig von ihrem Zweck.

Die Sorgfaltspflicht bedeutet nicht, dass keine neuen Entwicklungen möglich sind, sondern dass ausreichend überprüft werden muss, ob eventuelle Schäden vermieden werden können.

Neben der „horizontalen“ Naturpolitik gibt das Naturdekret auch die Linien für die Definition einer **gebietsorientierten Politik** vor.

Für **VEN-Gebiete** muss speziell überprüft werden, dass durch den Plan keine „**unvermeidbaren und irreparablen Schäden**“ entstehen können. Innerhalb des VEN wird zwischen großen Natureinheiten (GNE) und großen Natureinheiten in Entwicklung (GNEE) unterschieden. Hinzu kommt das Integraal Verweavings- en Ondersteunend Netwerk (IVON, zu Deutsch in etwa: Integrales Verflechtungs- und Unterstützungsnetzwerk), das aus Naturentwicklungsgebieten (NVWG) und Naturverbindungsgebieten (NVBG) besteht. Das Überprüfen des Risikos unvermeidbarer und irreparabler Schäden in einer sogenannten „strengerer Naturprüfung“ ist nur für die VEN-Gebiete selbst erforderlich.

Darüber hinaus wird durch die Umsetzung der europäischen Richtlinien im Naturdekret sichergestellt, dass für **besondere Schutzgebiete**, d. h. FFH- und Vogelschutzgebiete, nicht nur nachgewiesen werden muss, dass erhebliche negative Auswirkungen im Vergleich zum Ist-Zustand vermieden werden, sondern auch, dass der Plan die Erreichung der für diese Gebiete festgelegten Naturziele nicht behindern darf. Dies wird in einer **entsprechenden Prüfung** untersucht.

Der **Artenschutzerlass** gewährleistet den Schutz bestimmter Arten. Das bedeutet, dass diese Arten oder ihr Lebensraum nicht beeinträchtigt werden dürfen und dass Artenschutzprogramme (ASP) erstellt werden können, in denen Maßnahmen vorgeschlagen werden, die den günstigen Erhaltungszustand bestimmter Arten sicherstellen. Es ist zu prüfen, ob der Plan geschützten Arten schädigen oder die Umsetzung eines ASP gefährden kann.

Ein letztes wichtiges politisches Ziel findet sich im **Dekret Integrale Wasserpolitik**, das die europäische Wasserrahmenrichtlinie in flämisches Recht umsetzt. Viele der Ziele werden in der Disziplin Wasser überprüft, aber es wurden auch Ziele für **biologische Qualitätselemente** für die verschiedenen Wasserkörper aufgenommen. Für die biologischen Qualitätselemente, die für die Gewässer in der Umgebung des Plangebiets (hauptsächlich die Seeschelde) relevant sind, ist zu prüfen, ob der Plan Auswirkungen auf das Erreichen der Wasserqualitätsziele haben wird. Dieser Aspekt wird jedoch in der Disziplin Wasser geprüft.

Die verschiedenen Komponenten des Projekts werden anhand der folgenden Fragen auf diese politischen Ziele geprüft:

- Inwieweit darf erwartet werden, dass der Projekt Schäden an der Natur vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?
- Inwiefern darf erwartet werden, dass der Projekt irreparable und unvermeidbare Schäden an VEN-Gebieten vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?
- Inwiefern darf erwartet werden, dass der Projekt bedeutungsvolle Auswirkungen auf NATURA-2000-Gebiete vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?
- Inwiefern darf erwartet werden, dass der Projekt keine Schäden für nach dem Artenschutzerlass geschützte Arten verursacht?
- Inwiefern darf erwartet werden, dass die Durchführung des Projekts nicht die Erreichung der in Artenschutzprogrammen formulierten Ziele behindert (vgl. Artenschutzerlass)?

3.3.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Der Projekt kann sich auf verschiedene Weise auf die Disziplin der biologischen Vielfalt auswirken. Wie bereits erwähnt, erfolgt die abschließende Bewertung auf der Grundlage der politischen Ziele, während die Wirkungsanalyse auf den relevanten Gruppen von Auswirkungen basiert. In den folgenden Abschnitten wird kurz erläutert, welche Gruppen relevant sind und warum.

In der Disziplin biologische Vielfalt handelt es sich bei den meisten der erwarteten Auswirkungen um indirekte Auswirkungen aufgrund von Veränderungen, die in den Disziplinen Wasser, Lärm oder Luft besprochen werden.

Wenn in diesen Disziplinen entschieden wird, dass nur vernachlässigbare Auswirkungen zu erwarten sind, wird dies in der Disziplin biologische Vielfalt nicht weiter untersucht.

Viele der Auswirkungen, die auftreten können, stehen im Zusammenhang mit den Einleitungen in die Schelde. Angesichts der Ausweisung der Schelde als FFH-Gebiet ist das mögliche Auftreten von Auswirkungen hier von großer Bedeutung. Darüber hinaus gibt es für die Schelde noch die Ziele aus dem Dekret Integrale Wasserpoltik und auch die Schlick- und Salzwiesen sind wichtig für die Vögel des Gebietes der Vogelschutzrichtlinie und als „Habitat“ aus der Habitat-Richtlinie.

Auswirkungen auf die Schelde können in Form einer **Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer** auftreten. Die Elemente des Plans, die dies potenziell beeinflussen könnten, sind die Einleitung diverser Formen von Abwasser und von Kühlwasser. Darüber hinaus ist auch die Entnahme von Kühlwasser wichtig, da diese den **Tod** von miteingesaugten Fischen, Muscheln, Krebsen oder anderen Wirbellosen verursachen kann. Wenn der Abschnitt über die **nuklearen Auswirkungen** zeigt, dass eine Auswirkung auf die Schelde zu erwarten ist, wird diese auch kurz diskutiert. In diesem Fall wird auch eine Auswirkung auf höhere trophische Ebenen, wie z. B. die Vögel im Gebiet der Vogelschutzrichtlinie, abgeschätzt. Eine signifikante Auswirkung auf die Wasserqualität, z. B. durch eine Erhöhung der Temperatur, kann potenziell auch **Barriereeffekte** hervorrufen, wenn ein großes Gebiet ungeeignet für die vorhandenen Organismen wird.

Neben den Auswirkungen auf die Schelde kann auch der Betrieb der Kraftwerke eine potenziell **beeinträchtigende** Wirkung haben. Dies kann mit Lärm-, Licht- oder menschlicher Beeinträchtigung verbunden sein. Angesichts der strategischen Ebene der UVP werden diese beeinträchtigenden Auswirkungen qualitativ abgeschätzt.

Der Plan kann theoretisch aufgrund der Heizungsanlage, der Notstromgeneratoren sowie des Verkehrs selbst theoretisch auch zu den Auswirkungen der **Säuerung und Eutrophierung aus der Luft** beitragen. Es wird erwartet, dass dies nur eine begrenzte Auswirkung haben wird, sicherlich in einer breiteren räumlichen Perspektive und unter Einbeziehung der Aktivitäten, die im Waasland-Hafen / Hafen von Antwerpen stattfinden. Dieser Aspekt wird jedoch bei der Diskussion der vermiedenen Auswirkungen relevant sein. Es ist jedoch zu beachten, dass die Übertragung dieses letzten Aspekts auf die biologische Vielfalt nur auf qualitative Weise erfolgen kann, da der Ort der zusätzlichen Stickstoffdeposition nicht bekannt ist. Wenn der Abschnitt über die **nuklearen Auswirkungen** zeigt, dass eine Auswirkung von der Deposition aus der Luft zu erwarten ist, wird diese auch kurz diskutiert.

Auswirkungen auf den **direkten Flächenverbrauch** können prinzipiell auftreten, da durch die Verlängerung des Betriebs der Kraftwerke die eingenommene Fläche nicht für die Naturentwicklung genutzt werden kann.

Für das Grundwasser (sowohl **Grundwasserstand** als auch **Grundwasserqualität**) werden keine Auswirkungen erwartet, die sich auf die biologische Vielfalt auswirken könnten. Es wird daher in dieser UVP nicht weiter behandelt. Schließlich wird auch keine **Veränderung der Hydrologie** der Schelde erwartet. Schließlich wird das entnommene Kühlwasser fast vollständig wieder eingeleitet, sodass keine Auswirkungen auf z. B. den Wasserstand zu erwarten sind.

Es ist auch wichtig anzumerken, dass das Vorhandensein der Hochspannungsleitungen nicht Teil der UVP ist. Die Hochspannungsleitungen sind Eigentum von Elia, und Änderungen am 380-kV-Netz sind nicht erwünscht, um Schwachstellen im Hochspannungsnetz zu vermeiden. Darüber hinaus werden die Hochspannungsleitungen weiterhin benötigt, um den Hafen von Antwerpen mit Strom zu versorgen.

3.3.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Das Untersuchungsgebiet für die Disziplin der biologischen Vielfalt wird durch das Gebiet bestimmt, in dem Auswirkungen auftreten können, ergänzt durch Naturgebiete, denen besondere Aufmerksamkeit zuteil werden sollte. Die Entfernung, über die Auswirkungen erwartet werden können, variiert stark zwischen den verschiedenen Gruppen von Auswirkungen.

Zumindest werden die angrenzenden Naturschutzgebiete in das Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 38) aufgenommen. Konkret betrifft dies Teile des besonderen Schutzgebiets der FFH-Richtlinie (BSG-H) „Schelde- en Durme-estuarium van de Nederlandse grens tot Gent“ (Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent, BE2300006), des besonderen Schutzgebiets der Vogelschutzrichtlinie (BSG-V) „Schorren en polders van de Beneden Schelde“ (Salzwiesen und Polder der Niederschelde, BE2301336) und des niederländischen Schutzgebiets Westerschelde & Saeftinghe (NL9802026), das sowohl SBZ-H als auch SBZ-V ist. Die VEN-Bereiche in der Umgebung liegen innerhalb dieser Abgrenzung.

Speziell für die vermiedenen Auswirkungen wird das Untersuchungsgebiet auf ganz Belgien und angrenzende Gebiete im Ausland erweitert.

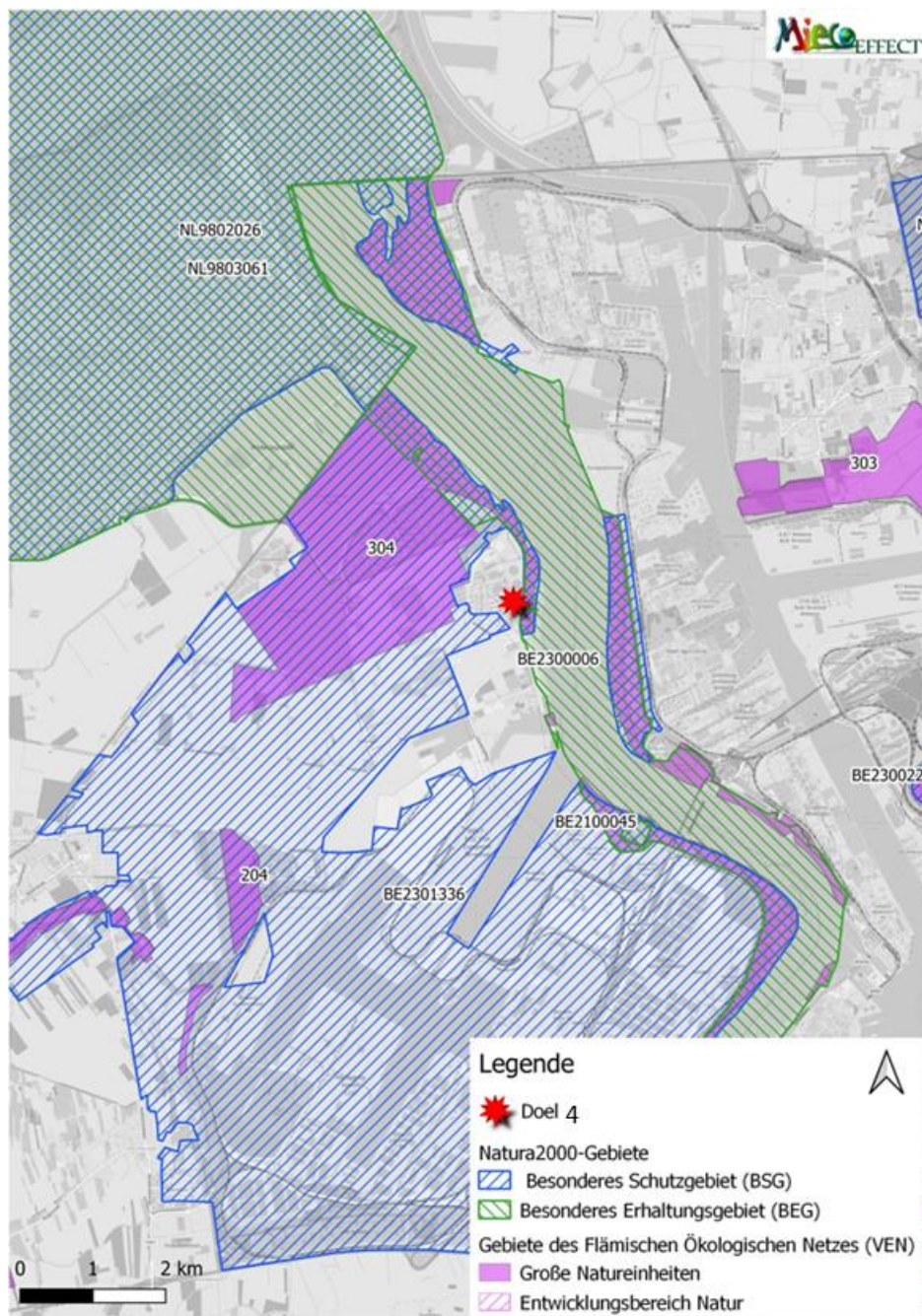


Abbildung 38: Naturschutzgebiete.

3.3.4 Beschreibung der Referenzsituation

Natura-2000-Gebiete

Wie in Abschnitt 3.3.4 beschrieben, grenzt das Plangebiet an verschiedene besondere Schutzgebiete, die zum Natura-2000-Netz gehören. Die Naturziele, die für diese Gebiete festgelegt wurden, sind daher eine wichtige Referenz, anhand derer die Auswirkungen bewertet werden können. In Tabelle 22 sind die Zielarten für alle diese Natura-2000-Gebiete aufgelistet, die sich entweder mit dem Plangebiet überschneiden oder sich in unmittelbarer Nähe des Plangebiets befinden (siehe Abbildung 38).

Tabelle 22: Zielarten für die Natura-2000-Gebiete, die sich entweder mit dem Plangebiet überschneiden oder sich in unmittelbarer Nähe des Plangebiets befinden. X: ausdrücklich als Ziel aufgenommene Art, (x): Art ist ein Ziel für ein größeres Gebiet als in der Spaltenüberschrift angegeben, /: Art ist kein Ziel.

Zielart	Salzwiesen und Polder der Niederschelde	Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent	Westerschelde und Saeftinghe
<i>Vögel</i>			
Brandgans	x	x	x
Blaukehlchen	x	x	x
Kornweihe	x	/	/
Sandregenpfeifer	/	/	x
Alpenstrandläufer	/	/	x
Rohrweihe	x	x	x
Sanderling	/	/	x
Zwergseeschwalbe	/	/	x
Haubentaucher	/	/	x
Goldregenpfeifer	x	/	x
Graugans	x	/	x
Grünschenkel	/	/	x
Brandseeschwalbe	/	/	x
Eisvogel	x	x	/
Kampfläufer	x	/	/
Knutt	/	/	x
Kiebitz	/	/	x
Seidenreiher	/	/	x
Zwergschwan	x	x	/
Säbelschnäbler	x	x	x
Lachmöwe	x	x	/

Zielart	Salzwiesen und Polder der Niederschelde	Schelde- und Durme- Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent	Westerschelde und Saeftinghe
Blässgans	x	/	x
Schnatterente	x	x	x
Nachtreiher	/	x	/
Wachtelkönig	/	x	/
Löffler	x	x	x
Mittelsäger	/	/	x
Spießente	x	x	x
Tüpfelsumpfhuhn	x	x	/
Purpurreiher	/	x	/
Rohrdommel	x	x	/
Pfuhschnepfe	/	/	x
Austernfischer	/	/	x
Wanderfalke	/	/	x
Löffelente	/	x	x
Pfeifente	x	/	x
Steinwälzer	/	/	x
Stelzenläufer	x	/	/
Seeregenpfeifer	x	/	x
Tafelente	/	x	/
Rotschenkel	/	/	x
Flusseeeschwalbe	x	/	x
Seggenrohrsänger	x	x	/
Stockente	/	/	x
Krickente	x	x	x
Zwergdommel	/	x	/
Großer Brachvogel	/	/	x
Seeadler	/	/	x
Kiebitzregenpfeifer	/	/	x
Dunkler Wasserläufer	/	/	x
Schwarzkopfmöwe	x	/	x
<i>Säugetiere</i>			
Fransenfledermaus	/	x	/
Zwergfledermaus	/	x	/

Zielart	Salzwiesen und Polder der Niederschelde	Schelde- und Durme- Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent	Westerschelde und Saeftinghe
Wimperfledermaus	/	x	/
Mückenfledermaus	/	x	/
Breitflügelfledermaus	/	x	/
Teichfledermaus	/	x	/
Großer Abendsegler	/	x	/
Rauhautfledermaus	/	x	/
Wasserfledermaus	/	x	/
Schweinswal	/	/	x
Kegelrobbe	/	/	x
Seehund	/	/	x
Biber	/	x	/
<i>Weichtiere</i>			
Schmale Windelschnecke	/	/	x
<i>Fische</i>			
Meerneunaug	/	/	x
Flussneunaug	/	x	x
Finte	/	x	x
Bitterling	/	x	/
<i>Amphibien</i>			
Kleiner Wasserfrosch	/	x	/
Kammolch	/	x	/
<i>Insekten</i>			
Große Moosjungfer	/	x	/
<i>Gefäßpflanzen</i>			
Sumpf-Glanzkraut	/	x	x

Zusätzlich zu den Arten wurden auch für Lebensraumtypen Naturziele festgelegt. Das BSG-H Schelde en Durme-estuarium van de Nederlandse grens tot Gent (Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent) ist weitläufig und nicht alle anvisierten Lebensräume sind für diese UVP relevant. Es werden daher nur die Lebensräume besprochen, die in der Nähe der Kernkraftwerke vorkommen.

Die vorkommenden Lebensraumtypen werden in zwei große Landschaftstypen unterteilt: das Ästuar und die terrestrischen Feuchtgebiete. Die für diese Lebensraumtypen formulierten Ziele sind zweigeteilt:

- Diese Ziele stehen einerseits im Einklang mit den Erhaltungszielen des BSG-H „BE 2300006 Schelde- en Durme-estuarium van de Nederlandse grens tot Gent“. Unter diesen Umständen ist es wahrscheinlicher,

dass Erhaltungsmaßnahmen außerhalb des BSG-H ergriffen werden, die darauf abzielen, das BSG-H in einen günstigen Erhaltungszustand zu bringen;

- Andererseits sind diese „Ziele“ erforderlich, um das betreffende BSG in einen günstigen Erhaltungszustand zu bringen, da sie (als Lebensräume) für die Vogelarten der Lebensräume Naturwiese Süßwasser, Naturwiese Salzwasser, Beweidete Salzwiese, Schlickwiesen mit Inseln und Surrogatküste wichtig sind.

Die folgenden Lebensraumtypen kommen in den Ästuarien des belgischen Teils des Schelde-Ästuars vor:

- Lebensraumtyp 1130 – Ästuarien;
- Lebensraumtyp 1320: Schlickgrasbestände (*Spartinion maritimae*);
- Lebensraumtyp 1330: Atlantische Salzwiesen (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*).

Folgender Lebensraumtyp innerhalb terrestrischer Feuchtgebiete kommt vor:

- Lebensraumtyp 1330: Atlantische Salzwiesen (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*), Untertyp: salzige Vegetationen innerhalb des Deichs.

Die gesamte Breite der Schelde in der Nähe des Plangebiets wurde außerdem als zeitweiliges Forschungsgebiet für den Lebensraumtyp 1130: Ästuarien ausgewiesen. Ein Forschungsgebiet ist ein Gebiet, das im Hinblick auf die Entwicklung von zusätzlichem Lebensraum freigehalten wird, für den Fall, dass es noch offene Naturziele gibt.

Im BSG „Westerschelde en Saeftinghe“ wurden die folgenden Lebensraumtypen als Ziele festgelegt:

- Lebensraumtyp 110B - Sandbänke mit nur schwacher ständiger Überspülung durch Meerwasser, Untertyp: Nordsee-Küstenzone
- Lebensraumtyp 1130 - Ästuarien
- Lebensraumtyp 1140B - Vegetationsfreies Schlick-, Sand- und Mischwatt
- Lebensraumtyp 1310A - Pioniervegetation mit *Salicornia* und anderen einjährigen Arten auf Schlamm und Sand (Quellerwatt), Subtyp: Queller
- Lebensraumtyp 1310B - Pioniervegetation mit *Salicornia* und anderen einjährigen Arten auf Schlamm und Sand (Quellerwatt), Subtyp: Strand-Mastkraut
- Lebensraumtyp 1320 - Schlickgrasbestände
- Lebensraumtyp 1330A - Atlantische Salzwiesen, Subtyp: außerhalb des Deichs
- Lebensraumtyp 1330B - Atlantische Salzwiesen, Subtyp: innerhalb des Deichs
- Lebensraumtyp 2110 - Primärdünen
- Lebensraumtyp 2120 - Weißdünen
- Lebensraumtyp 2130A - Graudünen, Subtyp kalkhaltig
- Lebensraumtyp 2160 - Dünen mit *Hippophaë rhamnoides*
- Lebensraumtyp 2190B - Feuchte Dünentäler, Subtyp: kalkhaltig

Zukünftige Naturentwicklung Hafengebiet

Die flämische Regierung hat vor kurzem einen Erlass über die Erhaltungsziele und Prioritäten für das besondere Schutzgebiet „BE 2301336 Schorren en polders van de Beneden-Schelde“ verabschiedet. Die darin festgelegten Naturziele sind bereits in der Beschreibung des vorherigen Absatzes enthalten. Der Erlass betrifft die Änderung eines früheren Erlasses, der aus Dringlichkeitsgründen in Bezug auf den erforderlichen Fortschritt des komplexen Projekts „Extra Containercapaciteit Antwerpen“ (Extra Containerkapazität Antwerpen, kurz: ECA) verabschiedet werden musste. Dieser neue Erlass definiert auch die Gebiete, die derzeit eine notwendige Rolle bei der Erreichung der Erhaltungsziele spielen. Einige dieser Bereiche wurden bereits in der Vergangenheit angelegt. Eine Übersicht dieser Bereiche wird in Abbildung 39 dargestellt. Einige der Gebiete wurden ausdrücklich als „zeitweilige Naturausgleichsfläche“ ausgewiesen und werden im Prinzip verschwinden und ersetzt werden müssen, wenn bestimmte Hafenprojekte durchgeführt werden.

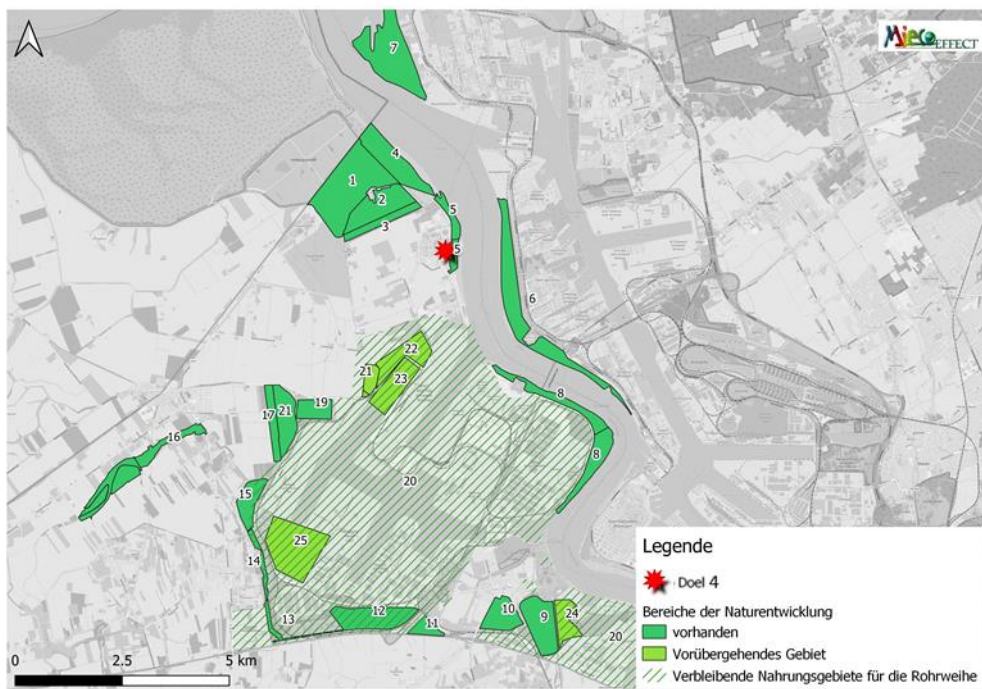


Abbildung 39: Übersicht über die vorhandenen Naturentwicklungsgebiete (permanent und temporär).

Tabelle 23: Nummerierung der vorhandenen Naturentwicklungsgebiete.

Nr.	Gebiet	Nr.	Gebiet
1	Prosperpolder Noord	14	Spaans Fort (Spanische Festung)
2	Doelpolder Noord	15	Drijdijck
3	Brakke kreek (Brackwasser-Priel)	16	Grote Geule
4	Schor Ouden Doel	17	Zoetwaterkreek (Süßwasser-Priel)
5	Estuariene natuur (Ästuar-Natur)	18	Puttenweide
6	Galgenschoor	19	Putten West
7	Groot Buitenschoor	20	Restgronden foerageergebied bruine kiekendief (Verbleibende Nahrungsgebiete für die Rohrweihe)
8	Ketenissenschor	21	C59
9	Groot Rietveld	22	Opgespoten MIDA's (Aufgeschüttete MIDA (zeitweilige Ausgleichsgebiete))
10	Rietveld Kallo	23	Gedempt Doeldok (Zugeschüttetes Doeldok)
11	R2-driehoek	24	Vlakte van Zwijndrecht (Flachland von Zwijndrecht)
12	Haasop (nur permanenter Teil dargestellt)	25	Verrebroekse Plassen (Seen von Verrebroek)
13	Watergangen		

Für einige der zu schaffenden Lebensräume gibt es jedoch noch offene Erhaltungsziele, für die zusätzliche Gebiete geschaffen werden müssen. So müssen beispielsweise bis zu 200 zusätzliche Hektar für Arten der Gruppe „Riet en water“ (Schilf und Wasser) entwickelt werden, wenn sich herausstellt, dass die Ziele für diese Artengruppe mit den sonstigen Gebieten nicht erreicht werden können. In diesem Fall werden die Gebiete Nieuw Arenbergpolder Phase II und Prosperpolder Zuid Phase II erschlossen. Auch für die Arten der Gruppen „Natuurweide zoet/zilt“ (Naturwiese süß/salzig) und „Begraasd schor“ (Beweidete Salzwiese) werden weitere 250 ha an Lebensraum benötigt. Zu diesem Zweck werden (teilweise) die Gebiete Prosperpolder Noord und Doelpolder Midden entwickelt.

Neben den für die Verwirklichung der Erhaltungsziele erforderlichen Gebiete ist auch zu berücksichtigen, dass Gebiete ausgewiesen und entwickelt werden müssen, wenn Hafenprojekte zu einem Verlust bestehender Naturwerte führen.

Wie bereits erwähnt, wird das Verschwinden bestimmter zeitweiliger Naturausgleichsflächen zwangsläufig zu einem neuen Bedarf an der Realisierung eines Naturausgleichs an anderer Stelle führen. Das Projekt „Extra Containercapacität Antwerpen“ (ECA) kommt einem dabei als erstes in den Sinn.

Vor kurzem wurde auch eine Analyse durchgeführt, um festzustellen, welche Teile des Hafengebiets im Hinblick auf die Erreichung der Naturziele noch von besonderer Bedeutung sind (Goovaerts & Indeherberg, 2020). Bei bestimmten Hafenausbauprojekten führt dies zwangsläufig zur Durchführung eines entsprechenden Naturausgleichs.

Bei den meisten dieser Projekte ist jedoch noch nicht ganz klar, wo diese Kompensationen stattfinden werden. Sicher ist, dass die zeitweiligen Gebiete „Gedempt Doeldok“, „C59“, „Opgespoten MIDA's“ und „Vlakte van Zwijndrecht“ verschwinden werden und dass die natürlichen Werte, die hier für die Arten der Surrogatküste auftreten, auf Höhe von Prosperpolder Zuid kompensiert werden.

Eine Übersicht über alle derzeit bekannten neuen Naturgebiete, die voraussichtlich entweder zur Erreichung von Erhaltungszielen oder im Rahmen des Naturausgleichs entwickelt werden müssen, ist in Abbildung 40 dargestellt.

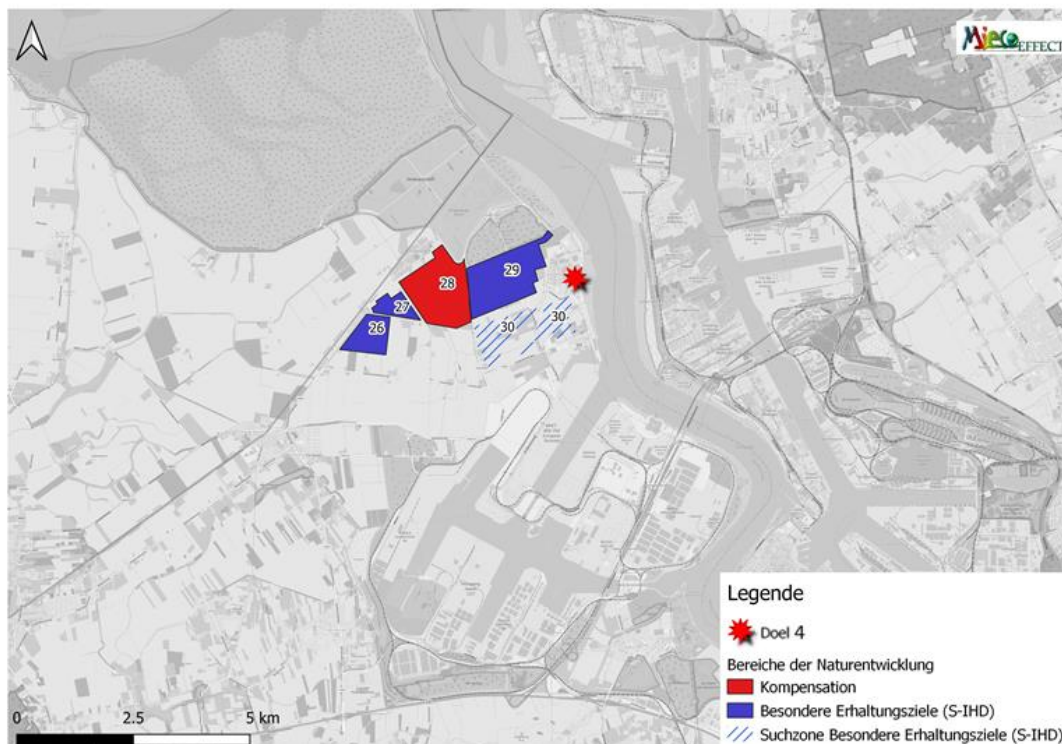


Abbildung 40: Zukünftige Naturentwicklungsgebiete.

Tabelle 24: Nummerierung der zukünftigen Naturentwicklungsgebiete.

Nr.	Gebiet	Grund für die Entwicklung
26	Nieuw Arenbergpolder Phase II	BEZ „Riet en water“ (Schilf und Wasser)
27	Prosperpolder Zuid Phase II	BEZ „Riet en water“ (Schilf und Wasser)
28	Prosperpolder Zuid Phase I	Ausgleich verschwinden Gedempt Doeldok, MIDA + C59 und Vlake van Zwijndrecht für ECA-Projekt
29	Doelpolder Midden	S-IHD „Natuurweide zoet/zilt“ (Naturwiese süß/salzig) und „Begraasd schor“ (Beweidete Salzwiese)
30	Doelpolder Zuid	Forschungsgebiet BEZ Nahrungsgebiet der Rohrweihe, evtl. auch Ausgleich für Nahrungsgebiet der Rohrweihe

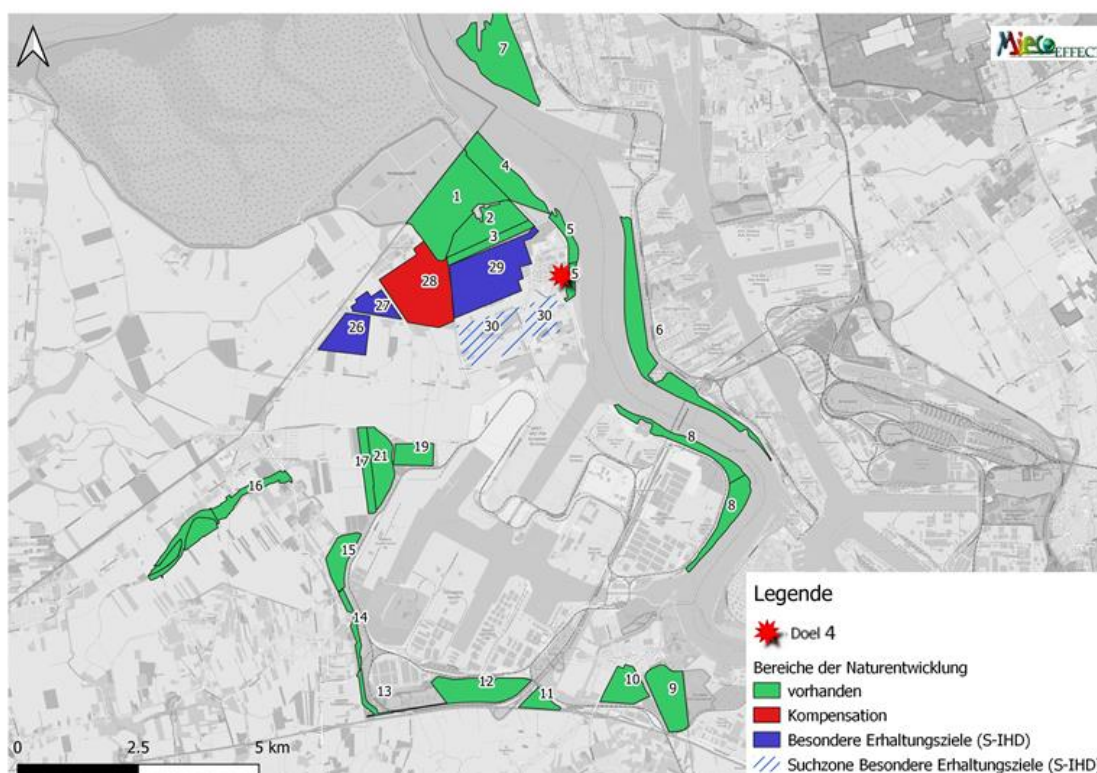


Abbildung 41: Endbild der Naturentwicklung, soweit bekannt und auf Basis des noch nicht geklärten Naturausgleichs.

Gebiete des Flämischen Ökologischen Netzes (VEN)

Teile des BSG sind auch auf flämischer Ebene zusätzlich als Schutzzone ausgewiesen und damit Teil des VEN (siehe auch Abbildung 38). Die relevantesten VEN-Gebiete in der Nähe des Plangebiets sind „de Wase Scheldepolders“ (Die Waas-Schelde-Polder) und „de slikken en schorren langs de Schelde“ (Die Schlick- und Salzwiesen entlang der Schelde). Beide Gebiete werden im Folgenden kurz beschrieben.

„Wase Scheldepolders“ (Code: 204)

In diesem Bereich finden wir verschiedene Arten von Prielen, Deichen oder schwimmenden Inseln, Kolken und erhöhtes Terrain. Die strukturbestimmenden Elemente sind zwei Priele (Überreste eines alten Prielsystems marinen Ursprungs), einige Kolke (manchmal mit der Bildung von schwimmenden Inseln bei der Verlandung, wie z. B. Het Panneweel), Deiche (angelegt bei der Landgewinnung), schwimmende Inseln (wenn ein Deich nach einem Bruch repariert wird, angelegt um den gebildeten Kolk), höher gelegene Gebiete („kreekrug“, zu Deutsch in etwa: Prielrücken), feuchtes tiefer liegendes Grasland im Prieltal und der Groot Rietveld-Komplex.

Die beiden Priele sind der Süßwasser-Priel-Komplex von Saleghem (Grote Geule) und der leicht brackige Priel „De Grote Geule“ bei Kieldrecht. Beide sind über das Naturgebiet „De Kieldrechtse Watergang“ verbunden. Besondere Pflanzenarten in diesem Priel-Komplex sind Sumpffarn, Binsenschneide, Punktierte Segge und Späte Gelb-Segge.

Das Groot Rietveld befindet sich im Melselepolder, einem erhöhten, gebrochenen Polder. Hier finden wir ein großes Schilffeld mit Seen, grasigen und sumpfigen Teilen. Diese Vegetation und die verschiedenen Übergänge (in Bezug auf Feuchtigkeit und Salzgehalt) bieten einen geeigneten Lebensraum für eine große Anzahl seltener Pflanzen und Vögel.

Wir finden Arten von Ufern und Sümpfen und Pflanzen von salzhaltigen Umgebungen wie Strand-Aster und Bodden-Binse. Das Gebiet stellt auch eine Verbindung zwischen den Watten, Salzwiesen und Feuchtwiesen entlang der Schelde und den Naturkernen im Zandstreek dar. Bemerkenswerte Brutvogelarten sind der Säbelschnäbler, die Rohrweihe, die Rohrdommel, die Rohrammer, der Rohrschwirl, der Schilfrohrsänger, die Bartmeise und das Blaukehlchen.

Es ist ein wichtiges Gebiet für durchziehende oder überwinternde Arten wie Goldregenpfeifer, Kampfläufer, Blässgänse, Graugänse, Brandgänse und Schnatterenten.

„Slikken en schorren langsheen de Schelde“ (Code: 304)

Der Wasserweg der Schelde und die angrenzenden Watt- und Salzwiesen haben mit ihrer hochdynamischen Gezeitenwirkung einen sehr hohen ökologischen Wert. Die hohe natürliche Produktivität des Ökosystems sorgt für viele Arten, die oft in großer Zahl vorhanden sind. Wichtig ist der Übergang von Salz-, über Brack- zu Süßwasser in der Gezeitenzone. Das Vorkommen von Süßwasser-Salzwiesen ist einzigartig in Flandern. Auch anderswo in Europa sind sie extrem selten.

Ein paar größere Naturgebiete (Verdrongen land van Saeftinghe, Groot Buitenschoor, Galgenschoor) bilden den Kern des natürlichen Systems. Die dazwischen liegenden – eher schmalen – Uferzonen sind sehr wichtige Verbindungen. Sicherheit (Wasserspeicherung) und Transport sind mit der Hauptfunktion Natur vereinbar. Auch die Erholung kann mit einbezogen werden.

Bemerkenswerte Arten sind der Säbelschnäbler, Steinbeißer, das Flussneunauge, der Nördliche Kammolch, der Große Odermennig, der Zwerg-Gauchheil, die Bienen-Ragwurz, das Rundblättrige Wintergrün und der Kleine und der Große Frauenspiegel. Es ist ein wichtiges Gebiet für rastende oder überwinternde Arten wie Goldregenpfeifer, Kampfläufer, Saatgänse, Blässgänse, Graugänse, Brandgänse, Schnatterenten und Löffelenten.

ASP

Der Artenschutzplan sieht die Möglichkeit vor, ein Artenschutzprogramm zu erstellen. Ein solches Programm wird in Absprache mit den betroffenen Zielgruppen erstellt und enthält eine Reihe von Maßnahmen, die sicherstellen sollen, dass eine Art (oder mehrere Arten) innerhalb Flanderns in einem günstigen Zustand verkehrt (/verkehren).

Ein Artenschutzprogramm kann sowohl für in Europa zu schützende Arten als auch für andere, für Flandern wichtige Arten erstellt werden. Anhand einer Reihe von Kriterien wird eine Priorisierung der Arten vorgenommen, für die ein Artenschutzprogramm erstellt werden muss. Dabei werden der Rote-Liste-Status und der Flächenbedarf der Arten

berücksichtigt, ebenso wie die Notwendigkeit ökologischer Verbindungen und ob auch andere Arten von den Schutzmaßnahmen profitieren können.

Mit Ministeriellem Erlass vom 23. Mai 2014 wurde das „Artenschutzprogramm Antwerpener Hafen“ festgelegt, das sich auf 90 geschützte Arten in der Hafenumgebung konzentriert. Für eine Reihe von „Schirmarten“ wurde ein individueller Artenschutzplan (IASP) ausgearbeitet, der eine Reihe von Bestimmungen und Maßnahmen umfasst. Derzeit wird dieses ASP im Hinblick auf eine mögliche Fortsetzung im Zeitraum 2019-2024 evaluiert. Wahrscheinlich ist eine bessere Koordination mit den anderen ASP auf flämischer Ebene geplant, und die Erhaltungsziele für die BSG auf flämischer Ebene werden ebenfalls stärker berücksichtigt. Die Zielvorgaben für die verschiedenen Tier- und Pflanzenarten sollen dabei noch besser aufeinander abgestimmt werden. Da dieser Prozess jedoch noch im Gange ist, ist der einzige Bezugspunkt das ASP, wie es heute vorliegt.

Ziel des Artenschutzprogramms für den Hafen Antwerpen ist es, die im Hafengebiet vorkommenden Tier- und Pflanzenarten aktiv zu schützen, damit ihre Populationen nachhaltig erhalten werden können.

Die verschiedenen Schutzmaßnahmen sind an 14 sogenannten Schirmarten aufgehängt. Diese sind so gewählt, dass Maßnahmen, die für diese Arten ergriffen werden, auch anderen Arten der Lebensgemeinschaften zugute kommen.

Die meisten ASP sind für diese UVP von geringer Relevanz bzw. die Standorte, die im ASP von Belang sind, sind bereits Teil eines Schutzgebietes, sodass die Auswirkungen sowieso untersucht werden. Es ist jedoch erwähnenswert, dass auf dem Kühlturm seit 1996 ein Nistkasten für Wanderfalken angebracht ist, in dem regelmäßig Wanderfalken brüten.

Es ist anzumerken, dass eine neue Version des Artenschutzprogramms für den Hafen von Antwerpen derzeit als Folgemaßnahme zur ersten Version dieses ASP genehmigt wird.

Biologische Qualitätselemente

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die in Flandern im Dekret Integrale Wasserpolitik (DIW) umgesetzt wurde, schreibt vor, dass Oberflächengewässer nicht nur auf ihre chemische, sondern auch auf ihre biologische Qualität anhand sogenannter biologischer Qualitätselementen untersucht werden müssen. Die Bewertung muss für jedes (biologische) Qualitätselement als ökologischer Qualitätskoeffizient (ÖQK) ausgedrückt werden. Er kann ein Wert zwischen 0 und 1 sein, wobei 1 für einen sehr guten und 0 für einen sehr schlechten ökologischen Zustand steht.

Der Wasserkörper Seeschelde IV (VL17_43), aus dem das Kernkraftwerk sein Kühlwasser entnimmt und in den es dieses Wasser und das Abwasser einleitet, ist ein stark veränderter Wasserkörper des Übergangswassertyps O1brak (brackiges makrotides Tiefland-Ästuar). Die biologischen Qualitätselemente, die bewertet werden, sind Makrophyten, Makroinvertebraten und Fische. Die Qualitätselemente Phytoplankton und Phytobenthos werden hier nicht bewertet.

Bei der letzten Bewertung im Jahr 2018 wurde der Wasserkörper mit „unzureichend“ für Makrophyten, „mäßig“ für Makroinvertebraten und „gut“ für Fische bewertet.

Neben den biologischen Qualitätselementen ist auch der Maßstab der Hydromorphologie für die Disziplin der biologischen Vielfalt relevant. Der ÖQK Hydromorphologie wird für den Wasserkörper Seeschelde IV auf der Grundlage der so genannten Physiotope Watten, Salzwiesen und Flachwasser berechnet. Bei der letzten Bewertung war die Note für diesen Maßstab „unzureichend“.

MONEOS

In der Flämisch-Niederländischen Scheldekommission (VNSC) setzen sich Flandern und die Niederlande gemeinsam für ein nachhaltiges und vitales Schelde-Ästuar ein. Innerhalb der Arbeitsgruppe Forschung und Methodik der VNSC wurde ein langfristiges Monitoring- und Forschungsprogramm zur Unterstützung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit in Politik und Bewirtschaftung im Schelde-Ästuar vereinbart: MONEOS. Dieses Überwachungsprogramm wurde so konzipiert, dass es einerseits die Ziele verschiedener politischer

Rahmenbedingungen erfüllt und andererseits einen Einblick in die Funktionsweise des Schelde-Ästuars und die Auswirkungen von Eingriffen/Maßnahmen in das System geben kann. Das Programm baut auf bestehenden Überwachungsaktivitäten auf und strebt eine grenzüberschreitende Integration und Abstimmung an.

Eine der Messstellen des MONEOS-Programms (VMM-Messstelle 154100) befindet sich unmittelbar stromabwärts des Kernkraftwerkes. An dieser Stelle werden sowohl die allgemeine Wasserqualität als auch die Makroinvertebraten überwacht. Die Qualität des Wasserbodens wird ebenfalls mit der TRIADE-Methode bewertet. Diese Methode integriert die Ergebnisse von chemischen, biologischen und ökotoxikologischen Analysen.

Die Zusammensetzung der Makroinvertebraten-Gemeinschaft im Schlamm unterscheidet sich stark von der der anderen Messstellen im MONEOS-Programm. Arten, die weiter stromaufwärts nicht vorkommen, sind in dieser Zone zu finden und mehrere Arten erreichen ihre höchsten Dichten und Biomassen. Die Haupteklärung dafür ist der Salzgehalt. Die Messstelle auf Höhe von Doel ist in der Tat die einzige Messstelle in der mesohalinen Zone, was bedeutet, dass hier mehr Arten vorkommen können als in der oligohalinen Zone, die generell eher artenarm ist (Van de Meutter et al, 2020).

Die TRIADE-Überwachung zeigt vor allem, dass sich die Qualität des Wasserbodens seit 2007 deutlich verbessert hat (Tabelle 25). Von einer sehr schlechten Qualität (Wert 4) ist die Qualität nun schlecht (Wert 3) bis mäßig (Wert 2). Bei der letzten Messung wurde ein guter Wert (1) erreicht.

Tabelle 25: Ergebnisse der TRIADE-Überwachung am VMM-Messpunkt 154100.

Datum	Triade abschließende Bewertung	Triade Bewertung Physikalische Chemie	Triade Bewertung Ökotoxikologie	Triade Bewertung biologie
1/08/2001	4	3	3	2
14/04/2003	4	3	4	4
18/04/2007	3	2	2	4
28/04/2010	2	2	2	1
8/05/2014	3	3	1	3
7/12/2015				
23/01/2017	2	3	1	1
13/02/2019		1	1	

Vegetationen und Lebensräume

Die biologische Bewertungskarte (Version 2020) gibt ein Bild der wertvollen und weniger wertvollen Vegetationen in unmittelbarer Nähe des Plangebiets (Abbildung 42). Die wertvollen Vegetationen befindet sich hauptsächlich in der Nähe der Schlick- und Salzwiesengebiete der Schelde und auf den Deichen.

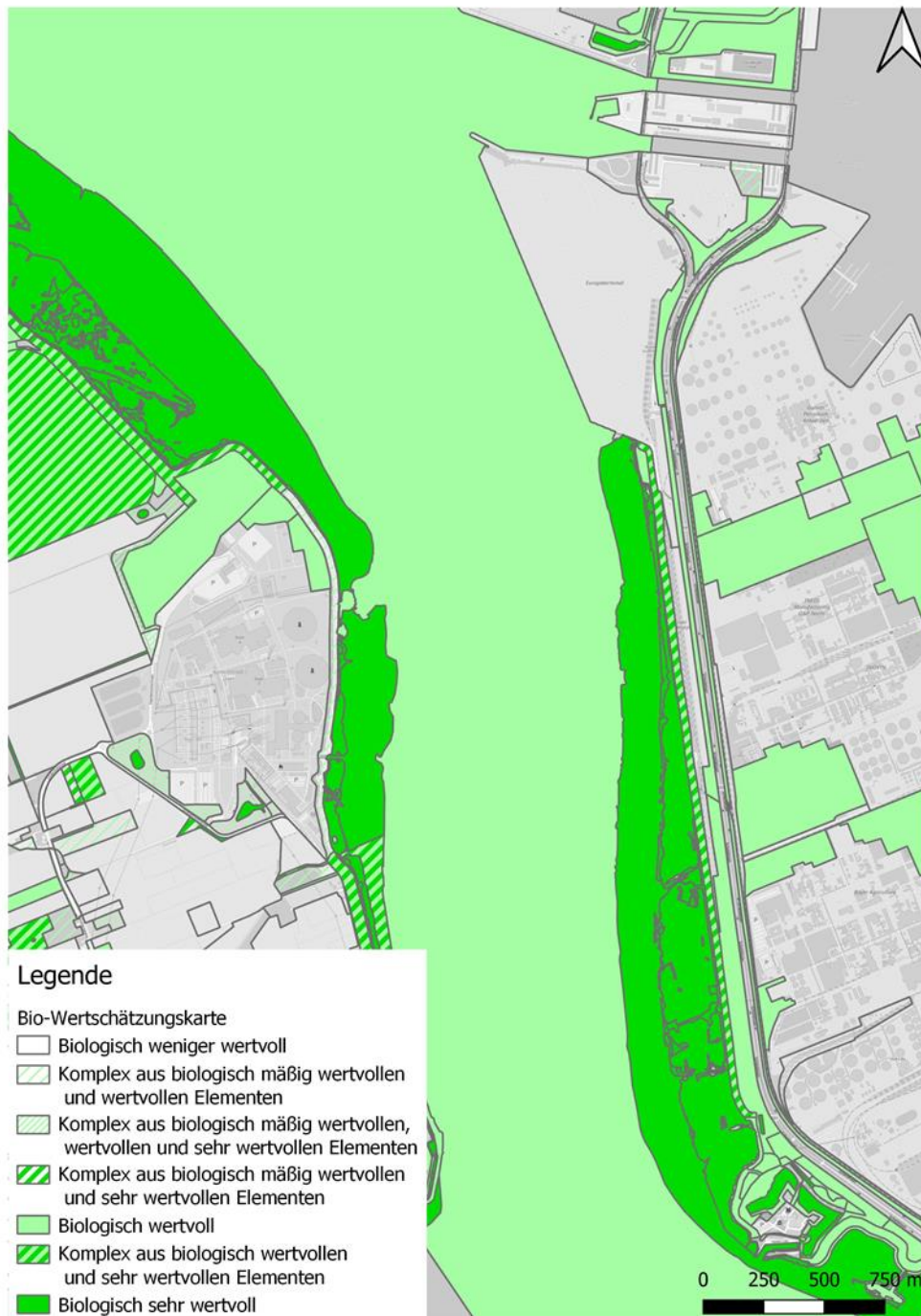


Abbildung 42: Biologische Bewertungskarte (Version 2020) in unmittelbarer Nähe des Projektgebietes.

Ein großer Teil dieser wertvollen Vegetationen wird auch als europäische Lebensraumtypen bezeichnet (Abbildung 43). Die Fahrrinne der Schelde ist als Lebensraumtyp 1130 ausgewiesen (Ästuarien). Die Salzwiesenvegetationen werden als 3130_{da} (Atlantische Salzwiesen) bezeichnet, die wertvollen Grünlandflächen an den Deichen als Lebensraumtyp 6510 (Magere Flachland-Mähwiesen). Die Gebiete in der Nähe des Standortes, die in der Biotopkarte als „Teillebensraum“ eingefärbt sind, betreffen überwiegend Vegetationen des regional bedeutsamen Biotops „rbbmr“ (Röhricht).

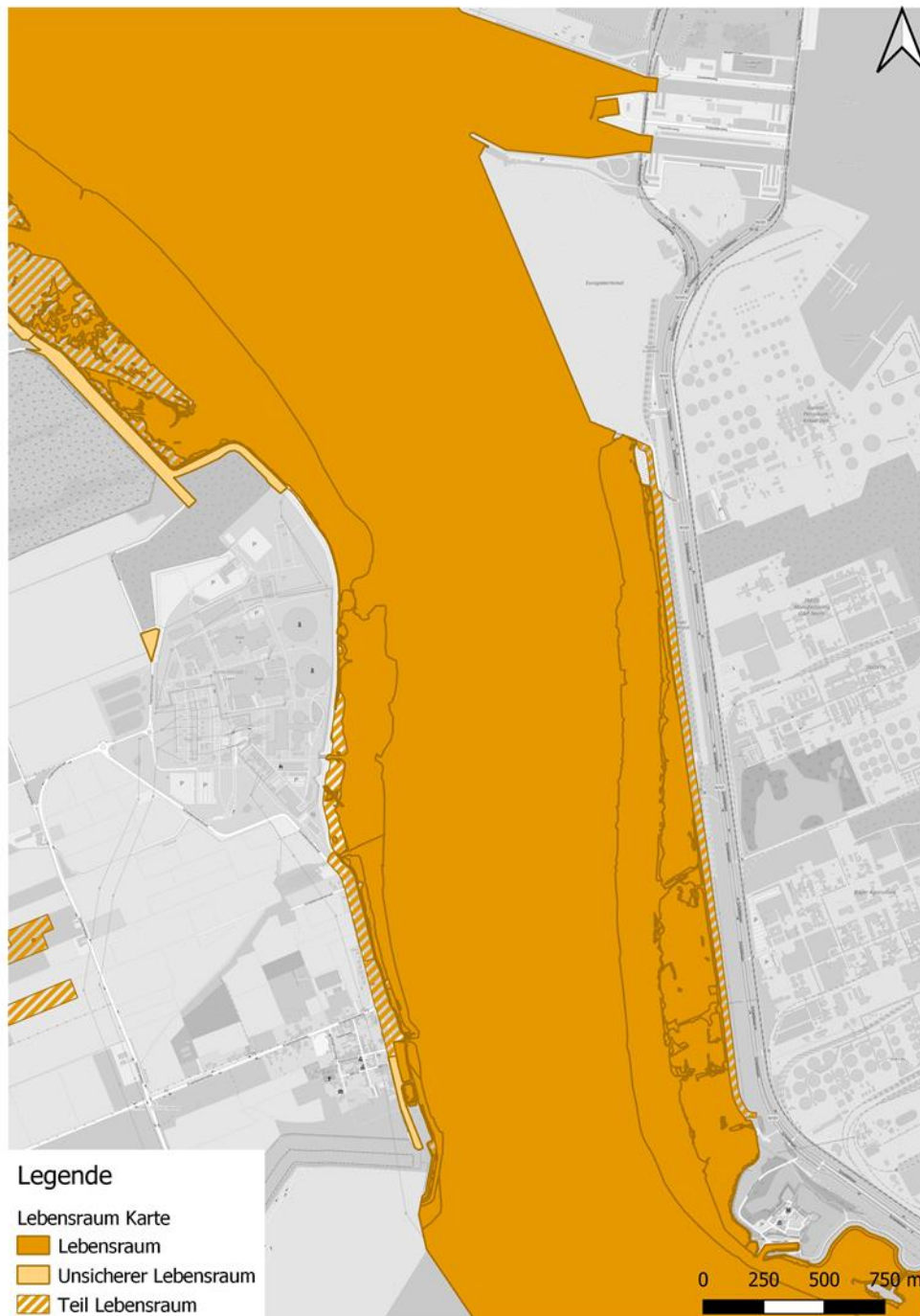


Abbildung 43: Lebensraumkarte in unmittelbarer Nähe des Projektgebiets.

Neben den aktuellen Lebensräumen sind auch die vorläufige Forschungsgebiete von Bedeutung. Nach dem Naturdekret, Art. 2 (Definitionen), 70° ist ein Forschungsgebiet:

„Ein Gebiet, in dem für jede zu schützende europäische Art und für jeden zu schützenden europäischen Lebensraum der Perimeter angegeben ist, der im Hinblick auf eine optimale Verwirklichung der Erhaltungsziele für das betreffende besondere Schutzgebiet gesichert wird. Die Größe des Forschungsgebiets richtet sich nach der Fläche, die erforderlich

ist, um den noch ausstehenden Ausgleich des Ziels für den jeweiligen zu schützenden europäischen Lebensraum oder die Art zu erreichen."

Ein Erhaltungsziel wird nur dann „gesetzt“, wenn die Einrichtung und Bewirtschaftung der betreffenden Parzelle in einem Naturbewirtschaftungsplan oder einer gleichwertigen vertraglichen Vereinbarung zwischen der flämischen Regierung und dem Bewirtschafter/Eigentümer vereinbart wurden. Solange ein Teil des Ziels nicht aufgenommen wurde, bleibt in dem betreffenden Gebiet für einen Lebensraum, in dem der Lebensraumtyp als Ziel festgelegt wurde, das Vorhandensein eines Forschungsgebiets bestehen.

Für die Umgebung des Plangebiets wurde die gesamte Schelde (einschließlich Salzwiesen) als Suchgebiet für den Lebensraumtyp 1130 (Ästuarien) eingefärbt.

3.3.5 Beschreibung der Auswirkungen

Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer

Der Betrieb der Kernkraftwerke kann sich auf verschiedene Weise auf die in der Schelde vorhandenen Organismen auswirken. Es wird zwischen Sanitärabwasser/Regenwasser, Industrieabwasser und Kühlwasser unterschieden. Alle diese Einleitungen werden in der Projekt-UVP (Arcadis, 2021) ausführlich erörtert, und ihre Auswirkungen auf die Wasserqualität werden in dieser UVP auch in der Disziplin Wasser erläutert.

Bei den meisten Parametern wird die Einleitungsnorm erfüllt. Bei den Parametern Nitrit und AOX (adsorbierbare organische Halogenverbindungen) wurden jedoch Überschreitungen der Einleitungsnorm gemessen, die sich nicht ohne weiteres z. B. durch Messfehler oder einmalige Ausreißer erklären lassen. Bei Betrachtung des gesamten Wasserkörpers scheint es keine Überschreitung der Umweltqualitätsnormen zu geben. Was die thermische Auswirkung des Kühlwassers betrifft, so wurden zwar die Einleitungsnormen eingehalten, aber die Auswirkungen auf die Schelde führten lokal zu einer Überschreitung der Umweltqualitätsnormen. Die größte Auswirkung der Einleitungen ist in jedem Fall auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt.

Dabei ist jedoch anzumerken, dass es nur eine einzige Einleitstelle für alle vier Kernkraftwerke gibt. Dies bedeutet auch, dass keine strikte Unterscheidung zwischen den Einleitungen von Doel 4 und denen der anderen, zum Zeitpunkt der anderen Messungen noch in Betrieb befindlichen Kraftwerke getroffen werden kann. Der Beitrag von Doel 4 zu den Gesamteinleitungen wird auf der Grundlage der Umweltberichte auf 30 % geschätzt.

Eutrophierung

Die Einleitungsnormen für Nitrit wurden in den Jahren 2013-2014 nicht eingehalten und die Werte im Zeitraum 2015-2019 sind ähnlich. Der Beitrag zur Umweltqualitätsnorm für den gesamten Wasserkörper ist jedoch gering. Für den gesamten Wasserkörper werden die Nährstoffparameter Nitrat + Nitrit + Ammonium und Orthophosphat überschritten. Auch bei diesem Parameter ist der Beitrag der Kernkraftwerke im Durchschnitt sehr gering.

Bei diesen Parametern sind jedoch nicht nur die Durchschnittswerte wichtig, auch Spitzenbelastungen können eine große Auswirkung haben. Ein Teil der Erklärung für die höhere Einleitung findet sich im suboptimalen Betrieb der Wasseraufbereitungsanlage, in der zu viel Wasser landet, wodurch das Wasser häufig überläuft. Es ist daher mit Spitzenbelastungen zu rechnen.

Im Prinzip kann sich die erhöhte Nährstoffbelastung also lokal, auf Höhe des Bereichs innerhalb des Leitdamms, auswirken. Bei höheren Nährstoffwerten kann es zu Verschiebungen innerhalb der Artengemeinschaften kommen, da schnell wachsende Arten bevorzugt werden. Dies geht jedoch z. B. aus den Überwachungsergebnissen des MONEOS-Programms nicht hervor, in denen die Zone in der Nähe der Kernkraftwerke sehr artenreich ist. Wie bereits erwähnt, ist der Grund für diese Artenvielfalt eher im Salzgehalt zu suchen, der in diesem Bereich günstiger ist als in anderen Teilen der Schelde.

Außerdem war die Schelde bis vor nicht allzu langer Zeit stark verschmutzt, was zum Teil an der fehlenden Wasseraufbereitung für das aus Brüssel stammende Abwasser lag. Die Wasserqualität verbessert sich also noch und

es gibt keine guten Referenz für die Artenvielfalt, die bei guter Wasserqualität erreicht werden könnte (mündl. Kommunikation mit F. Van de Meutter, INBO). Darüber hinaus wirken sich viele andere Faktoren auf die Populationen aus, wie z. B. der ungünstige hydromorphologische Zustand der Schelde.

Aufgrund der Komplexität der Faktoren, die sich auf die Populationen innerhalb des Leitdamms auswirken, ist es unmöglich zu wissen, ob die Einleitungen hier lokal einen signifikanten Einfluss haben. Ein direkter toxischer Einfluss von erhöhten Nitritkonzentrationen kann jedoch ausgeschlossen werden. Für den gesamten Wasserkörper sind nur geringe Auswirkungen durch Einleitungen zu erwarten.

AOX

Eine ähnliche Analyse kann für die AOX-Konzentrationen durchgeführt werden. Die erhöhten AOX-Konzentrationen im eingeleiteten Wasser sind eine Folge von Produkten, die dem Kühlwasser zugesetzt werden, um das Wachstum von Organismen in den Rohren zu verhindern (Biofouling). Auch hier ist der Beitrag zur Umweltqualitätsnorm für den gesamten Wasserkörper vernachlässigbar, aber theoretisch kann es eine Auswirkung auf Höhe des Gebiets innerhalb des Leitdamms geben.

Da die TRIADE-Bewertung des Gewässerbodens stromabwärts der Einleitungsstelle jedoch keine Auswirkungen zeigt, können signifikante ökotoxikologische Auswirkungen ausgeschlossen werden. Aber auch hier ist es schwierig zu sagen, ob es keine negativen Auswirkungen gibt, da sich die Wasserqualität noch verbessert und es keine Referenz gibt, mit dem der wirklich guten Zustand bestimmt werden kann.

Temperatur

Veränderungen in den thermischen Verhältnissen können das Ökosystem auf verschiedene Arten beeinflussen. Eine direkte Folge kann eine Sterblichkeit aufgrund tödlicher Temperaturen sein. Für empfindliche Arten wie die Meerforelle und den Stint liegt die Temperatur, bei der eine Mortalität auftritt, bei 26-27 °C bzw. 26-29 °C (Kerkum et al., 2004). Bei über 33-34 °C bekommen auch verschiedene Arten von Makroinvertebraten (Flohkrebse, Asseln), Zooplankton, Phytoplankton und Kieselalgen Schwierigkeiten (Kerkum et al., 2004). Solche Bedingungen kommen hauptsächlich lokal vor. Auf regionaler Ebene wirkt sich der Temperaturanstieg auch auf die Ökologie aus, indem er Verschiebungen im Ökosystem hervorruft: Die Lebenszyklen der Organismen werden gestört, was zu einem „Mismatch“ bei der Wahl des richtigen Zeitpunkts der Lebensphasen führt. Bei Temperaturen über 20 °C sind bereits Verschiebungen in den Phytobenthosgemeinschaften zu beobachten. Eine Reihe von Fischarten (wie u. a. der Stint und der Kaulbarsch) benötigen eine Wassertemperatur von < 10 °C während der Laichzeit (Winter/Frühjahr). Wird diese Temperatur nicht erreicht, so stagniert die Reproduktion.

Ein weiterer Effekt, der sowohl lokal als auch regional von Bedeutung ist, ist das Auftreten von exotischen Arten, die, um den Winter zu überleben, in wärmere Gefilden ziehen (vor allem lokal) und dann die natürliche Lebensgemeinschaft im Sommer beeinflussen (auch regional). Charakteristische Makroinvertebraten- und Fischarten können dabei verdrängt werden. Und schließlich kann sich in wärmerem Wasser weniger Sauerstoff lösen, wodurch es schneller zu einem Sauerstoffmangel kommt und kritische Arten verschwinden (Evers, 2007).

Die Untersuchung der Kühlwasserfahne (siehe Disziplin Wasser) hat gezeigt, dass in kurzer Entfernung von der Einleitungsstelle (max. 1.050 m) die durchschnittliche Temperatur des Scheldewassers um mehr als 3 °C ansteigen kann. Dieser Effekt ist nur innerhalb des Leitdamms zu beobachten. Temperaturerhöhungen zwischen 1 °C und 3 °C scheinen bei Ebbe und beim Stillstand bei Niedrigwasser bis maximal 1.300 m von der Einleitungsstelle entfernt aufzutreten, also noch innerhalb des Leitdamms. Bei Flut tritt außerhalb des Leitdamms bis maximal 500 m Entfernung von der Einleitungsstelle in östliche Richtung und bis maximal 800 m stromaufwärts der Einleitungsstelle eine Temperaturerhöhung zwischen 1 °C und 3 °C auf. Die Größe der Wärmefahne ist beim Stillstand bei Niedrigwasser am größten. Die Zone, die durch eine Temperatur von mehr als 25 °C begrenzt wird, befindet sich vollständig innerhalb des Leitdamms. Dabei ist zu betonen, dass kein Unterschied zwischen dem Kühlwasser aus Doel 4 und dem aus den drei anderen Kernkraftwerken, die zu diesem Zeitpunkt noch alle in Betrieb waren, gemacht werden kann.

Messungen in der Kühlwasserfahne zeigen, dass es keine Sauerstoffverarmung des Scheldewassers durch die Einleitung von warmem Kühlwasser gibt, sondern eher eine leichte Anreicherung (wenn das Kühlwasser den Kühlprozess durchfließt, wird das Wasser stark belüftet).

Für Fische wurden 2012 und 2013 Untersuchungen des INBO durchgeführt (Breine & Van Thuyne, 2012 und 2013). Sie untersuchten den Fischbestand innerhalb und außerhalb des Leitdamms. Die Studie ergab keinen Unterschied bezüglich des Vorkommens exotischer Arten. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Gebieten war, dass es innerhalb des Leitdamms mehr Fische gab. Einige Arten nutzen den aufgewärmten Bereich innerhalb des Leitdamms als Aufzuchtgebiet.

Die Studie zeigte jedoch eine erhöhte Abundanz von wärmeliebenden einheimischen Arten (Wolfsbarsch und Seezunge) innerhalb des Leitdamms. Neben Fischen wurden auch Garnelen und Krebse gefangen, wie z. B. japanische Sägegarnelen, Sägegarnelen, Nordseegarnelen und chinesische Wollhandkrabben. Diese halten sich hauptsächlich innerhalb des Leitdamms auf.

Auswirkungen auf die Populationen von Makroinvertebraten, Phytobenthos und Phytoplankton wurden nicht untersucht. Innerhalb dieser Populationen ist zu erwarten, dass es zu lokalen Verschiebungen kommt, die weniger empfindliche oder wärmeliebende Arten gegenüber anderen, möglicherweise typischeren Arten bevorzugen. Die meisten dieser Auswirkungen werden jedoch nur lokal auf der Höhe des Leitdamms auftreten und den Rest des Flusssystems nicht beeinflussen. Außerdem ist dieser Bereich der Schelde mit ihrem unterschiedlichen Salzgehalt sehr artenarm. Schließlich gibt es nur wenige Arten, die unter diesen spezifischen Bedingungen gedeihen können. Die Chance auf signifikante Verschiebungen in der Artenzusammensetzung ist hier daher auch geringer als in anderen Systemen.

In ihrer Stellungnahme über mögliche Überwachungsuntersuchungen in der Nähe der Kühlwasserfahne geben Van den Bergh et al. (2012) jedoch an, dass es für Makroinvertebraten Hinweise darauf gibt, dass in der Nähe des Kernkraftwerks mehr exotische Arten vorkommen. Einige Arten wurden zuerst in der Nähe des Kernkraftwerks entdeckt, andere kommen nur dort in der Schelde vor, während einige eine größere Verbreitung haben. Aufgrund dieser Beobachtungen vermuten sie, dass das Vorhandensein dieser Arten darauf hindeutet, dass die thermische Verschmutzung einen lokalen Nährboden für exotische Arten darstellen könnte. Es besteht immer die Gefahr, dass Arten einen invasiveren Charakter entwickeln (z. B. durch Kälteanpassung) und sich weiter ausbreiten. Da viele Arten planktonische Larvenstadien besitzen, kann diese Ausbreitung sehr schnell und weitreichend sein. In anderen Übersichten über die Makroinvertebraten-Gemeinschaft in der Schelde (Speybroeck et al., 2014) oder über das Vorkommen exotischer Arten im Allgemeinen (Adriaens et al., 2020) wird das Vorhandensein exotischer Arten nicht mit dem Vorhandensein des Kernkraftwerks in Verbindung gebracht, sondern mit der Einleitung von Ballastwasser von Schiffen im Hafen und dem Vorhandensein von künstlichen harten Ufersubstraten.

Da die Einleitung künftig nur noch auf das Kühlwasser von Doel 4 beschränkt sein wird und dieses nur noch 30 % der früheren Einleitungsmenge ausmacht, ist davon auszugehen, dass die künftigen Auswirkungen ohnehin viel geringer ausfallen werden als bisher Fall während der Messkampagnen. Da die Auswirkungen der thermischen Einleitung bisher auf die Zone innerhalb des Leitdamms beschränkt waren und keine eindeutigen Auswirkungen auf das Vorkommen exotischer Arten zu verzeichnen waren, ist davon auszugehen, dass dies aufgrund des erweiterten Betriebs von Doel 4 nicht der Fall sein wird. Die Auswirkung ist begrenzt.

Indirekte Auswirkungen auf Vögel

Die Auswirkungen der Einleitungen auf die Wasserqualität könnten möglicherweise auch indirekte Auswirkungen auf die Vögel des BSG-V haben. Viele dieser Arten suchen ihre Nahrung im Schlickwatt der Schelde. Eine signifikante Auswirkung auf Makroinvertebraten oder Fische in der Schelde oder im Schlickwatt hinter dem Leitdamm kann daher Folgen für die Verfügbarkeit von Nahrung für Vögel haben.

Die Ausbreitung des Einleitungswassers in der Schelde ist schwierig zu modellieren. Aus der Überwachung der thermischen Belastung lässt sich jedoch ein Bild der zu erwartenden Ausbreitung gewinnen. Diese Überwachung

zeigt, dass die Auswirkung weitgehend auf das Gebiet innerhalb des Leitdamms beschränkt ist. Wichtiger ist jedoch noch, dass sich die Fahne nur bei ablaufendem Wasser stromabwärts der Einleitungsstelle erstreckt. Zu diesem Zeitpunkt ist der Schlamm trocken und der Einfluss ist gering. Bei Stillstand und bei steigender Flut liegt die Fahne stromaufwärts der Einleitungsstelle und hat daher auch wenig Einfluss auf das Schlickwatt, das zu dieser Zeit unter Wasser steht. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass die Auswirkungen der Einleitungen auf die Organismen im Schlickwatt eher begrenzt sind.

Bei Fischen, die als Nahrung für bestimmte (fischfressende) Vogelarten wichtig sein können, könnten die Auswirkungen jedoch möglicherweise größer. Die Ergebnisse der Überwachung durch die INBO zeigen jedoch, dass gerade innerhalb des Leitdamms mehr Fische vorkommen als außerhalb.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die Auswirkungen der Einleitungen auf die Verfügbarkeit des BSG-V für Vögel begrenzt sind.

Barrierefunktion

Eine Studie von Aqua Terra (Kikkert & Beers, 2006) hat gezeigt, dass strömungsliebende Fische durch die Wassertemperatur in ihrer Wanderung beeinträchtigt werden, wenn die Temperatur 23 °C überschreitet. Fische scheinen jedoch gut in der Lage zu sein, erhöhte Temperaturen zu erkennen und zu vermeiden.

Die Untersuchung der Kühlwasserfahne (siehe Disziplin Wasser) zeigt, dass diese auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt ist. Somit wird ein erheblicher Teil der Flussbreite nicht beeinträchtigt, sodass keine Barriere für wandernde Fischarten entsteht.

Auch für andere Auswirkungen und Artengruppen bietet die Tatsache, dass nur ein Teil der Breite der Schelde betroffen ist, ausreichende Garantien, dass keine harten Barrieren für die Migration entstehen.

Daher wird der Plan keine Auswirkungen in Bezug auf die Barrierefunktion verursachen.

Mortalität

Das Kernkraftwerk entnimmt über eine Wasserentnahmestelle, die räumlich in zwei getrennte Teile aufgeteilt ist, Kühlwasser aus der Schelde: ein Teil für die Kühlung der Blöcke Doel 1 und Doel 2 und ein Teil für die Blöcke Doel 3 und 4. Das Wasser wird immer zuerst durch ein Sieb geleitet, um eventuell vorhandene Gegenstände herauszufiltern, damit die Rohre nicht verstopft werden. Dies wird jedoch für die beiden Entnahmepunkte unterschiedlich gehandhabt.

Bei der Entnahmestelle für Kühlwasser von Doel 1 und 2 erfolgt die mechanische Reinigung außerhalb des Deiches, auf Höhe der Wasserentnahme selbst, mittels Gittern am Einlauf. Fische und Krebstiere haben somit keine Chance, in den Kühlwasserkreislauf zu gelangen. Daher ist an dieser Entnahmestelle keine Fisch- oder Krebstiersterblichkeit festzustellen.

Dies war früher bei Doel 3 und 4 sehr wohl der Fall. Für diese Kraftwerke entschied man sich für ein Kühlwassersystem, bei dem das Wasser zunächst per Gravitationskraft aus der Schelde in eine Sammelgrube auf dem Gelände selbst geleitet wurde. Um die Auswirkungen des Kraftwerks auf die Fischbestände zu untersuchen, werden seit 1991 regelmäßig Proben von Fischen und Krebstieren entnommen, die vom Wasserpumpwerk angesaugt werden. Jährlich landeten durchschnittlich 100 Millionen Fische und Garnelen (100 Tonnen) auf den Bandsieben des Kraftwerks (Maes, 2001⁵⁷). Es waren vor allem Jungfische und Krebstiere, die angesaugt wurden. All diese Fische und Garnelen, die auf den Gittern landeten, wurden in einem Abfallbehälter gesammelt und anschließend verbrannt.

Viele Arten überleben jedoch die Passage durch das Kühlwassersystem. Mehrere Überlebenstests haben gezeigt, dass die Lebensgemeinschaft von Fischen und Krebstieren nach ihrer Toleranz gegenüber der Passage durch das

⁵⁷ Maes, J., 2001. Fische vom Kühlwasser des Kernkraftwerks Doel fernhalten. Die lebendige Natur 102 (2): 96-97 (2001)

Kühlwassersystem eingeteilt werden kann. Heringsartige (Sprotten, Heringe, Sardellen) sind sehr empfindliche Fischarten, die die Aufnahme nicht überleben. Sie sind primitive Fischarten, die sich nach jeder Form von Kontakt Infektionen zuziehen, denen sie innerhalb von drei Stunden erliegen. Auch Karpfenartige und Stinte sterben in der Regel nach der Aufnahme. Eine Reihe von Fischarten, wie die drei in Doel vorkommenden Grundelarten, überleben die Passage, sterben jedoch in den Tagen nach der Aufnahme aufgrund von Stress oder Verletzungen. Alle Garnelen, Krebse und Fische wie Aal, Stichling, Plattfisch und Flussneunauge überleben fast immer die Aufnahme durch das Pumpwerk. Im Gegensatz zu den pelagischen Fischarten sind letztere an den Kontakt mit dem Boden gewöhnt. Daher sind sie auch widerstandsfähiger gegen den Kontakt mit Gittern und Filtern.

Um die Zahl der Verluste zu verringern, wurden 1997 Maßnahmen ergriffen, die darauf abzielten, die Aufnahme empfindlicher Fischarten zu verhindern und die toleranten Fischarten nach der Aufnahme durch den Wasserabscheider in die Schelde zurückzubringen. Um diese Ziele zu erreichen, wurden vor kurzem zwei Systeme eingesetzt. Zum einen werden die Fische vor der Aufnahmestelle abgeschreckt. Zum anderen werden Fische, die in das Kühlwassersystem gelangen, anstelle eines Containers in die Schelde zurückgebracht.

Eine Vergleichsstudie (Maes et al., 2004⁵⁸) hat gezeigt, dass das Abschreckungssystem an der Aufnahmestelle zu einer durchschnittlichen Reduzierung der in das System gelangenden Fische um etwa 60 % führte. Dabei gab es große Unterschiede zwischen den Fischarten. Da das System mit akustischer Abschreckung arbeitet, funktioniert es besonders gut bei Arten mit besserem Gehör, beispielsweise Arten mit einer Schwimmblase. So betrug der Rückgang bei Hering und Sprotte 94,7 % bzw. 87,9 %. Zehn- und dreistachelige Stichlinge, Flussneunaugen und Kliesche wiederum ließen sich durch das System kaum abschrecken. Wie oben beschrieben, handelt es sich bei letzteren jedoch um Arten, die von einer Passage durch das Kühlwassersystem weniger betroffen sind. Diese Arten werden mit einem fischfreundlichen System in die Schelde umgeleitet, das die Fische schnell und ohne zusätzliche Schäden ins Wasser führen kann. Auf diese Weise wurden die Gesamtauswirkungen des Kraftwerks auf die Fisch- und Garnelenpopulationen in der Seeschelde um 90 % reduziert (Maes, 2001).

Darüber hinaus wird sich durch die Schließung von Doel 3 die benötigte Kühlwassermenge und damit die Menge der potenziell angezogenen Fische und Schalentiere halbieren. Daraus kann gefolgert werden, dass der längere Betrieb von Doel 4 aufgrund der ergriffenen Maßnahmen nicht zu einer relevanten Erhöhung der Mortalität von Fischen und Krebstieren in der Schelde führen wird. Die Auswirkung ist begrenzt.

⁵⁸ Maes, J.; Turnpenny, A. W. H.; Lambert, D. R.; Nedwell, J.R.; Parmentier, A. & F. Ollevier, 2004. Field evaluation of a sound system to reduce estuarine fish intake rates at a power plant cooling water inlet. *Journal of Fish Biology* (2004) 64, 938–946

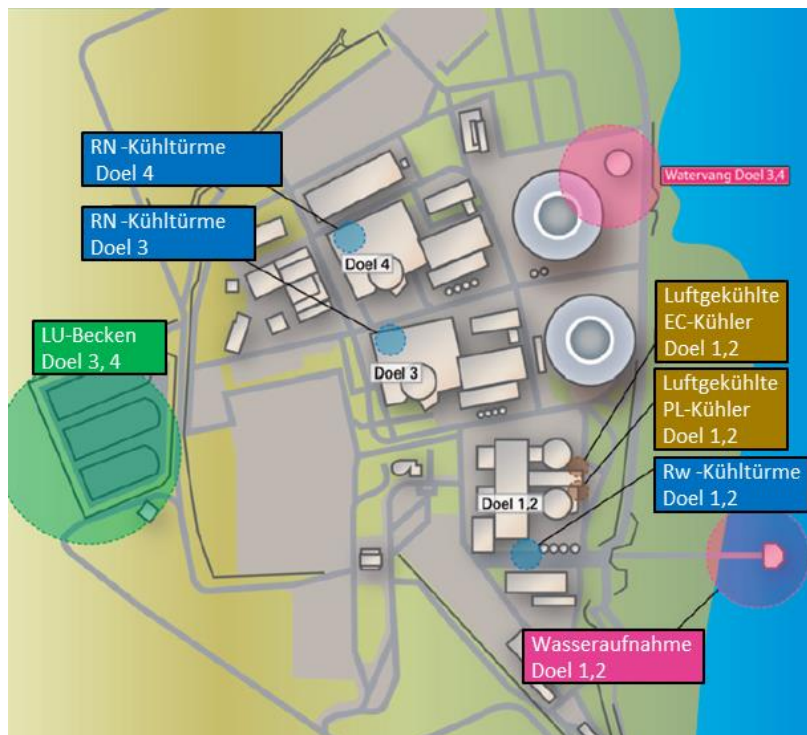


Abbildung 44: Schematische Darstellung des Kühlwassers, mit Darstellung der Wasserentnahmestelle in Doel 1 und 2 sowie Doel 3 und 4 (Quelle: Electrabel AG, 2011).

Beeinträchtigung

Kernkraftwerke haben das Potenzial, Beeinträchtigungen durch Licht, Lärm und die Anwesenheit von Menschen zu verursachen. Viele dieser Faktoren lassen sich nur schwer auf den Betrieb von Ziel 4 reduzieren.

Bezüglich des Lärms gibt es einige Quellen, die nur mit Doel 4 zusammenhängen. Diese wurden jedoch nie separat modelliert. Die Entwurfs-UVp von Arcadis (Arcadis, 2020) enthielt eine Modellierung aller vorhandenen Lärmquellen. Sie kann daher als absoluter Worst-Case-Ansatz zur Abschätzung der Auswirkungen von Doel 4 betrachtet werden.



Abbildung 45: Lärmkonturen der kontinuierlich arbeitenden Quellen während des Tages-, Abend- und Nachtzeitraums (Quelle: UVP Arcadis/NRG, 2021).

Die Ergebnisse der UVP von Arcadis/NRG (2021) bezüglich der Arbeiten zeigen, dass sich die Lärmkonturen hauptsächlich in östliche Richtung erstrecken. Die 55-dB(A)-Kontur überschneidet sich mit den Schlick- und Salzwiesen, die sich entlang des Kraftwerks selbst befinden. Die 45-dB(A)-Kontur überschneidet sich mit der Schelde selbst, einem begrenzten Teil von Doelpolder Noord und einem Teil des zukünftigen Gebiets Doelpolder Midden.

Es handelt sich jedoch um ein kontinuierliches Geräusch, das daher sehr vorhersehbar ist und in einem klar abgegrenzten Gebiet auftritt. Es ist daher zu erwarten, dass die Vögel sich davon wenig abschrecken lassen und darüber hinaus bereits ein erheblicher Grad an Gewöhnung eingetreten ist. Vorbeifahrende Autos, Wanderer und, in Bezug auf die Schelde, Boote werden wahrscheinlich eine größere Auswirkung haben. Wir verweisen hierzu auch auf den Bewertungsrahmen für Natur und Erholung (Arcadis, 2009). Außerdem stammt nur ein Teil des Lärms von Doel 4.

Darüber hinaus wird gleichzeitig mit dem verlängerten Betrieb von Doel 4 die Rückbauphase der Kernkraftwerke Doel 1, 2 und 3 laufen. Derzeit liegen keine Informationen darüber vor, wie dies geschehen wird und welche Lärmpegel zu erwarten sind. Da es sich jedoch um Abbrucharbeiten handelt, ist mit wesentlich höheren Pegeln zu rechnen, und außerdem handelt es sich oft um unvorhersehbare Impulsgeräusche, die für Vögel viel störender sind.

Daher ist davon auszugehen, dass die Auswirkungen des Plans in Bezug auf die Störung vernachlässigbar sind

Säuerung und Eutrophierung aus der Luft

Säuerung und Eutrophierung sind äußerst wichtige Faktoren für die Qualität der Lebensräume in Flandern. Dies geht wiederum aus der Beschreibung im jüngsten „Natuurrapport Vlaanderen“ hervor (Schneiders et al., 2020):

„Der Druck, den eutrophierende und versauernde Stoffe über den Weg der Luft- und Wasserverschmutzung auf die Artenvielfalt ausüben, hat in den letzten Jahrzehnten deutlich abgenommen. Allerdings schwankt dieser Druck seit einigen Jahren um ein Niveau, das noch zu hoch ist, um die (halb-)natürlichen Ökosysteme an Land und im Wasser wiederherzustellen. Der kritische Schwellenwert für die Eutrophierung über die Luft wird in allen Wäldern, allen Heidellandschaften und fast der Hälfte des artenreichen Grünlands in Flandern überschritten. Das heißt, dass diese Lebensräume langfristig geschädigt werden. Die Eutrophierung ist einer der Hauptgründe, warum Lebensräume von europäischer Bedeutung ihren gewünschten Zustand nicht erreichen und warum auch ihre Zukunftsaussichten ungünstig sind. Die versauernde Luftverschmutzung überschreitet die kritische Schadensschwelle in 28 Prozent der Wälder und artenreichen Grünlandflächen und in 9 Prozent der Heidellandschaften.“

„Der Überschuss an Wasserstoffionen aus der Säuerung und der Überschuss an Nährstoffen aus der Überdüngung schaden den Organismen direkt. Auch die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften ändert sich. Arten, die an nährstoffreiche Umgebungen gebunden sind, nehmen zu, während seltene oder anspruchsvolle Arten aus nährstoffarmen Umgebungen zurückgehen. Es kommt zu einer Homogenisierung.“ [freie Übersetzung aus dem Niederländischen]

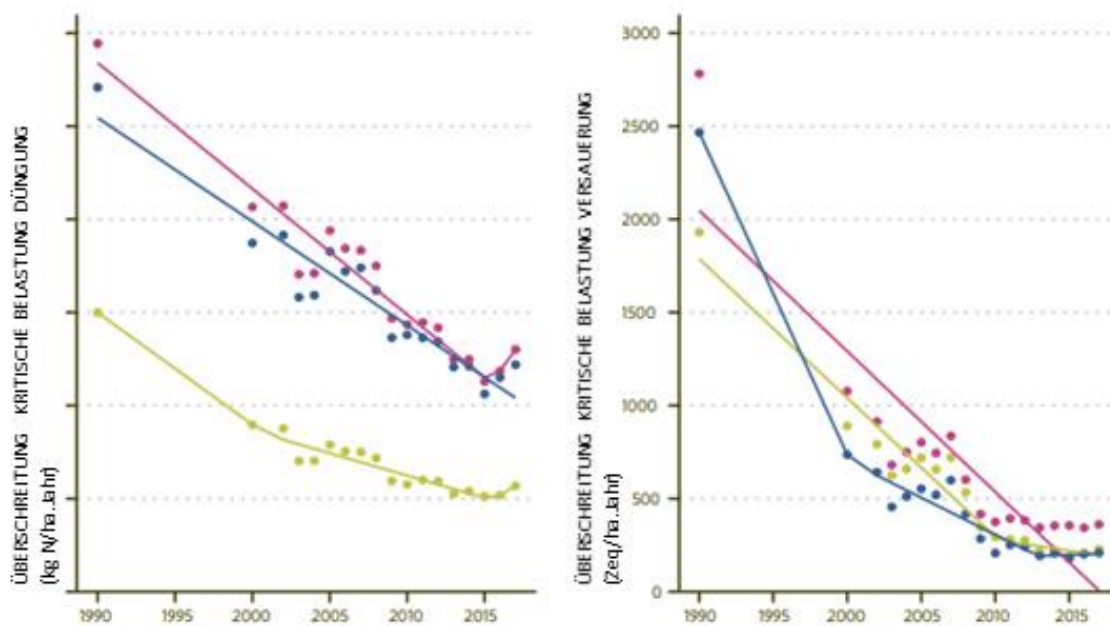


Abbildung 46: Überschreitungen der kritischen Belastungen (modelliert und flächengewichtet) für Eutrophierung (links) und Säuerung (rechts) in Wald, artenreichem Grünland und Heideland zwischen 1990 und 2017 (Quelle: Schneiders et al., 2020).

In der Disziplin Luft wird die Auswirkung des Betriebs der Kernkraftwerke auf die Luftqualität untersucht. Diese Auswirkungen können durch den Betrieb von Notfalleinrichtungen und Verbrennungsanlagen sowie durch den Verkehr zum und vom Standort entstehen. Die Analysen zeigen, dass, für den Bewertungsrahmen der Disziplin Luft, diese Auswirkungen vernachlässigbar sind, jedenfalls im Verhältnis zu den Emissionen aus anderen Quellen in der Umgebung (hauptsächlich im Hafen). Für die versauernden und eutrophierenden Depositionen wird hier eine zusätzliche Analyse mit Beurteilung anhand der für die biologische Vielfalt relevanten Schwellenwerte durchgeführt.

Der Gesamtd deposition entspricht der Summe aus trockener und nasser Deposition. Die trockene Deposition wird durch Multiplikation der Depositionsrate für einen bestimmten Schadstoff mit der Luftkonzentration dieses Schadstoffs berechnet. Die nasse Deposition wird durch die Niederschlagsmenge und die Konzentration eines bestimmten Schadstoffs im Niederschlag bestimmt.

Höhere Niederschlagsmengen führen im Allgemeinen zu höheren nassen Depositionen, da die Deposition durch Multiplikation von Konzentration und Niederschlagsmenge berechnet wird. Dieser Anstieg ist jedoch nicht linear, da die Konzentration im Allgemeinen bei großen Niederschlagsmengen abnimmt.

Die Parameter (Depositionsrate, Scavenging-Koeffizient usw.), die für jeden Schadstoff (Stickstoffoxide, Ammoniak usw.) zur Berechnung der theoretischen Deposition verwendet werden, werden im IMPACT-Modell festgelegt⁵⁹. Das Modell berechnet die theoretischen maximalen Gesamtstickstoffdepositionen in kg N/(ha.Jahr), um die Auswirkungen von Säuerung und Eutrophierung auf die Vegetation in der Umgebung abzuschätzen.

Für die Depositionsberechnungen im IMPACT-Modell wurden Depositionsparameter verwendet, die im VLOPS⁶⁰-Modell auf der Grundlage der Art der Vegetation pro Kilometerblock ermittelt wurden.

Mit Hilfe der oben genannten Modelle wurde die Verbreitung des Ausstoßes an Stickstoffemissionen durch das Projekt für die Vegetation im Untersuchungsgebiet berechnet. Für die Vegetation wird die Natura-2000-Typologie verwendet.

Die nachstehende Abbildung zeigt die aktuelle eutrophierende Deposition in der Nähe von KCD (VLOPS22, VMM). Diese Deposition umfasst alle Quellen der eutrophierenden Deposition (Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, Haushalte) und somit auch die Emissionen der in der Nähe bestehenden landwirtschaftlichen Betriebe. Aus diesen Modellierungsergebnissen geht hervor, dass die Depositionen zwischen 15 und 35 kg N/ha.J. liegen.

⁵⁹ IMPACT ist ein mathematisches Luftmodell, das von der flämischen Regierung zur Verfügung gestellt wurde, und steht für „Immission Prognosis Air Concentration Tool“. Mit dem am 31. Januar 2017 eingeführten Tool können Konzentrationen und Depositionen von Schadstoffen in der Nähe einer (agrar-)industriellen Quelle berechnet und auf benutzerfreundliche Weise visualisiert werden. IMPACT ist der Nachfolger von IFDM-PC, der seit 1996 für solche Berechnungen verwendeten Software.

⁶⁰ Das VLOPS-Modell (Vlaamse Operationeel Prioritaire Stoffen-Model, zu Deutsch: Flämisches Operationelle Prioritäre Stoffen-Modell) ist ein atmosphärisches Transport- und Ausbreitungsmodell, das auf der Grundlage von Emissionsdaten, Flächennutzungsdaten und meteorologischen Daten die Luftqualität und Depositionen berechnet. Dabei werden sowohl detaillierte flämische Emissionsdaten aus dem Emissionsinventar Luft der VMM als auch verfügbare Daten für Quellen außerhalb Flanderns verwendet.

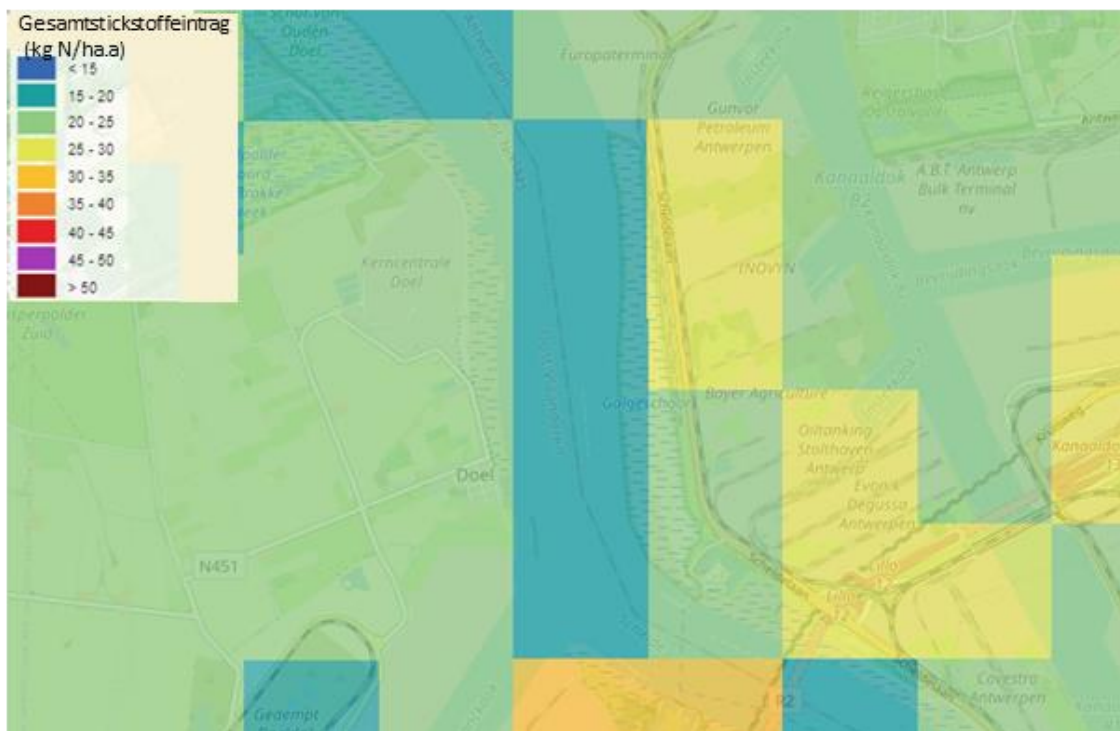


Abbildung47: Aktuelle eutrophierenden Depositionen in kg N/ha.J (VLOPS22).

In Abbildung48 wird die aktuelle versauernde Deposition in der Nähe von KCD gezeigt (VLOPS22, VMM). Aus diesen Modellierungsergebnissen geht hervor, dass die Depositionen zwischen 1.500 und 3.000 SÄq (= Säure-Äquivalent)/ha.J schwanken.



Abbildung48: Aktuelle versauernde Depositionen in SÄq/ha.J (VLOPS22).

Die Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen auf die versauernde und eutrophierende Deposition stützt sich auf Übersichtsstudien zu den kritischen Depositionswerten für Säuerung und Eutrophierung (Van Dobben et al. 2012⁶¹, Hens & Neiryck 2013⁶² en Bobbinck & Hettelinck 2011⁶³). Diese kritischen Schwellenwerte geben an, ab welchem Depositionsniveau negative Auswirkungen für einen bestimmten Lebensraumtyp zu erwarten sind.

Auf der Grundlage der Kombination der aktuellen eutrophierenden und versauernden Ablagerungen mit den Schwellenwerten für die verschiedenen Lebensraumtypen lässt sich für jeden Lebensraum ermitteln, ob und wie groß die Überschreitung des Schwellenwertes ist. ANB stellt dazu die Überschreitungskarten für Eutrophierung und Säuerung zur Verfügung. Diese sind in Abbildung 49 und Abbildung 50 dargestellt.

Es fällt sofort auf, dass in der Fahrrinne der Schelde selbst keine Überschreitung angezeigt wird. Der Grund dafür ist, dass der hier vorkommende Lebensraumtyp (1130) nicht stickstoffempfindlich ist. Allerdings werden die Salzwiesen entlang der Ränder angezeigt, und für einen großen Teil davon sind die versauernden und eutrophierenden Depositionen bereits überschritten, wenn auch nur in begrenztem Umfang. Die Salzwiesen auf der rechten Uferseite weisen eine größere Überschreitung auf.

⁶¹ van Dobben H.F., Bobbink R., Bal D. & van Hinsberg A. (2012) Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura2000. Alterra rapport 2397. Alterra WUR, Wageningen, Nederland.

⁶² Hens M. & Neiryck J. (2013) Kritische depositiewaarden voor stikstof voor duurzame instandhouding van Europese habitattypen in Vlaanderen, INBO, nota WBC, gebaseerd op van Dobben H.F., Bobbink R., Bal D., van Hinsberg A. (2012) Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura2000. Alterra rapport 2397. Alterra, WUR, Wageningen, Nederlande.

⁶³ Bobbink R, Hettelingh JP, eds. (2011) Review and revision of empirical critical loads and dose response relationships, Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), www.rivm.nl/cce.



Abbildung 49: Überschreitungskarte eutrophierende Deposition.

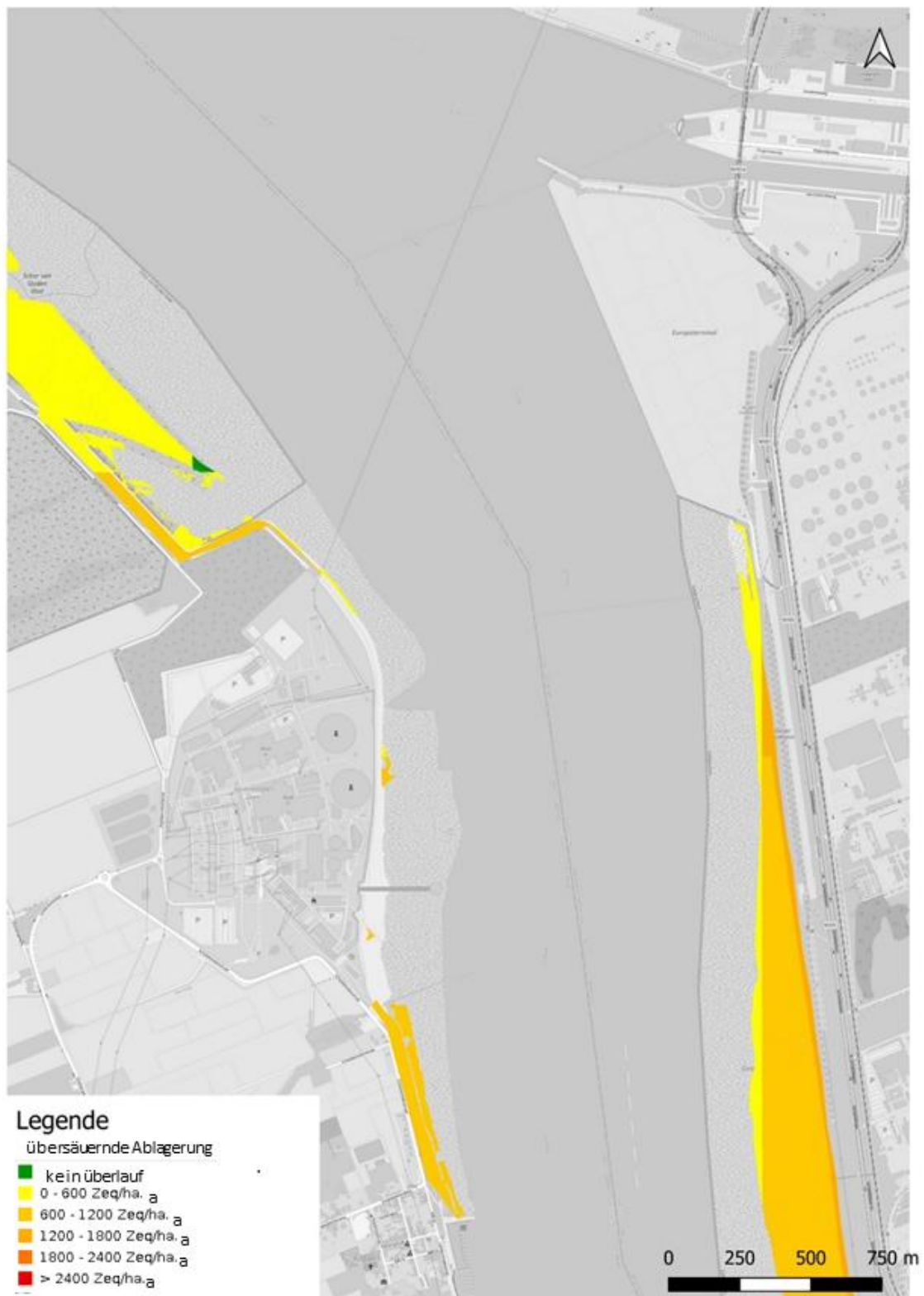


Abbildung 50: Überschreitungskarte versauernde Deposition.

Der Beitrag des Plans zu eutrophierenden und versauernden Depositionen wird auf der Grundlage der in der Disziplin Luft beschriebenen Annahmen berechnet. Dabei wurde ein Worst-Case-Ansatz gewählt, sodass die berechneten Auswirkungen als Überschätzung angesehen werden können.

Die berechnete eutrophierende Deposition ist in Abbildung 51 dargestellt, der Beitrag des Plans wurde hier ab 0,06 kg N/ha.Jahr dargestellt. Die höchsten Werte werden am Standort des Kernkraftwerks selbst mit einem Höchstwert von 0,1 kg N/ha.Jahr berechnet. Weiter entfernt nehmen die Depositionen rasch ab. Es gibt jedoch auch Depositionen in der Nähe der Lebensräume, die entlang der Schelde vorhanden sind. Die Lebensräume oder rbbbs, die aufgrund des Plans eine eutrophierende Auswirkung erfahren können, sind 1330_da, 6510 und rbbmr.

Für den Lebensraumtyp 1330_da wurde ein KDW von 22 kg N/ha.Jahr ermittelt. Wie in Abbildung 49 angezeigt, wird dieser Wert in einem Teil der Fläche jetzt schon überschritten. Der maximale Beitrag des Plans für diesen Lebensraumtyp ist in der Nähe des kleinen Stücks Salzwiesenlebensraum unmittelbar neben dem Standort selbst zu finden. Der Beitrag des Plans beträgt hier 0,07 kg N/ha.Jahr oder 0,32 % des KDW. Beim Lebensraumtyp 6510 (KDW 20) beträgt der maximale Beitrag 0,05 kg N/ha.Jahr oder 0,25 % des KDW. Für das regional bedeutsame Biotop wurde die kritische Belastung für Eutrophierung mit 26 kg N/ha.Jahr ermittelt. Die maximale Deposition beträgt hier 0,09 kg/ha.Jahr oder 0,35% des CDW.

Die berechnete versauernde Deposition ist in Abbildung 50 angezeigt, der Beitrag des Plans wurde hier ab 5 SÄq/ha.Jahr dargestellt. Auch hier sind die höchsten Werte in der Nähe des Standorts selbst zu beobachten, mit einem Höchstwert von 7,2 SÄq/ha.Jahr. Bei Lebensraum 3130_da (kritische Belastung 1.571 ZÄq/ha.Jahr) beträgt die maximale Deposition nur 5 ZÄq/ha.Jahr, bei Lebensraum 6510 (kritische Belastung 1.429 ZÄq/ha.Jahr) beträgt die maximale Deposition 5,8 ZÄq/ha.Jahr und bei rbbmr (kritische Belastung 2.400 ZÄq/ha.Jahr) liegt die versauernde Deposition unter 5 ZÄq/ha.Jahr.

Der Plan führt also zu einer leichten Zunahme wertvoller Vegetation und Lebensräume, aber der Beitrag des Projekts bleibt (deutlich) unter 1 % des gesamten KDW.

Zudem geht die Berechnung von einer Worst-Case-Schätzung aus. Wie in der Disziplin Luft beschrieben, ist aufgrund der Abstellung der anderen Kernkraftwerke zu erwarten, dass am Standort systematisch immer weniger Emissionsquellen vorhanden sein werden. In der Disziplin Luft wird ein Rückgang von etwa 30 % angenommen;

Angesichts der Schließung der Kernkraftwerke Doel 1, 2 und 3 wird es in der Praxis nicht zu einer Zunahme der Ablagerungen kommen, sondern zu einer Abnahme auf der Ebene dieser Lebensräume. Außerdem erstreckt sich die Verlängerung von Doel 4 nur über einen Zeitraum von 10 Jahren, was bedeutet, dass die begrenzten Depositionen, die es gibt, auch nur 10 Jahre lang stattfinden werden. Danach werden sie systematisch abnehmen.

Schließlich werden die Vegetationen, für die die stärksten Auswirkungen zu erwarten sind (3130_da und rbbmr), aufgrund der regelmäßigen Überschwemmungen, die diesem Ökosystem eigen sind, stark vom Wasser der Schelde beeinflusst. Angesichts der schlechten Bewertung der Schelde in Bezug auf Nitrat + Nitrit + Ammonium (siehe Disziplin Wasser) stellt sich die Frage, ob die begrenzte Stickstoffdeposition eine relevante Auswirkung auf diese Vegetation haben kann.

Aufgrund der oben genannten Argumente wird daher davon ausgegangen, dass der Plan keine relevanten Auswirkungen in Bezug auf eutrophierende und versauernde Depositionen hat.

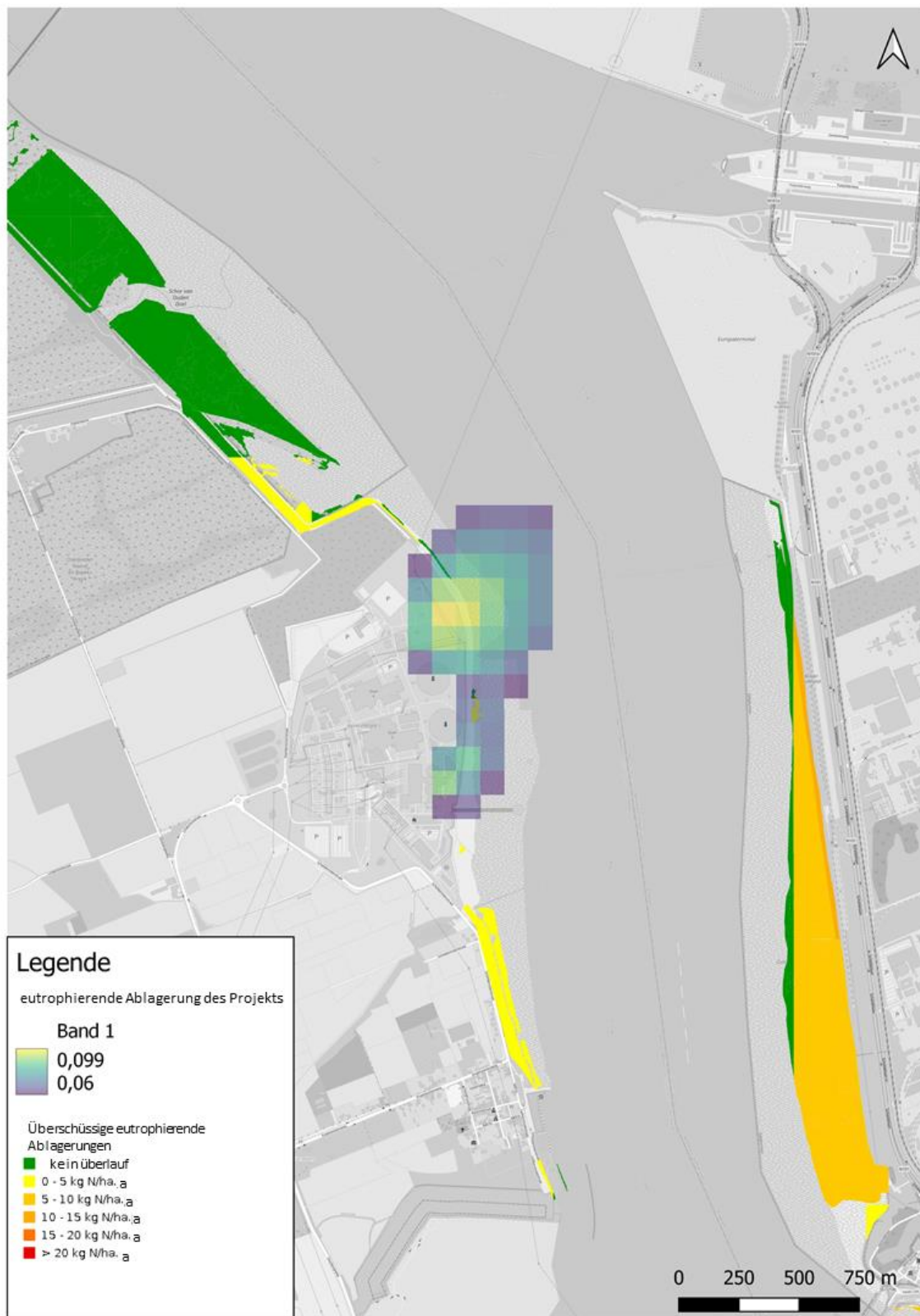


Abbildung 51: Eutrophierung, Beitrag Plan.

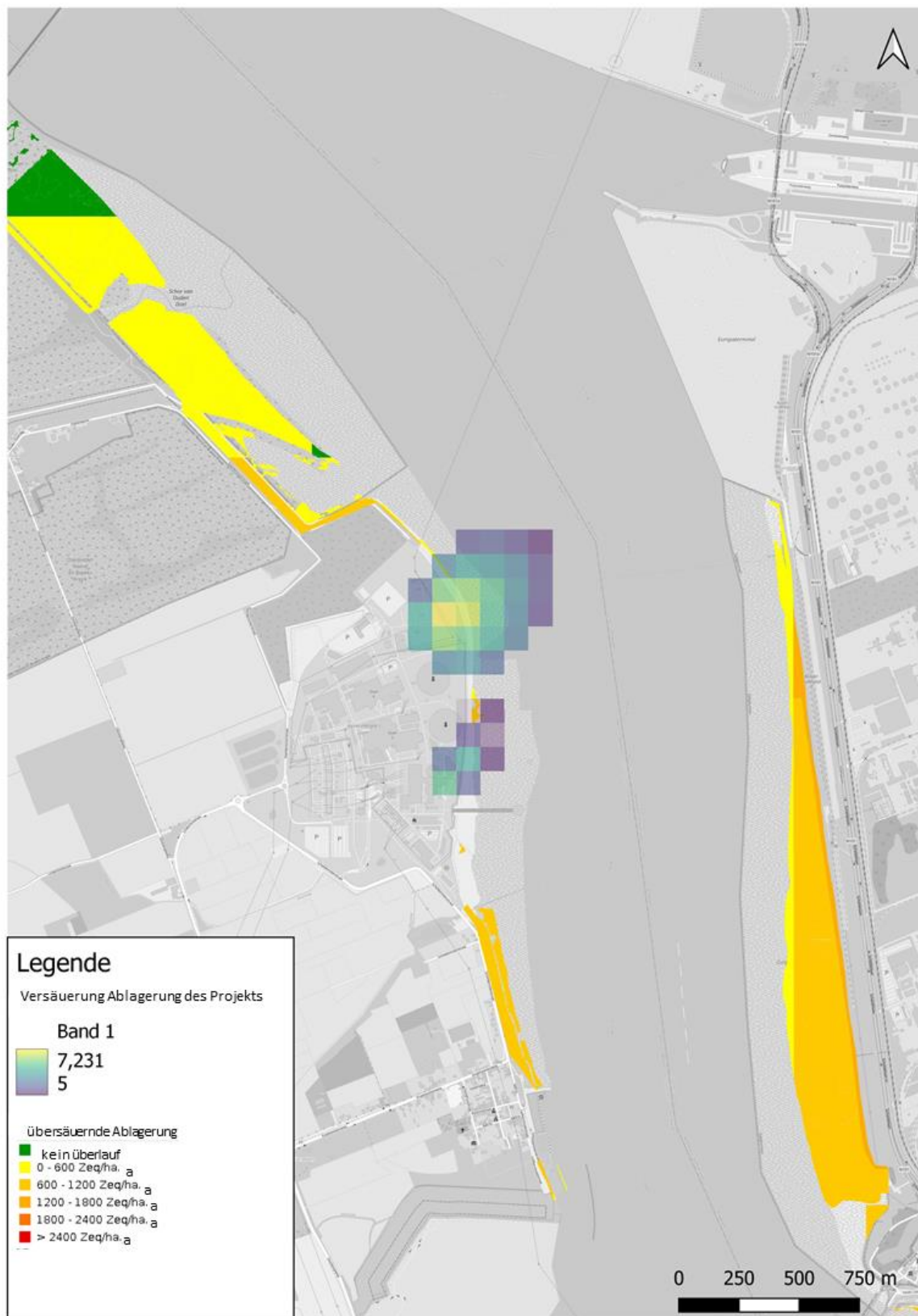


Abbildung 52: Säuerung, Beitrag Plan.

Darüber hinaus werden durch den Plan Emissionen vermieden. Dabei handelt es sich um Emissionen, die zu erwarten sind, wenn die Stromerzeugung während der verlängerten Laufzeit des Kraftwerks nicht durch das Kernkraftwerk, sondern durch andere Methoden der Energieerzeugung realisiert worden wäre.

Da weder bekannt ist, an welchen Stellen die Emissionen der Anlagen, die die Produktion von Doel 4 übernehmen würden, erfolgen, noch Einblicke in z. B. mögliche Genehmigungsauflagen vorhanden sind, die die Anlagen einhalten müssen, noch die Prüfmerkmale bekannt sind, die die Auswirkungen auf die Luftqualität ganz wesentlich bestimmen könnten, ist es nicht möglich, eine quantitativ fundierte Aussage über die möglichen Auswirkungen zu machen, die die Emissionen dieser „Ersatzanlagen“ mit sich bringen werden. Dies ist umso wichtiger für eventuelle Auswirkungen auf die biologische Vielfalt. Denn nicht alle Vegetationen und Arten reagieren gleich empfindlich auf Stickstoffdeposition. Neben den Emissionen selbst hängt diese Deposition auch von der Entfernung zur Quelle und anderen Faktoren wie der Rauheit der Landschaft ab.

Die genauen Auswirkungen in Sachen Säuerung und Eutrophierung können daher nicht abgebildet werden. Angesichts des Ausmaßes, in dem die kritischen Schwellenwerte für die Stickstoffdeposition in Flandern überschritten werden, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine zusätzliche Deposition durch Kraftwerke, die fossile Brennstoffe (z. B. Gas) ersetzen, selbst wenn sie begrenzt wäre, sehr ungünstig für den Erhaltungszustand von Lebensräumen und Arten in Flandern wäre. Es kann nämlich davon ausgegangen werden, dass die Emissionen und Ablagerungen aus diesen Anlagen deutlich größer sein werden als die mit dem Betrieb von Doel 4 verbundenen.

Direkter Flächenverbrauch

Theoretisch könnte die Entscheidung, das Kernkraftwerk Doel 4 länger offen zu halten, einen negativen Einfluss auf den Flächenverbrauch haben. Wenn das Kraftwerk verschwinden würde, würde ein Gebiet frei, das aufgrund der Nähe zur Schelde und der verschiedenen Naturentwicklungsgebiete aus Sicht der Natur sehr günstig gelegen ist. Diese Argumentation ist jedoch hinterfragbar:

Erstens befinden sich die Kraftwerke in einem Industriegebiet. Daher besteht bei einer Abschaltung die reale Möglichkeit, dass es zu einer neuen industriellen Entwicklung und nicht zu einer Entwicklung der Natur käme. Außerdem würde die Bodenqualität des Geländes die Möglichkeiten der Naturentwicklung stark einschränken. Der Boden wurde hier mit Erde aufgeschüttet, die mit Arsen verunreinigt war.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entscheidung, die Abschaltung zu verschieben, keine Auswirkungen in Bezug auf den direkten Flächenverbrauch hat.

3.3.6 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Inwieweit darf erwartet werden, dass der Plan Schäden an der Natur vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?

Bei der Wirkungsanalyse wurde der Plan im Hinblick auf die Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer, die Barrierefunktion, die Mortalität, die Störung, die Säuerung und die Eutrophierung aus der Luft und den direkten Flächenverbrauch untersucht. Für die Barrierefunktion und den direkten Flächenverbrauch waren keine Auswirkungen zu erwarten.

Für die Mortalität gibt es möglicherweise eine Auswirkung durch die Kühlwasserzufuhr beeinflusst werden. Aufgrund der Anpassungen am System (Abschreckungssystem und Umleitung zurück in die Schelde) sind die Verluste jedoch stark reduziert, so dass nur eine begrenzte Auswirkung zu erwarten ist.

Was Belästigungen anbelangt, so bestand potenziell eine begrenzte Auswirkung durch die Lärmbelästigung, aber angesichts des kontinuierlichen und vorhersehbaren Charakters des Lärms ist kein wirklicher Schaden zu erwarten.

Was die Säuerung und Überdüngung aus der Luft betrifft, so ist der Beitrag des Plans selbst vernachlässigbar und aufgrund der vermiedenen Effekte sogar (begrenzt) positiv.

Die Auswirkungen der Einleitung von Abwasser, Industrierwasser und Kühlwasser auf den gesamten Wasserkörper sind vernachlässigbar. Lokal, in der Zone innerhalb des Leitdamms, können potenziell zwar Auswirkungen auftreten, aber dies ist aus den Überwachungsdaten, z. B. aus dem MONEOS-Programm, nicht ersichtlich.

Insgesamt kann daher der Schluss gezogen werden, dass der Plan keine vermeidbaren Schäden verursachen wird und eine neutrale Auswirkung auf dieses politische Ziel hat.

Inwiefern darf erwartet werden, dass der Plan irreparable und unvermeidbare Schäden an VEN-Gebieten vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?

Der Standort des Kernkraftwerks Doel ist an mehreren Seiten umgeben von VEN-Gebiet. Dazu gehören Doelpolder Noord, Doelpolder Midden und die Uferzone der Schelde auf Höhe des Kernkraftwerks selbst. Die wichtigsten Naturwerte sind hier die Schlick- und Salzwiesen selbst, die hier vorkommenden Vögel und die Fische in der Schelde. Die Überprüfung dieses Ziels entspricht der Beantwortung der Fragen in einer strengeren Naturprüfung.

Für die Vögel im VEN-Gebiet war potenziell eine begrenzte Auswirkung durch die Lärmbelästigung zu erwarten, aber angesichts des kontinuierlichen und vorhersehbaren Charakters des Lärms ist kein wirklicher Schaden zu erwarten.

Für die Schlickwiesen und die Fische in der Schelde ist die Auswirkung auf die Qualität der Oberflächengewässer ein Punkt, der Beachtung verdient. Die Daten in der Entwurfs-UVF bezüglich der Arbeiten, die auf Messungen der Einleitungsfahne beruhen, zeigen, dass die thermischen Auswirkungen der Einleitungen weitgehend auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt sind. Angesichts der begrenzten Auswirkungen auf den Rest der Schelde werden keine Barriereeffekte für die Fische in der Schelde erwartet. Auch für die anderen Parameter (wie Nitrit und AOX) ist der Beitrag der Einleitungen zur Umweltqualitätsnorm für den gesamten Wasserkörper vernachlässigbar.

Lokal, in der Zone innerhalb des Leitdamms, können potenziell zwar Auswirkungen auftreten, aber dies ist aus den Überwachungsdaten, z. B. aus dem MONEOS-Programm, nicht ersichtlich.

Für die Säuerung und Eutrophierung aus der Luft ist ein sehr begrenzter Beitrag des Plans in der Nähe des VEN-Gebiets möglich (Abbildung 53 und Abbildung 54).

Wie oben beschrieben, müssen die gezeigten Depositionen in erheblichem Maße nuanciert werden:

- Erstens ist dies ein sehr begrenzter Beitrag über ein sehr begrenztes Gebiet;
- Zweitens geht die Berechnung von einer Worst-Case-Schätzung aus. Wie in der Disziplin Luft beschrieben, ist aufgrund der Abstellung der anderen Kernkraftwerke zu erwarten, dass am Standort systematisch immer weniger Emissionsquellen vorhanden sein werden. In der Disziplin Luft wird ein Rückgang von etwa 30 % angenommen;
- Angesichts der Schließung der Kernkraftwerke Doel 1, 2 und 3 wird es in der Praxis nicht zu einer Zunahme der Ablagerungen kommen, sondern zu einer Abnahme auf der Ebene dieser Lebensräume. Außerdem läuft die Verlängerung von Doel 4 nur bis 2037. Das bedeutet, dass die begrenzten Depositionen, die es gibt, nur für 10 Jahre stattfinden werden und dann systematisch abnehmen werden;
- Schließlich werden die Teile des VEN, für die die stärksten Auswirkungen zu erwarten sind, aufgrund der regelmäßigen Überschwemmungen, die diesem Ökosystem eigen sind, stark vom Wasser der Schelde beeinflusst. Angesichts der schlechten Bewertung der Schelde in Bezug auf Nitrat + Nitrit + Ammonium (siehe Disziplin Wasser) stellt sich die Frage, ob die begrenzte Stickstoffdeposition eine relevante Auswirkung auf diese Vegetation haben kann.

Auch das möglicherweise betroffene VEN-Gebiet (Schlick- und Salzwiesen entlang der Schelde) wurde aufgrund der Bedeutung dieses Gebiets für Vögel weitgehend ausgewiesen. Obwohl für eine Reihe von Vogelarten negative Auswirkungen auf Vögel nachgewiesen wurden, gilt dies vor allem für Arten mit spärlicher Vegetation wie Magerrasen, Heiden oder Wälder auf sandigen Böden. Es handelte sich dabei meist um indirekte Auswirkungen, z. B. durch Bodensäuerung (Kalziummangel) oder durch Veränderungen der von Natur aus kargen Vegetation. (Vogels

et al., 2022⁶⁴, Nijssen et al., 2017⁶⁵, Stevens et al., 2017⁶⁶). In nährstoffreichen Systemen sind bedeutende Auswirkungen für Vögel sehr viel unwahrscheinlicher.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass durch die geplante Verlängerung des Betriebs des Kraftwerks Doel 4 um 10 Jahre kein Schaden entstehen wird.

Zudem wirkt sich ein längerer Betrieb des Kraftwerks durch vermiedene Emissionen positiv aus. Da jedoch der Standort der „Ersatzanlagen“ nicht bekannt ist, können Auswirkungen auf die VEN-Gebiete nicht ermittelt werden.

Insgesamt kann daher der Schluss gezogen werden, dass im Kontext der strengeren Naturprüfung keine vermeidbaren und irreparablen Schäden auftreten werden und dass der Plan eine neutrale Auswirkung auf dieses politische Ziel hat.



Abbildung 53: Eutrophierende Depositionen in der Nähe des VEN-Gebiets.

⁶⁴ Vogels, J., van de Waal, D., van den Burg, A., Wallis de Vries, M., Nijssen, M. & R. Bobbink (2022). De Levende Natuur | jaargang 123 | nummer 6.

⁶⁵ Nijssen, M.E., et al., Pathways for the effects of increased nitrogen deposition on fauna, Biological Conservation (2017).

⁶⁶ Stevens CJ, David TI, Storkey J. Atmospheric nitrogen deposition in terrestrial ecosystems: Its impact on plant communities and consequences across trophic levels. Funct Ecol. 2018;32:1757–1769.



Abbildung 54: Versauernde Depositionen in der Nähe des VEN-Gebiets.

Inwiefern darf erwartet werden, dass der Plan bedeutungsvolle Auswirkungen auf NATURA-2000-Gebiete vermeiden kann (vgl. Naturdekret)?

Das Plangebiet ist von BSG-V umgeben und grenzt auch an BSG-H. Die Zielarten und Lebensräume für dieses besondere Schutzgebiet werden in Abschnitt 3.3.4 beschrieben. Die Überprüfung dieses Ziels entspricht der Beantwortung der Fragen in einer passenden Prüfung.

Für die Lebensräume im BSG-H ist eine mögliche Auswirkung auf die Schlick- und Salzwiesen relevant sowie die möglichen Auswirkungen auf die versauernde und eutrophierende Deposition. Darüber hinaus kann eine Auswirkung auf angegebene Arten von Bedeutung sein. Dazu gehören beeinträchtigende Auswirkungen, Barriereeffekte, Mortalität oder Auswirkungen durch eine veränderte Qualität der Oberflächengewässer.

Für die Arten des BSG-V kann eine potenzielle Auswirkung durch direkten Flächenverbrauch von (potenziellem) Lebensraum, durch Störung und durch eine indirekte Auswirkung auf die Oberflächenwasserqualität bestehen, die die Verfügbarkeit von Nahrung für die Vögel des BSG-V beeinträchtigen könnte.

All diese möglichen Auswirkungen wurden untersucht. Die Auswirkungsanalyse kam zu dem Schluss, dass keine Auswirkungen in Bezug auf die Barrierefunktion zu erwarten sind.

Bei den sonstigen Auswirkungen ist im Rahmen der passenden Beurteilung nicht nur zu prüfen, ob eine Auswirkung auf die vorhandenen Lebensräume und Arten vorliegt, sondern auch, ob durch den Plan die Erreichung der Naturziele nicht gefährdet wird.

Die Fischarten Flussneunauge, Finte und Bitterling werden im BSG-H „Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent“ als Ziele festgelegt. Für diese Arten könnte die Mortalität aufgrund der Aufnahme

von Kühlwasser für die Naturziele von Bedeutung sein. Das Meererneunauge ist für dieses BSG-H nicht angegeben, sondern nur für die Westerschelde, so dass ohnehin keine Auswirkungen zu erwarten sind.

Finte und Bitterling sind Arten mit Schwimmblasen, die durch das Geräusch des Abschreckungssystem wirksam abgeschreckt werden. Flussneunaugen werden in der Studie von Maes et al. (2004) als eine der Arten genannt, die eine Passage durch das Kühlwassersystem nicht überleben. Diese Art wird im aktuellen System in Richtung Schelde zurückgeführt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Mortalität aufgrund der Zufuhr von Kühlwasser die Naturziele für diese Arten nicht gefährdet.

Für den direkten Flächenverbrauch haben wir daher geprüft, ob die Entscheidung für den längeren Betrieb von Doel 4 die Entwicklung neuer Lebensräume beeinträchtigt hat. Dies ist nicht der Fall, da die Möglichkeit, an diesem Standort Lebensraum zu entwickeln, angesichts der Zonierung als Industriegebiet und der historischen Verschmutzung ohnehin nicht möglich ist. Außerdem ist die zusätzliche Fläche nicht notwendig, um die Naturziele für das BSG-V zu erfüllen. Wie in Abschnitt 3.3.4 erörtert, werden zusätzliche Gebiete für die Arten eingerichtet, für die es derzeit nicht genügend Lebensraum gibt. Die Fläche dieser Gebiete ist ausreichend, um die Naturziele erreichen zu können.

Auch bei versauernden und eutrophierenden Einträgen müssen die Auswirkungen sowohl anhand der aktuellen Naturwerte als auch der Naturziele bewertet werden. Für die Auswirkungen des Plans selbst wurden die eutrophierenden und versauernden Auswirkungen berechnet. Die Auswirkungen in der Nähe der derzeitigen Lebensraumtypen 3130_da und 6510 sind für die entsprechende Bewertung relevant. Für die Forschungsgebiete ist keine Bewertung erforderlich, da in der Nähe des Projektgebiets nur ein Forschungsgebiet für den Lebensraumtyp 1130 ausgewiesen wurde, der nicht stickstoffempfindlich ist.

Für den Lebensraumtyp 3130_da beträgt die maximale Deposition 0,07 kg N/ha.Jahr. Dies entspricht 0,32 % des KDW dieses Lebensraumtyps. Für den Lebensraumtyp 6510 beträgt der maximale Beitrag 0,05 kg N/ha.Jahr, was 0,25 % des KDW dieses Lebensraumtyps entspricht. Auf der Grundlage der derzeit geltenden ministeriellen Anweisung ist ein Beitrag von 1 % der Schwellenwert für die angemessene Bewertung. Hier bleibt der Plan also weit darunter. Daher sind keine nennenswerten Auswirkungen der Stickstoffdeposition zu erwarten.

Die Auswirkungen der vermiedenen Depositionen sind schwieriger zu beurteilen. Die Auswirkungen sind offensichtlich positiv, aber es ist weniger klar, ob sie auch signifikant sind und somit spürbar zu den Zielen der Natura-2000-Gebiete beitragen. Dies liegt vor allem daran, dass die Auswirkungen der vermiedenen Emissionen nicht räumlich verortet werden können. In der Disziplin Luft wird ausgeführt, dass eine Auswirkung hauptsächlich in den Zonen in unmittelbarer Nähe der „Ersatzanlagen“ auftreten würde und in größerer Entfernung vernachlässigbar wäre. Angesichts der großen Unterschiede in der Empfindlichkeit der Lebensräume und Arten können die potenziellen Auswirkungen dieser „vermiedenen Emissionen“ daher sehr unterschiedlich ausfallen. Es ist zudem so, dass die meisten BSG-H auch jetzt, d. h. ohne „Ersatzanlagen“, den KDW überschreiten. Bei den meisten BSG-H macht das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein zusätzlicher Stickstoffdeposition keinen Unterschied, ob die Naturziele erfüllt werden oder nicht. Andererseits kann sich die Stickstoffdeposition akkumulieren und die zusätzliche Deposition hätte die „Entfernung zum Ziel“ für das Erreichen der Naturziele erhöht. In diesem Sinne ergibt sich also ein begrenzter positiver Effekt in Bezug auf die Zielerreichung.

Die Hauptauswirkung des Kernkraftwerks (abgesehen von den möglichen radiologischen Auswirkungen) liegt jedoch im Bereich der Wasserqualität. Das Kernkraftwerk hat eine erhebliche thermische Auswirkung und leitet auch Abwasser ein, für das eine mögliche eutrophierende und ökotoxikologische Wirkung nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann. Wie bereits erwähnt, ist dieser Einfluss jedoch auf das Gebiet innerhalb des Leitdamms beschränkt und der Beitrag zur gesamten Wasserqualität ist vernachlässigbar. Dies bedeutet auch, dass ein Effekt auf Populationsebene für die in der Schelde vorkommenden Arten ausgeschlossen werden kann. Es gibt zudem keine Hinweise darauf, dass die Einleitungen lokal die Nahrungsverfügbarkeit für die Vögel des BSG-V verringern. Das Gebiet innerhalb des Leitdamms ist noch fischreicher und auch die Artenvielfalt und Biomasse der Makroinvertebraten ist hoch. Ein signifikanter Effekt ist daher nicht zu erwarten.

Schließlich werden für Vögel im BSG-V weder in den bestehenden noch in den noch zu schaffenden Gebieten nennenswerte beeinträchtigende Auswirkungen erwartet. Obwohl der Betrieb von Kernkraftwerken zu erhöhten Lärmpegeln führt, dürfte der Beitrag von Doel 4 an sich begrenzt sein. Außerdem handelt es sich um kontinuierlichen und vorhersehbaren Lärm, sodass eine Gewöhnung eintreten kann und der beeinträchtigende Einfluss begrenzt bleibt. Andere Formen der Beeinträchtigung, wie z. B. durch Licht oder durch die Anwesenheit von Menschen, werden sich durch den Plan nicht wesentlich ändern.

Aus diesem Grund kann geschlussfolgert werden, dass der Plan keine bedeutenden Auswirkungen auf den Erhaltungszustand von Lebensräumen und Arten im Kontext der geeigneten Prüfung haben wird und dass der Beitrag dieses Plans zu diesem Ziel neutral ist.

Inwiefern darf erwartet werden, dass der Plan keine Schäden für nach dem Artenschutzerlass geschützte Arten verursacht?

Wie oben erläutert, sind keine signifikanten Auswirkungen auf Zielarten im BSG oder im VEN zu erwarten. Auch für die Arten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie, die auch außerhalb des BSG geschützt sind, sind geringe Auswirkungen zu erwarten.

Der Plan verursacht keine signifikante Störung und auch die Auswirkungen auf die Wasserqualität sind vernachlässigbar, wenn man sie für den gesamten Wasserkörper betrachtet.

Die Fischarten Flussneunauge, Finte und Bitterling werden im BSG-H „Schelde- und Durme-Ästuar von der niederländischen Grenze bis Gent“ als Ziele festgelegt. Für diese Arten könnte die Mortalität aufgrund der Aufnahme von Kühlwasser für die Naturziele von Bedeutung sein. Das Meerneunauge ist für dieses BSG-H nicht angegeben, sondern nur für die Westerschelde, so dass ohnehin keine Auswirkungen zu erwarten sind.

Finte und Bitterling sind Arten mit Schwimmblasen, die durch das Geräusch des Abschreckungssystem wirksam abgeschreckt werden. Flussneunaugen werden in der Studie von Maes et al. (2004) als eine der Arten genannt, die eine Passage durch das Kühlwassersystem nicht überleben. Diese Art wird im aktuellen System in Richtung Schelde zurückgeführt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Mortalität aufgrund der Zufuhr von Kühlwasser die Naturziele für diese Arten nicht gefährdet.

Aus diesem Grund kann geschlussfolgert werden, dass der Plan keine bedeutenden Auswirkungen im Kontext des Artenschutzerlasses haben wird und dass der Beitrag dieses Plans zu diesem Ziel neutral ist.

Inwiefern darf erwartet werden, dass die Durchführung des Plans nicht die Erreichung der in Artenschutzprogrammen formulierten Ziele behindert (vgl. Artenschutzerlass)?

Für Arten, für die ein ASP erstellt wurde, sind die Standorte, die im ASP von Belang sind, bereits Teil eines Schutzgebiets, was bedeutet, dass die Auswirkungen in jedem Fall bereits untersucht werden. Es ist jedoch erwähnenswert, dass auf dem Kühlturm seit 1996 ein Nistkasten für Wanderfalken angebracht ist, in dem regelmäßig Wanderfalken brüten.

Aufgrund des Weiterbetriebs von Doel 4 wird der Kühlturm länger benötigt, so dass keine negativen Auswirkungen auf den Wanderfalken zu erwarten sind.

Aus diesem Grund kann geschlussfolgert werden, dass der Plan keine Beeinträchtigung für das Erreichen der in den ASP genannten Ziele haben wird und dass der Beitrag dieses Plans zu diesem Ziel neutral ist.

3.3.7 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Das Kernkraftwerk befindet sich in der Nähe von verschiedenen Schutzgebieten. Es gibt daher mehrere politische Ziele, auf die der Plan Auswirkungen haben könnte. In diesem Zusammenhang sind sowohl das Naturdekret und seine Ausführungserlasse als auch das Dekret Integrale Wasserpolitik von Bedeutung. Die biologischen Aspekte des Dekrets Integrale Wasserpolitik werden auch in der Disziplin Wasser bewertet, werden aber hier in der Analyse der Auswirkungen diskutiert.

Der Plan wurde im Hinblick auf die Veränderung der Qualität der Oberflächengewässer, die Barrierefunktion, die Mortalität, die Störung, die Säuerung und die Eutrophierung aus der Luft und den direkten Flächenverbrauch untersucht. Für die Barrierefunktion und den direkten Flächenverbrauch waren keine Auswirkungen zu erwarten.

Für die Mortalität gibt es möglicherweise eine Auswirkung durch die Kühlwasserzufuhr beeinflusst werden. Aufgrund der Anpassungen am System (Abschreckungssystem und Umleitung zurück in die Schelde) sind die Verluste jedoch stark reduziert, so dass nur eine begrenzte Auswirkung zu erwarten ist.

In Bezug auf die Beeinträchtigungen sind Änderungen nur im Bereich der Lärmbelästigung zu erwarten. Diese Änderungen sind eher begrenzt, da der Plan nur eine Änderung für das Kernkraftwerk Doel 4 vorsieht und es sich zudem um einen bestehenden Lärm handelt, der kontinuierlich und vorhersehbar ist. Daher sind keine signifikanten Auswirkungen auf die Arten in der Umgebung zu erwarten.

Die Auswirkungen des Betriebs der Kernkraftwerke selbst in Form von versauernden und eutrophierenden Ablagerungen sind vernachlässigbar. Außerdem sind andere Faktoren wie die Wasserqualität der Schelde an diesem Standort viel entscheidender. Durch die vermiedenen Emissionen sind jedoch positive Auswirkungen zu erwarten. Eine signifikante Auswirkung ist jedoch nur in der unmittelbaren Umgebung der „Ersatzanlagen“ zu erwarten; ihr Standort ist jedoch nicht bekannt. Das macht es schwierig, die Bedeutung dieser positiven Auswirkungen zu beurteilen.

Die wichtigste Auswirkung des Plans ist jedoch die auf die Wasserqualität der Schelde. Die Einleitung von Kühl-, Sanitär- und Industriewasser sorgt für eine lokale Verschlechterung der Wasserqualität. Die Auswirkung ist jedoch auf den Bereich innerhalb des Leitdamms beschränkt, sodass keine signifikanten Auswirkungen auftreten. Lokal gibt es keine Hinweise darauf, dass die Auswirkungen einen stark nachteiligen Effekt für die vorhandenen Organismen haben. Angesichts der Ausweisung der Schelde selbst als BSG-H und der möglichen Bedeutung dieses Bereichs für die Vögel des BSG-V ist dies eine wichtige Schlussfolgerung.

Auf der Grundlage dieser Analyse wurde der Schluss gezogen, dass der Plan keine merklich negativen oder positiven Auswirkungen auf die relevanten politischen Ziele hat. Die Auswirkung ist neutral.

3.3.8 Minderungsmaßnahmen

Da das Projekt keine spürbaren Auswirkungen auf die politischen Ziele hat, sind keine Minderungsmaßnahmen vorgesehen.

3.3.9 Wissenslücken und Überwachung

Die größte Wissenslücke betrifft den Ort der vermiedenen Emissionen. Hierbei handelt es sich um eine positive Auswirkung des Plans. Aufgrund der Unsicherheit wird die positive Auswirkung als begrenzt angesehen.

Darüber hinaus bestehen auch Unsicherheiten über die möglichen lokalen Auswirkungen auf die Wasserqualität. Da sich die allgemeine Wasserqualität der Schelde immer noch erholt, ist es in der Tat schwierig zu wissen, ob die Qualität ohne den Plan noch besser hätte sein können. Da es sich jedoch lediglich um lokale Auswirkungen handelt, die zudem im Vergleich zur jetzigen Situation abnehmen werden, sind die Auswirkungen auf die Bewertung vernachlässigbar.

3.4 Thema Luft

3.4.1 Relevante politische Ziele

Die relevantesten politischen Ziele im Rahmen dieser UVP sind die Emissionsminderungsziele, die auf europäischer Ebene für die föderale Ebene festgelegt und auf die regionale Ebene weiter verteilt wurden.

Die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen oder NEC(National Emission Ceilings)-Richtlinie (2001/81/EG) wurde im Jahr 2001 veröffentlicht. Die Richtlinie definierte Emissionshöchstgrenzen, die ab 2010 nicht mehr überschritten werden dürfen für:

- Schwefeldioxid (SO₂);
- Stickstoffoxide (NO_x);
- flüchtige organische Verbindungen (VOC), außer Methan;
- Ammoniak (NH₃).

Ende 2016 ist die überarbeitete NEC-Richtlinie in Kraft getreten (2016/2284/EU). Sie enthält Ziele für 2020 und 2030, die als relative Reduktionen im Vergleich zu den Emissionen von 2005 formuliert sind. Zudem wurden die Emissionsobergrenzen auch für PM_{2,5} aufgenommen.

Tabelle 26: NEC-Reduktionsziele 2030, wie im Flämischen Luftqualitätsplan 2030 angegeben.

Reduktionsziele für Belgien bis 2030 und verteilung über die Regionen						
	BE-2005	BE 2030	Emissionsobergrenze			
	Emissionen Belgien	Reduktions- ziele	BE	FL	WAL	BRU
	kt	% bezogen auf 2005	kt	kt	kt	kt
NO _x	303,5	-59	124,4	71,8	49,4	3,2
SO _x	142,1	-66	48,3	32,5	15,4	0,4
PM _{2,5}	34,8	-39	21,2	11,9	8,8	0,5
NM VOC	145,8	-35	94,8	58,8	32,1	3,9
NH ₃	78,8	-13	68,6	41,5	27,0	0,1

NM VOC : nicht methanhaltigen flüchtigen organischen Verbindungen

Neben den Emissionszielen kann auch auf Luftqualitätsziele Bezug genommen werden. Diese Ziele beruhen auch auf der europäischen Gesetzgebung.

Die europäische Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa schreibt vor, dass die Luftqualität dort, wo sie gut ist, erhalten und in anderen Fällen verbessert werden muss. Außerdem ist festgelegt, dass bei Überschreitung der Norm für einen oder mehrere Schadstoffe der Zeitraum der Überschreitung so kurz wie möglich gehalten werden muss.

Tabelle 27: Luftqualitätsziele in Übereinstimmung mit der Europäischen Luftrahmenrichtlinie (Überarbeitung angenommen am 14. April 2008).

Schadstoff	Mittelungszeit	Grenzwert	Datum, bis zu dem der Grenzwert eingehalten werden muss
Schwebstoffe (PM₁₀)			
Tagesgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	der 24 Stunden	50 µg/m ³ PM ₁₀ darf nicht mehr als 35 Mal pro Jahr überschritten werden.	1. Januar 2005

Schadstoff	Mittelungszeit	Grenzwert	Datum, bis zu dem der Grenzwert eingehalten werden muss
Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	40 µg/m³ PM ₁₀	1. Januar 2005
Schwebstoffe (PM_{2,5})			
Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	25 µg/m³ PM _{2,5} ¹	1. Januar 2015
Indikativer Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	20 µg/m³	1. Januar 2010
Nationaler Zielwert für die Verringerung der Exposition im Vergleich zum GBI im Jahr 2010	GBI	15,2 µg/m³	2020
Flämischer Zielwert für die Verringerung der Exposition im Vergleich zum GBI im Jahr 2010	GGBI	15,7 µg/m³	2020
Verpflichtung zur Expositionskonzentration	GBI	20 µg/m³	2015
Stickstoffdioxid (NO₂) und Stickstoff-Oxide (NO_x)			
Stündlicher Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	1 Stunde	200 µg/m³ NO ₂ darf nicht mehr als 18 Mal pro Kalenderjahr überschritten werden	1. Januar 2010
Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	40 µg/m³ NO ₂	1. Januar 2010
Alarmschwelle	1 Stunde	400 µg/m³ NO ₂ für 3 aufeinanderfolgende Stunden	1. Januar 2010
Jahresgrenzwert für den Schutz der Vegetation	Kalenderjahr	30 µg/m³ NO _x	19. Juli 2001 In Flandern sind jedoch keine Gebiete festgelegt, in denen der Grenzwert gilt
Schwefeldioxid (SO₂);			
Stündlicher Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	1 Stunde	350 µg/m³ darf nicht mehr als 24 Mal pro Kalenderjahr überschritten werden	1. Januar 2005
Tagesgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	24 Stunden	125 µg/m³ darf nicht mehr als 3 Mal pro Kalenderjahr überschritten werden	1. Januar 2005

Schadstoff	Mittelungszeit	Grenzwert	Datum, bis zu dem der Grenzwert eingehalten werden muss
Alarmschwelle	1 Stunde	500 µg/m ³ SO ₂ für 3 aufeinanderfolgende Stunden	1. Januar 2005
Kritischer Wert für den Schutz der Vegetation	Jahres- und Wintersaison	20 µg/m ³	19. Juli 2001 In Flandern sind jedoch keine Gebiete festgelegt, in denen der Grenzwert gilt
Kohlenmonoxid (CO)			
Tagesgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Durchschnitt an einem Tag	10 mg/m ³	1. Januar 2005
Blei (Pb)			
Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	0,5 µg/m ³	1. Januar 2005 (1. Januar 2010)
Benzol (C₆H₆)			
Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	5 µg/m ³	1. Januar 2005
Ozon (O₃)			
Zielwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Durchschnitt an einem Tag (NET60 _{ppb})	120 µg/m ³ (durchschnittlich über 3 Jahre: max. 25 Überschreitungstage pro Jahr)	1. Januar 2010
Langfristiges Ziel zum Schutz der menschlichen Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Durchschnitt an einem Tag (NET60 _{ppb})	120 µg/m ³	
Informationsschwelle	Stundendurchschnitt	180 µg/m ³	
Alarmschwelle	Stundendurchschnitt	240 µg/m ³	
Zielwert für den Schutz der Vegetation	AOT40 _{ppb}	18.000 (µg/m ³). Stundendurchschnitt über 5 Jahre	
Langfristiges Ziel zum Schutz der Vegetation	AOT40 _{ppb}	6.000 (µg/m ³).Stunden	

Im Oktober 2019 wurde der Flämische Luftpolitikplan 2030 (FLP) von der Flämischen Regierung verabschiedet. Dieser Plan zeigt, dass vor allem die Schadstoffe NO₂ und Feinstaub saniert werden müssen, um eine Situation zu erreichen, in der die Luftverschmutzung keine negativen Auswirkungen mehr auf Mensch und Umwelt hat. Es zeigt sich auch, dass der Luftqualitätsstandard für NO₂ in ganz Flandern an vielen Stellen überschritten wird, insbesondere an verkehrsreichen Stellen. Die Hintergrundkonzentrationen werden durch die kumulative Wirkung aller Emissionsquellen in der Umgebung verursacht. Um den Zeitraum der Überschreitung so kurz wie möglich zu halten, müssen die zusätzlichen Emissionen so weit wie möglich begrenzt werden.

Link: <https://omgeving.vlaanderen.be/luchtverontreiniging-actieplannen#luchtbeleidsplan>

Was die mögliche künftige Verschärfung der Luftqualitätsnormen betrifft, so kann auf den nachstehenden Vorschlag der Europäischen Kommission in der Fassung von Ende 2022 verwiesen werden. In diesem Vorschlag werden die von der WHO im Zusammenhang mit der Verringerung der Auswirkungen der Luftqualität auf die Gesundheit formulierten angepassten Richtwerte stärker berücksichtigt. (EUR-Lex - 52022PC0542 - EN - EUR-Lex (europa.eu)).

EUROPEAN COMMISSION Brussels, 26.10.2022 COM(2022) 542 final 2022/0347(COD)		
Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on ambient air quality and cleaner air for Europe		
ANNEX I		
AIR QUALITY STANDARDS Section 1 - Limit values for the protection of human health		

Table 1 – Limit values for the protection of human health to be attained by 1 January 2030

Averaging period	Limit value	
PM2.5		
1 day	25 µg/m ³	not to be exceeded more than 18 times per calendar year
Calendar year	10 µg/m ³	
PM10		
1 day	45 µg/m ³	not to be exceeded more than 18 times per calendar year
Calendar year	20 µg/m ³	
Nitrogen dioxide (NO₂)		
1 hour	200 µg/m ³	not to be exceeded more than 18 times per calendar year
1 day	50 µg/m ³	not to be exceeded more than 18 times per calendar year
Calendar year	20 µg/m ³	
Sulphur dioxide (SO₂)		
1 hour	350 µg/m ³	not to be exceeded more than 18 times per calendar year
1 day	50 µg/m ³	not to be exceeded more than 18 times per calendar year
Calendar year	20 µg/m ³	
Benzene		
Calendar year	3,4 µg/m ³	
Carbon monoxide (CO)		
maximum daily 8-hour mean (1)	10 mg/m ³	
1 day	4 mg/m ³	not to be exceeded more than 18 times per calendar year
Lead (Pb)		
Calendar year	0,5 µg/m ³	
Arsenic (As)		
Calendar year	6,0 ng/m ³	
Cadmium (Cd)		
Calendar year	5,0 ng/m ³	
Nickel (Ni)		
Calendar year	20 ng/m ³	
Benzo(a)pyrene		
Calendar year	1,0 ng/m ³	

(1)The maximum daily 8-hour mean concentration will be selected by examining 8-hour running averages, calculated from hourly data and updated each hour. Each 8-hour average so calculated will be assigned to the day on which it ends i.e. the first calculation period for any 1 day will be the period from 17.00 on the previous day to 1.00 on that day; the last calculation period for any 1 day will be the period from 16.00 to 24.00 on that day.

Im Rahmen der europäischen politischen Ziele zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen (u. a. durch beschleunigten Ausstieg aus der Nutzung fossiler Brennstoffe) werden sich die damit verbundenen Maßnahmen auch positiv auf die Luftqualität auswirken. Für diese spezifischen politischen Rahmenbedingungen wird auf das Kapitel über das Klima verwiesen.

3.4.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Potenziell relevante Auswirkungen, die in dieser UVP innerhalb der Disziplin Luft untersucht werden, sind die mit dem Betrieb von Doel 4 verbundenen Emissionen in die Atmosphäre. Dies betrifft in erster Linie die Verbrennungsparameter von Notstromaggregaten, Hilfsdampf- und Heizsystemen sowie von Transporten zum und vom Standort.

Weitere Quellen sind Wartungsarbeiten mit dem Einsatz verschiedener Maschinen (Holz- und Metallverarbeitung), mögliche Leckageverluste aus Kühlanlagen und Auswirkungen durch Kühltürme. In Bezug auf Emissionen von Verbrennungsparametern haben frühere Studien bereits gezeigt, dass etwaige Emissionen von Salzaerosolen aus dem Kühlturm kaum Auswirkungen haben.

Angesichts der zu erwartenden Abschaltung der Anlagen Doel 1 und Doel 2 sowie der bereits abgeschalteten Anlage Doel 3 kann für die geplante Situation ohnehin von niedrigeren Emissionen und geringeren Auswirkungen als in der derzeitigen Situation ausgegangen werden.

3.4.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Das Untersuchungsgebiet hängt angesichts der unterschiedlichen Maßstabsgrößen und Standorte tatsächlich von der zu untersuchenden Auswirkung ab. Für die verschiedenen Elemente können die folgenden Gebiete abgegrenzt werden:

- Gebiet von 5 km um das Kraftwerk zur Bewertung der lokalen Emissionen des Kraftwerks;
- Föderales Staatsgebiet zur Bewertung der Emissionswerte gegenüber den NEC-Zielen

Bei der Ermittlung der Ausgangssituation wird der erwartete künftige Rückgang der Emissionen und Auswirkungen bis 2025 sowohl aus lokalen als auch aus weiter entfernten Quellen berücksichtigt, da die Ziele für 2030 erreicht werden sollen, die voraussichtlich verschärft werden.

3.4.3.1 Aktuelle Luftqualität

Zur Erfassung der lokalen Luftqualität könnten zunächst die Immissionsmessungen von VMM herangezogen werden

Für die relevantesten Stoffe, deren Auswirkungen bewertet werden müssen, liegen nur begrenzte Messdaten vor. Zur Beschreibung der Luftqualität werden daher flächendeckende Modellrechnungen verwendet (Quelle VMM). Da die COVID-Pandemie mit einer positiven Auswirkung auf die Luftqualität verbunden war und diese Auswirkung auf den Kartendaten für 2020 und 2021 sichtbar ist (2022 ist noch nicht verfügbar), werden die Daten für 2019 weiterhin verwendet.

Die Karten beruhen auf der Interpolation der Ergebnisse von Messstationen in Flandern und den umliegenden Regionen, ergänzt durch eine hochauflösende Modellierung. Zusätzlich zu den Messergebnissen wird zur Erstellung dieser Modellkarten das so genannte Atmo-street-Modell verwendet. Dieses umfasst im Wesentlichen drei Modelle zur Einschätzung der Luftqualität: RIO, IFDM und OSPM

Auf den Karten:

- wird auch die besondere Situation in Street Canyons berücksichtigt.
- sind die lokalen Ergebnisse durch Informationen über lokale Emissionen (Verkehrszählungen, gefahrene Geschwindigkeiten, Fahrzeugpark) begrenzt.

Bei diesen Karten gibt es die folgenden Einschränkungen:

- Es liegen keine Informationen über Verkehrsemissionen auf verkehrsarmen Straßen vor. Der Verkehr auf diesen Straßen wird auf die größeren Straßen verteilt, an die die kleineren Straßen anschließen. Dadurch kann das Modell nicht für jede Straße eine eigene Berechnung durchführen. Für diese Straßen werden die „Hintergrundkonzentrationen“ angezeigt. Dabei handelt es sich um die Konzentrationen, die für ein größeres Gebiet mit einer Fläche von 4x4 km² berechnet wurden;
- Außerdem wird der Verkehr nach einem Modell zugewiesen. Auf flämischer Ebene gibt es nur wenige oder gar keine Verkehrszählungen für Nicht-Autobahnen. Die Berechnungen werden auf der Grundlage von Verkehrszählungen, gefahrenen Geschwindigkeiten und Informationen über den Fahrzeugpark durchgeführt. Durch die Kombination von Verkehrszählungen und modellierten Straßenabschnittsbelastungen wird die Verkehrsintensität ermittelt. Auf Autobahnen gibt es zu diesem Zweck permanente Intensitäts- und Geschwindigkeitsmessungen. Für das Nebenstraßennetz sind weitaus weniger Messungen verfügbar. Für den Fahrzeugpark wird der durchschnittliche flämische Fahrzeugpark herangezogen;
- Vorübergehende Verkehrssituationen (z. B. Umleitungen oder Staus) werden nicht berücksichtigt;
- Die Auswirkungen neuer Verkehrssituationen (neue Straßen, laufende Mobilitätspläne...) sind nicht sofort sichtbar;
- Die wiederholte Aufwirbelung von Staub durch den Verkehr und die Auswirkung des Vorhandenseins von Grünflächen (z. B. Bäume in einer Straße) werden nicht berücksichtigt;
- Die lokale Umweltverschmutzung, die u. a. durch Holzöfen, Kamine und große Viehzuchtbetriebe verursacht wird, ist auf den Karten nicht sichtbar. Die Verschmutzung von diesen Quellen ist in der „Hintergrundkonzentration“ enthalten (mit einer geringeren räumlichen Auflösung von 4x4 km²).

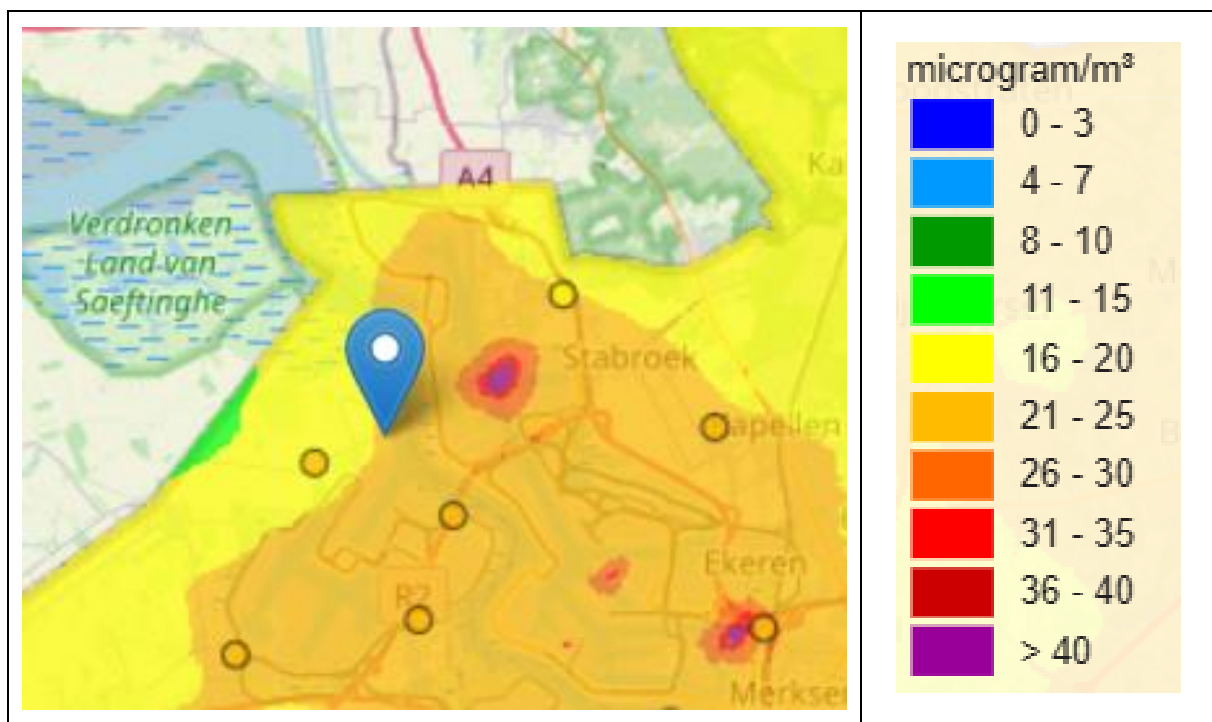


Abbildung 55: Jahresdurchschnitt PM₁₀ Konzentration in 2019 (Quell VMM).

Insgesamt wird der gesetzliche Grenzwert für PM₁₀ (Feinstaub) von 40 µg/m³ deutlich eingehalten. Große Teile des Untersuchungsgebiets liegen in einem Gebiet mit Konzentrationen von 16 bis 20 und von 21 bis 25 µg/m³. Nur an einigen besonderen Orten wie dem Hafen von Antwerpen und einigen besonderen städtischen Standorten werden entsprechend höhere Werte festgelegt. Diese Gebiete erstrecken sich über ein begrenztes Gebiet.

Allerdings werden in einem großen Teil des Untersuchungsgebiets die gesundheitlichen Richtwerte überschritten.

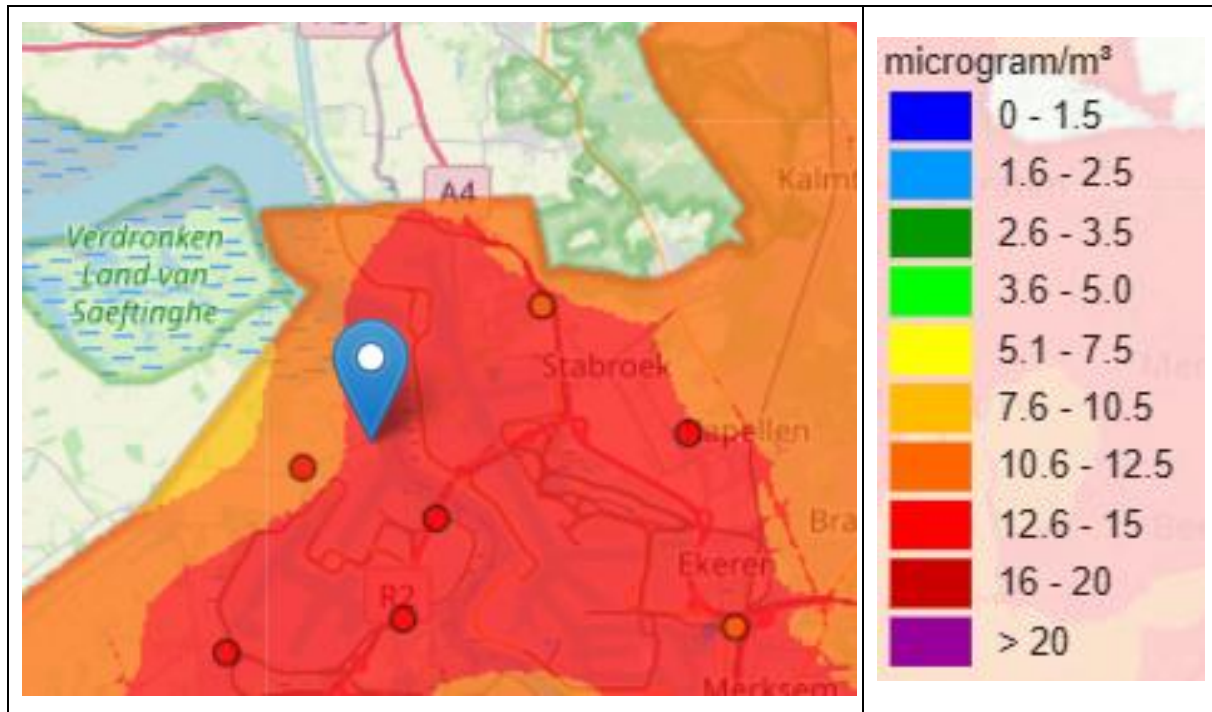


Abbildung 56: Jahresdurchschnitt PM_{2,5} Konzentration in 2019 (Quelle VMM).

Insgesamt wird in Bezug auf PM_{2,5} der gesetzliche (indikative) Grenzwert von 20 µg/m³ deutlich eingehalten. Große Teile des Untersuchungsgebiets liegen in einem Gebiet mit Konzentrationen von 11 bis 12 und von 13 bis 15 µg/m³. Nur an einigen sehr spezifischen Orten (stark befahrene Autobahnen/Straßen) werden etwas höhere Werte berechnet. Diese Orte erstrecken sich über ein äußerst begrenztes Gebiet.

Allerdings werden in einem großen Teil des Untersuchungsgebiets die gesundheitlichen Richtwerte überschritten.

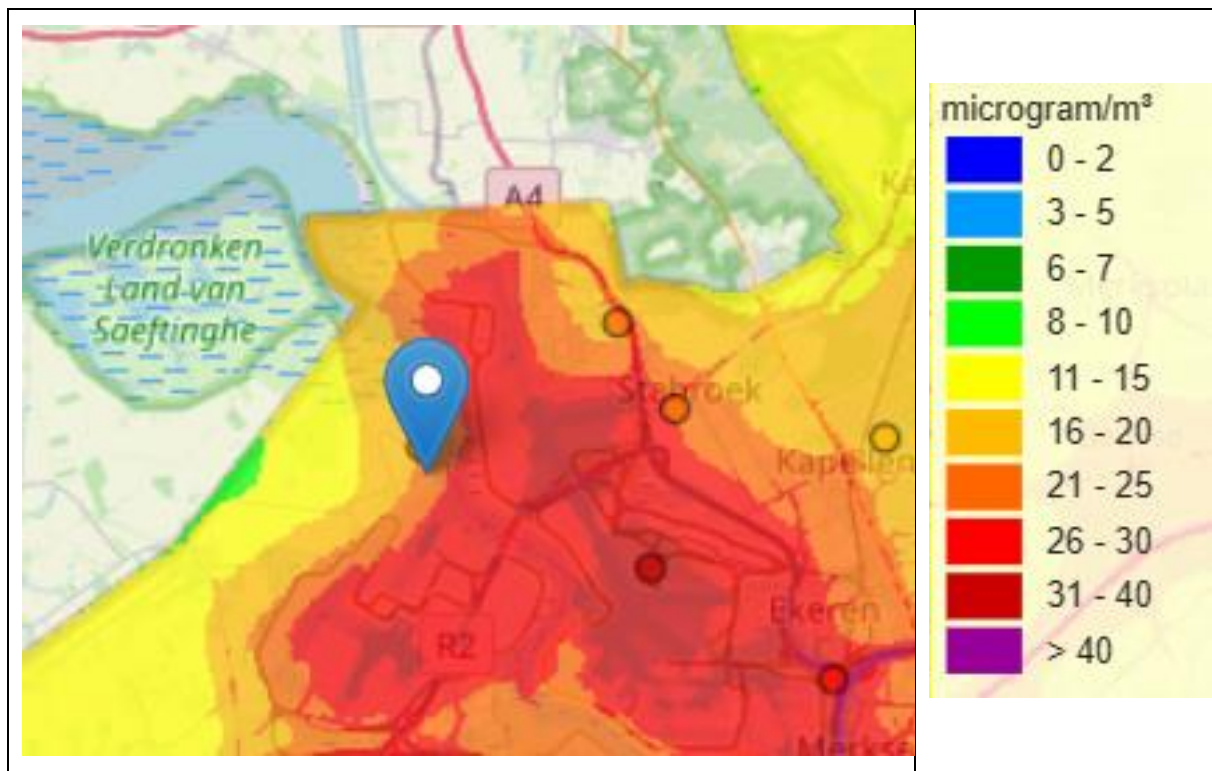


Abbildung 57: Jahresdurchschnitt NO₂ Konzentration in 2019 (Quelle VMM).

In Bezug auf NO₂ werden sehr starke räumliche Unterschiede beobachtet. Insgesamt wird der gesetzliche Grenzwert von 40 µg/m³ deutlich eingehalten. Große Teile des Untersuchungsgebiets liegen in einem Gebiet mit Konzentrationen von 11 bis 15, 16 bis 20 und 21 bis 25 µg/m³. In weiten Teilen des Antwerpener Hafens sind die Konzentrationen deutlich erhöht, was größtenteils auf den Schiffsverkehr, den Straßenverkehr und Industrieemissionen zurückzuführen ist. Städtische Ballungsräume werden auch durch die Gebäudeheizung erheblich negativ beeinflusst. Nur in der Nähe von stark befahrenen Autobahnen bzw. Straßen werden so hohe Werte berechnet, dass es zu einer Überschreitung kommt (z. B. entlang des Antwerpener Rings). Dabei ist jedoch zu beachten, dass auf den Straßen selbst und deren Randstreifen die gesetzlichen Grenzwerte nicht gelten. Darüber hinaus werden auch an Tunnelmündungen und entlang (stärker befahrener) Straßen mit beidseitig angrenzender Bebauung deutlich höhere Konzentrationen berechnet, die ebenfalls zu Grenzwertüberschreitungen führen können.

In einem großen Teil des Untersuchungsgebiets werden die gesundheitlichen Richtwerte überschritten.

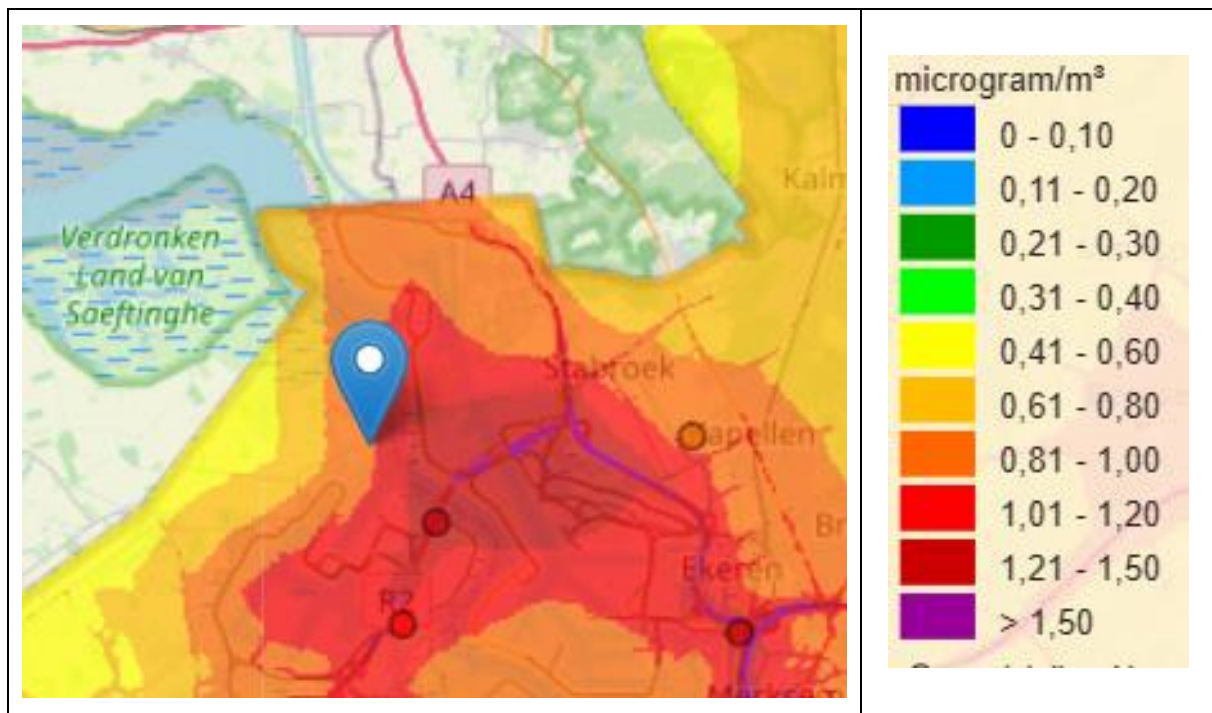


Abbildung 58: Jahresdurchschnitt EC Konzentration in 2019 (Quelle VMM).

Auch für elementaren Kohlenstoff (EC) (ein Parameter, der als Maß für den Gehalt an schwarzem Kohlenstoff (BC: black Carbon) und Ruß angesehen werden kann) werden starke räumliche Schwankungen beobachtet, die hauptsächlich durch die Nutzung fossiler Brennstoffe verursacht werden. Für EC und BC gelten weder Grenz- noch Zielwerte. Große Teile des Untersuchungsgebiets liegen in einem Gebiet mit Konzentrationen von 0,5 bis 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Innerhalb größerer städtischer Ballungsräume und des Hafens von Antwerpen werden sogar noch höhere Werte berechnet, bis zu ca. 1,5 $\mu\text{g C}/\text{m}^3$. Entlang der verkehrsreichsten Straßen sind diese Konzentrationen sogar noch höher.

Schlussfolgerungen aktuelle Luftqualität

Die aktuelle Luftqualität in der Umgebung des Projektgebiets wurde bewertet. Für die Parameter, für die keine Messdaten im oder in der Nähe des Untersuchungsgebiets bekannt sind, wurde eine Schätzung der lokalen Luftqualität anhand von Literatur- und/oder Modelldaten vorgenommen.

Bei den Emissionen/Auswirkungen von ortsfesten Anlagen und Transporten ist NO_x/NO_2 der wichtigste Parameter. In Bezug auf NO_2 lassen sich für die Umgebung des Untersuchungsgebiets folgende Schlussfolgerungen formulieren:

- Es werden große räumliche Schwankungen der NO_2 -Konzentrationen beobachtet, die weitgehend durch den Straßenverkehr, die Schifffahrt, Industrieemissionen und Gebäudeheizungen bedingt sind;
- Die höchsten NO_2 -Konzentrationen werden in unmittelbarer Nähe der verkehrsreichsten Autobahnen bzw. Straßen berechnet. An diesen Orten kommt es zu Überschreitungen des Jahresmittelgrenzwerts von 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (und des WHO-Richtwertes);
- Die Auswirkungen des Straßenverkehrs nehmen relativ schnell ab, je weiter man sich von der Straße entfernt;
- Die VMM-Messwerte zeigen, dass der Stundenmittelgrenzwert (von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), der 18 Mal pro Kalenderjahr überschritten werden darf, tatsächlich eingehalten wird;
- Die Schifffahrt scheint neben den Industrieemissionen im Hafen von Antwerpen eine sehr wichtige Quelle für die dort beobachteten global erhöhten NO_2 -Konzentrationen zu sein.

Bei Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) werden zwar die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten, aber die von der WHO empfohlenen Richtwerte werden überschritten. Die Feinstaubkonzentrationen weisen eine wesentlich geringere räumliche Streuung auf.

Wichtige lokale Quellen sind auch hier die Industrie und die Schifffahrt.

3.4.3.2 Luftqualität in der Referenzsituation

Um die Luftqualität in der Referenzsituation zu ermitteln, werden die Ergebnisse der modellierten Hintergrundkonzentrationen an einer Reihe von Beurteilungspunkten in der Umgebung des Projektgebiets herangezogen. Dabei werden die Daten für 2025 verwendet.

Tabelle 28: Konzentrationen 2025 an einer Reihe von Messpunkten in der Umgebung des Projektgebiets in umliegenden Wohngebieten, VMM-Messstationen und an der niederländischen Grenze (modeloutput IMPACT).

				AG2025	AG2025	AG2025
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
		X	Y	avg	avg	avg
n°	Messpunkt	m	m	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
12	Zandvliet	146100	227500	23,5	19,2	12,7
13	Berendrecht-Hoefbladstraat	147100	226200	23,7	19,2	12,6
14	Berendrecht	145540	225450	30,1	20,4	14,1
15	Lillo	144510	221650	34,0	20,4	15,3
16	Fort Liefkenshoek	144160	220390	33,6	20,2	15,2
17	Doel	142710	222380	28,8	19,5	14,4
18	Sattingen	140490	221730	19,1	18,4	12,8
19	Kieldrecht	136300	220400	13,4	18,4	11,7
20	Verrebroek	137500	216100	17,1	17,6	12,1
21	Vrasene	137600	212400	13,1	17,0	11,0
29	Zwijndrecht	147100	212000	23,3	17,8	11,6
30	Burcht	148500	210900	26,0	18,3	11,8
31	L.O.	151000	213300	29,9	18,8	12,2
32	Antwerpen	152200	211500	32,2	18,8	11,8
45 -MP	Antwerpen-Linkeroever	150865	214046	29,6	18,9	12,3
51 -MP	Zandvliet-Scheldelaan	148139	215578	27,7	19,7	13,1
53 -MP	Berendrecht-Hoefbladstraat	147976	226558	21,1	18,5	11,8
54 -MP	Beveren-Meerminnendam	141037	211484	16,2	17,0	11,0
57 -MP	Kallo-Schleuse	143727	217020	31,8	19,5	14,1
58 -MP	Kapellen Fortstraat	155302	223403	21,3	17,0	10,7
60 -MP	Stabroek Laageind	149541	224212	24,8	19,1	12,3
NI-1	Niederländische Grenze	137700	222700	15,2	16,8	13,0
NI-2	Niederländische Grenze	140500	226400	19,8	17,1	13,5
NI-3	Niederländische Grenze	142800	229500	21,1	18,4	13,1
NI-4	Niederländische Grenze	147500	229700	16,3	17,2	11,0

Die Schlussfolgerungen für das Jahr 2025 sind ähnlich wie die der aktuellen Situation: Die gesetzlichen Grenzwerte für NO₂, PM₁₀ und PM_{2,5} werden eingehalten. Allerdings werden die gesundheitlichen Richtwerte in der Regel überschritten.

Im weiteren Zeitverlauf (2030/2035) kann davon ausgegangen werden, dass die Hintergrundkonzentrationen aufgrund politischer Rahmenbedingungen und der erwarteten Verschärfung der Emissionsnormen noch weiter sinken werden.

3.4.4 Beschreibung der Auswirkungen

Die nichtnuklearen Auswirkungen auf die Luftqualität beim Betrieb des Standorts sind hauptsächlich auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Ortsfeste Verbrennungsanlagen (leitungsgeführte Emissionen);
- Mögliche Emissionen bei Wartungsarbeiten (diffuse und leitungsgeführte Emissionen);
- Transport / Beförderung von Arbeitnehmern (diffuse Emissionen).

In erster Linie werden die aktuellen Emissionen ermittelt. Anschließend werden auf der Grundlage von Prognosen für die geplante Situation die zu erwartenden Emissionen nach 2025 ermittelt und bewertet.

3.4.4.1 Aktuelle Emissionen

Ortsfeste Anlagen

Ortsfeste Anlagen, die berücksichtigt werden, sind

- Verbrennungsanlagen;
- Maschinen für Wartungsarbeiten;
- Kühlanlagen;
- Kühlturm.

Die aktuellen Auswirkungen des gesamten Standorts werden hauptsächlich durch die ortsfesten Verbrennungsanlagen beeinflusst. Die leitungsgeführten Emissionen stammen aus verschiedenen Verbrennungsanlagen: Hilfsdampfkessel, Notstromaggregate und Heizungsanlagen. Diese Anlagen werden mit Gasöl betrieben.

Nach dem Stand der Lizenz (Lizenz mit Ablaufdatum 30. März 2031 mit dem Zeichen M03/46003/46/2/M/4/CW) zu urteilen, handelt es sich dabei um:

- **71 ortsfeste Motoren** mit einer Gesamtfeuerungswärmeleistung von 247,943 MWth, die sich wie folgt aufteilt: • D12: 75,6 MWth (4 x 6,2 MWth, 2 x 4,3 MWth, 2 x 6,1 MWth, 5 x 6,0 MWth) • D3: 72,3 MWth (4 x 12,6 MWth, 2 x 2,4 MWth, 3 x 5,7 MWth) • D3: 72,3 MWth (4 x 12,6 MWth, 2 x 2,4 MWth, 3 x 5,7 MWth) • Standort: 40,343 MWth (1 x 0,020 MWth, 1 x 0,025 MWth, 1 x 0,033 MWth, 1 x 0,034 MWth, 4 x 0,044 MWth, 2 x 0,066 MWth, 1 x 0,103 MWth, 2 x 0,125 MWth, 5 x 0,234 MWth, 5 x 0,5 MWth, 4 x 4 MWth, 11 x 1,7 MWth, 3 x 0,4 MWth)

- **2 Verbrennungsanlagen für Hilfsdampfkessel** mit einer Wärmeleistung von jeweils 43,26 MWth und **1 Heizungsanlage** mit einer Wärmeleistung von 0,204 MWth (insgesamt 86,724 MWth).

Der Hilfsdampf wird unter normalen Bedingungen von den in Betrieb befindlichen Anlagen bereitgestellt. Wenn das nicht möglich ist, können die 2 Hilfsdampfkessel die Funktion übernehmen.

Die Notstromaggregate werden mit Gasöl betrieben und stellen die Stromversorgung der Sicherheits-, Not- und Hilfsanlagen sicher, falls die externe Stromversorgung ausfallen sollte. Unter normalen Umständen sind diese Anlagen nicht in Betrieb. In regelmäßigen Abständen werden sie getestet, um ihre Verfügbarkeit zu überprüfen. Dadurch sind die Betriebsstunden all dieser Anlagen und ihre Emissionen begrenzt.

Gemäß Titel II der VLAREM gelten die Emissionsgrenzwerte nicht für Feuerungsanlagen, die nicht mit festen Brennstoffen betrieben werden, wenn die Zahl der Betriebsstunden unter 100 pro Kalenderjahr liegt.

Von diesen Anlagen liegen keine validierten Ergebnisse von Emissionsmessungen vor. Die gesetzliche Verpflichtung für solche Messungen hängt von der Kapazität der einzelnen Anlagen (jede mit einem eigenen Emissionspunkt, der von der Genehmigungsbehörde nicht als Zusammensetzung von Anlagen angegeben wurde) und der Anzahl der Betriebsstunden auf Jahresbasis ab. Daran sind auch die geltenden Emissionsgrenzwerte geknüpft.

Es liegen Messdaten des Hilfsdampfkessels vor, die bei einer technischen Wartung der Anlage gewonnen wurden. Obwohl sie nicht von einem anerkannten Labor durchgeführt wurden, werden diese Messdaten bei der Folgenabschätzung berücksichtigt, da die daraus berechneten Emissionen im Vergleich zur Verwendung von Emissionszahlen als genauer angesehen werden können.

Tabelle 29: Emissionsergebnisse des Hilfsdampfkessels bei der Prüfung nach der Brenneinstellung (Saacke-Bericht vom 19.10.2021) mit gleichzeitigem Betrieb beider Brenner

Saacke-Tests		beim heutigen O ₂		bei 3 % O ₂		
	O ₂	CO	NO _x	CO	NO _x	Temp.
Belastung	%-Vol	mg/Nm ³ dr	mg/Nm ³ dr	mg/Nm ³ dr	mg/Nm ³ dr	°C
0 %	7.2	0	179	0	233	162
10 %	7.3	0	232	0	305	172
20 %	6	0	252	0	302	175
30 %	6.2	0	241	0	293	176
40 %	5.8	8	300	9	355	177
50 %	6.4	4	218	5	269	179
60 %	6.2	20	211	24	257	181
70 %	5.3	34	263	39	302	188
80 %	4.7	73	273	80	301	187
85%	4.3	76	274	82	295	185
Durchschnitt	5.9	21	244	24	291	178

Die Häufigkeit und Dauer der Motorprüfung hängt von der Funktion des Dieseldieselgenerators ab (Hilfsdiesel, Sicherheitsdiesel, Notdiesel, Dieseldieselgeneratoren GUM).

Die Betriebszeit der Hilfsdampfkessel ist angesichts des Vorhandenseins mehrerer Reaktoren auf Jahresbasis ebenfalls begrenzt.

Diese Anlagen wirken sich fast ausschließlich auf NO_x/NO₂ aus und in weitaus geringerem Maße auf SO₂, CO und Staub.

Die aktuellen Auswirkungen sind in der derzeitigen Luftqualität enthalten, die von VMM auf der Grundlage von Messungen und Berechnungen erfasst wurde. Der Ausstoß der Anlagen ist so gering, dass auf den Modellkarten von VMM keine nachweisbaren Auswirkungen zu erkennen sind.

Da die meisten dieser Anlagen in der geplanten Situation nicht mehr in Betrieb sein werden, wird es als wenig sinnvoll erachtet, die Auswirkungen dieser Anlagen in der aktuellen Situation anhand von Emissions- und Auswirkungsberechnungen zu modellieren. Dies wird jedoch für die Situation bei der Umsetzung des Projekts geschehen.

Neben Feuerungsanlagen können auch eine Reihe von Maschinen mit potenziell auftretenden Emissionen genannt werden, die bei Wartungsarbeiten eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich im Grunde nur kleinere Arbeiten. Umfangreiche Holz- und Metallbearbeitungsarbeiten werden ausgelagert.

Die Instandhaltungswerkstatt ist mit kleineren Maschinen für die mechanische Bearbeitung von Metallen und die Herstellung von Gegenständen aus Metall (Schmiede) ausgestattet, wie z. B. einer Schweiß-Strahlkabine, einer Drehbank, einer Bohrmaschine und Sägemaschinen. Die Emissionen solcher Anlagen werden im Wesentlichen diffus in die Werkstatt abgegeben, mit Ausnahme der Schweißdämpfe, die abgesaugt werden. Größere Schweißarbeiten werden ausgelagert.

Zu den Werkstätten gehören auch Einrichtungen zur mechanischen Bearbeitung und Herstellung von Holzartikeln (Schreinerei mit u. a. Bohrmaschinen, Fräsmaschinen, Plattenmaschinen, Ablängmaschinen, Kantenbearbeitungsmaschinen usw.). Von diesen Anlagen können auch diffuse Emissionen ausgehen, die über eine Absauganlage ausgestoßen werden können. Die Gesamtleistung bzw. -kapazität dieser Anlagen ist so gering und ihr Einsatz so begrenzt, dass von diesen Anlagen keine nachweisbaren Auswirkungen in der Nähe der Parzellengrenzen zu erwarten sind, selbst wenn die Absauganlagen nicht mit Staubfiltern ausgestattet wären.

Von diesen Anlagen liegen keine Emissionsmesswerte vor. Die Leistungen und Kapazitäten sind so begrenzt und ihr Einsatz so sporadisch, dass bei diesen mechanischen Holz- und Metallverarbeitungen keine Emissionen zu erwarten sind, die die Schwellenwerte überschreiten, ab denen die allgemeinen Vlare-II-Emissionsgrenzwerte anwendbar werden.

In Anbetracht des sehr begrenzten Betriebs dieser Anlagen (im Rahmen von Wartungsarbeiten), der sehr begrenzten Leistung/Kapazität und der Tatsache, dass die relativen Emissionen dieser Anlagen sehr begrenzt sind, werden von diesen Anlagen außerhalb der Grundstücksgrenzen keine nachweisbaren Auswirkungen erwartet, selbst wenn die Absauganlagen nicht mit Staubfiltern ausgestattet wären. Dies gilt umso mehr, als bei mechanischen Tätigkeiten hauptsächlich gröbere Stäube entstehen, die sich in der Werkstatt schnell absetzen, so dass nur ein begrenzter Teil über die Gebäudelüftung abgegeben werden kann.

Emissionen können auch beim Entfetten von Metallen oder Metallgegenständen mit organischen Lösungsmitteln entstehen. Diese Emissionen entstehen auch diffus in der Werkstatt und können durch die Gebäudelüftung emittiert werden. Der Gesamtverbrauch an organischen Lösungsmitteln ist so gering, dass außerhalb der Parzellengrenzen keine nachweisbaren Auswirkungen zu erwarten sind.

Die Entfettung von großen Anlagen wird extern durchgeführt. In den Werkstätten sind Entfetter auf Basis von biocircle L und biocircle L ultra CMS 34627 vorhanden. Von letzteren wurden im Jahr 2022 2 * 200 l gekauft. Diese Produkte enthalten nur relativ geringe Mengen an organischen Stoffen, die dann auch nur einen begrenzten Dampfdruck aufweisen, so dass die Menge der in die Luft freigesetzten flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) als vernachlässigbar angesehen werden kann.

Es gibt zudem eine Werkstatt für die Reparatur von Kraftfahrzeugen (einschließlich Karosseriearbeiten). Bei solchen Reparaturen sind Emissionen von Staub und flüchtigen organischen Lösungsmitteln möglich. Die Nutzung dieser Einrichtungen ist jedoch so gering, dass in der Nähe der Parzellengrenzen keine nachweisbaren Auswirkungen zu erwarten sind.

Unbeabsichtigte Leckage-Emissionen können auch bei Kühlanlagen auftreten. Auf der Grundlage der gesetzlichen Verpflichtung zur Aufzeichnung von Auffüllungen von Kälteflüssigkeiten können die Leckage-Emissionen berechnet werden.

Tabelle30: Übersicht Leckageverluste.

Datum Auffüllung	PKD Code Gerät	Art des Kältemittelgases	kg Auffüllung im Zeitraum 2020-2022	Im Einsatz bis
15.01.2020	Scaldis CIAT rechts Seite B	R410A	88,4 kg	2038
1.04.2020	D3/CF-ML0029	R134A	1,2 kg	2025
2.04.2020	D3/CF-ML1020	R134A	33 kg	2025

Datum Auffüllung	PKD Code Gerät	Art des Kältemittelgases	kg Auffüllung im Zeitraum 2020-2022	Im Einsatz bis
1.04.2020	D0/OVE-FA4	R407C	15kg	2029
23.06.20	D4/CF-ML0026	R134A	4,9kg	2038
17.09.2020	D3/CF-ML0018	R134A	14,12 kg	2025
30.07.2020	D3/CF-ML0019	R134A	13,7 kg	2025
5.11.2020	D4/VK-PP0090	R134A	2 kg	2038
20.01.2020	D4/CF-ML0029	R134A	13,59 kg	2038
29.10.2020	D4/CF-ML0029	R134A	5,5 kg	2038
5.06.2020	CGB - Kühlung Küche	R410A	11kg	2038
14.07.2020	MAG - Feuerwehr Werkstatt	R410A	0,6kg	2025
17.12.20	D4/CF-ML1010	R134A	15,4 kg	2038
20.05.20	MAG - 034	R410A	1,7 kg	2025
18.01.21	D3/CF-ML0027	R134A	19,4 kg	2025
27.01.21	D4/CF-ML0026	R134A	4,51 kg	2038
02.03.21	D3/CF-ML0018	R134A	2,8 kg	2025
16.02.21	D3/CF-ML0019	R134A	1,9 kg	2025
12.04.21	D4/CF-ML0019	R134A	6,5 kg	2038
06.05.21	D3/CF-ML0019	R134A	9,71 kg	2025
17.03.21	D4/CF-ML1010	R134A	50,5kg	2038
04/11.21	WPG - 135 (Vinçotte) (DS/VOG006)	R410A	2,9 kg	2025
03.01.21	D0/OVE-FA4	R407C	10 kg	2029
16.12.21	D3/CF-ML1020	R134A	1,8 kg	2025
11.01.22	DS/VAG-ML0825	R410A	1,8 kg	2038
11.04.2022	D3/CF-ML0026	R134A	3,12 kg	2025
9.04.2022	D4/CF-ML0023	R134A	3,4 kg	2038
9.05.2022	D3/CF-ML0019	R134A	3,7 kg	2025
16.05.22	SOC-103	R410A	3,5 kg	2038
02.06.22	D4/CF-ML0018	R134A	5,93 kg	2038
26.07.2022	D4/CF-ML0018	R134A	1,42 kg	2038
25.07.2022	D3/CF-ML0018	R134A	20 kg	2025
15.06.22	Kühlschrank Küche	R134A	0,25 kg	2038
22.08.22	D4/CF-ML1020	R134A	23,92 kg	2038
08.09.22	D4/CF-ML0019	R134A	20,06 kg	2038
17.10.2022	DT/CFV-ML0003	R410A	21,3 kg	2038
24.10.2022	D0/CF0E87B	R134A	107,75 kg	2029
10.11.2022	D3/AF-ML0100	R410A	18,17 kg	2025
16.11.2022	D0/OVE-FA3	R407C	26,9 kg	2029
8.12.2022	DT/CFV-ML0003	R410A	21,3 kg	2038
06.12.22	WDG serverroom	R410A	0,46 kg	2038

Von den festgestellten Leckage-Emissionen in der Nähe der Parzellengrenzen werden keine nachweisbaren Auswirkungen erwartet.

Am Standort wird auch Hydrazin verwendet. Eine Geruchsbeeinträchtigung (NH_3 -ähnlicher Geruch) könnte bei den Emissionen auftreten, da die Geruchsschwelle relativ niedrig ist (etwa 2 bis 3 ppm). Die Lieferung erfolgt nach einem genau definierten Verfahren, bei dem stets gewährleistet ist, dass die gespeicherte Konzentration 5 % nicht übersteigt (zuerst Wasser und dann 15 % Lieferung). An den Tanks befinden sich auch Wasserstopps, um die Atmung der Tanks aufzufangen. Diese Wasserstopps werden in genau festgelegten Zeiträumen aufgefrischt, damit die Konzentration in ihnen nicht zu hoch wird. Die Benutzung von N_2H_2 ist in einer leichten Überkonzentration begrenzt. In Gegenwart von Luft zerfällt das Produkt in Stickstoff und Wasser. Im Abwasser werden auch die kleineren Rückstände in einer Reaktion abgebaut. Höhere Konzentrationen werden bei der Konditionierung der Dampferzeuger im Stillstand verwendet. Rückstände aus diesen Einleitungen können sich möglicherweise im Abwasser wiederfinden. Neben Hydrazin wird auch Ammoniak dosiert. Die Konzentrationen sind ebenfalls gering. Angesichts der getroffenen Maßnahmen und der Art des Verbrauchs kann eine mögliche Emission von Hydrazin und NH_3 in die Luft als vernachlässigbar angesehen werden. Außerhalb der Parzellengrenzen sind daher keine (Geruchs-)Auswirkungen zu erwarten.

Auch der sehr begrenzte Verbrauch anderer Stoffe wie H_2SO_4 (z. B. in der Wasserreinigung) dürfte keine nachweisbaren Auswirkungen auf die Luftqualität haben.

Eine Emissionsquelle mit möglichen Auswirkungen auf die Luftqualität ist der Kühlturm und die damit verbundenen möglichen Emissionen von Salzaerosolen.

Bei den Kühlkreisläufen der Blöcke Doel 3 und 4 handelt es sich um teilweise geschlossene Kühlkreisläufe, d. h., das Kühlwasser zirkuliert zwischen dem Kühlturm und dem Kondensator. Die Wiederauffüllung (und zusätzliche Kühlung) erfolgt auch durch die kontinuierliche Zufuhr (und Einleitung) von Schelde-Wasser. Im Kühlturm verdunstet ein Teil des Kühlwassers. Bei dieser Verdunstung und Zerstäubung werden auch Aerosole in die Luft freigesetzt. Diese Aerosole enthalten auch Salzkonzentrationen aus dem Brackwasser der Seeschelde. Die mögliche Auswirkung dieser Salzaerosole wird sich tatsächlich in der Umgebungsluft ausbreiten und möglicherweise zu einer lokalen Erhöhung der Salzkonzentration führen. Aufgrund der sehr beträchtlichen Emissionshöhe (über 140 m) werden diese Salzaerosole jedoch stark verdünnt, bevor ein Teil von ihnen den Boden erreicht. Es ist nicht zu erwarten, dass die Jahresdurchschnittskonzentrationen in der unmittelbaren Umgebung die an der Küste auftretenden partikelförmig gebundenen Salzkonzentrationen aufgrund der hiesigen Ausbreitung überschreiten. An der Küste liegt der Anteil von PM_{10} , der aus Salzen stammt, bei 4 bis 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Diese Konzentration nimmt landeinwärts systematisch ab. Auf der Grundlage früherer Studien, auf die auch in der UVP von Arcadis (2021) verwiesen wird, sind die Auswirkungen daher akzeptabel.

In der UVP von Arcadis wird zudem ein Salzgehalt des (aus der Schelde gepumpten) Umlaufwassers in den Kühltürmen von 20 g/l berechnet, was ein pessimistisch geschätzter Jahresdurchschnitt ist, da Messungen im Zeitraum 2010-2019 einen maximalen Salzgehalt des gepumpten Schelde-Wassers von etwa 10,8 g/l ergeben (Arcadis, 2021). Ein Durchschnittswert von 10 g/l könnte daher als realistischer angesehen werden.

Aktuelle Auswirkung des Verkehrs vom und zum Standort

Insgesamt wird die Anzahl Transport per Lkw auf 2370/Jahr geschätzt. Im Durchschnitt bedeutet dies pro Kalendertag höchstens 14 Transportbewegungen. Selbst wenn es sich um schwere Lkw handeln würde, die alle dieselbe Strecke befahren, sind bei dieser Anzahl von Transporten keine nachweisbaren Auswirkungen auf die Luftqualität zu erwarten.

Am Standort Electrabel AG Kernkraftwerk Doel sind ca. 1000 eigene Mitarbeiter beschäftigt. Hinzu kommen bis zu 1000 ständige Mitarbeiter von Fremdfirmen.

Hierbei handelt es sich um Personen, die tagsüber und in einem Vollzeit-Schichtsystem arbeiten. Während der Überholungsarbeiten kann die Zahl der externen Mitarbeiter 2.000 erreichen.

Es wird eine gemeinschaftliche Beförderung mit Bussen organisiert, die ihre eigenen Mitarbeiter durch Abholfahrten einsammeln. Die Benutzung von Fahrrädern wird gefördert. Die externen Mitarbeiter werden in der Regel mit einem von ihrem Arbeitgeber organisierten gemeinschaftlichen Beförderung befördert.

All diese Beförderungen haben höchstens vorübergehend eine begrenzte Auswirkung auf die Luftqualität in der unmittelbaren Umgebung der Straße zum und vom Standort sowie am Standort selbst (entlang der Straßenabschnitte, an denen der gesamte Verkehr vorbeifließt). Sobald sich dieser Verkehr in verschiedene Richtungen aufteilt, ist nicht mehr mit einer nachweisbaren Auswirkung auf die Luftqualität zu rechnen.

3.4.4.2 Emissionen und Auswirkungen in der geplanten Situation

Der ursprüngliche Zeithorizont für die geplante Situation ist das Jahr 2025.

Die Gebäude werden mit Hilfsdampf beheizt, der von den in Betrieb befindlichen Kraftwerken erzeugt wird (oder von Hilfsdampfkesseln, wenn keine in Betrieb sind). Im Rahmen des DECOM-Programms (nicht des LTO-Programms) sind neue Methoden zur Beheizung der Gebäude vorgesehen. Da hierzu noch keine Daten vorliegen, wird sie in diesem Bericht auch nicht weiter berücksichtigt.

Bei der Kartierung der Emissionen in der geplanten Situation werden nicht nur die mit dem Betrieb von Doel 4 verbundenen Anlagen berücksichtigt, sondern auch alle anderen Anlagen, die am Standort noch in Betrieb sein werden. In diesem Sinne werden die gesamten kumulativen Auswirkungen im Zusammenhang mit dem Rückbau der anderen Anlagen bewertet, nicht nur die spezifischen Auswirkungen von Doel 4. Es kann sogar davon ausgegangen werden, dass im Falle der Abschaltung von Doel 4 die meisten der für die geplante Situation berechneten Emissionen auch zu diesem Zeitpunkt noch anfallen werden, da viele der vorhandenen Anlagen noch in Betrieb sein müssen und daher noch regelmäßig geprüft werden müssen, wie es nach der Abschaltung von Doel 3 und der erwarteten Abschaltung von Doel 1 - 2 für die damit verbundenen Anlagen der Fall ist (siehe Übersicht über die Prognosen zum Betrieb der verschiedenen Anlagen). Die vorübergehende Fortführung des Betriebs von Doel 4 bis etwa 2035/2037 verursacht daher (viel) weniger zusätzliche Emissionen als die für die geplante Situation kartierten. Daher sind auch die Auswirkungen, die unter der Annahme von Emissionen in der geplanten Situation berechnet wurden, nicht allein auf die Betriebsfortsetzung von Doel 4 zurückzuführen.

Auswirkung auf ortsfeste Anlagen in der geplanten Situation

In der geplanten Situation bleibt nur eine begrenzte Anzahl von Anlagen in Betrieb.

Bei den Notstromaggregaten kann davon ausgegangen werden, dass sie in ähnlicher Häufigkeit und Dauer im Einsatz sein werden.

Im Gegensatz dazu ist zu erwarten, dass die Hilfsdampfkessel häufiger und länger in Betrieb sind als in der derzeitigen Situation (während der Überholung von Doel 4, die einmal im Jahr stattfindet). Die relativen Emissionen von Hilfsdampfkesseln sind jedoch deutlich geringer als die Emissionen von Motoren mit innerer Verbrennung.

Kurzfristig ist nicht damit zu rechnen, dass die noch in Betrieb befindlichen Anlagen ganz oder teilweise durch neue Anlagen ersetzt werden. Bei der Ermittlung der Emissionen kann daher von Emissionscharakteristiken ausgegangen werden, wie sie in der Vergangenheit angewandt wurden.

Da es keine Ergebnisse von Emissionsmessungen gibt, werden die Auswirkungen auf der Grundlage des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionsfaktoren bewertet. Bei den Emissionsfaktoren wird auf die Emissionsfaktoren zurückgegriffen, die bereits in der vorherigen UVP (Arcadis, 2021: UVP Doel Kernkraftwerk zwecks Laufzeitverlängerung Doel 1 und 2).

Wie bereits beschrieben, gehen wir von etwas mehr Betriebsstunden von Dieselmotoren im Vergleich zur Situation im Jahr 2022 aus, um die nötige Sicherheit zu haben, dass keine Unterschätzung vorliegt.

Tabelle 31: Übersicht über die geplanten Feuerungsanlagen (ab 2025).

Entwicklung der in Betrieb befindlichen Anlagen (v = in diesem Jahr in Betrieb befindliche Anlagen)																				
	Funktionselement	Beschreibung	Leistung [MWth]	Art	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Doel 1 & 2	PKD-D1/DG11	DIESELGENERATORGRUPPE 11 (BEHÄLTER DG)	4.3	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v										
	PKD-D2/ED22	DIESELGENERATORGRUPPE 21 (BEHÄLTER DG)	6.1	Dieselmotor	v	v	v	v												
	PKD-D2/DG21	NOTDIESEL 12 D1/GNS	4.3	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v										
	PKD-D1/ED12	NOTDIESEL 22 D2/GNS	6.1	Dieselmotor	v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS12	PACKAGE DIESELGRP DGG POLARI 12	6.79	Dieselmotor	v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS22	PACKAGE DIESELGRP DGG POLARI 22	6.79	Dieselmotor	v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS24	PACKAGE DIESELGRP DGG POLARI 24	6.79	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/DGS99	PACKAGE DIESELGRP DGG POL 99(PHI)	6.79	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Doel 3	PKD-D3/ES-DG0012	HILFSDIESEL GMH	2.4	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v										
	PKD-D3/ES-DG0022	HILFSDIESEL GMH	2.4	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v										
	PKD-D3/ES-DG0001	SICHERHEITSDIESEL R	12.6	Dieselmotor	v	v	v													
	PKD-D3/ES-DG0004	SICHERHEITSDIESEL PHI	12.6	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-D3/KE-DG0001	BUNKERDIESEL R	5.7	Dieselmotor	v	v	v													
	PKD-D3/KE-DG0003	BUNKERDIESEL B	5.7	Dieselmotor	v	v	v													
Doel 4	PKD-D4/ES-DG0022	HILFSDIESEL GMH	2.4	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D4/ES-DG0012	HILFSDIESEL GMH	2.4	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D4/ES-DG0001	SICHERHEITSDIESEL R	12.6	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D4/ES-DG0002	SICHERHEITSDIESEL G	12.6	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-D4/ES-DG0003	SICHERHEITSDIESEL B	12.5	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-D4/KE-DG0001	BUNKERDIESEL R	5.7	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D4/KE-DG0002	BUNKERDIESEL G	5.7	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-D4/KE-DG0003	BUNKERDIESEL B	5.7	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
WAB	PKD-DT/ABN	Hilfsdampfkessel	43.126	Dampfkessel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DT/ABZ	Hilfsdampfkessel	43.126	Dampfkessel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Verschiedenes	PKD-DS/FU-ML0010	BRENNER HEIZUNGSANLAGE MAI	0.204	Heizkessel	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P2	DIESELFEUERWEHRPUMPE	0.125	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12004	DIESELFEUERWEHRPUMPE FEG202	0.400	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12005	DIESELFEUERWEHRPUMPE FEG203	0.400	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12006	DIESELFEUERWEHRPUMPE FEG204	0.400	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	-	-	-	-																
	PKD-DS/SIT-PP0002	PUMPE. MOB. AUFF.DOCKS GNH UND RWST D12	0.044	Dieselmotor	v	v	v	v												
	PKD-DS/SIT-PP0031	PUMPE. MOB. AUFF.PRIM.KREIS UND SP DOEL3	0.234	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-DS/SIT-PP0041	PUMPE. MOB. AUFF.PRIM.KREIS UND SP DOEL4	0.234	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				

Entwicklung der in Betrieb befindlichen Anlagen (v = in diesem Jahr in Betrieb befindliche Anlagen)																						
	Funktionselement	Beschreibung	Leistung [MWth]	Art	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040		
	PKD-DS/SIT-PP0044	PUMPE. MOB. AUFF.DAMFERZEUGER DOEL4	0.234	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v						
	PKD-DS/SIT-PP0051	ERSATZPUMPE MOB.AUFF. 200M³/H	0.044	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-PP0052	ERSATZPUMPE MOB.AUFF. 130M³/H	0.234	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0031	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1.700	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0032	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1.700	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0041	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1.700	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0042	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1.700	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0050	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1.700	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0006	BEST DIESEL NPK-OTSC 400kVA	0.500	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0007	BEST DIESEL NPK-OTSC 400kVA	0.500	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0008	BEST ERSATZDIESELGRUPPE 400kVA	0.500	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/NPD-PK0002	NOTDIESELGRUPPE V DS/B-LVS-LVG0004	0.103	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0001	BEST DIESELAGGREGAT D12 GNS 500kVA	1.700	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0011	BEST DIESELAGGREGAT D12 GEH 500kVA	1.700	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0021	BEST DIESELAGGREGAT D12 GEH 500kVA	1.700	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
	PKD-DS/SIT-DG0002	BEST DIESEL COMPUTERRAUM ADG032 10kVA	0.010	Dieselmotor	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
Entwicklung der in Betrieb befindlichen Anlagen (v = in diesem Jahr in Betrieb befindliche Anlagen)																						
	Funktionselement	Beschreibung	Leistung [MWth]	Art			2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Doel 1 & 2	PKD-D1/DG11	DIESELGENERATORGRUPPE 11 (BEHÄLTER DG)	4,3	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v										
	PKD-D2/ED22	DIESELGENERATORGRUPPE 21 (BEHÄLTER DG)	6,1	Dieselmotor			v	v	v	v												
	PKD-D2/DG21	NOTDIESEL 12 D1/GNS	4,3	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v										
	PKD-D1/ED12	NOTDIESEL 22 D2/GNS	6,1	Dieselmotor			v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS12	PACKAGE DIESELGRP DGG POLARI 12	6,79	Dieselmotor			v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS14	PACKAGE DIESELGRP DGG POLARI 14	6,79	Dieselmotor			v															
	PKD-D0/DGS22	PACKAGE DIESELGRP DGG POLARI 22	6,79	Dieselmotor			v	v	v	v												
	PKD-D0/DGS24	PACKAGE DIESELGRP DGG POLARI 24	6,79	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D0/DGS99	PACKAGE DIESELGRP DGG POL 99(PHI)	6,79	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
Doel 3	PKD-D3/ES-DG0012	HILFSDIESEL GMH	2,4	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v										
	PKD-D3/ES-DG0022	HILFSDIESEL GMH	2,4	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v										
	PKD-D3/ES-DG0001	SICHERHEITSDIESEL R	12,6	Dieselmotor			v	v	v													
	PKD-D3/ES-DG0004	SICHERHEITSDIESEL PHI	12,6	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v					
	PKD-D3/KE-DG0001	BUNKERDIESEL R	5,7	Dieselmotor			v	v	v													
	PKD-D3/KE-DG0003	BUNKERDIESEL B	5,7	Dieselmotor			v	v	v													
Doel 4	PKD-D4/ES-DG0022	HILFSDIESEL GMH	2,4	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0012	HILFSDIESEL GMH	2,4	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0001	SICHERHEITSDIESEL R	12,6	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	
	PKD-D4/ES-DG0002	SICHERHEITSDIESEL G	12,6	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-D4/ES-DG0003	SICHERHEITSDIESEL B	12,5	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-D4/KE-DG0001	BUNKERDIESEL R	5,7	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	

Entwicklung der in Betrieb befindlichen Anlagen (v = in diesem Jahr in Betrieb befindliche Anlagen)																						
	Funktionselement	Beschreibung	Leistung [MWth]	Art	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040		
	PKD-D4/KE-DG0002	BUNKERDIESEL G	5,7	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
	PKD-D4/KE-DG0003	BUNKERDIESEL B	5,7	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
WAB	PKD-DT/ABN	Hilfsdampfkessel	43,126	Dampfkessel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DT/ABZ	Hilfsdampfkessel	43,126	Dampfkessel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Verschiedenes	PKD-DS/FU-ML0010	BRENNER HEIZUNGSANLAGE MAI	0,204	Heizkessel			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P2	DIESELFEUERWEHRPUMPE	0,125	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12004	DIESELFEUERWEHRPUMPE FEG202	0,400	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12005	DIESELFEUERWEHRPUMPE FEG203	0,400	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-D0/FE0P12006	DIESELFEUERWEHRPUMPE FEG204	0,400	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0002	PUMPE. MOB. AUFF.DOCKS GNH UND RWST D12	0,044	Dieselmotor			v	v	v	v												
	PKD-DS/SIT-PP0004	PUMPE. MOB. AUFF.VER UND SG D12	0,066	Dieselmotor			v															
	PKD-DS/SIT-PP0031	PUMPE. MOB. AUFF.PRIM.KREIS UND SP DOEL3	0,234	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-DS/SIT-PP0032	PUMPE. MOB. AUFF.DOCKS SPG DOEL 3	0,044	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0034	PUMPE. MOB. AUFF.DAMFERZEUGER DOEL3	0,234	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0041	PUMPE. MOB. AUFF.PRIM.KREIS UND SP DOEL4	0,234	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-DS/SIT-PP0042	PUMPE. MOB. AUUF.DOCKS SPG DOEL 4	0,044	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0044	PUMPE. MOB. AUFF.DAMFERZEUGER DOEL4	0,234	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
	PKD-DS/SIT-PP0051	ERSATZPUMPE MOB.AUFF. 200M³/H	0,044	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-PP0052	ERSATZPUMPE MOB.AUFF. 130M³/H	0,234	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0031	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1,700	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0032	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1,700	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0041	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1,700	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0042	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1,700	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0050	BEST DIESELAGGREGAT D34 GEH-BKR 500kVA	1,700	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0006	BEST DIESEL NPK-OTSC 400kVA	0,500	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0007	BEST DIESEL NPK-OTSC 400kVA	0,500	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0008	BEST ERSATZDIESELGRUPPE 400kVA	0,500	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/NPD-PK0002	NOTDIESELGRUPPE V DS/B-LVS-LVG0004	0,103	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0001	BEST DIESELAGGREGAT D12 GNS 500kVA	1,700	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0011	BEST DIESELAGGREGAT D12 GEH 500kVA	1,700	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0021	BEST DIESELAGGREGAT D12 GEH 500kVA	1,700	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
	PKD-DS/SIT-DG0002	BEST DIESEL COMPUTERRAUM ADG032 10kVA	0,010	Dieselmotor			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v

Tabelle 32: Erwartete Betriebsstunden und Kraftstoffverbrauch im Jahr 2022 und Extrapolation auf die geplante Situation im Jahr 2025.

	Funktionselement	Betriebsstunden [h] 2022	Betriebsstunden [h] max. geplant	Gasölverbrauch [m³] 2022	Gasölverbrauch m³ max.geplant
Doel 1 & 2	PKD-D1/DG11	4.0	5	0.91	1.1
	PKD-D2/ED22	1.1	2	0.33	0.6
	PKD-D2/DG21	7.4	10	1.69	2.3
	PKD-D1/ED12	54.0	65	16.98	20.5
	PKD-D0/DGS12	33.3	40	11.67	14.0
	PKD-D0/DGS22	23.3	30	8.16	10.5
	PKD-D0/DGS24	25.6	30	9.00	10.5
	PKD-D0/DGS99	25.0	30	8.77	10.5
Doel 3	PKD-D3/ES-DG0012	18.4	25	1.75	2.4
	PKD-D3/ES-DG0022	176.7	210	16.80	20.0
	PKD-D3/ES-DG0001	31.7	40	22.15	28.0
	PKD-D3/ES-DG0004	79.9	100	55.91	70.0
	PKD-D3/KE-DG0001	66.0	80	18.75	22.7
	PKD-D3/KE-DG0003	35.4	45	10.07	12.8
Doel 4	PKD-D4/ES-DG0022	17.0	20	1.62	1.9
	PKD-D4/ES-DG0012	17.0	20	1.62	1.9
	PKD-D4/ES-DG0001	39.2	50	27.43	35.0
	PKD-D4/ES-DG0002	33.4	40	23.37	28.0
	PKD-D4/ES-DG0003	87.3	105	61.08	73.5
	PKD-D4/KE-DG0001	86.4	105	24.56	29.8
	PKD-D4/KE-DG0002	1.1	2	0.31	0.6
	PKD-D4/KE-DG0003	102.0	120	29.00	34.1
WAB	PKD-DT/ABN	0.0	0	0.00	0.0
	PKD-DT/ABZ	79.5	156	179.96	353.1
Verschiedenes	PKD-DS/FU-ML0010	nicht zutreffend		1.61	1.9
	PKD-D0/FE0P2	10.0	15	0.20	0.3
	PKD-D0/FE0P12004	119.2	145	3.55	4.3
	PKD-D0/FE0P12005	7.0	10	0.21	0.3
	PKD-D0/FE0P12006	8.1	10	0.24	0.3
	PKD-DS/SIT-PP0002	1.3	2	0.01	0.01
	PKD-DS/SIT-PP0031	1.4	2	0.04	0.1
	PKD-DS/SIT-PP0041	5.4	10	0.17	0.3
	PKD-DS/SIT-PP0044	1.7	2	0.05	0.1
	PKD-DS/SIT-PP0051	1.3	2	0.01	0.01
	PKD-DS/SIT-PP0052	1.1	2	0.03	0.1
	PKD-DS/SIT-DG0031	2.0	5	0.14	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0032	2.0	5	0.14	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0041	3.0	5	0.20	0.3

	Funktionselement	Betriebsstunden [h] 2022	Betriebsstunden [h] max. geplant	Gasölverbrauch [m³] 2022	Gasölverbrauch m³ max.geplant
	PKD-DS/SIT-DG0042	3.0	5	0.20	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0050	3.0	5	0.20	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0006	3.0	5	0.16	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0007	3.0	5	0.16	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0008	3.0	5	0.16	0.3
	PKD-DS/NPD-PK0002	0.6	2	0.01	0.03
	PKD-DS/SIT-DG0001	3.0	5	0.20	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0011	3.0	5	0.20	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0021	4.0	5	0.27	0.3
	PKD-DS/SIT-DG0002	0.0	2	0.00	0.003

Die Emissionen werden anhand der Emissionsfaktoren berechnet, die in der UVP von Arcadis und NRG in Bezug auf die Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und Doel 2 (2021) enthalten sind.

Da nicht bekannt ist, ob die Emissionen der jüngsten Anlagen den strengerem Emissionswerten der UVP von Arcadis entsprechen oder nicht, werden die Emissionen aller Notstromaggregate und Dieselaggregate sicherheitshalber mit den Emissionswerten der ältesten Anlagen berechnet.

Ein zusätzliches Argument für die Verwendung eines Kennzahlensatzes liegt nämlich auch darin, dass die tatsächlichen Emissionen während der Motorprüfung erheblich von den Emissionen im Normal- und Dauerbetrieb abweichen. Die Verbrennungstemperatur ist hier ein wichtiger Faktor. Daher sollten bei der Inbetriebnahme dieser Anlagen immer deutlich höhere PM- und CO-Emissionen sowie niedrigere NO_x-Emissionen als im Normalbetrieb berücksichtigt werden. Mit steigender Temperatur nehmen die NO_x-Emissionen systematisch zu, während die PM- und CO-Emissionen systematisch abnehmen.

Da es sich bei den Emissionen dieser Anlagen quasi ausschließlich um Testphasen handelt, kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächlichen NO_x-Emissionen höchstwahrscheinlich deutlich niedriger sein können als die verwendeten Annahmen.

Daher werden auch die Auswirkungen auf NO₂ und auf die versauernde und eutrophierende Deposition höchstwahrscheinlich überschätzt.

Nur auf der Grundlage von Emissionsmessungen ist es möglich, sich ein genaueres Bild von den tatsächlichen Emissionen zu machen. Die ermittelten Emissionen sind daher als reine Richtwerte zu betrachten.

Tabelle 33: Emissionsfaktoren, die für die (indikative) Ermittlung der Emissionen von ortsfesten Dieselmotoren verwendet werden (Arcadis/NRG 2021).

Polluent	Dieselmotoren	
Bouwjaar	1982, 1984 ¹³	Eenheid
CO	12,2	kg/m³ diesel
NO _x	56,2	kg/m³ diesel
SO _x	3,74	kg/m³ diesel
PM ₁₀	4,01	kg/m³ diesel
PM _{2,5}	4,01	kg/m³ diesel

Für SO₂ wird jedoch nicht der oben genannte Emissionsfaktor angenommen, da er noch auf der Verwendung von Gasöl mit einem höheren S-Gehalt beruht. Die Emissionen werden jedoch auf der Grundlage des maximalen S-Gehalts im Brennstoff ermittelt, der daher als Worst-Case-Schätzung angesehen werden kann.

Ein Teil des S wird nämlich nicht in SO₂ umgewandelt, sondern kann unter anderem als SO₄ in den Staubemissionen landen. Sofern Gasöl mit niedrigem S-Gehalt verwendet wird, werden die SO₂-Emissionen sogar noch deutlich niedriger sein.

Die Emissionen aus den (Hilfs-) Dampfkesseln werden auf der Grundlage der oben genannten Messdaten berechnet, die bei der technischen Wartung der Anlage gewonnen wurden.

Für den weiteren Zeithorizont (nach 2025) wird ein Rückgang der Emissionen aufgrund der systematischen weiteren Außerbetriebnahme der Anlagen berücksichtigt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 34 bis Tabelle 36 dargestellt.

Um zusätzliche Sicherheit zu gewinnen, dass die Emissionen nicht unterschätzt werden, werden im Vergleich zur gegenwärtigen Situation mehr Betriebsstunden angenommen als für 2022 erfasst. Dies gilt, da auch in der Vergangenheit die Zahl der Betriebsstunden Schwankungen unterworfen war.

Bei den Hilfsdampfkesseln wird davon ausgegangen, dass sich die Zahl der Betriebsstunden im Vergleich zu 2022 fast verdoppeln wird. Mit dem Wegfall von Doel 1, 2 und 3 wird erwartet, dass sie etwas häufiger in Betrieb sein werden.

Die Gesamtemissionen in den Jahren 2025 und 2026 können als sehr begrenzt angesehen werden.

Im Vergleich zu den geltenden Berichterstattungspflichten in Flandern (IMJV) scheint nur NO_x eine einigermaßen relevante Emission von etwas mehr als 50 % des Schwellenwerts zu haben. Selbst wenn die tatsächlichen CO- und PM-Emissionen doppelt so hoch wären wie die geschätzten (aufgrund der höheren Emissionen bei jedem Anfahren der Anlagen), sind diese Emissionen kaum relevant.

Für 2026 werden im Vergleich zu 2025 nur geringfügig niedrigere Emissionen berechnet.

Im Laufe der Zeit werden die Emissionen weiter sinken. Wenn ein Teil der Motoren durch neue ersetzt wird, werden die Emissionen noch weiter sinken.

Tabelle 34: Schätzung der voraussichtlichen Emissionen von Verbrennungsgasen aus ortsfesten Anlagen für das Jahr 2026

2026	CO	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
Hilfsdampfkessel	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
	0.1	1.02	0.025	0.018	0.018
Generatoren	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
Doel 1/2	0.86	3.94	0.01	0.28	0.28
Doel 3	1.90	8.76	0.01	0.62	0.62
Doel 4	2.50	11.51	0.02	0.82	0.82
Verschiedenes	0.11	0.53	0.00	0.04	0.04
Generatoren insgesamt	5.4	24.7	0.04	1.8	1.8
Insgesamt	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
Insgesamt	5.5	25.8	0.1	1.8	1.8
IMJV-Schwellenwert	200	50	100	20	10
Anteil im Vergleich zum IMJV-Schwellenwert	%	%	%	%	%
	2.7	51.5	0.1	8.9	17.8

Tabelle 35: Schätzung der voraussichtlichen Emissionen von Verbrennungsgasen aus ortsfesten Anlagen für das Jahr 2030

2030	CO	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
Hilfsdampfkessel	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
	0.1	1.02	0.025	0.018	0.018
Generatoren	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
Doel 1/2	0.43	1.97	0.00	0.14	0.14
Doel 3	1.13	5.19	0.01	0.37	0.37
Doel 4	2.50	11.51	0.02	0.82	0.82
Verschiedenes	0.11	0.53	0.00	0.04	0.04
Generatoren insgesamt	4.2	19.2	0.0	1.4	1.4
Insgesamt	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
	4.3	20.2	0.1	1.4	1.4
IMJV-Schwellenwert	200	50	100	20	10
Anteil im Vergleich zum IMJV-Schwellenwert	%	%	%	%	%
	2.1	40.4	0.1	6.9	13.9

Tabelle 36: Schätzung der voraussichtlichen Emissionen von Verbrennungsgasen aus ortsfesten Anlagen für das Jahr 2035

2035	CO	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
Hilfsdampfkessel	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
	0.1	1.02	0.025	0.018	0.018
Generatoren	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
Doel 1/2	0.26	1.18	0.00	0.08	0.08
Doel 3	0.85	3.93	0.01	0.28	0.28
Doel 4	2.50	11.51	0.02	0.82	0.82
Verschiedenes	0.11	0.53	0.00	0.04	0.04
Generatoren insgesamt	3.7	17.2	0.0	1.2	1.2
Insgesamt	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
	3.8	18.2	0.1	1.2	1.2
IMJV-Schwellenwert	200	50	100	20	10
Anteil im Vergleich zum IMJV-Schwellenwert	%	%	%	%	%
	1.9	36.3	0.1	6.2	12.4

Bis 2035 werden die NO_x-, CO- und PM-Emissionen im Vergleich zu 2025 voraussichtlich um mehr als 30 % sinken, was auf die systematische Außerbetriebnahme mehrerer Dieselmotoren zurückzuführen ist.

Die Auswirkungen der ortsfesten Verbrennungsanlagen werden für das Jahr 2026 mit dem Ausbreitungsmodell IMPACT der flämischen Regierung berechnet. Bei den Berechnungen der Auswirkungen werden die für 2025 modellierten Hintergrundkonzentrationen berücksichtigt.

Da die Schornsteineigenschaften nicht aller Anlagen bekannt sind und es nicht möglich ist, jede Anlage als eigene Quelle in das Modell einzugeben (wegen der sehr begrenzten Anzahl von Betriebsstunden pro Anlage), werden in der Modellrechnung vereinfachte Quellkonfigurationen (hinsichtlich Standort, Höhe usw.) angenommen. Die

Tatsache, dass der Standort des KKW Doel etwa 6 m höher liegt als die Umgebung, wird bei der Festlegung der modellbasierten Emissionshöhe ebenfalls berücksichtigt.

Auch für die Austrittstemperatur wurden Annahmen getroffen, nämlich 178 °C für die Dampfkessel (basierend auf Messdaten von Saacke nach Wartungsarbeiten) und 350 °C für die Dieselmotoren. (Für den Langzeitbetrieb dieser Anlagen kann von höheren Temperaturen ausgegangen werden, aber da die Anlagen fast nur während der Tests tatsächlich in Betrieb sind, sollte eine niedrigere Durchschnittstemperatur angenommen werden).

Darüber hinaus wird für die Emissionsquellen eine hypothetische Verteilung der effektiven Betriebsstunden über das Jahr verteilt verwendet, da die tatsächlichen Emissionszeiträume nicht bekannt sind. Infolgedessen wird es als nicht möglich angesehen, die Auswirkungen auf die höheren Perzentilwerte auf verantwortungsvolle Weise zu berechnen. Die Auswirkungen werden daher nur auf der Grundlage der durchschnittlichen jährlichen Auswirkungen bewertet. Diese wird an einer Reihe ausgewählter Messpunkte in der Nähe des Projektgebiets (Wohngebiete, VMM-Messstationen und Messpunkte in der Nähe der niederländischen Grenze) berechnet.

Für die Zwecke der Disziplin Biologische Vielfalt werden auch die Depositionen berechnet. Für eine diesbezügliche Behandlung wird auf das Kapitel Biologische Vielfalt verwiesen.

Für die Zwecke der Disziplin Biologische Vielfalt werden auch die Depositionen berechnet. Für eine diesbezügliche Behandlung wird auf das Kapitel Biologische Vielfalt verwiesen.

Tabelle 37: Bei den Auswirkungs- und Depositionsberechnungen verwendete Modelleigenschaften

	X	Y	H	Äquivalente Durchmesser	Temp.	Modell Stunden
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	°C	<i>Anzahl/J</i>
Doel 1/2	142447	223502	27	0.5	350	261
Doel 3	142311	223866	40	0.5	350	521
Doel 4	142247	224048	37	0.6	350	521
Verschiedenes 1	142430	223600	20	0.15	350	261
Verschiedenes 2	142200	224150	20	0.15	350	261
Hilfsdampfkessel	142048	223916	46	1.2	178	156

Die stärksten Auswirkungen treten in NO-Richtung auf, da hier W-SW-Winde vorherrschen.

In der Nähe der niederländischen Grenze werden keine nachweisbaren/relevanten Auswirkungen erwartet. Auch an den anderen Messpunkten können die Auswirkungen auf die Luftqualität als vernachlässigbar angesehen werden (weniger als 1 % des bei der Folgenabschätzung verwendeten Grenz- oder Prüfwerts)..

Es ist zu beachten, dass bei den Berechnungen der NO₂-Auswirkungen, die die chemische Umwandlung von NO in NO₂ berücksichtigen und bei denen die Auswirkungen auf NO₂ auf der Grundlage der Differenz zwischen den berechneten Auswirkungen in der geplanten Situation und den Auswirkungen in der Referenzsituation berechnet werden, größere Modellunsicherheiten bestehen als z. B. bei der Berechnung der NO_x-Auswirkungen (als Summe NO + NO₂, ausgedrückt als NO₂). Dies erklärt die vernachlässigbaren negativen Auswirkungen, die bei einigen Messpunkten berechnet wurden.

Tabelle 38: Berechnung der Auswirkungen in der geplanten Situation auf der Grundlage der geschätzten Emissionen 2026

				AG2025	AG2025	AG2025	project +AG2025	project +AG2025	project +AG2025	Projekt	Projekt	Projekt	Projekt	Projekt
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	SO ₂
		X	Y	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	P99.9	avg
n°	Messpunkt	m	m	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
1	Putte-1	152100	227500	13.0	13.8	9.6	13.0	13.8	9.6	0.0	0.000	0.000	0	0.000
3	Kalmthout	157200	231300	14.4	15.3	9.9	14.4	15.3	9.9	0.0	0.000	0.000	0	0.000
4	Maria Ter Heide	160600	223700	17.8	15.8	10.0	17.8	15.8	10.0	0.0	0.000	0.000	0	0.000
5	Kapellen-1	154500	221100	24.2	18.0	11.1	24.1	18.0	11.1	-0.1	0.000	0.000	0	0.000
7	Stabroek-1	149800	224700	23.3	18.6	11.9	23.1	18.6	11.9	-0.2	0.000	0.000	0	0.000
9	Hoevenen-1	152700	221900	25.2	18.0	11.3	25.1	18.0	11.3	-0.1	0.000	0.000	0	0.000
11	Ekeren	153280	219290	30.2	19.4	11.9	30.1	19.4	11.9	-0.1	0.000	0.000	0	0.000
12	Zandvliet	146100	227500	23.5	19.2	12.7	23.4	19.2	12.7	-0.1	0.002	0.002	2	0.000
14	Berendrecht	145540	225450	30.1	20.4	14.1	29.9	20.4	14.1	-0.1	0.001	0.001	2	0.000
15	Lillo	144510	221650	34.0	20.4	15.3	33.8	20.4	15.3	-0.1	0.001	0.001	3	0.000
16	Fort Liefkenshoek	144160	220390	33.6	20.2	15.2	33.5	20.2	15.2	-0.1	0.001	0.001	2	0.000
17	Doel	142710	222380	28.8	19.5	14.4	28.8	19.5	14.4	0.0	0.003	0.003	5	0.000
18	Sattingen	140490	221730	19.1	18.4	12.8	19.1	18.4	12.8	0.0	0.001	0.001	3	0.000
19	Kieldrecht	136300	220400	13.4	18.4	11.7	13.4	18.4	11.7	0.0	0.001	0.001	1	0.000
20	Verrebroek	137500	216100	17.1	17.6	12.1	17.2	17.6	12.2	0.1	0.000	0.000	0	0.000
21	Vrasene	137600	212400	13.1	17.0	11.0	13.1	17.0	11.0	0.1	0.000	0.000	0	0.000
22	Beveren	142300	211500	15.7	17.1	10.9	15.8	17.1	10.9	0.1	0.000	0.000	0	0.000
23	Kallo-1-centrum	143700	215900	27.9	19.0	13.3	28.2	19.0	13.3	0.3	0.000	0.000	0	0.000
29	Zwijndrecht	147100	212000	23.3	17.8	11.6	23.5	17.8	11.6	0.2	0.000	0.000	0	0.000
30	Burcht	148500	210900	26.0	18.3	11.8	26.2	18.3	11.8	0.2	0.000	0.000	0	0.000
31	L.O.	151000	213300	29.9	18.8	12.2	30.3	18.8	12.2	0.3	0.000	0.000	0	0.000
32	Antwerpen	152200	211500	32.2	18.8	11.8	32.4	18.8	11.8	0.2	0.000	0.000	0	0.000
43 -MP	Ekeren-Ekersedijk	151187	219057	33.1	21.0	13.1	33.1	21.0	13.1	0.0	0.000	0.000	0	0.000
45 -MP	Antwerpen-Linkeroever	150865	214046	29.6	18.9	12.3	29.6	18.9	12.3	0.0	0.000	0.000	0	0.000
51 -MP	Zandvliet-Scheldelaan	148139	215578	27.7	19.7	13.1	27.7	19.7	13.1	0.0	0.000	0.000	0	0.000

				AG2025	AG2025	AG2025	project +AG2025	project +AG2025	project +AG2025	Projekt	Projekt	Projekt	Projekt	Projekt
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	SO ₂
		X	Y	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	P99.9	avg
n°	Messpunkt	m	m	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
53 -MP	Berendrecht-Hoefbladstraat	147976	226558	21.1	18.5	11.8	21.1	18.5	11.8	0.0	0.001	0.001	1	0.000
54 -MP	Beveren-Meerminnendam	141037	211484	16.2	17.0	11.0	16.2	17.0	11.0	0.0	0.000	0.000	0	0.000
57 -MP	Kallo-Schleuse	143727	217020	31.8	19.5	14.1	31.8	19.5	14.1	0.0	0.000	0.000	0	0.000
58 -MP	Kapellen Fortstraat	155302	223403	21.3	17.0	10.7	21.3	17.0	10.7	0.0	0.000	0.000	0	0.000
60 -MP	Stabroek Laageind	149541	224212	24.8	19.1	12.3	24.8	19.1	12.3	0.0	0.000	0.000	1	0.000
NI-1	Niederländische Grenze	137700	222700	15.2	16.8	13.0	15.3	16.8	13.0	0.0	0.000	0.000	1	0.000
NI-2	Niederländische Grenze	140500	226400	19.8	17.1	13.5	19.8	17.1	13.5	0.0	0.001	0.001	3	0.000
NI-3	Niederländische Grenze	142800	229500	21.1	18.4	13.1	21.1	18.4	13.1	0.0	0.001	0.001	1	0.000
NI-4	Niederländische Grenze	147500	229700	16.3	17.2	11.0	16.3	17.2	11.0	0.0	0.001	0.001	1	0.000
	Maximum berechnet bei BP			35.2	22.2	15.3	35.2	22.2	15.3	0.3	0.003	0.003	5	0.000
	GW/PW			40.0	40.0	20.0	40	40.0	20.0	40.0	40.0	20.0	10000	50.0

Tabelle 39: Relative Auswirkungen in der geplanten Situation auf der Grundlage der geschätzten Emissionen 2026, berechnet als prozentualer Beitrag im Vergleich zu den Grenz- oder Prüferten

				AG2020	AG2020	AG2020	project +AG2020	project +AG2020	project +AG2020	Projekt	Projekt	Projekt	Projekt	Projekt
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	SO ₂
				avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg
	Relative Auswirkungen gegenüber GW/PW			%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW
1	Putte-1	152100	227500	32	34.4	48.1	32	34.4	48.1	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
3	Kalmthout	157200	231300	36	38.3	49.7	36	38.3	49.7	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
4	Maria Ter Heide	160600	223700	44	39.6	49.9	44	39.6	49.9	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
5	Kapellen-1	154500	221100	61	44.9	55.5	60	44.9	55.5	-0.2	0.0	0.0	0.00	0.0
7	Stabroek-1	149800	224700	58	46.4	59.5	58	46.4	59.5	-0.5	0.0	0.0	0.00	0.0
9	Hoevenen-1	152700	221900	63	45.1	56.5	63	45.1	56.5	-0.3	0.0	0.0	0.00	0.0
11	Ekeren	153280	219290	75	48.4	59.7	75	48.4	59.7	-0.3	0.0	0.0	0.00	0.0
12	Zandvliet	146100	227500	59	48.1	63.6	59	48.1	63.6	-0.3	0.0	0.0	0.02	0.0
14	Berendrecht	145540	225450	75	51.0	70.6	75	51.0	70.6	-0.4	0.0	0.0	0.02	0.0
15	Lillo	144510	221650	85	51.1	76.4	85	51.1	76.4	-0.3	0.0	0.0	0.03	0.0
16	Fort Liefkenshoek	144160	220390	84	50.6	75.8	84	50.6	75.8	-0.2	0.0	0.0	0.02	0.0
17	Doel	142710	222380	72	48.8	71.9	72	48.8	71.9	0.0	0.0	0.0	0.05	0.0
18	Sattingen	140490	221730	48	45.9	64.0	48	46.0	64.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.0
19	Kieldrecht	136300	220400	33	46.0	58.4	34	46.0	58.5	0.1	0.0	0.0	0.01	0.0
20	Verrebroek	137500	216100	43	43.9	60.7	43	43.9	60.8	0.3	0.0	0.0	0.00	0.0
21	Vrasene	137600	212400	33	42.4	54.8	33	42.4	54.8	0.2	0.0	0.0	0.00	0.0
22	Beveren	142300	211500	39	42.6	54.4	40	42.6	54.4	0.3	0.0	0.0	0.00	0.0
23	Kallo-1-centrum	143700	215900	70	47.4	66.4	70	47.4	66.4	0.6	0.0	0.0	0.00	0.0
29	Zwijndrecht	147100	212000	58	44.6	58.2	59	44.6	58.2	0.4	0.0	0.0	0.00	0.0
30	Burcht	148500	210900	65	45.9	58.8	66	45.9	58.8	0.6	0.0	0.0	0.00	0.0
31	L.O.	151000	213300	75	47.1	60.8	76	47.1	60.8	0.9	0.0	0.0	0.00	0.0
32	Antwerpen	152200	211500	80	46.9	59.1	81	46.9	59.1	0.5	0.0	0.0	0.00	0.0
43 -MP	Ekeren-Ekersedijk	151187	219057	83	52.4	65.5	83	52.4	65.5	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
45 -MP	Antwerpen-Linkeroever	150865	214046	74	47.1	61.4	74	47.1	61.4	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0

				AG2020	AG2020	AG2020	project +AG2020	project +AG2020	project +AG2020	Projekt	Projekt	Projekt	Projekt	Projekt
				NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	SO ₂
				avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg	avg
	Relative Auswirkungen gegenüber GW/PW			%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW	%-GW/ PW
46 -MP	Antwerpen-Luchtbal	153884	216790	77	48.6	59.4	77	48.6	59.4	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
51 -MP	Zandvliet-Scheldelaan	148139	215578	69	49.3	65.5	69	49.3	65.5	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
53 -MP	Berendrecht-Hoefbladstraat	147976	226558	53	46.2	58.8	53	46.2	58.8	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
54 -MP	Beveren-Meerminnendam	141037	211484	40	42.5	54.9	40	42.5	54.9	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
57 -MP	Kallo-Schleuse	143727	217020	79	48.8	70.7	79	48.8	70.7	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
58 -MP	Kapellen Fortstraat	155302	223403	53	42.5	53.6	53	42.5	53.6	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0
60 -MP	Stabroek Laageind	149541	224212	62	47.8	61.4	62	47.8	61.4	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
NI-1	Niederländische Grenze	137700	222700	38	42.0	64.9	38	42.0	64.9	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
NI-2	Niederländische Grenze	140500	226400	49	42.8	67.7	49	42.8	67.7	0.0	0.0	0.0	0.03	0.0
NI-3	Niederländische Grenze	142800	229500	53	46.1	65.7	53	46.1	65.7	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
NI-4	Niederländische Grenze	147500	229700	41	42.9	55.1	41	42.9	55.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
	Maximum berechnet bei BP			88	55.5	76.4	88	55.5	76.4	0.9	0.0	0.0	0.05	0.0

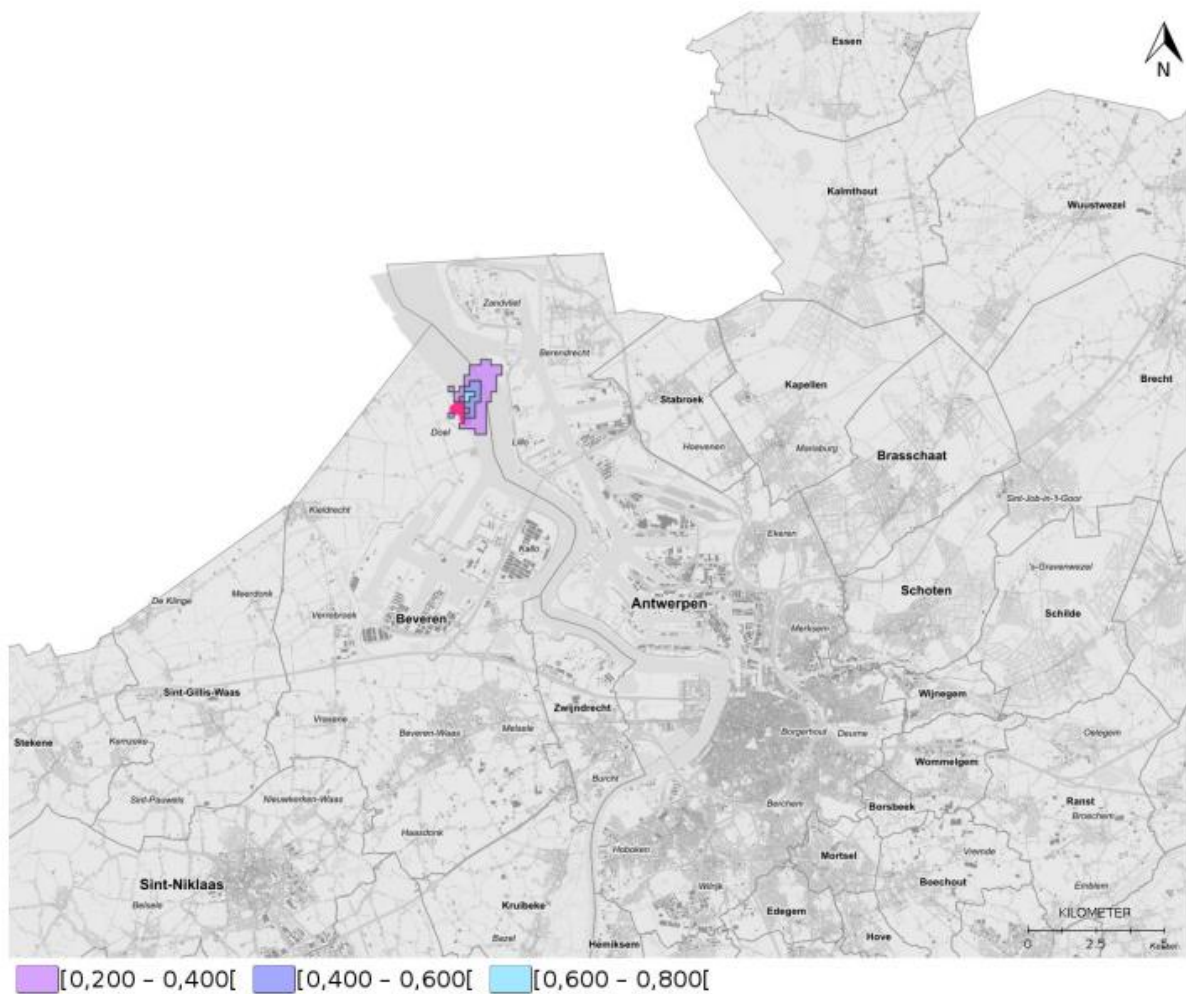


Abbildung 59: Darstellung der berechneten Auswirkungen auf die NO_x-Äquivalenten in der geplanten Situation 2026 (NO_x-Äquivalenten = Summe der NO + NO₂, ausgedrückt als NO₂).

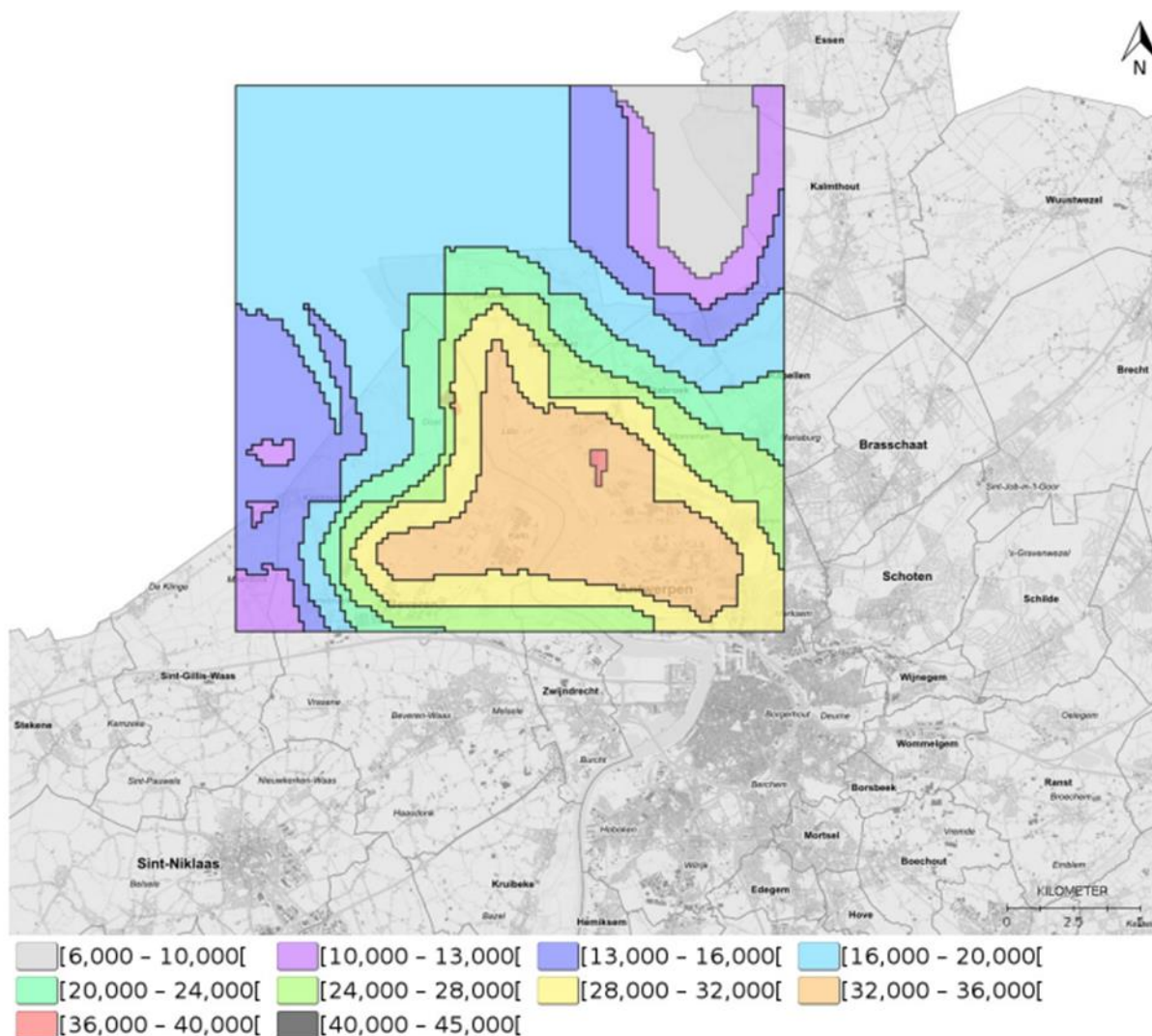


Abbildung 60: Jährliche durchschnittliche NO_2 Konzentration in geplanter Situation (Auswirkung 2026 + Hintergrundkonzentrationen 2025).

Bei den in der **Wartungswerkstatt** vorhandenen Anlagen kann davon ausgegangen werden, dass nach 2025 keine relevanten Änderungen gegenüber der heutigen Situation zu erwarten sind. Die Auswirkung möglicher Emissionen außerhalb der Parzellengrenzen wird als vernachlässigbar eingestuft und daher nicht weiter erörtert.

Im Hinblick auf die **Kühlanlagen** und möglichen Leckageverluste kann die Prognose möglicher Emissionen auf der Grundlage der Aufzeichnungen für 2022 durchgeführt werden. Bei ordnungsgemäßer Wartung dürften die Leckage-Emissionen nach 2025 nicht wesentlich zunehmen. Die Auswirkung dieser Emissionen kann auch jenseits der Parzellengrenzen als vernachlässigbar eingestuft werden und werden daher nicht weiter erörtert (mit Ausnahme der folgenden Übersicht über die Schätzung der Emissionen auf der Grundlage der Daten für 2020-2022).

Tabelle 40: Übersicht über die möglichen Leckageverluste nach 2025.

Datum Auffüllung	PKD Code Gerät	Art des Kältemittelgases	kg Auffüllung im Zeitraum 2020-2022	Im Einsatz bis
15.01.2020	Scaldis CIAT rechts Seite B	R410A	88,4 kg	2038
1.04.2020	D0/OVE-FA4	R407C	15kg	2029
23.06.20	D4/CF-ML0026	R134A	4,9kg	2038

Datum Auffüllung	PKD Code Gerät	Art des Kältemittelgases	kg Auffüllung im Zeitraum 2020-2022	Im Einsatz bis
5.11.2020	D4/VK-PP0090	R134A	2 kg	2038
20.01.2020	D4/CF-ML0029	R134A	13,59 kg	2038
29.10.2020	D4/CF-ML0029	R134A	5,5 kg	2038
5/06/2020	CGB - Kühlung Küche	R410A	11kg	2038
17.12.20	D4/CF-ML1010	R134A	15,4 kg	2038
27.01.21	D4/CF-ML0026	R134A	4,51 kg	2038
12.04.21	D4/CF-ML0019	R134A	6,5 kg	2038
17.03.21	D4/CF-ML1010	R134A	50,5kg	2038
03.01.21	D0/0VE-FA4	R407C	10 kg	2029
11.01.22	DS/VAG-ML0825	R410A	1,8 kg	2038
9.04.2022	D4/CF-ML0023	R134A	3,4 kg	2038
16.05.22	SOC-103	R410A	3,5 kg	2038
02.06.22	D4/CF-ML0018	R134A	5,93 kg	2038
26.07.2022	D4/CF-ML0018	R134A	1,42 kg	2038
15.06.22	Kühlschrank Küche	R134A	0,25 kg	2038
22.08.22	D4/CF-ML1020	R134A	23,92 kg	2038
08.09.22	D4/CF-ML0019	R134A	20,06 kg	2038
17.10.2022	DT/CFV-ML0003	R410A	21,3 kg	2038
24.10.2022	D0/CF0E87B	R134A	107,75 kg	2029
16.11.2022	D0/0VE-FA3	R407C	26,9 kg	2029
8.12.2022	DT/CFV-ML0003	R410A	21,3 kg	2038
06.12.22	WDG serverroom	R410A	0,46 kg	2038

Von den erwarteten Leckage-Emissionen in der Nähe der Parzellengrenzen werden keine nachweisbaren Auswirkungen erwartet.

Eine Emissionsquelle mit möglichen Auswirkungen auf die Luftqualität gibt es bezüglich des Kühlturms und der möglichen Emissionen von Salzaerosolen. Da auch in der Vergangenheit, als Doel 3 in Betrieb war, Salzaerosole über den Kühlturm emittiert wurden, werden die Auswirkungen in der geplanten Situation ohnehin (deutlich) geringer sein als bisher. Da die Auswirkung zuvor als akzeptabel bewertet wurden, wird dies natürlich auch in der geplanten Situation der Fall sein.

Auswirkung des Verkehrs zum und vom Standort in der geplanten Situation

Insgesamt wird die Anzahl Transport per Lkw auf 970/Jahr geschätzt. Im Durchschnitt bedeutet dies pro Kalendertag höchstens 6 Transportbewegungen. Selbst wenn es sich um schwere Lkw handeln würde, die alle dieselbe Strecke befahren, sind bei dieser Anzahl von Transporten keine nachweisbaren Auswirkungen auf die Luftqualität zu erwarten.

Die Zahl der Mitarbeiter am Standort des Kernkraftwerks Doel der Electrabel AG wird niedriger sein als in der derzeitigen Situation, wenn nur Doel 4 in Betrieb bleibt. Wir gehen davon aus, dass für den Betrieb von Doel 4 ca. 370 eigene Mitarbeiter und ca. 160 ständige Auftragnehmer eingesetzt werden.

Für den Ausstieg und den Rückbau der anderen Einheiten werden natürlich zusätzliche interne Mitarbeiter und Auftragnehmer benötigt. Diese Zahl lässt sich jedoch derzeit nicht abschätzen, so dass eine Bewertung der kumulativen Auswirkungen nicht möglich ist.

Da jedoch davon auszugehen ist, dass die Emissionen der Fahrzeuge in Zukunft noch deutlich zurückgehen werden (auch aufgrund des beschleunigten Ausstiegs aus fossilen Kraftstoffen), ist nicht damit zu rechnen, dass der Pendlerverkehr relevante Auswirkungen auf die Luftqualität entlang der Straßen zum und vom Standort hat, auch nicht auf den Straßenabschnitten, die der gesamte Verkehr passieren muss.

3.4.5 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Die derzeitigen Emissionen und die niedrigeren Emissionen in der geplanten Situation sind so gering, dass sie die Erreichung der Emissionsziele für 2030 nicht gefährden können. Da nur das Doel 4 in Betrieb ist, kann ein systematischer Rückgang der Emissionen in der Zukunft berücksichtigt werden.

Wie bereits erwähnt, wird bis 2035 mit einem weiteren Rückgang der Emissionen um etwa 30 % gegenüber den geschätzten Emissionen für 2025 gerechnet.

Wenn Doel 4 nicht in Betrieb ist und der Strom durch die (teilweise) Verbrennung von fossilen Brennstoffen oder Biokraftstoffen bereitgestellt werden muss, werden die Emissionen um ein Vielfaches höher sein als die Emissionen des Standorts Doel, wenn Doel 4 in Betrieb ist.

Um das Ausmaß der **vermiedenen Emissionen** abzuschätzen, wird ein Vergleich mit den Emissionen angestellt, die beim Einsatz der neuesten Typen von erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken entstehen würden, wie denjenigen, für die im Rahmen des CRM in der flämischen Region (für die Standorte Vilvoorde und Tessenderlo) UVP-Berichte erstellt wurden. Bei diesen Berechnungen werden zunächst die Emissionen berücksichtigt, die entstehen würden, wenn die sektoralen Emissionsgrenzwerte (EGW), wie sie in der flämischen Region gelten, gerade eingehalten würden. Aufgrund der sehr hohen Emissionen wurde im Rahmen der UVP- und Genehmigungsverfahren für beide Akten untersucht, inwieweit diese Emissionen noch kosteneffizient reduziert werden können. Die vermiedenen Emissionen werden auch für diese Situation geschätzt (nach Abmilderung: MM).

Diese Berechnung basiert ebenfalls auf der Annahme einer durchschnittlichen jährlichen Stromproduktion, die von den GuD-Kraftwerken übernommen werden sollte. Diese Menge wird auf der Grundlage der durchschnittlichen Produktion von Doel 4 in den letzten Jahren geschätzt.

Tabelle 41: Historische Stromerzeugung von Doel 4

Jahr	GWh	Auslastung
2012	7.819	89%
2013	8.477	97%
2014	4.887	56%
2015	7.744	88%
2016	8.782	100 %
2017	7.461	85%
2018	5.514	63%
2019	8.730	100 %
2020	7.270	83%
2021	7.953	91%
Mittelwert	7.464	85%

Tabelle 42: Abschätzung der vermiedenen Emissionen im Vergleich zum Einsatz der neuesten Generation von erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken

Art	EF	NO _x	NH ₃	SO ₂
STEG-EGW (1)	kg NOX/GWhe	140	46	1.5
STEG-MM (2)	kg NOX/Gwhe	50	5	1.5
	MWh/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr	Tonnen/Jahr
STEG-EGW (1)	7 500 000	1050	345	11
STEG-MM (2)	7 500 000	375	38	11

(1): unter der Annahme, dass die Emissionsgrenzwerte gerade noch eingehalten werden

(2): unter der Annahme, dass die erreichbaren Emissionswerte deutlich unter den sektoralen Grenzwerten liegen

Auf der Grundlage der durchgeführten Schätzung kann daher der Schluss gezogen werden, dass die vermiedenen Emissionen in erheblichem Maße höher sind als die Emissionen, die mit einem verlängerten Betrieb von Doel 4 verbunden wären.

In dem Maße, in dem ein Teil des Stroms nicht durch Gaskraftwerke, sondern durch Alternativen ohne Verbrennungsemissionen gedeckt wird, sind die vermiedenen Emissionen natürlich entsprechend geringer. Aber selbst dann sind sie immer noch wesentlich höher als die Emissionen, die bei einer längeren Betriebsdauer von Doel 4 entstehen würden.

3.4.6 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Die wichtigsten Quellen, die sich auf die Luftqualität auswirken können, sind Dampfkessel und Dieselmotoren. Diese ortsfesten Anlagen sind jedoch nur in sehr begrenztem Umfang in Betrieb.

Bei reinem Betrieb von Doel 4 wird sich die Zahl der Betriebsstunden der Kessel deutlich erhöhen (quasi verdoppeln), aber auch dann bleibt die Gesamtzahl der effektiven Betriebsstunden begrenzt.

Auf der Grundlage verschiedener Annahmen und der Erhöhung der Anzahl der Betriebsstunden ab 2022 werden die Emissionen in der geplanten Situation geschätzt. Die hier berechneten Emissionen können als (sehr) gering eingeschätzt werden.

Die höchsten berechneten Emissionen (für 2026) werden als Modellinput verwendet, um die Auswirkungen auf die Luftqualität zu berechnen. Da die Modelleigenschaften der Anlagen nicht alle verfügbar sind, werden bei diesen Berechnungen eine Reihe von Annahmen zugrunde gelegt. Aus den Berechnungen der Auswirkung geht hervor, dass die Auswirkung auf die Luftqualität (weniger als 1 % der verwendeten Grenz- oder Prüfwerte) vernachlässigbar ist. Es werden auch keine Überschreitungen der Grenzwerte unter Berücksichtigung der erwarteten Hintergrundkonzentrationen berechnet. Daher ist es nicht erforderlich, Minderungsmaßnahmen zu prüfen.

Wenn Doel 4 nicht in Betrieb ist und der Strom durch die (teilweise) Verbrennung von fossilen Brennstoffen oder Biokraftstoffen bereitgestellt werden muss, werden die Emissionen um ein Vielfaches höher sein als die Emissionen des Standorts Doel, wenn Doel 4 in Betrieb ist.

Neben den Verbrennungsanlagen sind auch Staubemissionen in Werkstätten (Holz- und Metallverarbeitung), mögliche Leckageverluste aus Kühlanlagen, Emissionen von organischen Stoffen u. a. bei der Reparatur von Kraftfahrzeugen und der Entfettung von Metallen sowie Emissionen aus Kühltürmen (Salze) zu nennen. Es werden jedoch von keiner dieser Quellen relevante Auswirkungen erwartet.

Es wird auch nicht erwartet, dass der Transport und der Verkehr zum und vom Standort relevante Auswirkungen auf die Luftqualität entlang der relevanten Straßen haben wird.

Insgesamt betrachtet sind die Auswirkungen auf die Luftqualität daher vernachlässigbar.

3.4.7 Minderungsmaßnahmen

Es werden keine Minderungsmaßnahmen für notwendig erachtet.

3.4.8 Wissenslücken und Überwachung

Die größten Wissenslücken gibt es im Bereich der Emissionen von Verbrennungsanlagen, da weder Messwerte noch Modelleigenschaften bekannt sind. Durch die Verwendung von Emissionsfaktoren aus der Literatur und von Annahmen werden diese Lücken aufgefüllt. Dies führt jedoch zu einer erhöhten Unsicherheit in Bezug auf die Ergebnisse der Berechnungen der Auswirkungen. Aber selbst wenn man dies berücksichtigt, können die Auswirkungen als vernachlässigbar eingestuft werden.

3.5 Thema Klima

3.5.1 Relevante politische Ziele

Bei den Treibhausgasemissionen wird in Europa zwischen Emissionen, die unter das europäische Emissionshandelssystem (Emission Trading System, kurz: ETS) fallen, und anderen (Nicht-ETS-)Emissionen unterschieden.

Im Jahr 2016 hat sich die Europäische Union im Rahmen ihrer Nationally Determined Contribution (NDC, zu Deutsch: national festgelegte Beiträge) verpflichtet, ihre gesamten Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 40 % im Vergleich zu den Emissionen des Jahres 1990 zu reduzieren⁶⁷. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine 43-prozentige Reduktion im ETS-Sektor und eine 30-prozentige Reduktion im Nicht-ETS-Sektor angenommen, jeweils im Vergleich zum Jahr 2005.

Auf Ebene der Mitgliedsstaaten sind nur die *Nicht-ETS-Emissionen* (Transport, Gebäude, Abfall und Landwirtschaft) Gegenstand von Zielvorgaben. Über die Lastenteilungsverordnung wurde das EU-Ziel einer 30-prozentigen Reduktion für Belgien in eine 35-prozentige Reduzierung (im Jahr 2030, im Vergleich zu 2005) übersetzt. Dieser Prozentsatz wurde von Flandern im Flämischen Energie- und Klimaplan (VEKP) 2021-2030 übernommen⁶⁸.

Im Rahmen des European Green Deals hat die Europäische Union jedoch kürzlich ihre Ambitionen erhöht, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % zu reduzieren; Klimaneutralität soll bis 2050 erreicht werden. Die Heraufsetzung des europäischen Reduktionsziels für 2030 von 40 auf (mindestens) 55 % hat natürlich auch Auswirkungen auf die Ziele der Mitgliedstaaten. Im Juli 2021 veröffentlichte die Kommission einen Vorschlag zur Änderung der Lastenteilungsverordnung, in dem neue Reduktionsziele für verschiedene Mitgliedstaaten vorgeschlagen werden. Für Belgien bedeutet dies eine Erhöhung des ursprünglichen Ziels einer Reduzierung von 35 % auf 47 % (im Jahr 2030 gegenüber 2005).

Das vorliegende Projekt fällt jedoch nicht unter das im VEKP enthaltene Reduktionsziel von 35 % (oder ein anderes Reduktionsziel auf der Grundlage der Lastenteilungsverordnung), da sich diese nur auf den Nicht-ETS-Sektor beziehen.

Das *ETS-System* wird durch die Direktive 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft geregelt, die ursprünglich am 13. Oktober 2003 veröffentlicht, aber seit ihrer Verabschiedung regelmäßig geändert wurde. Das ETS gilt u. a. für „Feuerungsanlagen

⁶⁷ Siehe Europäischer Klima- und Energierahmen 2030.

⁶⁸ Die Erstellung des VEKP steht im Einklang mit Artikel 3 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, wonach jeder Mitgliedstaat bis zum 31. Dezember 2019 einen integrierten nationalen Energie- und Klimaplan für den Zeitraum von 2021 bis einschließlich 2030 bei der Kommission vorlegen muss.

mit einer Feuerungswärmeleistung über 20 MW“ (vgl. Anhang I der Richtlinie 2003/87/EG), und somit auch für das vorliegende Projekt. Die konkrete Umsetzung dieser Direktive wird durch verschiedene (europäische) Erlasse und Verordnungen geregelt. Diese wurden auch (teilweise) in die flämische Gesetzgebung übernommen, zum Beispiel in der Flämischen Satzung zur Umweltgenehmigung (Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning, kurz: VLAREM), dem Dekret zur Festlegung allgemeiner Bestimmungen über Umweltpolitik (Decreet algemene bepalingen milieubeleid, kurz DABM) und dem Dekret über die Umgebungsgenehmigung (Omgevingsvergunningdecreet). In Flandern wurde das Umweltministerium als zuständige Behörde im Zusammenhang mit dem EU-ETS benannt.

Seit 2005 ist das europäische Emissionshandelssystem der Eckpfeiler der EU-Strategie zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus der Industrie sowie der Strom- und Wärmeerzeugung. Etwa 45 % aller Treibhausgasemissionen in der EU werden inzwischen von diesem System erfasst. Das System basiert auf der Annahme, dass der Marktmechanismus (mithilfe von handelbaren Emissionszertifikaten) die Treibhausgasemissionen der betreffenden Anlagen auf die effizienteste Weise reduzieren können, wobei eine feste Obergrenze gilt. Indem man schrittweise mehr „Knappheit“ auf dem Markt für Emissionszertifikate schafft (indem man die Obergrenze abbaut), steigt der Wert dieser Rechte, wodurch ein Anreiz geschaffen wird, nach dem kosteneffizientesten Weg zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu suchen. Emissionszertifikate werden in erster Linie über Versteigerungen verteilt, teilweise aber auch durch kostenfreie Zuteilung, letzteres vor allem, um eine sogenannte „Carbon Leakage“ (Verlagerung von CO₂-Emissionen) zu vermeiden. Für den Stromsektor gilt die kostenfreie Zuteilung jedoch seit 2013 nicht mehr.

Wie bereits erwähnt, zielte der Europäische Klima- und Energierahmen 2030 darauf ab, bis 2030 eine Reduktion von 43 % für den ETS-Sektor zu erreichen (im Vergleich zu den Emissionen von 2005), und zwar für die gesamte Union. Daher gibt es auf Ebene der Mitgliedstaaten keine spezifischen Ziele für die ETS-Sektoren. Das Ziel ist es, die ETS-Sektoren zu ermutigen, die Treibhausgasemissionen unter gleichen Bedingungen auf EU-Ebene zu reduzieren. Eine kürzlich erfolgte gründliche Überarbeitung der Richtlinie 2003/87/EG (über die Richtlinie (EU) 2018/410), die für den Zeitraum 2021-2030 (vierte Handelsperiode) gilt, zielt darauf ab, dieses ETS-Ziel zu erreichen. Dies beinhaltet einen strengeren Reduktionsweg, bei dem ab 2021 die Anzahl der Emissionszertifikate um 2,2 % pro Jahr reduziert wird (in der dritten Handelsperiode waren es 1,74 %).

Am 11. Dezember 2019 kündigte die Europäische Kommission ihren „Green Deal“ (Grünen Deal) an, der das Ziel beinhaltet, das 40 %-prozentige Reduktionsziel (siehe oben) auf mindestens 55 % zu erhöhen und bis 2050 klimaneutral zu sein. Eine Reduzierung in dieser Größenordnung ist auch (weltweit) erforderlich, wenn die globale Erwärmung auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden soll. Das Europäische Parlament hat am 15. Januar 2020 seine Unterstützung für die Vorschläge der Kommission zum Ausdruck gebracht. Am 11. Dezember 2020 hat sich auch der Europäische Rat hinter das verbindliche Ziel von mindestens 55 % Nettoerleichterung der Treibhausgasemissionen in der EU bis 2030 im Vergleich zu 1990 gestellt.

Es ist offensichtlich, dass, wenn diese politischen Ambitionen in Vorschriften umgesetzt werden, dies auch Konsequenzen für die Ziele innerhalb des ETS-Systems haben wird. Die Ambitionen in diesem Bereich wurden in einem Vorschlag des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG dargelegt. Dieser Vorschlag beinhaltet u. a. eine weitere Erhöhung des jährlichen linearen Reduktionsfaktors (auf 5,1 % ab 2024 und auf 5,38 % ab 2028) sowie eine Ausweitung des Systems auf die Sektoren Transport und Gebäude. Dieses angepasste ETS-System soll im Jahr 2027 anlaufen.

Neben der Politik zu den Treibhausgasemissionen muss auch die Notwendigkeit der Klimaanpassung berücksichtigt werden. Auf europäischer Ebene gibt es hierfür keine allgemeingültigen operativen Ziele, was nicht verwunderlich ist, da der Anpassungsbedarf auf einer überwiegend lokalen Ebene definiert werden muss. Flandern verfügt aber über einen Anpassungsplan für den Zeitraum 2021-2030, der kürzlich von der Flämischen Regierung genehmigt wurde.

Ebenfalls relevant ist die UVP-Direktive 2011/92/EU, geändert durch die Richtlinie 2014/52/EU. Wie bereits erwähnt, sieht Anhang IV dieser (geänderten) Richtlinie vor, dass eine Umweltverträglichkeitsprüfung neben einer

Beschreibung der Auswirkungen des Projekts auf das Klima auch eine Bewertung der *Anfälligkeit des Projekts in Bezug auf den Klimawandel* enthalten muss.

Zusammenfassend erfolgt im Rahmen der vorliegenden UVP in der Disziplin Klima eine Bewertung anhand der folgenden Kriterien:

- das Ausmaß, in dem die Treibhausgasemissionen durch das Projekt reduziert werden;
- das Ausmaß, in dem das Projekt die Widerstandsfähigkeit der Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels beeinflusst;
- das Ausmaß, in dem das Projekt selbst im Kontext des Klimawandels robust ist.

3.5.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Das Projekt, das Gegenstand der Umweltverträglichkeitsprüfung ist, hat eine Reihe von potenziellen Beziehungen bezüglich des (Nicht-)Erreichens der oben zusammengefassten politischen Ziele.

Zusammengefasst handelt es sich dabei um die folgenden Beziehungen:

1. Der Standort Doel umfasst eine Reihe von Anlagen, die die Quelle von Treibhausgasemissionen sind. Dabei handelt es sich in erster Linie um Diesel-Notpumpen und -Generatoren. Diese sind unter normalen Umständen nicht im Einsatz, aber ihr Funktionieren wird regelmäßig getestet. Bei diesen Tests wird CO₂ erzeugt. Einige dieser Einrichtungen sind speziell Doel 4 zuzuordnen.
2. Zusätzlich zu diesen Emissionen muss man auch die durch die Verschiebung der Abschaltung vermiedenen Treibhausgasemissionen berücksichtigen, in dem Sinne, dass, wenn die Abschaltung nicht verschoben worden wäre, die Produktionskapazität durch andere Quellen (die zumindest teilweise fossiler Natur gewesen wären) hätte ersetzt werden müssen.
3. Aufgrund seiner beträchtlichen Fläche kann das Kraftwerk eine Auswirkung auf die Widerstandsfähigkeit seiner Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels haben, z. B. in Bezug auf Hitzephänomene oder (starke) Niederschläge.
4. Das Kraftwerk selbst kann anfällig für die Auswirkungen des Klimawandels wie Überschwemmung, übermäßige Niederschläge oder Hitze sein.

Die Punkte 1 und 2 beziehen sich auf das politische Ziel „Reduzierung der Treibhausgasemissionen“, Punkt 3 auf das politische Ziel „Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Umgebung“ und Punkt 4 auf das politische Ziel „Verringerung der Anfälligkeit des Projekts“.

Jeder dieser Punkte wird auf den folgenden Seiten ausführlicher behandelt.

3.5.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Das Projektgebiet ist die Summe aller Orte, an denen Eingriffe stattfinden oder Situationen verändert oder aufrechterhalten werden. Innerhalb dieses Projektgebiets wird die Anfälligkeit der Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels bewertet, ebenso wie etwaige Änderungen bei den Emissionen (oder der Festlegung) von CO₂ und, sofern relevant, anderen Treibhausgasen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den Emissionen der Anlagen innerhalb des Standortes Doel. Emissionen, die z. B. durch den Verkehr zum und vom Kraftwerk entstehen, werden auf dieser strategischen Ebene nicht berücksichtigt. Innerhalb des Projektgebiets wird auch die Anfälligkeit gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels bewertet.

Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen wird kein Untersuchungsgebiet in Form von Wirkungsrezeptoren definiert, da der durch Treibhausgasemissionen verursachte Klimawandel ein globales Phänomen ist und seine Auswirkungen auch global zu spüren sind.

Die Vermeidung von Treibhausgasemissionen kann im Prinzip überall in Belgien oder, im Falle von Stromimporten, auch im Ausland stattfinden. Da die Auswirkungen dieser Emissionen nicht durch den Ort ihrer Entstehung bestimmt werden, ist dies für die Diskussion der Auswirkungen nicht relevant.

3.5.4 Beschreibung der Auswirkungen

3.5.4.1 Emissionen des Kraftwerks

Wie gesagt, stammen die Treibhausgasemissionen des Kraftwerks in erster Linie aus dem Betrieb einer Reihe von Dieselmotoren (zum Antrieb von Notpumpen und Notstromaggregaten) sowie aus Dampf- und Heizkesseln. Darüber hinaus muss auch die Freisetzung verschiedener Kältemittelgase durch Leckagen berücksichtigt werden; diese Kältemittelgase sind ebenfalls Treibhausgase.

Das Inventar der Treibhausgasemissionen des Kernkraftwerks Doel weist 59 Dieselmotoren und Verbrennungsanlagen mit einer installierten thermischen Gesamtleistung von 316 MW aus. Die Anzahl der Betriebsstunden dieser Anlagen ist jedoch (sehr) begrenzt; 2022 schwankte sie (je nach Anlage) zwischen 0 und 120 Stunden, mit einem Durchschnitt von etwa 52 Stunden pro Anlage.

Das Inventar unterscheidet zwischen den verschiedenen Reaktoren am Standort, so dass es möglich ist, die Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit Doel 4 separat zu schätzen. Dabei geht es um 8 Dieselmotoren mit einer installierten Gesamtleistung von fast 60 MW (siehe Tabelle 43).

Tabelle 43: Mit fossilem Kraftstoff betriebene Motoren, die eindeutig dem Betrieb von Doel 4 zuzuordnen sind.

Name	Leistung (MW _{th})	Funktion
PKD-D4/ES-DG0022	2,4	HILFSDIESEL GMH
PKD-D4/ES-DG0012	2,4	HILFSDIESEL GMH
PKD-D4/ES-DG0001	12,6	SICHERHEITSDIESEL R
PKD-D4/ES-DG0002	12,6	SICHERHEITSDIESEL G
PKD-D4/ES-DG0003	12,5	SICHERHEITSDIESEL B
PKD-D4/KE-DG0001	5,7	BUNKERDIESEL R
PKD-D4/KE-DG0002	5,7	BUNKERDIESEL G
PKD-D4/KE-DG0003	5,7	BUNKERDIESEL B

Zusammengenommen sind diese Anlagen im Jahr 2022 ca. 383 Stunden in Betrieb gewesen.

Abgesehen von Anlagen, die eindeutig Doel 1 und 2, Doel 3 oder Doel 4 zugeordnet werden können, gibt es noch eine Reihe von Anlagen, bei denen dies nicht der Fall ist. Basierend auf dem Emissionsinventar für das Jahr 2022 machen diese zusammen weniger als 30 % der gesamten Treibhausgasemissionen des Kraftwerks aus. Wir ordnen diese Emissionen den verschiedenen Reaktoren im Verhältnis zu ihrer relativen Leistung zu. Für Doel 4 bedeutet dies, dass 35 % der nicht direkt zuzuordnenden Emissionen zusätzlich diesem Reaktor zugerechnet werden.

Die Zahlen bezüglich der Kältemittelgasemissionen beziehen sich auf das gesamte Kraftwerk; daher wenden wir auch hier einen Faktor von 35 % an, um den Anteil von Doel 4 an diesen Emissionen zu schätzen.

Tabelle 44 zeigt die Treibhausgasemissionen für den Standort und für Doel 4 für die Jahre 2015-2021, wie sie aus dem Emissionsinventar der verschiedenen Verbrennungsanlagen und aus der Meldung von Kältemittelgaslecks abgeleitet wurden. Der Anteil von Doel 4 variiert von Jahr zu Jahr, mit einem maximalen Anteil von 43 % an den Gesamtemissionen des Standorts.

Tabelle 44: Treibhausgasemissionen (Tonnen CO₂Äq/Jahr) für das Kernkraftwerk Doel (KKW Doel) und den Reaktor Doel 4 für den Zeitraum 2015-2021.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Treibhausgasemissionen KKW Doel (Verbrennung)	1.887	1.420	1.414	1.675	1.272	1.294	1.523
Treibhausgasemissionen KKW Doel (Kältemittelgase)	151	570	55	76	83	360	163
Treibhausgasemissionen Doel 4 (*)	604	622	428	570	578	497	653
Anteil der Treibhausgasemissionen D4 im KKW Doel	30 %	31 %	29 %	33 %	43 %	30 %	39 %
Produktion Doel 4 (GWh)	7.744	8.782	7.461	5.515	8.730	7.270	7.953
Relative Treibhausgasemissionen Doel 4 (gCO ₂ Äq/kWh)	0,0780	0,0708	0,0574	0,1033	0,0662	0,0684	0,0821

(*) einschließlich 35 % der nicht zuzuordnenden Verbrennungsemissionen und der Gesamtemissionen, die den Kältemittelgasen zuzuordnen sind.

Setzt man die Emissionen ins Verhältnis zum produzierten Strom, erhält man einen Wert, der für die betrachteten Jahre grob zwischen 0,060 und 0,1 Gramm CO₂ pro kWh schwankt. Die berechnete spezifische Emission ist bei geringerer Produktion relativ betrachtet höher, was logisch ist, da die Emissionen selbst relativ konstant sind und nicht mit der produzierten Kapazität zusammenhängen.

Zum Vergleich: Ein GuD-Kraftwerk der neuesten Generation hat einen Ausstoß von etwa 320 g CO₂ pro kWh, und die spezifischen Treibhausgasemissionen der belgischen Stromerzeugung insgesamt lagen 2021 bei 154 g CO₂-Äq/kWh (EEA, 2022).

In Abbildung 61 vergleicht die letztgenannte Zahl mit anderen EU-Mitgliedstaaten. Dies zeigt deutlich, dass die spezifischen Emissionen des belgischen Stromparks vor 2021 viel niedriger sind als z. B. in den Niederlanden (418 g CO₂Äq/kWh) und Deutschland (402 g CO₂Äq/kWh), beides Länder, die auch 2021 noch einen erheblichen Anteil fossiler Energie (u. a. Steinkohle und im Fall von Deutschland Braunkohle) in ihrem Energiemix haben. Länder, die besser abschneiden als Belgien, sind diejenigen, die über bedeutende Kern- und/oder Wasserkraftkapazitäten verfügen.

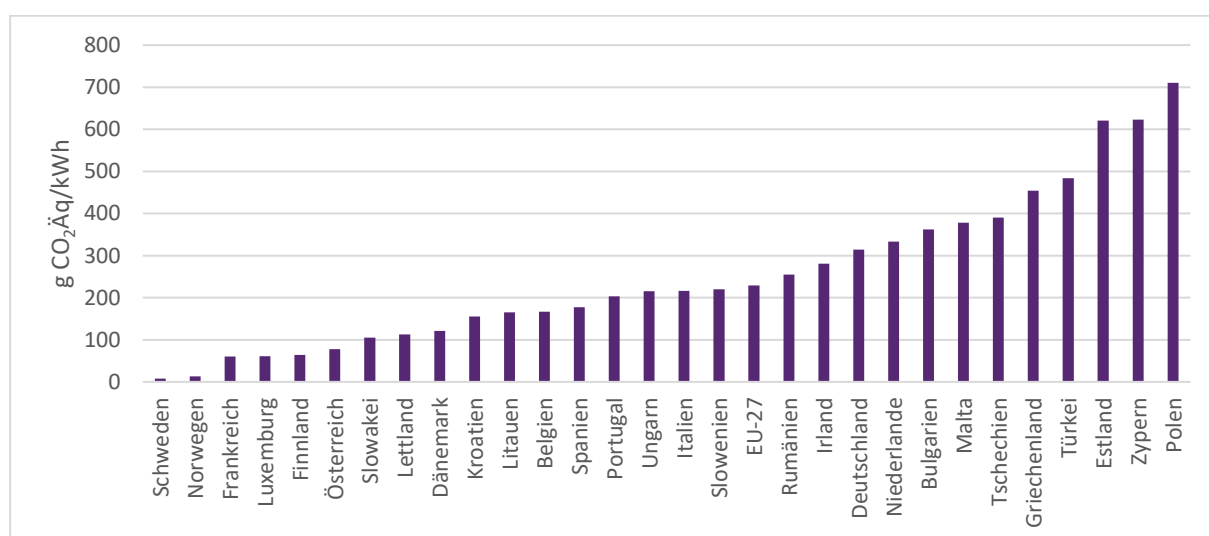


Abbildung 61: Intensität der Treibhausgasemissionen (g CO₂-Äq/kWh) des Stromsektors für die verschiedenen EU-Mitgliedstaaten im Jahr 2020.

Daraus lässt sich schließen, dass die CO₂-Emissionen pro Produktionseinheit von Doel 4 im betrachteten Zeitraum um drei Größenordnungen geringer sind als die durchschnittlichen Emissionen des Stromerzeugungsparks in Belgien. Angesichts der eingesetzten Technologie sollte dies nicht überraschen. Die auftretenden Emissionen sind nicht auf den normalen Betrieb des Kraftwerks zurückzuführen, sondern auf die Testzyklen von Anlagen, die nur in Notfällen eingesetzt werden.

Auch wenn man die Lebenszyklus-Emissionen der Atomenergie betrachtet, sind sie im Vergleich zu den Emissionen der meisten anderen Formen der Energieerzeugung günstig. Der IPCC⁶⁹ schätzt die Treibhausgasemissionen der Atomenergie während der gesamten Lebensdauer eines Kraftwerks auf 3,7 bis 110 g CO₂-e/kWhe, mit einem Medianwert von 12 g CO₂-e/kWhe. Lenzen⁷⁰ (2008) schätzt die CO₂-Intensität der Atomenergie auf 10 bis 130 g CO₂-e/kWhe, mit einem Durchschnitt von 65 g CO₂-e/kWhe. In den Zahlen von Lenzen sind auch die Emissionen aus dem Abbau von Uran sowie dem Rückbau des Kraftwerks berücksichtigt. Die Lebenszyklus-Emissionen eines Kernkraftwerks sind mindestens 10 bis 20 Mal niedriger als die eines Wärmekraftwerks, etwas niedriger als die von photovoltaischer Energie und etwas höher als die von Windkraftanlagen.

Um zu wissen, wie sich die Emissionen während der Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 entwickeln werden, müssen wir wissen, über welchen Zeitraum die einzelnen Verbrennungsanlagen am Standort weiter betrieben werden. Es bleiben schließlich nicht nur die Anlagen, die direkt mit Doel 4 in Verbindung stehen, aktiv, sondern es bleiben auch einige der nicht speziell zugewiesenen Anlagen in Betrieb, die daher auch regelmäßig getestet werden.

Die dafür notwendigen Informationen wurden von Engie zur Verfügung gestellt und sind in Tabelle 31 (Disziplin Luft) zu finden. Daraus geht hervor, dass von den 63 Verbrennungsanlagen, die im Jahr 2022 am Standort vorhanden sind, 31 während der gesamten Verlängerung der Lebensdauer aktiv bleiben werden. Zur Berechnung der jährlichen Emissionen dieser Anlagen wurde jeder Anlage der Durchschnitt ihrer Emissionen im Zeitraum 2011-2022 für jedes Jahr, in dem sie noch in Betrieb war, zugeordnet. Bei beiden Hilfsdampfkesseln wird davon ausgegangen, dass sich ihr Betrieb ab dem Zeitpunkt verdoppelt, zu dem nur noch Doel 4 in Betrieb ist, wie in der Disziplin Luft argumentiert wird.

Bei den Verbrennungsemissionen wurden die Emissionen aus Kältemittelgaslecks berücksichtigt. Dabei wurde von durchschnittlichen Emissionen im Zeitraum 2004-2021 ausgegangen, die sich auf 377 Tonnen pro Jahr belaufen. Auf diese Zahl wurde ein jährlicher Reduktionsfaktor angewendet, der dem prozentualen Reduktionsfaktor der Verbrennungsemissionen für das betreffende Jahr entspricht.

Der Verlauf der resultierenden Emissionen für den gesamten Standort ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt. Infolge des höheren Betriebs der Hilfsdampfkessel ab dem Zeitpunkt, zu dem nur noch Doel 4 in Betrieb ist, ist nach einem anfänglichen Rückgang in den Jahren 2026-2027 ein leichter Anstieg zu verzeichnen, der sich jedoch in den Folgejahren durch die schrittweise Außerbetriebnahme der anderen Anlagen wieder umkehrt.

⁶⁹ Steffen Schlömer (ed.), Technology-specific Cost and Performance Parameters, Annex III of Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2014)

⁷⁰ Lenzen, M. Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. Energy Conversion and Management 49 (2008) 2178–2199.



Abbildung 62: Geschätzte Entwicklung der direkten Treibhausgasemissionen des Kernkraftwerks Doel zwischen 2023 und 2040.

Da im Zeitraum 2027-2036 nur noch der Reaktor Doel 4 aktiv sein wird, kann davon ausgegangen werden, dass alle Treibhausgasemissionen in diesem Zeitraum auf die eine oder andere Weise auf den Betrieb dieses Reaktors zurückzuführen sind. Die Gesamtemissionen in diesem Zeitraum belaufen sich auf 13.857 Tonnen CO₂Äq, was fast 0,08 % der Gesamtemissionen des Energiesektors in Belgien im Jahr 2021 (18.200 kt) entspricht. Es handelt sich dabei um die direkten Emissionen, die sich aus dem Weiterbetrieb des Reaktors Doel 4 für weitere zehn Jahre ergeben.

3.5.4.2 Vermiedene Emissionen des Kraftwerks

In diesem Abschnitt werden die Emissionen erörtert, die bei einer endgültigen Außerbetriebnahme des Reaktors Doel 4 im Jahr 2025 entstehen würden.

Es ist klar, dass das Wegfallen der nuklearen Kapazität in Belgien zumindest teilweise durch Gaskraftwerke aufgefangen werden muss. Ember⁷¹ schätzt im Jahr 2020, dass die Kohlenstoffintensität der belgischen Stromversorgung im Jahr 2030 229 g CO₂Äq/kWh betragen wird, was einen Anstieg von fast 71 % im Vergleich zur heutigen Situation bedeutet. Belgien ist eines der wenigen europäischen Länder, in denen die Kohlenstoffintensität eher steigen als sinken würde. Der Grund dafür ist natürlich, dass der Anteil der erneuerbaren Energien auch im Jahr 2030 noch zu gering sein wird, um die schnell weggefallene nukleare Produktion zu kompensieren. EMBER geht von einem Anteil von 57 % Erdgas und 40 % erneuerbarer Energien im Jahr 2030 aus. Dabei ist zu beachten, dass Energyville in einer Aktualisierung des Ausblicks für die belgische Stromversorgung in den Jahren 2030 und 2050 (2020) von einem deutlich geringeren Anteil von 44 % Erdgas im Jahr 2030 und damit auch einer geringeren Kohlenstoffintensität ausgeht (siehe unten).

Abbildung 63 zeigt eine Prognose der belgischen Stromerzeugung und -importe zwischen 2022 und 2032, wie sie im jüngsten „Adequacy and Flexibility Report“ von Elia (2021) enthalten ist.

⁷¹ Vision or division? What do National Energy and Climate Plans tell us about the EU power sector in 2030? EMBER, November 2020.

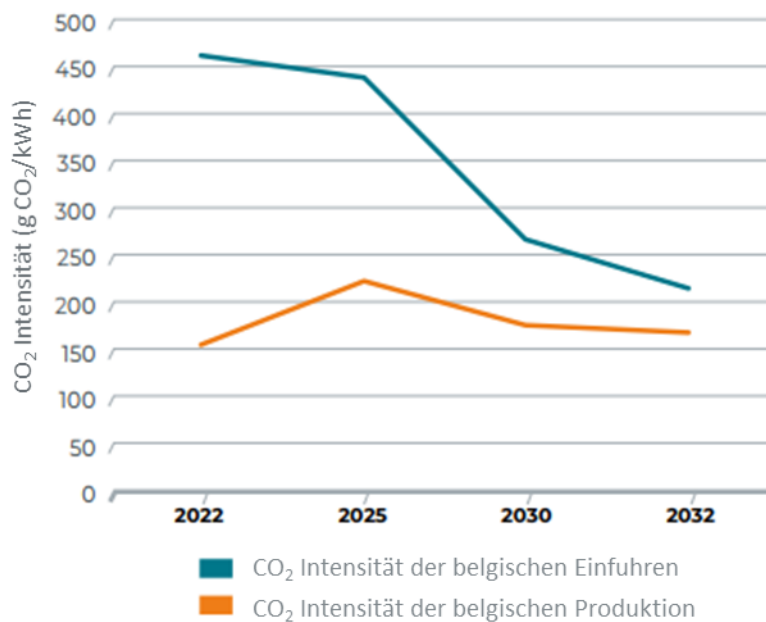


Abbildung 63: Voraussichtliche Kohlenstoffintensität der belgischen Stromerzeugung und -importe (Elia).

Wie diese Abbildung zeigt, muss man, um die Kohlenstoffintensität des Stromverbrauchs zu kennen, tatsächlich auch die Kohlenstoffintensität des importierten Stroms berücksichtigen. Hier sind wir jedoch an der Kohlenstoffintensität der Produktion interessiert. Wie aus dieser Abbildung ebenfalls hervorgeht, ist Elia in dieser Hinsicht weitaus optimistischer (und wahrscheinlich auch realistischer) als Ember. Der Grund dafür ist, dass Elia, ebenso wie Energyville, von einem deutlich geringeren Anteil an Gas als Ember ausgeht. Für das Jahr 2032 geht Elia bei der Stromerzeugung von einem Gasanteil zwischen 33 % und 44 % bei einem Windanteil von mindestens 37 % aus. Den Zahlen von Elia zufolge erreicht die Kohlenstoffintensität im Jahr 2025 (nach Abschaltung aller Kernkraftwerke) einen Höchststand von etwa 225 g CO₂Äq/kWh, geht danach aber wieder stetig zurück.

Vergleichbare Informationen finden sich in der erwähnten Studie von Energyville aus dem Jahr 2020. Anhand der Daten dieser Studie lässt sich die folgende Grafik erstellen, die die erwartete Entwicklung der Kohlenstoffintensität einerseits in einem „Central“-Szenario (ohne Atomenergie nach 2025) und andererseits in einem „Nuclear 10“-Szenario mit Beibehaltung von 2 GW Atomenergie für 10 Jahre nach 2025 zeigt. Das letztgenannte Szenario entspricht dem Szenario, das wir in dieser UVP bewerten.

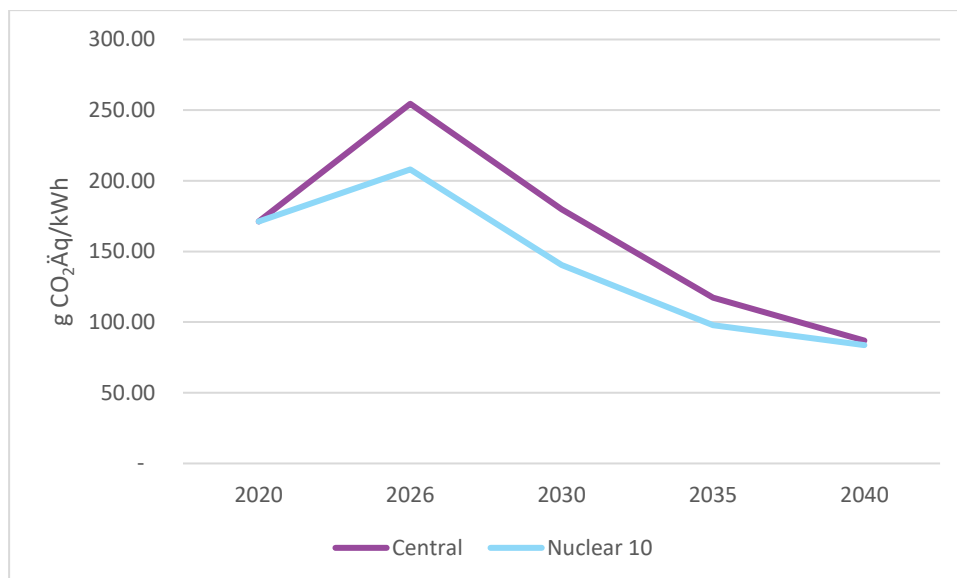


Abbildung 64: Entwicklung der Kohlenstoffintensität der Stromerzeugung in einem Szenario des vollständigen Ausstiegs aus der Atomenergie im Jahr 2020 (Central) und in einem Szenario der Verlängerung der Lebensdauer um 10 Jahre bei einer Kapazität von 2 GW.

Der Verlauf dieser Abbildung ist für das „Central“-Szenario sehr gut mit der Abbildung aus dem Elia-Bericht vergleichbar, obwohl Energyville von einem höheren Spitzenwert im Jahr 2026 ausgeht. Vergleichbar in beiden Grafiken ist der rasche Rückgang der Kohlenstoffintensität nach 2025/2026, wobei ab etwa 2030 eine Kohlenstoffintensität ähnlich der heutigen erreicht wird.

Durch eine Interpolation der Zahlen, die der Abbildung 64 zugrunde liegen, erhalten wir die Daten der folgenden Tabelle.

Die Tabelle enthält für jedes Jahr von 2020 bis 2040 die Treibhausgasemissionen (in Tonnen CO₂Äq), die einer jährlichen Stromerzeugung von 7.500 GWh entsprechen (was (gerundet) der durchschnittlichen Erzeugung von Doel 4 im Zeitraum 2012-2021 entspricht), und die Kohlenstoffintensität der Stromerzeugung im selben Jahr.

Tabelle 45: Geschätzte CO₂-Emissionen (in einem Szenario des vollständigen Atomausstiegs im Jahr 2025 (Central)), verursacht durch die Produktion von 7500 GWh Strom pro Jahr, bei der durchschnittlichen Kohlenstoffintensität der Stromproduktion für jedes Jahr.

	Central	
	Gramm CO ₂ Äq/kWh	KTonne CO ₂ Äq
2020	171,12	1.283,43
2021	185,02	1.387,67
2022	198,92	1.491,90
2023	212,82	1.596,13
2024	226,72	1.700,36
2025	240,61	1.804,60
2026	254,51	1.908,83

2027	235,87	1.768,99
2028	217,22	1.629,16
2029	198,58	1.489,33
2030	179,93	1.349,49
2031	167,40	1.255,54
2032	154,88	1.161,58
2033	142,35	1.067,62
2034	129,82	973,66
2035	117,29	879,71
2036	112,24	841,77
2037	107,18	803,84
2038	102,12	765,90
2039	97,06	727,97
2040	86,95	652,10

Die kumulierten Emissionen im Zeitraum 2027-2036 entsprechen den Emissionen, die nicht emittiert (und somit „vermieden“) würden, wenn in diesem Zeitraum jährlich 7.500 GWh Strom durch Kernenergie (Doel 4) erzeugt würden. Der so ermittelte Wert beträgt 12.417 kt oder 12,42 Mio. Tonnen.

Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 4 im ungefähr gleichen Zeitraum freigesetzt werden (fast 14 kt), so stellt man fest, dass die Emissionen von Doel 4 im Zeitraum der aufgeschobenen Abschaltung nur 0,11 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten des Kraftwerks zurückzuführen sind, sind daher gegenüber den vermiedenen Emissionen vernachlässigbar.

Die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 um 10 Jahre führt daher zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen um 12.417 kt oder um durchschnittlich 1.242 kt/Jahr. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von fast 10 % der Emissionen im Sektor „Strom- und Wärmeerzeugung“ in Belgien im Jahr 2021⁷² (12,88 Mt). Die jährliche Einsparung nimmt während der Laufzeitverlängerung von Jahr zu Jahr ab, wie aus [Tabelle 45](#) deutlich zu erkennen ist.

Es ist klar, dass die Bedeutung der „vermiedenen Emissionen“ in hohem Maße von der angenommenen Kohlenstoffintensität der Energieerzeugung, und folglich unter anderem vom Anteil der erneuerbaren Energien, abhängt. In den Berechnungen wurde dies durch die Einfügung eines abnehmenden Trends der Kohlenstoffintensität ab 2026 berücksichtigt.

3.5.4.3 Auswirkung auf die Anfälligkeit der Umgebung

Die Frage, die unter dieser Überschrift beantwortet werden soll, ist, inwieweit ein längeres Offenhalten von Doel 4 die Anfälligkeit der Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels beeinflussen kann. Auswirkungen, die hier theoretisch relevant sein können, beziehen sich zum einen auf die Regenwasserbewirtschaftung und zum anderen auf die Bildung einer Wärmeinsel.

Was die Auswirkungen der **Regenwasserbewirtschaftung** betrifft, so kann auf die erhebliche versiegelte Fläche verwiesen werden, die durch die Zone des Kernkraftwerks Doel gebildet wird. Wasser, das auf diese Fläche fällt,

⁷² Die letzten verfügbaren validierten Daten stammen aus dem Jahr 2020, aber das war ein Corona-Jahr mit deutlich niedrigeren Emissionen.

kann nicht in den Boden versickern und muss daher aufgefangen und abgeleitet werden. Dies geschieht natürlich auch gegenwärtig (siehe Beschreibung in der Disziplin Wasser). Infolge des Klimawandels können Regenfälle intensiver werden, was dazu führen kann, dass das Sammel- und Entwässerungssystem die Niederschläge nicht mehr jederzeit bewältigen kann. Dies kann zu lokalen Überschwemmungen führen. Was dies für den Standort des Kraftwerks selbst bedeutet, wird weiter unten unter der Überschrift „Anfälligkeit des Projekts gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels“ diskutiert. Die Frage ist, ob es auch Auswirkungen auf die Umgebung des Kraftwerks geben kann. Wir können feststellen, dass dies nicht der Fall sein wird, da das Regenwasser in Richtung Schelde eingeleitet wird (deren Pufferkapazität im Verhältnis zu den eingeleiteten Mengen beträchtlich ist), und nicht in Richtung der Polder. Außerdem ist es im Falle einer Abschaltung unwahrscheinlich, dass das Gelände von Doel 4 im Zeitraum 2027-2037 nicht mehr versiegelt wäre, da der vollständige Rückbau des Kraftwerks mindestens 15 Jahre dauern könnte.

Das Kraftwerk bildet außerdem eine **Wärmeinsel** in Bezug auf seine Umgebung. Dieser Effekt entsteht, weil der Standort weitgehend versiegelt ist und nur wenige Bäume vorhanden sind, die Schatten spenden oder durch Verdunstung für Abkühlung sorgen können. Versiegelte Flächen und Gebäude speichern tagsüber Wärme und geben sie nachts allmählich ab. Infolgedessen kann die Temperatur am Standort bis zu mehrere Grad höher sein als in den umliegenden Poldern. Dieser Effekt wird mit zunehmend wärmeren Sommern noch verstärkt. Diese Erwärmung ist bis zu einer Entfernung von (höchstens) einigen hundert Metern vom Kraftwerk zu spüren. In der Praxis spielt es für den Zeitraum 2027-2037 übrigens keine Rolle, ob Doel 4 noch in Betrieb ist oder nicht, da der gesamte Standort Doel aufgrund der Rückbauarbeiten während dieses Zeitraums noch immer versiegelt sein wird und somit gleichermaßen zum Wärmeinseleffekt beiträgt.

Schließlich kann auch auf die **Problematik der Dürre** hingewiesen werden, die sich durch den Klimawandel verschärfen wird. Auf dem Kraftwerksgelände wird heute der Pufferung und Versickerung wenig Beachtung geschenkt. Diese Praktiken werden jedoch wichtiger werden, wenn das Klima trockener wird; sie ermöglichen es, Regenwasser wiederzuverwenden und/oder zur Speisung des Grundwassers zu nutzen, anstatt es in die Schelde abzuleiten.

3.5.4.4 Anfälligkeit des Projekts gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels

Unter dieser Überschrift werden zwei verschiedene Themen diskutiert:

- einerseits die Auswirkungen, die das Projekt selbst infolge des Klimawandels erfahren kann (z. B. in Form von Dürren, Überschwemmungen ...). Ein Beispiel dafür ist die Verfügbarkeit von Kühlwasser, die abnehmen kann, wenn die Umgebungstemperatur und die Temperatur des Oberflächengewässers zu sehr ansteigen;
- andererseits das Ausmaß, in dem sich die Auswirkungen des Projekts, die an anderer Stelle in dieser UVP erörtert werden, infolge des Klimawandels ändern (verstärken oder abschwächen) könnten. Zum Beispiel kann bei zunehmender Trockenheit die Fließgeschwindigkeit in den Wasserläufen stark reduziert werden, was die Auswirkungen einer Einleitung verschlimmern kann, da die Verdünnung viel geringer ist als angenommen.

Obwohl es sich um zwei verschiedene Arten von Auswirkungen handelt, werden sie hier gemeinsam behandelt, da die zugrunde liegenden Ursachen (Hitze, Dürre, Überschwemmung usw.) in beiden Fällen gleich sind.

Das vorliegende Projekt umfasst einen klar definierten Zeitraum, der im Jahr 2037 endet. Die Anzeichen für einen Klimawandel sind in den letzten Jahrzehnten und insbesondere in den letzten Jahren immer deutlicher geworden. Die prognostizierten und bereits festgestellten Entwicklungen werden sich fortsetzen und zudem intensiver werden. Innerhalb des Referenzzeitraums des Projekts muss daher Folgendes berücksichtigt werden:

- höhere Durchschnittstemperaturen, mit milderer Wintern und wärmeren Sommern;
- häufigere Hitzewellen, die auch intensiver sein und länger anhalten können;
- eine Zunahme des jährlichen Gesamtniederschlags, mit mehr Regen im Winter (und möglicherweise mehr Überschwemmungen), aber auch merklich trockeneren Sommern;

- eine Zunahme der Spitzen-Niederschlagsintensität von kurzen, intensiven Schauern, die Überschwemmungen verursachen können;
- ein Anstieg des Meeresspiegels, mit als Folge einer größeren Überschwemmungsgefahr entlang der Küste und der Ästuarie;
- höhere Windgeschwindigkeiten.

Die meisten Prognosen beziehen sich auf die Zukunft, wie zum Beispiel das Jahr 2050 oder sogar 2100. Solche Richtjahre sind für das vorliegende Projekt logischerweise nicht relevant. Das VMM-Klimaportal (<https://klimaat.vmm.be/>) enthält Informationen pro Gemeinde, für einige Parameter auch für das Jahr 2030, was für die durchschnittliche Situation im Zeitraum 2027-2037 als repräsentativ betrachtet werden kann. Es ist jedoch anzumerken, dass die VMM-Prognosen auf dem sogenannten „hohen“ flämischen Klimaszenario basieren, was in der Praxis eine Entwicklung ähnlich der eines RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway, zu Deutsch: repräsentativer Konzentrationspfad) bedeutet, was eine eher pessimistische Annahme ist.

Im Folgenden fassen wir die auf dem Klimaportal verfügbaren Informationen über die (maximal) zu erwartenden Veränderungen in der Gemeinde Beveren bis zum Jahr 2030 zusammen. Der Vergleich bezieht sich immer auf die Situation im Jahr 2017:

- Bis 2030 wird die Zahl der Menschen in den gefährdeten Altersgruppen (0-4 Jahre und 65+), die von Hitzeerscheinungen betroffen sein können, im Vergleich zu 2017 um 52 % gestiegen sein;
- bis 2030 wird die Anzahl der trockenen Tage pro Jahr von 171 im Jahr 2017 auf 193 ansteigen;
- bis 2030 wird die Anzahl der Tage mit Hitzewellen pro Jahr von 4 im Jahr 2017 auf 10 ansteigen.

Für das Kernkraftwerk Doel beziehen sich die Hauptauswirkungen des Klimawandels jedoch nicht auf Hitze oder Trockenheit, sondern auf die Überschwemmungsgefahr, zum einen durch die Schelde (aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels) und zum anderen durch erhöhte Spitzenintensität der Niederschläge. Beide Auswirkungen und eine Reihe weiterer wurden im Bericht über die im Rahmen der zusätzlichen Sicherheitsüberprüfung der Anlagen durchgeführten Widerstandsprüfungen diskutiert (Electrabel, 2011). Im Folgenden fassen wir die wichtigsten Ergebnisse zusammen. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass das Ausmaß des Klimawandels, das in diesem Bericht berücksichtigt wurde, über das hinausgeht, was im Jahr 2037 wahrscheinlich der Fall sein wird. Dennoch ist es sinnvoll, die Ergebnisse kurz darzustellen, da sie eine Vorstellung von der Obergrenze der zu erwartenden Effekte geben.

Überschwemmungen

Um die Überschwemmungsgefahr zu minimieren, wurden zwei wichtige Maßnahmen bei der Gestaltung des Geländes vorgesehen: Erstens ruht das gesamte Gelände einschließlich aller Anlagen auf einer erhöhten Plattform, und zweitens wurde der Scheldedeich, der das Gelände schützt, um einen zusätzlichen Meter erhöht. Der höchste jemals in unserem Land gemessene Scheldepegel beträgt 8,10 m TAW (tweede algemene waterpassing, zu Deutsch: zweites allgemeines Nivellement). Die Plattform des Geländes wurde beim Bau auf 8,86 m TAW angehoben. Der Deich entlang des Geländes wurde auf 12,08 m erhöht. Als „Design Basis Flood“ (DBF, zu Deutsch: Auslegungshochwasser) wurde ein Wasserpegel von 9,13 m TAW festgelegt. Dieses DBF wurde auf der Grundlage der zum Zeitpunkt der Planung bekannten Studien als Pegel mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren gewählt. Später erfolgte eine Neubewertung des Wasserstands mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren mit (durchschnittlich) +9,35 m TAW auf Höhe des Geländes. Dieser liegt jedoch immer noch deutlich unterhalb der Deichkrone. Alle Strukturen, Systeme und Komponenten, einschließlich der internen Stromversorgung im Notfall, sind wahllos gegen das DBF geschützt.

Eine Überflutung des Deiches ist daher selbst bei einem anhaltenden Anstieg des Meeresspiegels (dessen Folgen wahrscheinlich erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts relevant werden könnten) äußerst unwahrscheinlich. Ein Deichversagen an der kritischsten Stelle des Deiches könnte bereits bei einer Wiederkehrperiode von 1.700 Jahren auftreten. In einer solchen Situation könnten am Standort Wasserstände von durchschnittlich 20 cm auftreten, mit Wassertiefen von lokal bis zu 60 cm.

Ein Wellenüberlauf des Deiches kann mit einer Wiederkehrperiode von 200 bis 300 Jahren auftreten. Bei einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren kann dies zu einer durchschnittlichen Wasserhöhe von zehn Zentimetern am Standort führen, mit lokal höheren oder niedrigeren Werten. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, welche Auswirkungen dies auf den sicheren Betrieb des Standorts hat. In drei Gebäuden war ein Wassereintritt möglich, allerdings ohne Auswirkungen auf die Sicherheitsfunktionen. Im Falle eines Deichbruchs würde sich die Anzahl der Orte, an denen Überschwemmungen auftreten könnten, erhöhen. Auch hier wird die zweite Sicherheitsebene unter allen Umständen eingehalten. Nichtsdestotrotz schlug der Widerstandsprüfbericht eine Reihe zusätzlicher Maßnahmen vor, um die Hochwassersicherheit weiter zu erhöhen, wie z. B. die Bereitstellung permanenter Barrieren an kritischen Gebäudeeingängen. In der Praxis bedeutet dies, dass an den Eingängen der betreffenden Sicherheitsgebäude ein Perimeterschutz von einigen Dutzend Zentimetern Höhe installiert wird.

Die Plattform, auf der die gesamte Anlage erbaut ist, ist von 5 Meter tiefergelegenen Poldern umgeben. Im Falle eines Deichbruchs besteht die reale Chance, dass diese Polder überflutet werden. In einer solchen Situation wird der Standort Gelände Doel zu einer Insel. Im Falle einer solchen Überschwemmung sind die Evakuierung und der Zugang von Menschen sowie die Versorgung mit Brennstoff für Sicherheitssysteme und Notstromdiesel natürlich von großer Bedeutung. Die Maßnahmen dazu sind in den Notfallplanverfahren des Standorts beschrieben.

Starke Regenfälle

Im Widerstandsprüfbericht heißt es, dass die „aktuellen“ Niederschlagsdaten (d. h. für das Jahr 2011) keinen signifikanten Anstieg der Niederschlagsintensitäten seit der Bemessungsphase zeigten und dass die Niederschlagsintensitäten, die als Grundlage für die Bemessung dienten, daher weiterhin gültig waren. Die Frage ist, ob diese Schlussfolgerung auch im Jahr 2037 noch gültig sein wird. Immerhin gibt es deutliche Hinweise darauf, dass die Spitzen-Niederschlagsintensitäten inzwischen tatsächlich zugenommen haben.

Die Auswertung des Kanalisationsnetzes zeigte auch, dass die Abflusskapazität der Kanalisation bei Starkregen (Wiederkehrperiode 100 Jahre) lokal, an wenigen Stellen und für einen begrenzten Zeitraum überschritten wurde. An diesen besonderen Orten kann es zu vorübergehenden Überschwemmungen kommen, bis die Regenintensität nachlässt und die Kanalisation das überschüssige Wasser ableitet.

Wenn wir davon ausgehen, dass die Intensitäten seither (und sicherlich bis 2037) tatsächlich zugenommen haben, können sowohl die Wahrscheinlichkeit des Auftretens solcher Situationen als auch das Ausmaß der Folgen natürlich ebenfalls zunehmen. In Anbetracht der relativ hohen Wiederkehrperiode, die in den Berechnungen verwendet wurde, und der Tatsache, dass durch eine mögliche Überschwemmung keine kritischen Funktionen bedroht sind, kann man sagen, dass die Bedeutung dieser Auswirkung praktisch gering ist.

Starker Wind

Die maximale Windgeschwindigkeit von 49 m/s, die als Auslegungsbasis für alle Gebäude am Standort diente, wurde in der Realität noch nie in Belgien gemessen. Darüber hinaus werden die sicherheitsrelevanten Gebäude für schwerere Belastungsfälle als diese maximale Windgeschwindigkeit ausgelegt. Extreme Windgeschwindigkeiten können zu einem teilweisen oder vollständigen LOOP führen. Das LOOP-Szenario⁷³ ist Teil der Auslegungsbasis der Blöcke. Eine solche Situation gefährdet die Kühlung des Brennstoffs nicht, weder bei Normalbetrieb noch im Stillstand.

⁷³ LOOP = Loss of Offsite Power oder der vollständige Ausfall des externen Netzes, d. h. der gleichzeitige Ausfall des externen 400-kV- und 150-kV-Netzes. In einer solchen Situation wird der Turbogeneratorsatz über die elektrischen Schutzeinrichtungen automatisch auf Inselbetrieb umgeschaltet. Der Turbogeneratorsatz speist dabei seine eigenen Hilfssysteme. Dies ist der erste Schutzmechanismus, der die Stromversorgung der Hilfssysteme des Blocks sicherstellt. Wenn mindestens einer der vier Blöcke in Doel erfolgreich im Inselbetrieb ist, besteht auch die Möglichkeit, diesen Block über das 400-kV-Umspannwerk Doel mit den anderen Einheiten zu verbinden.

Tornados

Ein schwerer Tornado kann zu einem teilweisen oder vollständigen LOOP führen, der mit einem Station Black Out (SBO) 1. Stufe und evtl. einem Verlust der primären Kältequelle einhergehen kann.

Die Auslegung von Doel 4 berücksichtigt einen Referenzornado, der in dieser Region beispiellos ist. Da das Phänomen in der Regel nicht das bestimmende Kriterium bei der Gebäudeauslegung ist, werden wichtige sicherheitsrelevante Gebäude auch schwereren Tornados als dem Referenzornado standhalten können.

Höhere Durchschnittstemperaturen

Wenn die Umgebungstemperatur höher ist, wird auch die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers höher ausfallen. Als Folge des Klimawandels werden die durchschnittlichen Lufttemperaturen steigen, mit milderen Wintern einerseits und längeren und intensiveren Hitzewellen im Sommer andererseits.

Infolgedessen wird sich die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers im Durchschnitt erhöhen, sodass zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind, um die Einleitungsnormen für Kraftwerke einzuhalten. Die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers darf normalerweise 30 °C nicht überschreiten, für Stromkraftwerke gilt jedoch ein separater Emissionsgrenzwert von maximal 33 °C (als Momentanwert). VLAREM gibt jedoch auch an, dass dieser Grenzwert (bei Einhaltung einer Reihe von Bedingungen) nicht anwendbar ist, wenn im Falle außergewöhnlicher meteorologischer Umstände (und insbesondere einer Hitzewelle) die Netzsicherheit gefährdet ist. Allerdings werden Hitzewellen, die zu höheren Einleitungstemperaturen führen, in Zukunft häufiger auftreten, sodass die „außergewöhnlichen meteorologischen Umstände“ viel weniger außergewöhnlich werden.

Darüber hinaus steigen natürlich auch die Temperaturen des aufgenommenen Oberflächenwassers durch eine erhöhte Durchschnittstemperatur der Umgebungsluft. Gemäß der aktuellen VLAREM-Gesetzgebung müssen Wärmekraftwerke mit Kühltürmen bei einer Tagesdurchschnittstemperatur des entnommenen Oberflächenwasser von 25 °C oder mehr die eingeleitete thermische Belastung schrittweise reduzieren, um u. a. negative ökologische Auswirkungen zu vermeiden. Zum Beispiel muss bei einer durchschnittlichen Tagestemperatur von 28 °C des entnommenen Wassers die täglich eingeleitete thermische Belastung auf 10 % oder weniger der maximalen Wärmebelastung pro Tag begrenzt werden (Artikel 4.2.4.1 von VLAREM II). Eine solche Situation wird unter dem Einfluss des Klimawandels in Zukunft sicher häufiger auftreten.

Beide oben beschriebenen Phänomene (höhere Temperatur des abzuleitenden Kühlwassers und höhere Temperatur des Wassers im aufnehmenden Wasserkörper) können sich negativ auf die Stromproduktion des Kraftwerks auswirken. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass dieser Effekt für die Schelde und innerhalb der (verlängerten) Laufzeit von Doel 4 Probleme verursacht.

Extreme Temperaturen

Auch extreme Temperaturen wurden in der Auslegungsbasis und bei der Dimensionierung der Ausrüstung berücksichtigt. Die Normen in diesem Bereich wurden auf der Grundlage von Statistiken und in Abhängigkeit von der geografischen Lage des Kernkraftwerks festgelegt. Eine Periode mit extremen Temperaturen oder extremer Trockenheit ist kein plötzliches Naturereignis. Dies sind Entwicklungen, die rechtzeitig vorhergesagt werden können, was direkt auch ein rechtzeitiges Handeln ermöglicht. Doel verfügt außerdem über Verfahren, die den sicheren Betrieb im Falle einer Hitzewelle oder bei Minusgraden gewährleisten.

Im Rahmen der Vorbereitung der Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 wurde festgestellt, dass der Umgang mit potenziellen Hitzewellen (und den damit verbundenen Temperaturen, die möglicherweise höher sind als in der ursprünglichen Planung vorgesehen) zu konstruktiven Verbesserungen führen kann (z. B. zu zusätzlichen Luftkühlern oder Luftbefeuchtern in Räumen). Die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Anlagen gegenüber den Auswirkungen extremer Temperaturen infolge des Klimawandels ist somit von vornherein in das Projekt integriert.

3.5.5 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Für die verschiedenen übergeordneten politischen Ziele, die für die Disziplin Klima relevant sind (siehe Abschnitt 6.5.1), wird im Folgenden angegeben, ob das Projekt zur Erreichung dieser Ziele beiträgt oder nicht:

Ziel „Die größtmögliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen“

Über den gesamten Zeitraum führt der Aufschub der Abschaltung von Doel 4 zu einer Vermeidung von Emissionen von ca. 12.417 kt CO₂-Äq. Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 4 im gleichen Zeitraum freigesetzt werden (14 kt), so stellt man fest, dass die Emissionen von Doel 4 im Zeitraum der aufgeschobenen Abschaltung nur 0,11 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten der Kraftwerke zurückzuführen sind, sind daher gegenüber den vermiedenen Emissionen vernachlässigbar. Das Projekt leistet also einen Beitrag zur Zielerreichung und die Bewertung lautet daher auch **„positiv“**.

Ziel „Maximale Widerstandsfähigkeit von Umgebung und Gesellschaft gegenüber den Folgen des Klimawandels“

Über den Referenzzeitraum 2027-2037 hat das Projekt keine zusätzlichen Auswirkungen auf die Widerstandsfähigkeit der Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels. Die potenziell relevanten Auswirkungen werden mit der Verlängerung der Lebensdauer nicht zunehmen, was in erster Linie darauf zurückzuführen ist, dass der Standort Doel auch bei einer Abschaltung im Jahr 2025 während des gesamten Bezugszeitraums versiegelt bleiben wird. Das Projekt trägt also nicht merklich zur Zielerreichung bei, wirkt ihr aber auch nicht merklich entgegen. Die Bewertung fällt für diesen Aspekt daher auch **neutral** aus.

Ziel „Minimierung der Anfälligkeit des Projekts gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels“

Die in dieser UVP angeführte Analyse zeigt deutlich, dass der Standort beständig ist gegen die Folgen des Klimawandels, die über die für das Jahr 2037 zu erwartende Situation hinausgehen. Ob Doel 4 im Referenzzeitraum 2027-2037 in Betrieb ist oder nicht, ändert daran nichts. Die Bewertung lautet daher **neutral**.

3.5.6 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Die Treibhausgasemissionen, die Doel 4 über den Zeitraum 2027-2036 zugeschrieben werden können, liegen in der Größenordnung von 14 kt (kumuliert). Setzt man die Emissionen ins Verhältnis zum produzierten Strom, erhält man einen Wert, der für die betrachteten Jahre zwischen 0,06 und 0,1 Gramm CO₂ pro kWh schwankt, was sehr niedrig ist.

Die durch eine längere Offenhaltung von Doel 4 *vermiedenen* Treibhausgasemissionen liegen in einer anderen Größenordnung. Über den gesamten Zeitraum führt der Aufschub der Abschaltung von Doel 4 zu einer Vermeidung von Emissionen von ca. 12.417 kt CO₂-Äq. Dies entspricht einer Einsparung von etwa 0,97 % der Emissionen im Sektor „Strom- und Wärmezeugung“ in Belgien im Jahr 2021 (12,8 Mt). Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 4 im ungefähr gleichen Zeitraum freigesetzt werden (14 kt), so stellt man fest, dass die Emissionen von Doel 4 im Zeitraum der Verlängerung der Lebensdauer nur 0,11 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten der Kraftwerke zurückzuführen sind, sind daher gegenüber den vermiedenen Emissionen vernachlässigbar.

Doel 4 beeinträchtigt die Widerstandsfähigkeit der Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels während des Referenzzeitraums nicht, da der Standort sowohl in der Referenzsituation als auch bei Umsetzung des Projekts versiegelt bleibt. Innerhalb der zeitlichen Perspektive der Verlängerung der Lebensdauer ist auch der Standort Doel selbst nicht anfällig für die Folgen des Klimawandels, und diese Situation ist unabhängig davon, ob die Abschaltung von Doel 4 verschoben wird oder nicht.

3.5.7 Minderungsmaßnahmen

Von der Disziplin Klima aus sind keine Minderungsmaßnahmen erforderlich.

3.5.8 Wissenslücken und Überwachung

Es bestehen keine Wissenslücken, die zu anderen Entscheidungen führen könnten. Eine Überwachung der Auswirkungen ist nicht erforderlich.

3.6 Mensch und Gesundheit

3.6.1 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Gesundheitliche Auswirkungen, die mit dem Betrieb von Kernkraftwerken einhergehen (können), sind in erster Linie auf (mögliche) radiologische Auswirkungen zurückzuführen. Darauf wird an anderer Stelle in diesem Dokument eingegangen. Darüber hinaus müssen aber auch gesundheitliche Auswirkungen berücksichtigt werden, die auf die nichtnuklearen Eigenschaften des Kraftwerks und seines Betriebs zurückzuführen sind.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert Gesundheit wie folgt: „Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity“ [Gesundheit ist ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht lediglich das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen]. Diese weit gefasste Definition impliziert, dass bei der Abschätzung der Umweltauswirkungen neben den direkten Auswirkungen der Stressoren auch die bestehende Situation, längerfristige Auswirkungen, der soziale Kontext, indirekte psychosomatische Auswirkungen und die öffentliche Wahrnehmung berücksichtigt werden müssen.

Die folgende Tabelle fasst die potenziell relevanten Umweltstressoren zusammen (in Anlehnung an Arcadis (2021)). Für einige von ihnen werden Argumente angeführt, warum sie nicht weiter verfolgt werden. Die potenziellen Auswirkungen der blau markierten Stressoren, bei denen signifikante Auswirkungen nicht von vornherein ausgeschlossen werden können, werden im Folgenden ausführlicher erörtert. Auch diese Ausführungen stützen sich weitgehend auf die UVP von Arcadis aus dem Jahr 2021, ergänzt durch Informationen aus der Strategischen Umweltprüfung für die Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und Doel 2 (SCK und KENTER, 2021).

Tabelle 46: Zusammenfassung der potenziell relevanten Umweltstressoren.

Stressoren	Spezifische Beschreibung des Stressors und/oder der Quelle, Auswirkungen auf die Gesundheit	Argumentation, warum der Stressor, falls vorhanden, nicht berücksichtigt wird
Chemische Stressoren		
Luftverschmutzung	Emissionen aus dem Betrieb von Doel 4	Aus der Disziplin Luft geht hervor, dass die Auswirkungen auf die Luftqualität vernachlässigbar sind. Daher sind keine relevanten gesundheitlichen Auswirkungen zu erwarten.
Verunreinigung von Boden und Grundwasser	Unbeabsichtigte Emissionen	Im Falle einer unbeabsichtigten Emission müssen sofortige Maßnahmen ergriffen werden, vgl. die Bodenverordnung. Am Standort Doel werden die erforderlichen Maßnahmen ergriffen, um eine Belastung der Boden- und Grundwasserqualität zu vermeiden. Darüber hinaus schreibt das Bodenschutzgesetz ein sofortiges Eingreifen im Falle einer unbeabsichtigten Verunreinigung vor. Die Belastung durch unbeabsichtigte Boden- oder Grundwasserverunreinigungen wird daher in der

Stressoren	Spezifische Beschreibung des Stressors und/oder der Quelle, Auswirkungen auf die Gesundheit	Argumentation, warum der Stressor, falls vorhanden, nicht berücksichtigt wird
		Disziplin Menschliche Gesundheit nicht weiter untersucht.
Verunreinigung von Oberflächenwasser	Einleitung von Abwasser	Sanitärabwasser wird nach der Behandlung in 5 Biorotoren in die Schelde eingeleitet. Das Industrieabwasser wird getrennt aufgefangen und entsorgt und kann nach der Behandlung in die Schelde eingeleitet werden oder auch nicht. Da das Wasser der Schelde weder zur Trinkwassergewinnung noch als Erholungswasser genutzt wird, ist die Belastung durch Verunreinigungen über das Oberflächenwasser nicht relevant und wird in dieser Disziplin nicht weiter untersucht.
Geruch	Emissionen von Stoffen mit Geruchsbeeinträchtigung/	Die wichtigsten emittierten Verbrennungsgase sind geruchlos (CO, NO und CO ₂) oder nur in hohen Konzentrationen wahrnehmbar (NO ₂). Andere Stoffe mit typischem Geruch im KKW Doel sind Ammoniak und Hydrazin, aber ihre Lagerungseigenschaften vermeiden Geruchsemissionen (siehe auch Disziplin Luft). Die Geruchsbelästigung wird daher in der Disziplin Menschliche Gesundheit nicht weiter untersucht.
Physische Stressoren		
Lärm	Lärmemissionen aus dem Betrieb von Doel 4	Die vom Kraftwerk ausgehenden Lärmemissionen halten sich in Grenzen (siehe auch Disziplin Biologische Vielfalt), insbesondere wenn man sie mit den derzeitigen und künftigen Lärmquellen in der Umgebung (ECA, Ineos usw.) vergleicht. Darüber hinaus wird die Lärmbelastung durch den Normalbetrieb mit der Abschaltung der anderen Reaktoren abnehmen, und die Rückbauarbeiten (die nicht in den Rahmen dieser UVP fallen) werden wahrscheinlich eine weitaus größere Quelle von Lärmbelästigung für die Umgebung des Standorts darstellen. Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass die Besiedlung in der Nähe des Kraftwerks begrenzt ist.
Vibrationen		Die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 beinhaltet keine Aktivitäten, die zu Vibrationen führen könnten.
Wind		Trotz des Vorhandenseins hoher Bauwerke (Kühltürme) wird aufgrund der Entfernung zu Wohngebieten keine relevante Windbelastung erwartet.
Licht, Schatten	Schatten der Dampffahne	Französische Untersuchungen (Méry, 1989) haben gezeigt, dass die Verringerung der Sonnenstunden aufgrund der Verschattung durch die Dampffahne weitgehend auf eine Entfernung von 1,5 bis 3 km von einem Kraftwerk beschränkt ist. Die meisten

Stressoren	Spezifische Beschreibung des Stressors und/oder der Quelle, Auswirkungen auf die Gesundheit	Argumentation, warum der Stressor, falls vorhanden, nicht berücksichtigt wird
		Wohngebiete sind mehr als 3 km vom Kernkraftwerk Doel entfernt, so dass die Verringerung der Sonnenstunden dort vernachlässigbar ist. Die Ausnahme ist das Dorfzentrum von Doel, das etwa 1,3 km südlich der Kühltürme liegt. Bei einer nördlichen Windrichtung besteht hier die Möglichkeit der Verschattung durch Dampffahrten. Diese Windrichtung herrscht in Belgien jedoch nur in etwa 12 % der Zeit vor (Arcadis, 2021).
Wärme	Einleitung von Kühlwasser in die Schelde	Für den Menschen sind durch die thermischen Auswirkungen der Kühlwassereinleitung in die Schelde keine gesundheitlichen Folgen zu erwarten.
Elektromagnetische Strahlung		Außerhalb der Grenzen des Geländes des KKW Doel sind keine Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung zu erwarten.
Biologische Stressoren		
Infektionsgefahr	Kühltürme stellen möglicherweise ein Risiko für die Entwicklung von Legionellen dar.	Das Risiko einer Belastung durch Legionellen wird auf der Grundlage der Infektionsgeschichte und der bestehenden Präventivmaßnahmen bewertet.
Akute Vergiftungen durch Toxine		Im Zusammenhang mit dem Betrieb von Doel 4 gibt es keine relevanten Toxinquellen.
Chronische Toxizität		Im Zusammenhang mit dem Betrieb von Doel 4 gibt es keine relevanten biologischen Toxinquellen.
Allergene		Im Zusammenhang mit dem Betrieb von Doel 4 gibt es keine relevanten Allergene.
Sonstige		
Staubbelastigung		Die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 beinhaltet keine Aktivitäten, die zu einer Staubbelastigung führen könnten.
Nähe zu Grünanlagen	Einnahme von Grünanlagen	Das Projekt findet innerhalb der Grenzen des KKW Doel statt. Der Standort ist von einem Zaun umgeben. Das bedeutet, dass das Gelände derzeit keine öffentliche Funktion hat. Die Nähe zu Grünanlagen ist daher in der Disziplin Menschliche Gesundheit auch nicht weiter relevant.
Psychosomatische Aspekte	Besorgnis der Anwohner wegen der Aktivitäten im KKW Doel (Betriebsphase)	Es wird untersucht, inwieweit der Betrieb von Doel 4 psychosomatische Auswirkungen haben kann.
	Besorgnis der Bevölkerung hinsichtlich der Versorgungsunsicherheit	Die Versorgungs(un)sicherheit wird in dieser UVP als ein Thema behandelt.
Auswirkungen von Stromausfällen		Die möglichen (gesundheitlichen) Auswirkungen von Stromengpässen werden behandelt.

3.6.2 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Das Untersuchungsgebiet im Rahmen dieser Disziplin wird durch eine 5 km-Zone um den Standort Doel definiert. Sollte die Analyse ergeben, dass die potenziellen Auswirkungen weiter reichen, wird eine größere Zone untersucht. In Sachen Wahrnehmung, vermiedene Emissionen, Auswirkungen eines Stromausfalls und diffuse Beeinträchtigung nehmen wir die Region Flandern als Untersuchungsgebiet.

3.6.3 Beschreibung der Referenzsituation

Tabelle 47 gibt einen Überblick über verschiedene Aspekte der Raumnutzung im Untersuchungsgebiet.

Tabelle 47: Raumnutzung im Untersuchungsgebiet der Einrichtung.

Raumnutzung und Bevölkerung	Block	Einflussbereich		Erklärung
		Anzahl oder % der Fläche	Entfernung und Windrichtung zur Quelle	
Raumnutzung				Quelle: Geopunt, Regionalplan, Orthofoto
Kindertagesstätten	Anzahl	6	2 in 4,5 km – NO 4,7 km - NO 4,8 km - NO 4,9 km - NO 4,9 km – SW	
Kindergärten	Anzahl	3	4 km – NO 4,4 km - NO 4,9 km – NO	
Grundschule	Anzahl	3	4 km – NO 4,4 km - NO 4,9 km – NO	
Weiterführende Schule	Anzahl	0		
Spielplätze, Ferienunterkünfte	Anzahl	0		
Sportplätze, Pfadfindergelände, Spielwald usw.	Anzahl	10	4,2 km – NO 4,3 km – NO 4,5 km – NO 4,6 km - NO 4,7 km - NO 2 in 5 km – NO 3,7 km – O 500 m – S 3 km - S	
Krankenhäuser	Anzahl	0		
Altenheime/Pflegeheime	Anzahl	2	4,6 km – NO 4,7 km - NO	
Wohngebiet	% des Untersuchungsgebiets	2 %	900 m - S	Doel
Landwirtschaftliche Tätigkeit	% des Untersuchungsgebiets	25 %	100 m - W	Poldergebiet
Flusseinzugsgebiet: Oberflächenwasser + Grundwasser	% des Untersuchungsgebiets	17 %	800 m - O	Schelde

Raumnutzung und Bevölkerung	Block	Einflussbereich		Erklärung
		Anzahl oder % der Fläche	Entfernung und Windrichtung zur Quelle	
Raumnutzung				Quelle: Geopunt, Regionalplan, Orthofoto
Grünzone/Natur	% des Untersuchungsgebiets	19 %	600 m - O	Paardenschor, Schor Ouden Doel, Galgenschoor
Industriegebiet	% des Untersuchungsgebiets	36 %	1,5 km - S	
Sonstige: Erholungsgebiet, Autobahnen, kommunales und öffentliches Versorgungsgebiet	% des Untersuchungsgebiets	0,4 %		

Das KKW Doel ist von Poldergebieten umgeben. Im Umkreis von 5 km um das Projektgebiet ist die Bevölkerungsdichte recht gering. Dieses Gebiet umfasst einen beträchtlichen Teil des Hafens von Antwerpen, die Schelde und dünn besiedelte Polder. Die Zahl der Menschen in der Umgebung des Kraftwerks (in einem Umkreis von 2.000 m um die Einrichtung) ist sehr begrenzt. In unmittelbarer Nähe des Kraftwerks leben maximal 150 Menschen.

Tabelle 48: Bevölkerung im Umkreis von 2 km und 5 km um das Kernkraftwerk Doel (Quelle: Statbel).

	Bevölkerungszahl der statistischen Sektoren im Umkreis von 2 km um das KKW Doel	Bevölkerungszahl der statistischen Sektoren im Umkreis von 5 km um das KKW Doel
2014	146	10.445
2015	141	10.486
2016	136	10.521
2017	121	10.557
2018	110	10.680
2019	110	10.685

Im Dorfzentrum des Polderdorfs Doel, etwa 900 m südlich des KKW Doel, wohnen etwa 20 Einwohner. Die Bevölkerung des Dorfes Doel ist durch den Einfluss der Hafenentwicklung und der unsicheren Wohnsituation seit Jahren rückläufig. In jüngster Zeit hat das ECA-Projekt dem Fortbestand des Dorfes, das nach wie vor als Wohngebiet ausgewiesen ist, wieder eine Perspektive gegeben. Was dies für die künftigen Einwohnerzahlen bedeutet, lässt sich derzeit nur schwer vorhersagen. Die Beeinträchtigungen, die mit dem zweiten Gezeitendock in unmittelbarer Nähe des Dorfes verbunden sein werden, werden dessen Attraktivität wahrscheinlich einschränken.

Davon abgesehen gibt es in der unmittelbaren Umgebung des KKW Doel keine Wohngebiete. Es gibt jedoch mehrere Wohneinheiten und Wohngruppen, die in den Poldern verstreut sind, darunter die Polderweiler Ouden Doel, Rapenburg, Saftingen und Prosperpolder. Etwa 100 Menschen leben noch in den verstreuten Siedlungen des Grote Doelpolder. Lillo befindet sich etwa 2,5 km entfernt auf der gegenüberliegenden Seite der Schelde und hat eine Wohnbevölkerung von etwa 40 Personen. Im Umkreis von 5 km leben die meisten Einwohner in Zandvliet (ca. 3.500 Personen) und Berendrecht (ca. 6.000 Personen).

Schließlich ist noch das Hafenzentrum von Lillo (Scheldelaan 444 – Haven 621, Lillo) zu erwähnen. Das Hafenzentrum liegt im Hafengebiet, in der Nähe von Lillo-Fort (2,5 km in südöstlicher Richtung des KKW Doel). Hier werden Schulungen abgehalten, und während der Arbeitszeit können sich dort große Menschengruppen (Schulen usw.) aufhalten.

Die weite Umgebung des Kernkraftwerks ist durch eine starke Industrialisierung gekennzeichnet (Hafengebiet). Das KKW Doel liegt in der Nähe des Antwerpener Hafengebiets. Dieses Hafengebiet umfasst ausgedehnte Industriegebiete auf beiden Seiten der Schelde. Die Industrieunternehmen im Antwerpener Hafengebiet beschäftigen direkt mehr als 60.000 Menschen. Hinzu kommen die vielen Unterauftragnehmer, die täglich im Antwerpener Hafengebiet arbeiten. Die Anwesenheit dieser Industrien führt zu einem deutlichen Anstieg der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet, und zwar sowohl tagsüber als auch nachts, da ein großer Teil der Unternehmen auf Vollzeitbasis produziert.

Das Antwerpener Hafengebiet zeichnet sich durch die Präsenz eines (petro-)chemischen Clusters einerseits und von Containerterminals andererseits aus. Beispiele für (petro-)chemische Betriebe in der Umgebung des Standorts sind BASF, Ineos Manufacturing Belgium, Invoyn Manufacturing Belgium, Gunvor Petroleum Antwerp und Bayer Agriculture. Am linken Ufer befinden sich Unternehmen wie Borealis Kallo, Ineos Phenol Belgium und Ashland Specialities Belgium. Global gesehen handelt es sich dabei um Anlagen, die der so genannten SEVESO-Direktive zur Verhütung schwerer Unfälle, die durch bestimmte industrielle Aktivitäten verursacht werden können, unterliegen.

Die nächstgelegenen Seveso-Unternehmen befinden sich ca. 1,5 km vom KKW Doel entfernt. Dabei handelt es sich um die Unternehmen entlang der Scheldelaan am rechten Ufer des Antwerpener Hafengebiets (u. a. Gunvor Petroleum Antwerp, Ineos Manufacturing Belgium, Invoyn Manufacturing Belgium, Vesta Terminal Antwerp, Bayer Agriculture).

3.6.4 Bewertung der Auswirkungen

3.6.4.1 Infektionsgefahr durch Legionellen

Legionella ist ein Bakterium, das in Wassersystemen vorkommt. Unter den richtigen Wachstumsbedingungen können sich die Bakterien vermehren. Geringe Mengen können zu hohen Konzentrationen anwachsen, wenn wachstumsfördernde Faktoren (Eisenrohre, Gummidichtungen) vorhanden sind.

Eine Infektion mit Keimen der Legionellen kann zu einer Legionellose führen. Die Infektion kann über die Lunge erfolgen, nachdem die Bakterien in kleinen Wassertröpfchen eingeatmet wurden. Die Aerosolbildung erfolgt u. a. beim Duschen, Versprühen und u. a. bei der Verdunstung in einem Kühlturm. Legionellenkeime wachsen in Wasser bei einer Temperatur zwischen 20 und 50 °C, mit einem Maximum zwischen 35 und 40 °C. Unterhalb von 20 °C wird das Wachstum gehemmt, oberhalb von 50 °C stirbt der Keim ab. Je höher die Temperatur, desto schneller die Abtötung. Die für das Wachstum notwendigen Nährstoffe befinden sich unter anderem in einem Biofilm.

Weitere Bedingungen, die das Wachstum von Legionella-Bakterien fördern, sind:

- stehendes Wasser;
- Säuregehalt zwischen 5 und 8,5;
- Sediment, das die Bildung eines Biofilms begünstigt;
- Anwesenheit von Mikroorganismen, wie Algen, Flavobakterien, Pseudomonas, Amöben.

Um Legionellen zu kontrollieren, wurde in Flandern ein gesetzlicher Rahmen mit Normen und Bewirtschaftungsvorschriften sowie eine Direktive für die Wiederinbetriebnahme von Kühlkreisläufen nach einer Zeit der Inaktivität erstellt.

Am Standort des KKW Doel sind heute die folgenden Kühltürme zu finden:

- 2 offene Umlaufkühltürme (CW) von Doel 3 und Doel 4;
- verschiedene Hilfskühltürme von D3/D4 und WAB;
- Kühltürme von D1/2.

Der Kühlturm von Doel 3 ist jedoch nicht mehr aktiv, da dieser Reaktor im September 2022 abgeschaltet wurde.

Aufgrund der Anwesenheit von offenen Kühltürmen gilt für das KKW Doel der Legionellenerlass (Beschluss der flämischen Regierung vom 09.02.2007). Dieser Erlass legt Maßnahmen gegen *Legionella pneumophila* fest, um die Legionärskrankheit zu verhindern.

Der Erlass verpflichtet das KKW Doel zur Erstellung eines Bewirtschaftungsplan, der eine Beschreibung der Anlage, eine Risikoanalyse und Präventivmaßnahmen enthält. Bei jeder Änderung der Anlage, die sich auf das Risiko einer Legionellenentwicklung auswirken könnte, und mindestens alle fünf Jahre wird dieser Bewirtschaftungsplan bewertet und gegebenenfalls angepasst.

Die offenen Umlaufkühltürme von Doel 4 sowie die Hilfskühltürme von D3/D4 und WAB verwenden Scheldewasser. Da es sich um Brackwasser handelt, stellen diese Kühltürme aufgrund des hohen Salzgehalts kein Risiko einer Legionellen-Kontamination dar.

Die Hilfskühltürme von Doel 1 und 2 werden mit Stadtwasser betrieben. Gemäß Bewirtschaftungsplan werden bei diesen Hilfskühltürmen mindestens zweimal pro Jahr Proben genommen und auf das Vorhandensein von Legionellen analysiert. Falls in seltenen Fällen der Grenzwert des Erlasses überschritten wird, so werden die notwendigen Maßnahmen ergriffen (Reinigung, Erhöhung des Biozidanteils) und neue Kontrollen durchgeführt.

Soweit bekannt, sind durch den Betrieb der Kühltürme beim KKW Doel noch nie Legionellen-Infektionen aufgetreten. Daraus kann geschlossen werden, dass das Risiko einer Legionellen-Kontamination durch Kühltürme in der heutigen Situation vernachlässigbar ist, sofern der Bewirtschaftungsplan angewendet wird.

Im Falle einer Verlängerung der Lebensdauer sind nur noch der Kühlturm Doel 4 und die zugehörigen Hilfskühltürme aktiv. Wie oben beschrieben, besteht für diese Kühltürme kein Risiko einer Legionelleninfektion, da sie mit Brackwasser aus der Schelde gespeist werden. Daher gibt es keinen Unterschied zwischen der Situation mit und ohne Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4.

3.6.4.2 Psychosomatische Aspekte und Risikowahrnehmung

Mit der Risikowahrnehmung können psychosomatische Beschwerden verbunden sein. Unter „psychosomatischen“ Auswirkungen versteht man mögliche körperliche Beschwerden, die eine psychische oder nichtmedizinische Ursache haben. Bei „psychosomatischen“ Auswirkungen ist die direkte Ursache nicht immer eindeutig. Es liegt immer eine Kombination von Faktoren zugrunde. Psychische Probleme sind meist verständliche menschliche Reaktionen auf bestimmte Situationen und nicht einfach nur eine biomedizinische, genetische, neurologische Reaktion oder eine Krankheit des Gehirns.

Daten über das Auftreten von psychosomatischen Beschwerden, die speziell auf den Betrieb des Kernkraftwerks Doel zurückzuführen sind, liegen nicht vor. Es liegen jedoch Daten aus Fragebögen und Umfragen über die Einstellung (einschließlich der Risikowahrnehmung) der belgischen Bevölkerung zur Atomenergie, zur Atomtechnik und zu den belgischen Kernkraftwerken vor.

Eine von Greenpeace in Auftrag gegebene Studie von IPSOS im November 2011 (repräsentativ für die belgische Bevölkerung) zeigt, dass 76 % der Befragten der Entscheidung, in erneuerbare Energiequellen statt in die Verlängerung der Laufzeit von Kernkraftwerken zu investieren, „zustimmen oder stark zustimmen“. 14 % waren mit dieser Wahl nicht einverstanden. 66 % stimmten der vorgesehenen Abschaltung der ältesten Kernkraftwerke im Jahr 2016 zu oder stimmten stark zu, 22 % stimmten nicht zu.

SCK CEN untersucht seit 2002 die öffentliche Wahrnehmung von Strahlungsrisiken und die Einstellung zur Kernenergie. Die Studie wird hauptsächlich durch das „SCK CEN Barometer“ durchgeführt. Dabei handelt es sich um eine breit angelegte Befragung der Bevölkerung (mehr als 1.000 Personen), die für die erwachsenen Belgier (ab 18 Jahren) repräsentativ ist und nach Provinzen, Regionen, Verstädterungsgrad, Geschlecht, Alter und Beschäftigungsstatus unterteilt ist.

Die SCK CEN-Barometer umfassen wiederkehrende Themen wie die Wahrnehmung verschiedener Strahlungsrisiken, das Vertrauen in die Akteure des Nuklearsektors und die Meinungen über die Nutzung der Atomenergie, aber auch detailliertere Fragen zu spezifischen Themen.

Das SCK-CEN-Barometer zeigt, dass im Jahr 2018 die Umweltverschmutzung und die nichtkonforme Nutzung von Nukleartechnologien die größte Sorge der Bevölkerung darstellen: 61 % halten Umweltverschmutzung für ein hohes oder sehr hohes Risiko in den nächsten 20 Jahren, und 54 % halten den möglichen Missbrauch von Nukleartechnologien durch Terroristen für ein hohes oder sehr hohes Risiko. In der gleichen Studie betrachtet die Hälfte der Bevölkerung einen möglichen Atomunfall und radioaktive Abfälle als ein hohes bis sehr hohes Risiko für ihre Gesundheit in den nächsten 20 Jahren. Es besteht ein allgemeiner Konsens, dass die Zahl der Kernkraftwerke reduziert werden sollte. Das Vertrauen in die Behörden hinsichtlich der Maßnahmen, die sie zum Schutz der Bevölkerung vor den Risiken eines nuklearen Unfalls ergreifen, nimmt zwischen 2013 und 2018 ab.

Bezüglich der Zukunft der Atomenergie in Belgien hält eine Mehrheit der Bevölkerung die Reduzierung der Anzahl der Kernkraftwerke in Belgien für eine gute Sache (71 % stimmen zu oder stimmen stark zu) und ist der Meinung, dass Kernkraftwerke eine Gefahr für die Zukunft ihrer Kinder sind (64 %). Auf der anderen Seite ist mehr als die Hälfte der Bevölkerung der Meinung, dass erneuerbare Energien nicht ausreichen, um den aktuellen Energiebedarf zu decken. Jeder vierte Belgier glaubt 2018, dass Atomenergie eine klimafreundliche Technologie ist, aber die Hälfte vertritt die gegenteilige Meinung.

Im Jahr 2015 gaben 38 % der belgischen Bevölkerung an, dass sie bereit wären, mehr zu zahlen, um die Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern, und 45 % sind dazu nicht bereit (SCK CEN Barometer 2015); im Jahr 2018 waren 49 % dazu bereit und 40 % nicht bereit. Zusätzlich geben 42 % an, dass sie nicht glauben, dass erneuerbare Energien ausreichen, um den aktuellen Energiebedarf zu decken, und 35 % glauben, dass dies möglich ist; 2018 waren dies 55 % bzw. 29 %.

Ähnlich wie bei den Ergebnissen zu den Meinungen zur Kernenergie glauben 37 %, dass die Vorteile der Atomenergie die Nachteile überwiegen. 36% der Bevölkerung waren der gegenteiligen Meinung.

Im Jahr 2018 (SCK CEN Barometer, repräsentative Daten 18+ der belgischen Bevölkerung) sprachen sich ca. 33 % für einen ersatzlosen Weiterbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke aus (vs. 40 % im Jahr 2015 und 57 % im Jahr 2013). Der Anteil der Bevölkerung, der den Bau neuer Kraftwerke und den Erhalt bzw. die Außerbetriebnahme der bestehenden befürwortet, ist genauso groß (ca. 30 %) wie der Anteil der Bevölkerung, der der Meinung ist, dass alle Kernkraftwerke so schnell wie möglich ersatzlos stillgelegt werden sollten. Genauer gesagt sind 11 % der Meinung, dass Belgien seine Kernkraftwerke schließen und neue bauen sollte, und 19 % sagen, dass Belgien seine derzeitigen Kernkraftwerke betreiben und neue bauen sollte, um die alten zu ersetzen.

Etwa die Hälfte der belgischen Bevölkerung schätzt die mit Atomunfällen verbundenen Risiken als hoch bis sehr hoch ein. Ein großer Teil der Bevölkerung (75 %) ist der Meinung, dass selbst eine geringe Dosis, die aus einem Atomunfall resultiert, schädlich für die Gesundheit sei.

Die Meinungen über die Nutzung der Atomenergie zur Stromerzeugung sind 2018 gleichmäßig zwischen günstig und ungünstig verteilt. Im Vergleich zu den Vorjahren sind die Meinungen im Jahr 2018 stärker polarisiert (mit weniger unentschiedenen Befragten). Jeder zweite Belgier (49 %) ist bereit, zugunsten erneuerbarer Energien mehr für Strom zu bezahlen. Ein gleichgroßer Teil der Bevölkerung (55 %) denkt, dass erneuerbare Energien nicht ausreichen können, um den aktuellen Energiebedarf zu decken.

Die obigen Beobachtungen zeigen ein gemischtes Bild; es lässt sich jedenfalls nicht feststellen, ob die Nutzung der Atomenergie oder die Existenz von Kernkraftwerken zu spezifischen psychosomatischen oder psychosozialen Beschwerden führt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass solche Beschwerden, wenn sie vorhanden wären, hauptsächlich mit der nuklearen Stromerzeugung im Allgemeinen und nicht mit dem Funktionieren oder Nichtfunktionieren des spezifischen Reaktorblocks Doel 4 zusammenhängen würden.

Obwohl, wie erwähnt, ein erheblicher Teil der Bevölkerung sich Sorgen über einen nuklearen Unfall macht, gibt es keine Daten, die zeigen, dass dieses wahrgenommene hohe Risiko auch psychosomatische Auswirkungen hat. Über die konkrete Situation in Bezug auf den Standort des KKW Doel, geschweige denn Doel 4, ist nichts bekannt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Risikowahrnehmung (bei den Anwohnern und darüber hinaus) bei einer Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 ebenfalls zehn Jahre länger bestehen bleiben wird; allerdings wird sich diese Risikowahrnehmung verringert haben, weil drei der vier Reaktoren in Doel (und zwei der drei in

Tihange) stillgelegt sein werden. Da es keine konkreten Anhaltspunkte dafür gibt, dass die Risikowahrnehmung auch konkret zu psychosomatischen Beschwerden führt, die spezifisch auf den Betrieb von Kernkraftwerken zurückzuführen sind, ist davon auszugehen, dass die Wirkung der Risikowahrnehmung bei der Verlängerung der Lebensdauer nicht zu zuordenbaren psychosomatischen Beschwerden führt.

Es ist offensichtlich, dass die Bevölkerung auch über die Nichtverfügbarkeit oder unzureichende Verfügbarkeit von Energie besorgt ist. In der oben genannten Studie von IPSOS (2011) äußerten sich 31 % der Befragten besorgt über einen möglichen Stromausfall, wenn die Kernreaktoren zwischen 2015 und 2025 abgeschaltet würden; die Mehrheit (55 %) teilte diese Sorge jedoch nicht. Soweit uns bekannt ist, gibt es für die aktuelle Situation keine vergleichbaren Daten. Da die Gefahr von Engpässen seither jedoch sehr viel konkreter geworden ist, was zum Teil auch auf den geopolitischen Kontext zurückzuführen ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Menschen, die sich um die Versorgungssicherheit sorgen, heute höher ist als 2011.

3.6.4.3 Externe Sicherheit (nichtnukleare Unfälle)

Das Kernkraftwerk Doel gehört zu den Seveso-Einrichtungen der unteren Klasse. Das bedeutet, dass gefährliche Stoffe in Mengen vorhanden sind, die über dem unteren Schwellenwert, aber unter dem oberen Schwellenwert liegen. Unter Vorhandensein versteht man sowohl das tatsächliche oder erwartete Vorhandensein in Lagereinrichtungen, in Prozessanlagen, in Rohrleitungen usw. (als Rohstoff, Zwischenprodukt, Katalysator, Lösungsmittel, Endprodukt usw.) als auch die Präsenz, die entstehen kann, wenn ein industrieller chemischer Prozess außer Kontrolle gerät. Die Seveso-Prüfung zeigt, dass das Kernkraftwerk Doel aufgrund der Menge des gelagerten Gasöls ein niedrigschwelliger Betrieb ist.

Im Rahmen der UVP für die Neulizenzierung wurde 2010 eine Bewertung der externen Risiken für Mensch und Umwelt für die vorhandenen Seveso-Stoffe vorgenommen (Tractebel Engineering, 9.07.2010). Die wichtigsten Erkenntnisse werden im Folgenden zusammengefasst.

Die folgenden Anlagen enthalten gefährliche Stoffe (u. a. Seveso-Stoffe):

- Gasölanlagen: Lagertanks für die Sicherheits- und Notanlagen der Produktionseinheiten Doel 1, 2, 3 und 4, für die Lagerheizungsanlage, für die Hilfsdampfkessel und für die Werkstatt;
- Wasserstoffanlagen: Wasserstoffkühlkreislauf der Generatoren der Produktionseinheiten Doel 1, 2, 3 und 4;
- Hydrazinanlagen (4,9 %): Lagertanks für die Produktionseinheiten Doel 1, 2, 3 und 4;
- Anlagen mit wässriger Kaliumchromatlösung⁷⁴ als Konditionierungsmittel im geschlossenen Kühlkreislauf: Puffertanks für die Produktionsblöcke Doel 1/2, 3 und 4 sowie für die Wasseraufbereitungsanlage WAB;

Die externen Risiken eines schweren Unfalls für den Menschen wurden mit Hilfe einer quantitativen Risikoanalyse (QRA) quantitativ abgeschätzt. Nur Produkte mit Eigenschaften (giftig, entflammbar, explosiv), die sich auf das externe Risiko für den Menschen auswirken könnten, wurden in diese Analyse einbezogen. Daher werden Kaliumchromatlösungen in diesem Abschnitt nicht behandelt, da sie umweltgefährdend sind.

Maximale Wirkdistanzen (größte Entfernung bis zu 1 % Letalität) wurden berechnet für:

- Wärmestrahlung;
- Überdruckeffekte;
- giftige Dämpfe.

⁷⁴ Im Jahr 2010 enthielten die Puffertanks noch Konzentrationen von bis zu 16,8 % Kaliumchromat. Gemäß REACH ist die Verwendung von Kaliumchromat jedoch seit dem 21.9.2017 verboten (es sei denn, man erhält eine Zulassung oder eine Ausnahmegenehmigung). Aus diesem Grund werden die Anlagen nicht mehr mit diesen Konzentrationen aufgefüllt und die Konzentrationen bleiben unter 1 % (Lösungen unter 1 % fallen nicht unter die Vorschriften).

Die berechnete maximale Wirkdistanz für Wasserstoffanlagen betrug 84 m für eine Explosion; die maximale Wirkdistanz für einen Brand im Sicherheitsbehälter eines Gasöltanks wurde mit 30 m berechnet.

Diese Wirkdistanzen gehen nicht über die Standortgrenzen hinaus. Das externe Risiko für den Menschen (Risiko für Personen, die sich außerhalb der Einrichtung aufhalten) ist daher in der derzeitigen Situation vernachlässigbar.

Die nichtnuklearen externen Sicherheitsrisiken werden bei einer Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 wesentlich geringer sein als heute, da viele der Lagerbestände an gefährlichen Stoffen stark reduziert werden. So wird die Abschaltung der drei anderen Reaktoren am Standort beispielsweise dazu führen, dass ein erheblicher Teil der Verbrennungsanlagen außer Betrieb genommen wird und somit auch die Dieselvorräte in den Lagern reduziert werden.

Natürlich wird das externe Risiko für den Menschen bei einer eventuellen Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 theoretisch höher sein als ohne diese Verlängerung der Lebensdauer, obwohl selbst bei einer vollständigen Abschaltung aller Reaktoren natürlich viele gefährliche Stoffe am Standort verbleiben werden, zum Beispiel im Rahmen des Rückbaus. Da jedoch gezeigt wurde, dass selbst in der gegenwärtigen Situation das externe Menschenrisiko vernachlässigbar ist, gilt dies natürlich auch (und erst recht) für eine Situation mit einer Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4. Wir kommen zu dem Schluss, dass die externe Sicherheit bei einer Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 kein entscheidender Faktor ist.

3.6.4.4 (Vermiedene) gesundheitliche Auswirkungen eines Stromausfalls.

Die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 soll die Versorgungssicherheit gewährleisten, bis diese Versorgungssicherheit durch andere Energiequellen sichergestellt werden kann.

Die Verlängerung der Lebensdauer verringert somit die Gefahr eines Stromausfalls (und die damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen) drastisch. Stromausfälle sind potenziell tatsächlich mit erheblichen wirtschaftlichen und sozialen Kosten verbunden.

In einer Studie des Föderalen Planbüros aus dem Jahr 2014 wurde eine quantitative Bewertung der Auswirkung von Stromausfällen in Belgien vorgenommen, basierend auf einem österreichischen Modell (Black-out-Simulator). Ein einstündiger Stromausfall auf belgischem Gebiet während eines Arbeitstages zu einer Zeit, in der alle belgischen Unternehmen aktiv sind, würde einen gesamtwirtschaftlichen Schaden von ca. 120 Millionen Euro verursachen (sowohl im Winter als auch im Sommer). Einige alternative Methoden wurden ebenfalls berechnet und ergaben eine Spanne zwischen € 61 Millionen (die „BIP-Methode“) und € 278 Millionen (die „RTE-Methode“). Der genannte wirtschaftliche Schaden schließt den Schaden für Familien ein, der allerdings „nur“ 8 Mio. EUR pro Stunde beträgt. Der Industriesektor hat mit 49 % den größten Anteil an den Gesamtkosten, der tertiäre Sektor macht etwa 40 % der Kosten aus. Das verwendete Modell erlaubte auch die räumliche Zuordnung des berechneten Schadens. Dabei zeigte sich, dass der mit Abstand größte Verlust in der Provinz Antwerpen zu verzeichnen wäre (24,74 Mio. Euro bzw. fast 21 % der Gesamtsumme), mit einigem Abstand gefolgt von der Region Brüssel-Hauptstadt (15,67 Mio. Euro bzw. 13 %).

Dabei ist wichtig zu beachten, dass diese Schätzung immer auf einer einstündigen Unterbrechung beruhte. Die Auswirkungen eines 2-stündigen Ausfalls sind nicht unbedingt doppelt so groß. Das zeigen auch die Zahlen des Simulators: Der Schaden eines 2-stündigen Ausfalls für ganz Belgien beträgt „nur“ 170 Millionen Euro (oder 42 % mehr als bei einem einstündigen Ausfall). Je länger eine Störung jedoch anhält, desto größer werden ihre Auswirkungen linear mit der Zeit, und nach etwa 8 Stunden steigt der Schaden exponentiell an. Ein Ausfall von mehr als 8 Stunden kann als Katastrophensituation angesehen werden: Die Anzahl und vor allem die Schwere der Folgen sind dann schwer zu überblicken (und abzuschätzen).

Es ist deutlich, dass mit den oben genannten wirtschaftlichen Verlusten auch gesundheitliche Risiken einhergehen.

Stromausfälle können den Betrieb von Notfalldiensten beeinträchtigen. Alle Krankenhäuser verfügen über Notstromsysteme zur Unterstützung der kritischsten Aktivitäten, wie z. B. Operationssäle, Intensivstationen, Notfalldienste usw. Je nach Einrichtung sind die Notstromsysteme möglicherweise nicht in der Lage, einige andere Dienste zu unterstützen, z. B. die Röntgenanlage, Klimaanlage, Kühlung, Aufzüge usw. Außerdem können technische

Probleme bei den Hilfsgeneratoren auftreten, wie der Stromausfall in New York 1977 gezeigt hat. Einige Krankenhäuser hatten Schwierigkeiten, die Generatoren in Betrieb zu nehmen, und hatten mit einer Überhitzung der Generatoren zu kämpfen.

Zu den Faktoren, die diese Auswirkung bestimmen, gehören zum einen direkte Parameter wie die Dauer und die Häufigkeit, zum anderen kontextbezogene Parameter wie die Außentemperatur und der Maßstab. Auch bei einem Stromausfall ergeben sich Sicherheitsfragen, diese sind jedoch nicht Gegenstand der Disziplin Gesundheit. Klassische Sicherheitsprobleme können in Krankenhäusern, Aufzügen, Verkehrsstaus usw. entstehen. Eine wichtige Studie (Dominiani 2018) berichtet über die gesundheitlichen Auswirkungen eines Stromausfalls anhand von drei Ereignissen. Bei zwei von drei Stromausfällen ist auch der Kontext entscheidend: Die Stromausfälle traten nämlich während einer Hitzewelle auf. Zu den Auswirkungen, die auf dieser Forschung beruhen, gehören Atemprobleme und wahrscheinlich eine erhöhte Sterblichkeit. Stromausfälle während Hitzewellen können zu Nierenversagen führen. Bei extremer Kälte führen sie zu mehr allgemeineren Todesursachen und Herzkrankheiten.

Casey et al. (2020) kommen auf der Grundlage einer umfassenden Metaanalyse zu dem Schluss, dass Stromausfälle erhebliche gesundheitliche Auswirkungen haben, die von Kohlenmonoxidvergiftungen, temperaturbedingten Erkrankungen, Magen-Darm-Erkrankungen und Sterblichkeit bis hin zu Krankenhauseinweisungen durch alle Ursachen, Herz-Kreislauf-, Atemwegs- und Nierenerkrankungen reichen, insbesondere für Personen, die auf stromabhängige medizinische Geräte angewiesen sind.

Es ist daher offensichtlich, dass die mit dem Projekt verbundene Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Stromausfällen auch die Wahrscheinlichkeit der damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit verringert und daher positiv bewertet werden kann.

3.6.5 Zusammenfassung der wichtigsten Feststellungen

Das Projekt (die Verlängerung der Lebensdauer des Reaktors Doel 4 um 10 Jahre) hat keine nennenswerten Auswirkungen auf die Gesundheit. Auf der Grundlage eines vorausgehenden Screenings wurden nur die Auswirkungen im Zusammenhang mit Legionellen, alle psychosomatischen Aspekte im Zusammenhang mit der Risikowahrnehmung und die vermiedenen gesundheitlichen Auswirkungen im Zusammenhang mit einem Stromausfall als potenziell relevant betrachtet.

Die vorstehende Analyse zeigt, dass Legionellen angesichts des Brackwassers, das zur Speisung der Kühltürme von Doel 4 verwendet wird, kein Problem darstellen können. Was die Risikowahrnehmung in Bezug auf nukleare Unfälle angeht, so kann man sagen, dass es zwar eine solche Risikowahrnehmung gibt, aber kein nachweisbarer Zusammenhang mit psychosomatischen Auswirkungen besteht. Schließlich kann bestätigt werden, dass die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 die Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls deutlich verringert (insbesondere in den ersten Jahren der Verlängerung der Lebensdauer), was sich positiv auf die Vermeidung der gesundheitlichen Auswirkungen auswirkt, die mit Stromausfällen einhergehen können.

3.6.6 Minderungsmaßnahmen

Minderungsmaßnahmen sind in dieser Disziplin nicht erforderlich.

3.6.7 Wissenslücken und Überwachung

Es gibt keine wesentlichen Wissenslücken. Die verschiedenen Dosis-Wirkungs-Beziehungen und die Ursachen, die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen zugrunde liegen können, sind hinreichend bekannt.

3.7 Grenzüberschreitende Auswirkungen

Die meisten der nichtradiologischen Auswirkungen, die auf die Lebensdauererlängerung von Doel 4 zurückzuführen sind, beschränken sich auf die unmittelbare Umgebung des Kernkraftwerks, sind von begrenztem Ausmaß und führen daher nicht zu grenzüberschreitenden Auswirkungen. Nur für das Thema Wasser können (begrenzte) grenzüberschreitende Auswirkungen auftreten.

Basierend auf der Überwachung (2012^{lxiii}) des Temperatureinflusses des Kühlwassers des KKW Doel auf die Schelde in der Nähe der niederländischen Grenze (in ca. 3,4 km Entfernung von der Einleitungsstelle), kann der Einfluss der Einleitung des Kühlwassers höchstens als begrenzt negativ angesehen werden (d. h. die Temperaturerhöhung infolge der Einleitung wird weniger als 1 °C betragen). Dieser Temperaturanstieg wird flussabwärts auf niederländischem Staatsgebiet langsam weiter abnehmen.

Es ist zu beachten, dass in der Referenzsituation mehrere grenzüberschreitende Effekte nicht ausgeschlossen werden können, wenn es keine Verlängerung der Lebensdauer gibt und somit andere Produktionsmittel eingesetzt werden müssen, um die Kapazität von Doel 4 zu nutzen. Die Bedeutung und die Art dieser grenzüberschreitenden Auswirkungen werden sehr stark von den Standorten, an denen (theoretische) Ersatzkapazitäten bereitgestellt werden, sowie von den technischen Merkmalen dieser Anlagen und von ihren Genehmigungsmerkmalen abhängen.

4 Radiologische Auswirkungen Doel 4

4.1 Direkte Strahlung und Entladungen im Normalbetrieb

4.1.1 Aktuelle Situation

Wie in der allgemeinen Methodik (siehe Abschnitt 2.3.3) erörtert, hängt die potenzielle Strahlenbelastung für Mensch und Umwelt im Normalbetrieb mit der direkten Strahlung der vorhandenen Radioaktivität und der vom Standort ausgehenden Strahlung und den gasförmigen und flüssigen Einleitungen zusammen, die bestimmte Konzentrationen von Radioaktivität enthalten. Wir beschreiben hier die aktuelle Situation des KKW Doel.

Direkte Strahlung

Das von der FANK betriebene TELERAD-Netz misst kontinuierlich die in der Umwelt vorhandene Strahlung (siehe Abschnitt 2.3.5). Speziell für den Standort des KKW Doel besteht das TELERAD-Netz aus 18 Ringstationen, die am Rande des Geländes platziert sind, und etwa 16 Stationen in der weiteren Umgebung des KKW Doel (Agglomerationsstationen). Die Ringstationen sind spektroskopische Stationen, die neben der Dosisleistung auch Gammaspекtren aufzeichnen (sie messen auch die Gammastrahlenenergie). Dies ermöglicht die Identifizierung spezifischer/typischer Radionuklide, die mit dem Betrieb des KKW Doel verbunden sind, wenn vorhanden. Alle Stationen messen die Dosisleistung (Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $H^*[10]$) und sind in der Lage, sowohl die Hintergrundstrahlung genau zu messen, wobei Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung in Abhängigkeit von der Zeit beobachtet werden können (z. B. bei Regen erhöht sich die Hintergrundstrahlung aufgrund der Auswaschung der Tochternuklide von natürlichem radioaktivem Radon in der Luft), als auch die Jahresdosis der externen Gammastrahlung am Standort jeder Station abzuschätzen, sowie genaue Messungen bei stark erhöhten Dosisleistungen (Unfallsituationen) durchzuführen.

Neben der natürlichen Strahlung aus der Umgebung können die Ringstationen sowohl direkte Strahlung (Direktstrahlung) aus Radioaktivität und Strahlung am Standort als auch solche aus radioaktiven Einleitungen aufnehmen. Abbildung 65 zeigt die von den Ringstationen aufgezeichnete Jahresdosis⁷⁵. Tabelle 49 zeigt die Daten für alle betrachteten Jahre. Wir sehen, dass die Mittelwerte für die verschiedenen Ringstationen zwischen 0,66 und 0,80 mSv pro Jahr schwanken. Diese Werte entsprechen den typischen Werten der Hintergrundstrahlung in Flandern, die etwa 0,7 mSv/Jahr beträgt (0,3 mSv/Jahr kosmische Strahlung und 0,4 mSv/Jahr terrestrische Strahlung). Die Schwankungen lassen sich auf die natürliche Radioaktivität in der unmittelbaren Umgebung jeder Station zurückführen. Da diese Stationen sowohl die natürliche als auch die künstliche Strahlung messen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Betrieb des KKW Doel einen - wenn auch sehr geringen und im Rahmen der Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung liegenden - Beitrag leistet. Dem aufmerksamen Leser wird aufgefallen sein, dass die jährlichen Dosen auf der Ostseite des Standorts im Allgemeinen etwas niedriger sind als auf der Westseite des Standorts. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Tatsache geschuldet, dass die Stationen auf der Ostseite an die Schelde grenzen. Fluss- und Meerwasser enthält viel weniger Radioaktivität als die natürliche Radioaktivität an Land. Die Stationen mit dem höchsten Dosiswert (0,85 und 0,77 mSv) befinden sich in der Nähe des Wasser- und Abfallbehandlungsgebäudes (WAB). Ein Anstieg durch die Lagerung von Radioaktivität ist möglich, aber nicht von natürlichen Schwankungen an diesen Standorten zu unterscheiden.

In jedem Fall zeigen diese Messungen, dass die Dosis durch externe Strahlung viel geringer ist als der gesetzliche Grenzwert von 1 mSv/Jahr und sich nicht von lokalen Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung unterscheiden lässt.

⁷⁵ Die durchschnittliche Jahresdosis wurde für jede TELERAD-Ringstation berechnet, indem die durchschnittliche Dosisleistung aus den 10-Minuten-Daten für jedes Jahr des Zeitraums ermittelt und mit einem Faktor ($365,25 \times 24$) für die durchschnittliche Anzahl von Stunden in einem Jahr multipliziert und dann über die verschiedenen Jahre gemittelt wurde.



Abbildung 65: Jährliche Dosis in mSv (Durchschnitt über den Zeitraum 2015 bis 2022), gemessen von den von FANK betriebenen TELERAD-Stationen in der Umgebung des Standorts des KKW Doel (Abbildung auf der Grundlage der von FANK erhaltenen 10-Minuten-Daten).

Tabelle 49: Jährliche Dosis in mSv externer Strahlung, aufgezeichnet von den 18 TELERAD-Stationen um den Standort des KKW Doel (Daten auf der Grundlage von 10-Minuten-Daten FANK). Der Mittelwert und die Standardabweichung sind ebenfalls angegeben.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Durchschnitt	Standardabweichung
BE401	0,724	0,731	0,736	0,752	0,761	0,750	0,736	0,719	0,739	0,014
BE402	0,726	0,723	0,727	0,721	0,707	0,705	0,715	0,706	0,716	0,008
BE403	0,728	0,748	0,746	0,743	0,732	0,722	0,709	0,703	0,729	0,016
BE404	0,836	0,839	0,846	0,861	0,856	0,850	0,843	0,845	0,847	0,008
BE405	0,745	0,720	0,723	0,734	0,743	0,741	0,731	0,730	0,733	0,009
BE406	0,690	0,687	0,693	0,714	0,711	0,703	0,708	0,713	0,702	0,010
BE407	0,738	0,767	0,760	0,756	0,796	0,794	0,766	0,747	0,765	0,019
BE408	0,731	0,736	0,742	0,745	0,733	0,732	0,730	0,733	0,735	0,005
BE409	0,714	0,718	0,728	0,750	0,760	0,764	0,759	0,760	0,744	0,019

BE410	0,822	0,762	0,751	0,749	0,748	0,760	0,721	0,729	0,755	0,029
BE411	0,719	0,717	0,712	0,723	0,705	0,692	0,689	0,689	0,706	0,013
BE412	0,722	0,726	0,731	0,747	0,728	0,726	0,725	0,728	0,729	0,007
BE413	0,683	0,689	0,689	0,693	0,700	0,734	0,740	0,729	0,707	0,022
BE414	0,693	0,699	0,699	0,710	0,685	0,674	0,674	0,676	0,689	0,013
BE415	0,695	0,732	0,728	0,728	0,712	0,702	0,698	0,696	0,711	0,015
BE416	0,708	0,786	0,717	0,725	0,722	0,698	0,693	0,696	0,718	0,028
BE417	0,704	0,713	0,714	0,720	0,718	0,711	0,703	0,701	0,710	0,007
BE418	0,685	0,667	0,665	0,652	0,653	0,653	0,650	0,653	0,660	0,011

Im Rahmen einer Notfallplanübung wurde am 7. Oktober 2021 in Zusammenarbeit zwischen SCK CEN, IRE, Verteidigung, FANK und in Absprache mit dem Betreiber des KKW Doel ein Hubschrauberflug über das KKW Doel und die Umgebung mit radiologischer Ausrüstung an Bord durchgeführt, die speziell für die Kartierung der Kontamination nach einem Unfall entwickelt wurde. Diese aus 4x4-Liter-NaI(Tl)-Detektoren bestehende Ausrüstung ist ausreichend empfindlich, um Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung oder künstliche Radioaktivitätsquellen zu erkennen. Die Ergebnisse dieser Messungen (zwei Flüge in zwei Richtungen: Nord-Süd und Ost-West über das KKW Doel und seine nähere Umgebung) sind in Abbildung 66 dargestellt. Diese Abbildung zeigt die Dosisleistung in $\mu\text{Sv/Stunde}$ ($\mu\text{Sv/h}$), die jede Sekunde entlang der Flugbahn des Hubschraubers aufgezeichnet wurde, korrigiert um die Höhe über dem Gelände, so dass diese Dosisleistung dem Wert entspricht, dem eine Person am Boden ausgesetzt ist. Über der Schelde wurden keine Werte angegeben, da es sich um einen breiten Fluss handelt und der vom Hubschrauber aus gemessene Wert - der überall sehr niedrig war - nicht repräsentativ für den Wert einer Person in der Nähe der Wasseroberfläche (z. B. auf einem Boot) ist. Da Wasser viel weniger natürliche Radioaktivität enthält als der Boden, stammt die Dosisleistung über einer Wasseroberfläche fast ausschließlich aus der kosmischen Strahlung und beträgt typischerweise $0,03 \mu\text{Sv/h}$. Auch über Land sind die Auswirkungen der Schelde zu erkennen, die Werte sind an den Ufern der Schelde niedriger als in größerer Entfernung zur Schelde. Die Dosisleistungen über Land und dem Standort des KKW Doel liegen zwischen $0,053 \mu\text{Sv/h}$ und $0,090 \mu\text{Sv/h}$. Dies entspricht einer externen Strahlendosis von $0,46 \text{ mSv}$ bis $0,79 \text{ mSv/Jahr}$, wenn man diese Werte als repräsentativ für ein ganzes Jahr betrachtet. Die Streuung ist hier etwas größer als bei den TELERAD-Messungen, da es sich hierbei um Daten handelt, die nur eine Sekunde lang gemessen wurden, während die TELERAD-Daten Durchschnittswerte über mehrere Jahre sind. Zum Zeitpunkt der Hubschraubermessungen regnete es nicht, und alle vier Reaktoren waren zum Zeitpunkt des Fluges in Betrieb. Der Wertebereich entspricht den typischen Hintergrundwerten, die verwendeten Farben und der Maßstab wurden gewählt, um kleine Unterschiede sichtbar zu machen. Beim Überfliegen der Reaktoren wird also kein Anstieg gemessen, der Durchschnittswert über dem Standort ist nicht höher als der Durchschnittswert außerhalb des Standortes. Der höchste gemessene Wert befindet sich über dem Standort des KKW Doel, und der Ort entspricht einem Gebäude, in dem radioaktive Abwässer/Abfälle behandelt werden. Obwohl das Gerät neben der Messung der Dosisleistung auch eine Identifizierung und damit die Feststellung ermöglicht, ob es sich um natürliche oder künstliche Strahlung handelt, konnte angesichts des sehr geringen Anstiegs der Dosisleistung nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden, dass es sich um es sich um Strahlung aus künstlicher Radioaktivität handelt.

Zusammen mit den TELERAD-Messungen zeigen diese Hubschraubermessungen, dass Radioaktivität und Strahlung in den verschiedenen Reaktoren und Nebengebäuden auf dem Gelände des KKW Doel sehr gut von den Menschen in der Umgebung abgeschirmt sind.

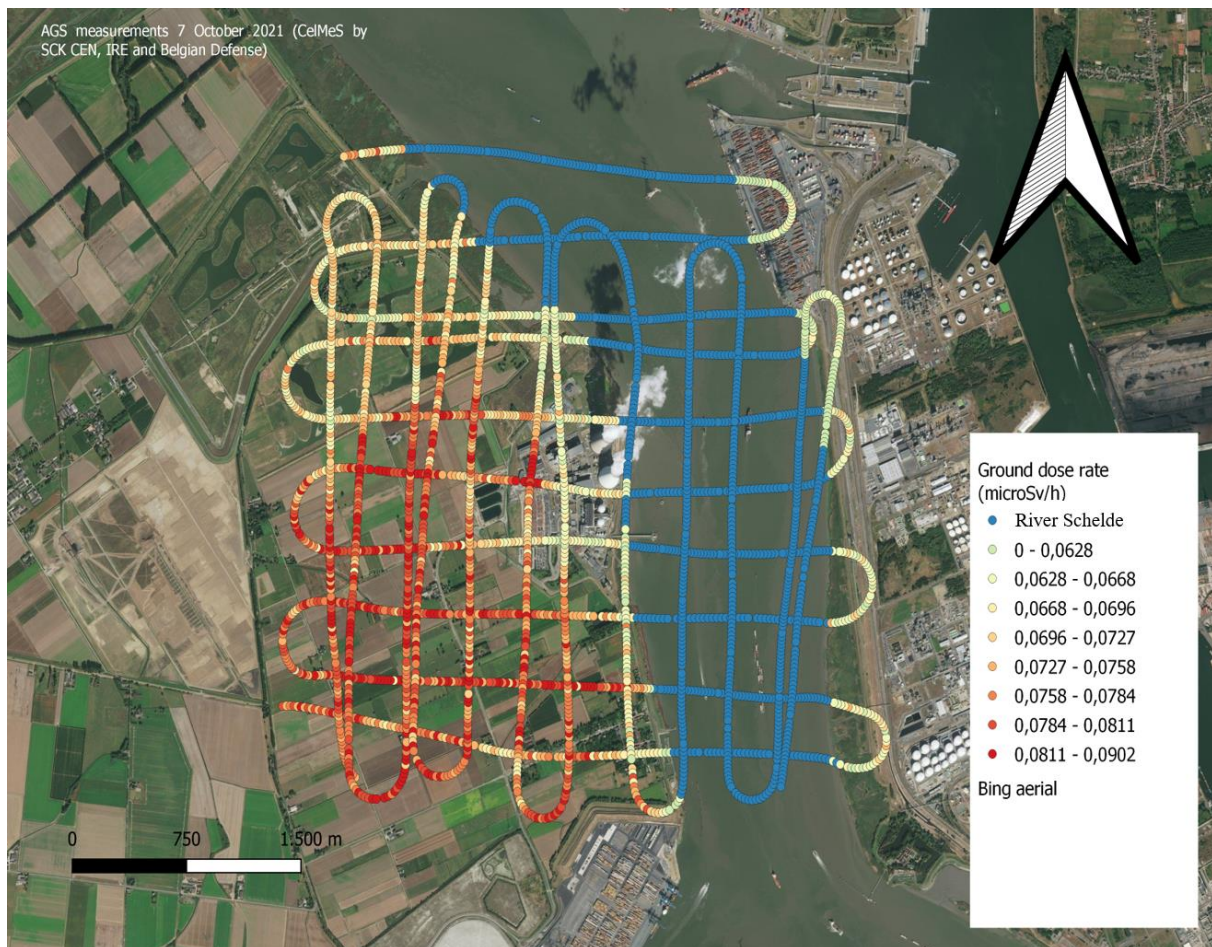


Abbildung 66: Ergebnisse der Hubschraubermessungen über dem Standort des KKW Doel und seiner Umgebung. Dargestellt ist die vom Hubschrauber aus gemessene Dosisleistung, die jedoch um die Höhe über dem Boden korrigiert wurde, um die Exposition (Dosisleistung) am Boden zu erhalten. Weitere Erläuterungen: siehe Text, die Farben und der Maßstab sind so gewählt, dass kleine Unterschiede deutlich sichtbar werden. Die Schwankungen liegen im Rahmen der natürlichen Schwankungen der Hintergrundstrahlung, die in dieser Umgebung zu erwarten sind.

Atmosphärische Einleitungen

Atmosphärische Einleitungen haben ihren Ursprung in und/oder sind auf die folgenden Prozesse zurückzuführen:

- Gasförmiger Abfall (GW)
 - Die Entgasung aus dem Primärkreislauf wird in Abgasbehältern der Abgasbehandlungsanlage gespeichert, diese werden nach einer Verfallszeit entleert;
- Reaktorgebäude oder ringförmiger Raum (RGI)
 - Entsorgung des zunächst aus dem Reaktorgebäude oder ringförmigen Raum abgeführten Gases durch ein Luftreinigungssystem;
- Intermittierende Entladungen (DIS)
 - Intermittierende, hauptsächlich unfreiwillige oder erzwungene Einleitung, die durch einen nuklearen Belüftungsauslass erfolgt. Es handelt sich um geplante Einleitungen (mit Ausnahme von I-131-Probeeinleitungen). Diese Kategorie wird für Spitzen oberhalb der kontinuierlichen Einleitungen verwendet, deren Ursprung nur schwer oder gar nicht zu bestimmen ist;
- Kontinuierliche Einleitungen

- Kontinuierliche Einleitungen aus verschiedenen nicht kontrollierbaren Quellen, die durch die nukleare Belüftung auftreten;
- Jod-Tests
 - Einleitungen von I-131 bei Jodtests. Alle Kohlenstofffilter werden periodisch mit radioaktivem Jod, nämlich I-131, getestet.

Die atmosphärischen Einleitungen werden kontinuierlich überwacht. Diese Überwachung umfasst:

- Edelgase:
 - Integration von kontinuierlichen Messungen oder Spektrometrie für freiwillige Einleitungen;
 - Spektrometrie für den prozentualen Anteil von Kr-85;
- I-131 und Aerosole:
 - Spektrometrie am wöchentlichen Sammelfilter
 - Analyse von alpha-global und Sr-89 und Sr-90 am monatlichen Sammelfilter
- Tritium: monatliche Analyse einer repräsentativen Probe

Wie in Abschnitt 2.3.3.2 beschrieben, gibt es Einleitungsgrenzwerte für den Standort des KKW Doel für verschiedene Gruppen von Radionukliden. Tabelle 50 zeigt die Einleitungsgrenzwerte für den gesamten Standort des KKW Doel als jährliche Gesamtaktivität (für 12 gleitende Monate) für die verschiedenen Gruppen und/oder einzelnen Radionuklide, wie auch in der Betriebsgenehmigung des KKW Doel festgelegt^{xiii}. Der Betreiber muss der FANK auch jeden Monat eine Übersicht über die Einleitungen vorlegen. Darüber hinaus gibt es auch spezifische Betriebsgrenzwerte für die Momentankonzentration der verschiedenen Einheiten (siehe Tabelle 51).

Tabelle 50: Einleitungsgrenzwerte für den gesamten Standort des KKW Doel als jährliche Gesamtaktivität (für 12 gleitende Monate) für die verschiedenen Gruppen oder einzelnen Radionuklide, die überwacht werden (Betriebsgenehmigung des KKW Doel).

Art	Einleitungsgrenzwerte technische Spezifikationen
Edelgase	2.960 TBq
I-131	14,8 GBq
Aerosole (Beta-Gamma und Alpha)	148 GBq
Tritium	88,8 TBq

Tabelle 51: Momentane atmosphärische Einleitungsgrenzwerte für Doel 1 und 2, Doel 3 und 4 und das Wasser- und Abfallbehandlungsgebäude (WAB).

Art	Doel 1 & 2	Doel 3 & 4		WAB
		Hauptbelüftung	Reaktorbelüftung	
Edelgase (MBq/m ³)	148	111	185	148
Aerosole (MBq/m ³)	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$1,11 \cdot 10^{-1}$	$2,22 \cdot 10^{-1}$	$1,48 \cdot 10^{-2}$
Jod-131 (MBq/m ³)	$2,59 \cdot 10^{-6}$	$1,85 \cdot 10^{-4}$	$3,70 \cdot 10^{-4}$	$2,59 \cdot 10^{-6}$

Es ist anzumerken, dass die Einleitungen von Kohlenstoff-14 (¹⁴C) und Argon-41 (⁴¹Ar) nicht überwacht werden, da sie schwer zu messen sind, und konservativ auf der Grundlage der Reaktorleistung bestimmt werden (siehe

Abschnitt 2.3.3.2). Obwohl nur Jod-131 überwacht und gemeldet wird, werden andere Jodisotope, insbesondere Jod-133 (^{133}I), aus den Jod-131-Messungen berechnet.

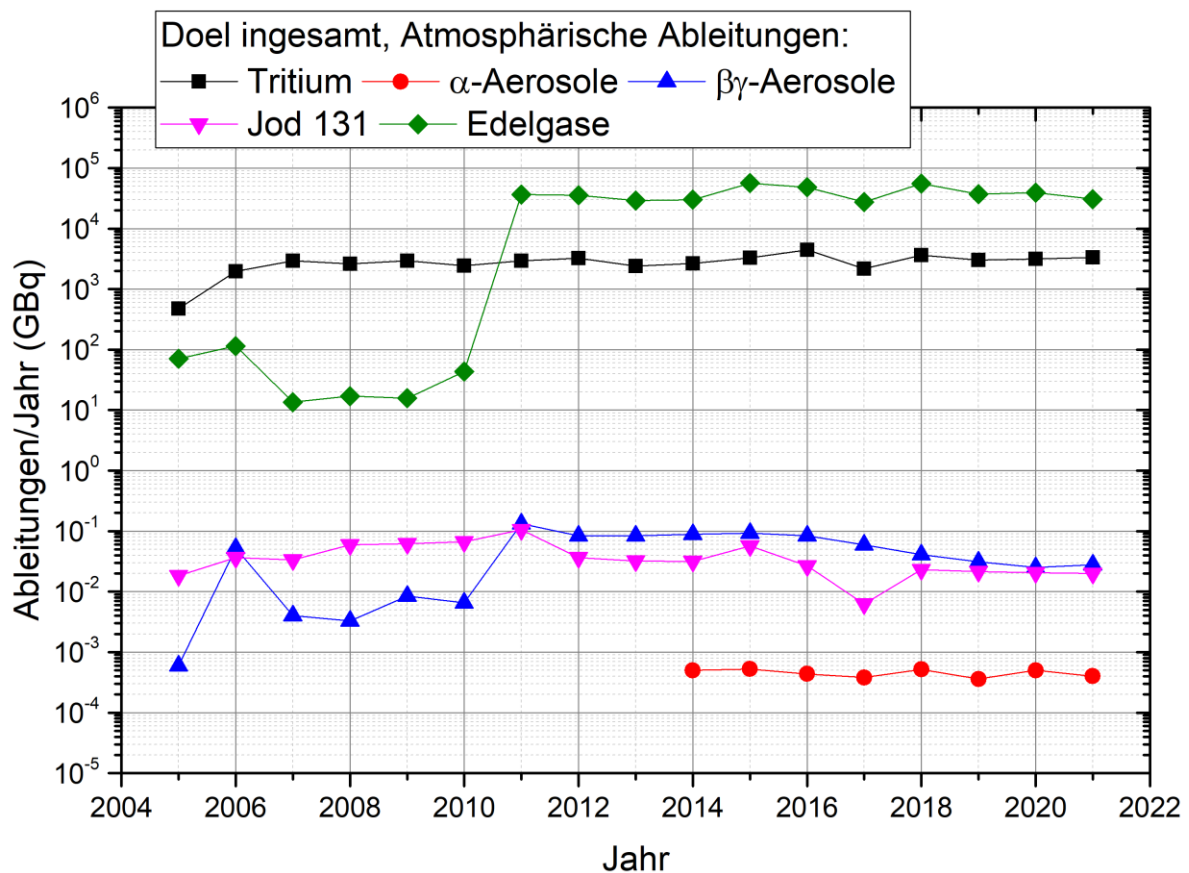


Abbildung 67: Gasförmige Einleitungen pro Jahr für den gesamten Standort des KKW Doel⁷⁶.

Die atmosphärischen Einleitungen pro Jahr für die verschiedenen Radionuklidgruppen, wie sie den Behörden gemeldet wurden und u. a. in der RADD-Datenbank der Europäischen Kommission (<https://europa.eu/radd/index.dox>) für die Jahre 2005-2021 wiedergegeben sind, sind in Abbildung 67 dargestellt. Bei diesen Einleitungen handelt es sich um die atmosphärischen Einleitungen für den gesamten Standort des KKW Doel. Sie sind auf einer logarithmischen Skala aufgetragen, da es zwischen den verschiedenen Gruppen von Radionukliden große Unterschiede in der Größenordnung der Einleitungen gibt. Der offensichtliche Anstieg der Werte ab 2011, insbesondere für Edelgase und Beta-Gamma-Aerosole, ist auf eine neue Richtlinie bzgl. der Berichterstattung zurückzuführen^{lv}. Jede abgeleitete Aktivität, die kleiner als die Nachweisgrenze der Messketten ist, wird konservativ mit 25 % der Nachweisgrenze in der Einleitung berechnet. Die Schwankungen (abgesehen von dem Sprung im Jahr 2011, daher ab 2011 auszuwerten) bei den atmosphärischen Einleitungen pro Jahr sind auf

⁷⁶ Alle Informationen zu Einleitungen aus Anlagen der Klasse 1, zu denen auch das KKW Doel gehört, sind auf der FANK-Website zu finden: <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/etablissements-nucleaires-classe-i/surveillance-des-rejets-radioactifs-de-classe-i>.

Schwankungen im Betriebsregime der Reaktoren zurückzuführen. Der allgemeine Trend ist, dass die Einleitungen über längere Zeiträume konstant sind, jedoch ist in den letzten Jahren ein Rückgang der Einleitung von Jod-131 und Aerosolen zu beobachten. Alpha-Aerosole werden ab 2014 separat ausgewiesen und stellen nur einen sehr kleinen Teil der Aerosole dar.

Diese tatsächlichen atmosphärischen Einleitungswerte können im Hinblick auf die Einleitungsgrenzwerte gemäß der Betriebsgenehmigung des KKW Doel überprüft werden. Die Ergebnisse dieses Vergleichs finden Sie in Abbildung 68 als Prozentsatz des Einleitungsgrenzwerts pro Gruppe und zwar für den Zeitraum von 2014-2021. Die Beta-Gamma- und Alpha-Aerosole (seit 2014 in separater Berichterstattung) werden hier zusammengefasst. Die tatsächlichen atmosphärischen Einleitungen betragen nur einen Bruchteil der Einleitungsgrenzwerte.

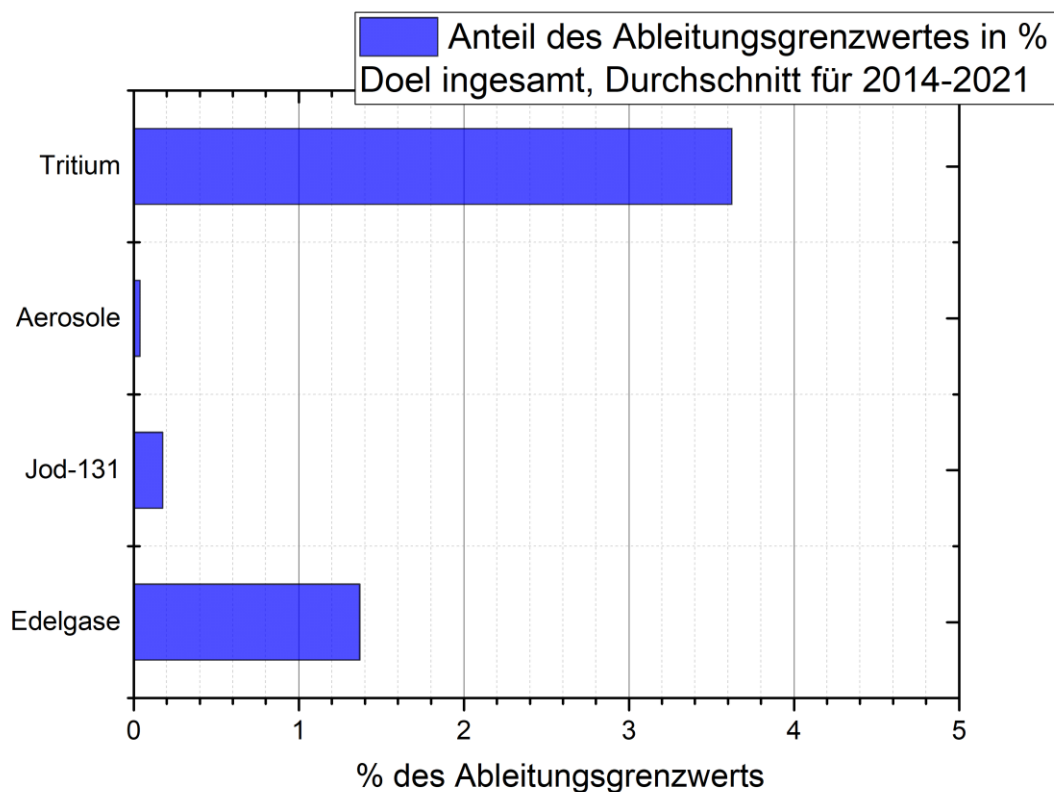


Abbildung 68: Die tatsächlichen Einleitungen auf Jahresbasis für den gesamten Standort des KKW Doel, Durchschnitt für den Zeitraum 2014 bis 2021, als Prozentsatz des Einleitungsgrenzwertes für verschiedene (Gruppen von) Radionuklide(n).

Die Auswirkungen (Dosisbelastung kritische Person) der atmosphärischen Einleitungen werden weiter unten zusammen mit den Auswirkungen der flüssigen Einleitungen diskutiert, aber Abbildung 69 zeigt die effektive Dosis pro Altersgruppe und pro eingeleitetem Radionuklid. Der Hauptbeitrag zur effektiven Dosis für die kritische Person stammt von den Einleitungen von Kohlenstoff 14 (C-14).

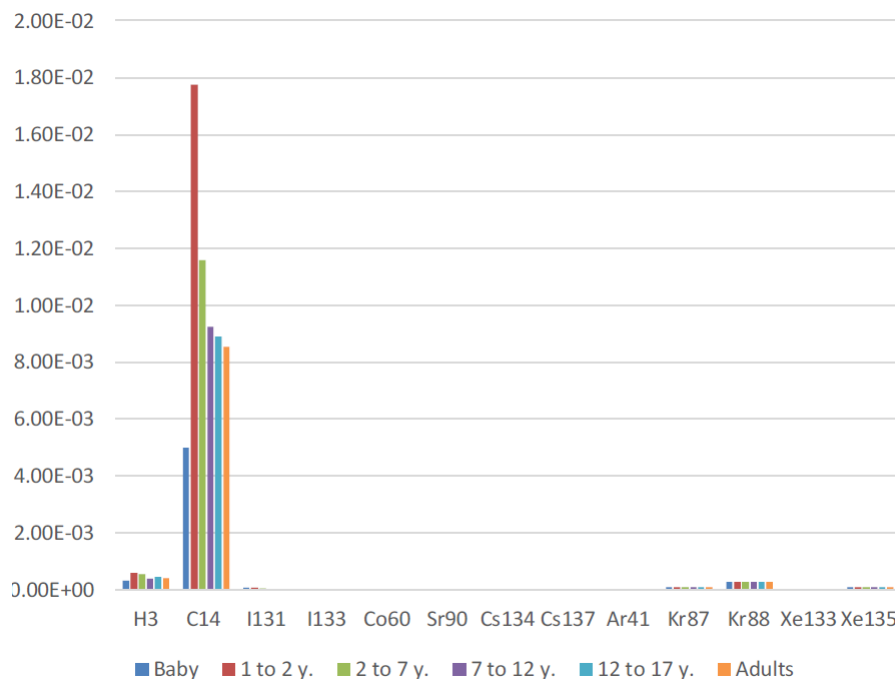


Abbildung 69: Verteilung der effektiven Dosis für die verschiedenen Alterskategorien in mSv pro Jahr für das KKW Doel für die realen atmosphärischen Einleitungen der wichtigsten radioaktiven Abwässer (Durchschnitt für den Zeitraum 2009-2018). Der überwiegende Beitrag zur effektiven Dosis von Kohlenstoff 14 (C-14) ist hier offensichtlich^{kv}.

Flüssige Einleitungen

Flüssige radioaktive Einleitungen stammen hauptsächlich aus Prozesskreisläufen, zum Beispiel zur Aufbereitung von Primärkühlwasser in den Kernkraftwerken. Sie entstehen auch durch das bei der Dekontamination von Werkzeugen anfallende Abwasser, das Sanitärabwasser und das Wasser, das für die Reinigung der Böden in den Nuklearzonen wie den Brennstofflagerdocks verwendet wird, die Reinigung von Abklingbecken für verbrauchten Kernbrennstoff sowie durch Wasserlecks.

Die Einleitungsgrenzwerte des in Betrieb befindlichen Kernkraftwerks basieren auf dem behördlichen Jahresgrenzwert von 1 mSv für die am meisten exponierte Bevölkerung, sodass die Einleitungen nicht zu einer Überschreitung des Dosisgrenzwertes führen können. Die Einleitungsgenehmigung enthält neben den Höchstmengen, die jährlich eingeleitet werden dürfen, auch die Art der eingeleiteten radioaktiven Stoffe. Die Kernkraftwerke Doel und Tihange leiten hauptsächlich Tritium ab, die Mengen der eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte sind viel geringer (< 1 % des Einleitungsgrenzwerts in Doel, bis zu 4,2 % des Einleitungsgrenzwerts in Tihange in den letzten 10 Jahren). Die Einleitungsgrenzwerte für die radioaktiven Stoffe sind in Tabelle 52 aufgeführt.

Die wichtigsten Radionuklide in den flüssigen Einleitungen sind:

- Tritium in Form von tritiiertem Wasser. Tritium entsteht hauptsächlich im Primärkühlwasser von Kernreaktoren, das im Kern zirkuliert. Es liegt in Form von tritiumhaltigem Wasser (HTO) oder Tritiumgas (HT) vor und kann daher gleichzeitig in flüssigen und gasförmigen Einleitungen vorkommen.
- Beta-, Gammastrahler: ^{58}Co , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$. Die meisten dieser Radionuklide entstehen bei der Spaltung von Kernbrennstoff im Reaktorkern und können sowohl in flüssigen als auch in gasförmigen Einleitungen gefunden werden.
- Alphastrahler; Am-241 wird in Kernreaktoren aus Plutonium 241 durch Betazerfall erzeugt und kann auch in den flüssigen und gasförmigen Einleitungen gefunden werden.

Die Einleitungen werden zunächst im WAB-Gebäude vorbehandelt, um so viel Radioaktivität wie möglich zu entfernen, bevor sie in die Schelde eingeleitet werden.

Tabelle 52: Einleitungsgrenzwerte für flüssige Einleitungen.

Radionuklide Kategorie	
Tritium	104 TBq/Jahr
Beta, Gamma und Alphastrahler (außer Tritium und gelöste Edelgase)	1,48 TBq/Jahr

Durch die Strömung und den Fluss des Scheldewassers wird die eingeleitete Radioaktivität verteilt und verdünnt. Die Gezeiten sorgen für eine bessere Durchmischung des Abwassers. Das durchschnittliche eingeleitete Volumen beträgt $1.750 \text{ m}^3/\text{Jahr}$ oder $0,2 \text{ m}^3/\text{h}^{\text{bvi}}$, was im Vergleich zum Durchfluss der Schelde sehr gering ist.

Die möglichen Auswirkungen der Einleitungen auf Mensch und Umwelt werden von der FANK durch eine regelmäßige Entnahme von Wasser-, Sediment-, Wasserpflanzen-, Fisch- und Krebstierproben sowie durch Messung der Radioaktivitätswerte bewertet (Berichte auf <https://fank.fgov.be/de/veroeffentlichungen/radiologische-ueberwachungsberichte-fuer-belgien>). Ergänzend zum Überwachungsprogramm der FANK gibt es seit 2014 auch im Kernkraftwerk Doel ein begrenztes Überwachungsprogramm mit dem Schwerpunkt auf Bioindikatoren wie Wasserpflanzen und Moose. Auch Boden- und Sedimentproben werden entnommen, da sich in ihnen Radionuklide anreichern können.

Die Einleitungen für das KKW Doel liegen weit unter den in Tabelle 52 dargestellten Einleitungsgrenzwerten. Im Zeitraum 2014-2021 wurden am Standort weniger als 0,5 % des jährlichen Grenzwerts für Beta- und Gammastrahler freigesetzt (Abbildung 72). Die Tritiumeinleitungen liegen ebenfalls unter dem jährlichen Grenzwert und betrugen im Zeitraum 2014-2021 durchschnittlich 35 % des jährlichen Grenzwertes. Für die Alphastrahler wurde kein Dosislimit angegeben, da sie vor 2011 nicht eingeleitet wurden. Seit 2011 hat sich dies geändert, aber die Einleitungen sind im Vergleich zu denen der anderen Radionuklide sehr gering.

Die Einleitungen von Tritium und Beta-Gammastrahlern des Standorts Doel in die Schelde bleiben im Zeitraum 2004-2021 nahezu stabil, während die Einleitungen von Alphastrahlern im Zeitraum 2011-2021 um den Faktor 5 sinken (Abbildung 67). Tritium ist das wichtigste eingeleitete Radionuklid, Tritium-Einleitungen machen 99,9 % der eingeleiteten Aktivität aus und Tritium liefert auch den größten Beitrag zur Dosis durch Flüssigkeitseinleitungen (Abbildung 68).

Die Abbildung 70 zeigt auch deutlich, dass die Einleitungsmengen deutlich unter den Einleitungsgrenzwerten (Tabelle 52) liegen. In den letzten 8 Jahren wurden im Durchschnitt 35 % des Einleitungsgrenzwertes für Tritium und 0,3 % des Wertes für die anderen Radionuklide eingeleitet.

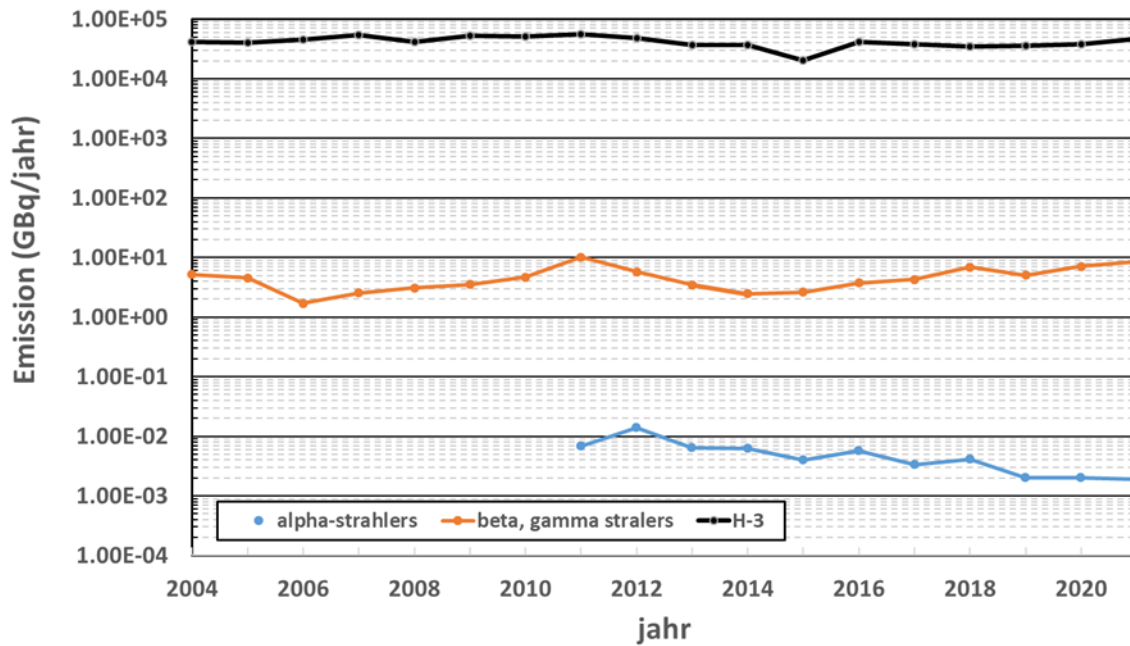


Abbildung 70: Entwicklung der Flüssigkeitseinleitungen aus dem Kernkraftwerk Doel in die Schelde für den Zeitraum 2004-2021.^{lvii}

Für die Berechnung der Dosis für die repräsentative Person aufgrund von Einleitungen in die Schelde werden die folgenden Expositionspfade berücksichtigt;

- Interne Exposition durch:
 - Konsum von Flusswasser als Trinkwasser;
 - Verzehr von Fisch.
- Externe Exposition durch Aufenthalt am Ufer, Schifffahrt, Aufenthalt auf dem durch Baggersediment verunreinigten Boden.

Die Nutzung des Flusswassers zur Bewässerung von Nahrungspflanzen, Gras und zum Tränken von Vieh wird für das Flusswasser der Schelde aufgrund des zu hohen Salzgehalts des Wassers nicht betrachtet.

Da hauptsächlich Tritium in die Schelde eingeleitet wird, ist auch die effektive Dosis hauptsächlich auf dieses Isotop zurückzuführen. Andere Isotope, die zur Dosis beitragen, sind: ^{110m}Ag , ^{60}Co , ^{137}Cs (Abbildung 71).

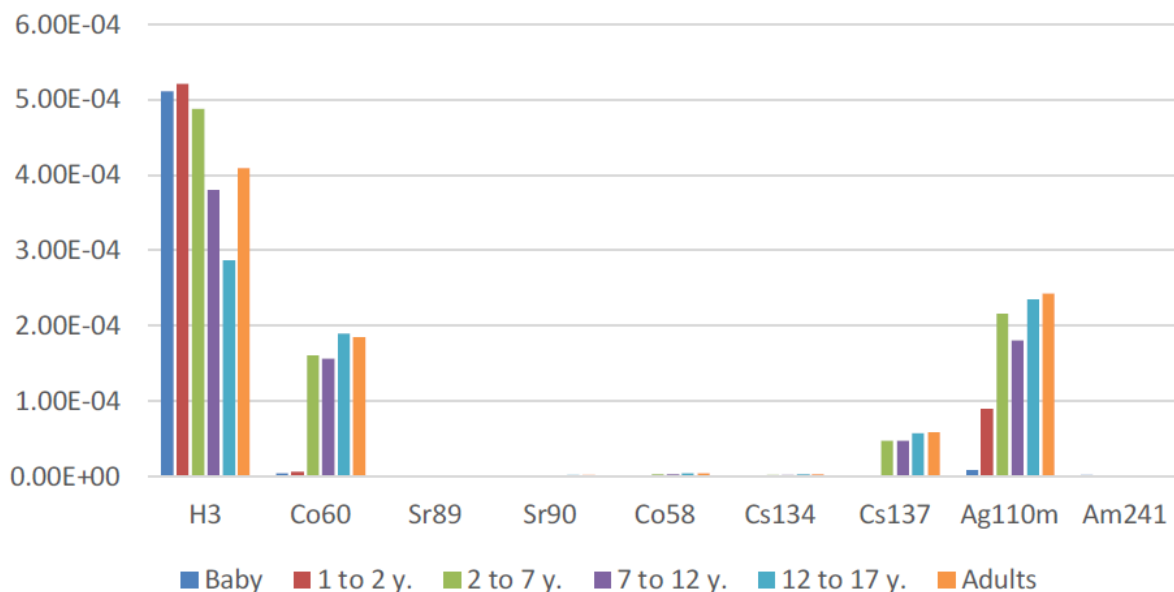


Abbildung 71: Verteilung der effektiven Dosis pro Radionuklid und Altersgruppe aufgrund von Flüssigkeitseinleitungen in die Schelde für den Zeitraum 2009-2018.

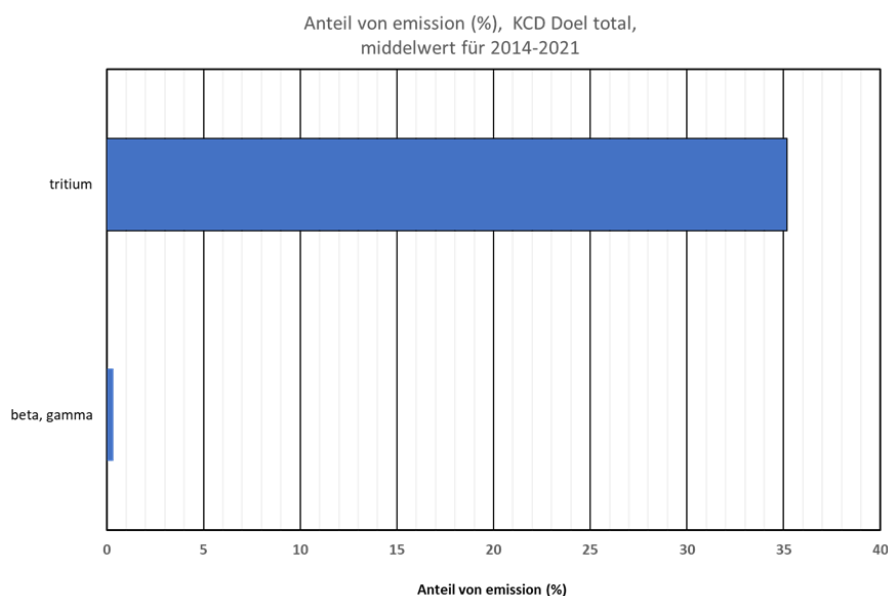


Abbildung 72: Flüssigkeitseinleitungen in % des Einleitungsgrenzwertes für Flüssigkeitseinleitungen in die Schelde.

Messungen in der Umgebung

Die Umweltmessungen bestehen aus dem von der FANK organisierten Überwachungsprogramm und einem spezifischen Überwachungsprogramm des Betreibers. Darüber hinaus sind auch Ad-hoc-Messungen für die wissenschaftliche Forschung und/oder Übungen zur Notfallvorsorge möglich. Das von der FANK organisierte Überwachungsprogramm für das belgische Gebiet, das für das Gebiet von Doel und Tihange ähnlich ist, wurde bereits im Teil Methodik erörtert. Die Ergebnisse der kontinuierlichen Messungen (TELERAD) und Hubschraubermessungen wurden bereits in der Beschreibung der aktuellen Situation der direkten Strahlenexposition in der Umgebung des KKW Doel genannt.

Die diskontinuierlichen Messungen (Probenahme und Analyse in Labors) rund um Doel bestimmen die Radioaktivitätswerte der Staubpartikel in der Luft, der Ablagerung in Absetzbecken (trockene und nasse Ablagerung), des Bodens und des Grases, des Wassers und der Sedimente in der Nähe des KKW Doel (stromabwärts) und schließlich der Garnelen, Muscheln und Algen (Ästuar stromabwärts von Doel bei Kieldrecht und Nordsee (Hoofdplaat & Kloosterzande)). Eine ausführliche Beschreibung dieses Programms (entnommene Proben, Häufigkeit, analysierte Radionuklide usw.) findet sich in den jährlichen Syntheseberichten, die seit 1996 auf der Website der FANK abrufbar sind^{bviii}. Einzelheiten zum Überwachungsprogramm der FANK in Verbindung mit dem KKW Doel finden Sie in Tabelle 53. Die Proben werden flussaufwärts und flussabwärts entnommen.

Tabelle 53: Überwachungsprogramm der FANK in der Umgebung des KKW Doel.

Segment	Art der Messung	Frequenz
Atmosphäre – radioaktive Partikel in der Luft	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb Gesamt-Beta auf Papierfiltern nach 5 Tagen Zerfall	alle 4 Wochen täglich
Atmosphäre – Oberflächenablagerung (trocken und über Niederschlag)	Gammaspektrometrie (unbehandeltes Wasser): ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{131}I Beta insgesamt, Alpha insgesamt, ^3H , ^{90}Sr (gefiltertes Wasser) Beta insgesamt und Alpha insgesamt (Filterniederschlag)	alle 4 Wochen
Boden – Erde und Gras	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th Alphaspektrometrie: $^{234-235-238}\text{U}$, $^{238+(239+240)}\text{Pu}$	jährlich
Schelde – Wasser	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{226}Ra Beta gesamt, Alpha gesamt, ^3H , ^{40}K	zweiwöchentlich
Schelde – Sedimente	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th ^{90}Sr , $^{234-235-238}\text{U}$, $^{238-(239+240)}\text{Pu}$, ^{241}Am	alle 4 Wochen
Schelde-Ästuar flussabwärts – Garnelen Schelde-Ästuar/Nordsee (Hoofdplaat und Kloosterzande) – Krebstiere, Muscheln und Algen	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th ^{90}Sr , $^{238-(239+240)}\text{Pu}$, ^{241}Am organisch ^3H	vierteljährlich
Abwässer (flüssige Einleitungen) aus der kerntechnischen Anlage	Gammaspektrometrie: ^7Be , ^{51}Cr , ^{55}Fe , ^{95}Nb , ^{95}Zr , $^{101-106}\text{Ru}$, $^{141-144}\text{Ce}$, ^{131}I , ^{113}Sn , $^{123\text{m}}\text{Te}$, $^{124-125}\text{Sb}$, $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ Betaspektrometrie: ^3H	zweiwöchentlich

Zusätzlich zum Überwachungsprogramm des Gebiets, das von der FANK durchgeführt wird, organisiert der Betreiber des KKW Doel ein eigenes Überwachungsprogramm, bestehend aus:

- Dosismessungen mithilfe von 18 Thermo-Lumineszenz-Detektoren (TLD), die am Rande des Geländes platziert sind (einer pro 20°-Sektor). Sie geben die integrierte Dosis durch externe Strahlung an;
- Een monitoringsprogramma aanvullend op het toezichtprogramma van het FANK waarbij éénmaal per jaar monsters worden genomen en geanalyseerd. Für Doel läuft dieses Programm seit 2014. Dieses

Programm hat eine begrenzte Frequenz in Bezug auf das Probenahmeprogramm, aber der Fokus liegt zum einen ganz auf künstlichen Radionukliden, die möglicherweise mit dem Betrieb des KKW Doel in Verbindung stehen, und zum anderen werden spezifische Proben untersucht, wie die von Bioindikatoren, d. h. Organismen, die bestimmte Radionuklide besonders konzentrieren. Zum Vergleich werden im Rahmen des ergänzenden Überwachungsprogramms des Betreibers auch stromaufwärts Proben genommen. Die flussaufwärts gelegenen Standorte sind von den Einleitungen nicht betroffen und spiegeln daher das Aktivitätsniveau ohne den Beitrag des Kernkraftwerks wider und ermöglichen es somit, Entwicklungen im Laufe der Zeit zu verfolgen. Dieses Programm wird in Tabelle 54 wiedergegeben.

Tabelle 54: Überwachungsprogramm des Betreibers.

Spezifische Probenahme	Ort und Häufigkeit	Spezifikationen der Messung
Bioindikator: Flechte (Moos) Boden Gras	Jährlich an 2 Standorten (S1-T und S2-T) in dominanter Windrichtung und 1 Referenzstandort (R1-T)	Gammaspektroskopie (Cs-134 und Cs-137, I-131, Co-60), H-3, C-14
Aquatischer Bioindikator (Fucus, Seetang, Muscheln)	Jährlich an 2 Standorten S1-A stromabwärts und einem Referenzstandort stromaufwärts	Gammaspektroskopie (Cs-134 und Cs-137, I-131, Co-60, Nb-95, Ag-110m), H-3, C-14
Sediment	Jährlich an 2 Standorten stromabwärts und einem Referenzstandort stromaufwärts	Gammaspektroskopie (Cs-134 und Cs-137, I-131, Co-60, Nb-95, Ag-110m),

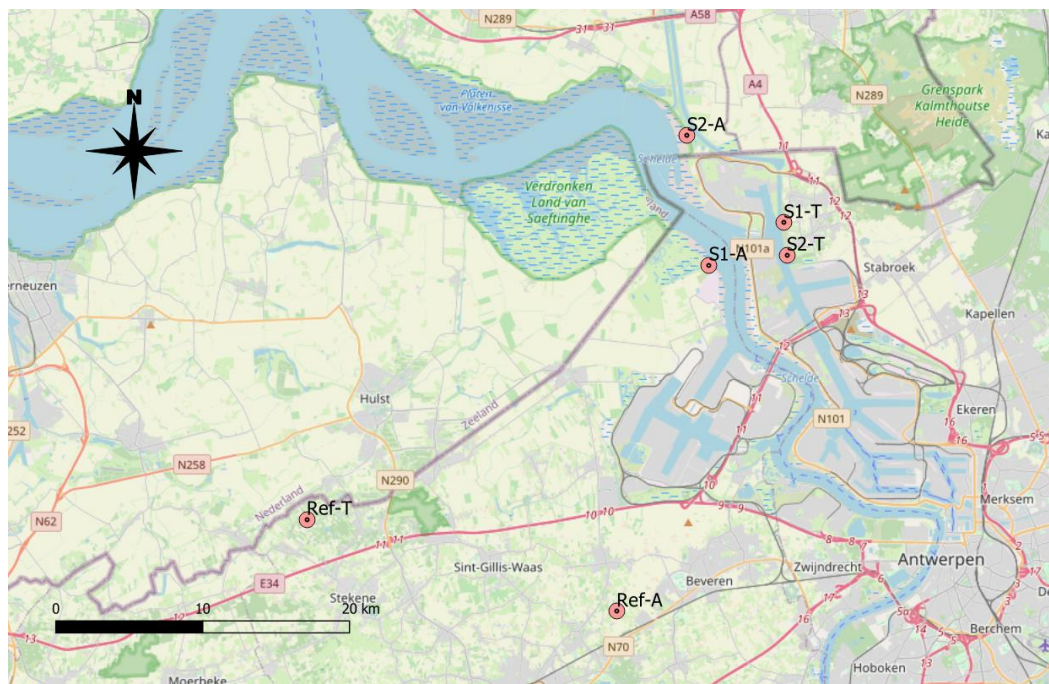


Abbildung 73: Standorte der Probenahmen für das Zusatzprogramm des Betreibers des KKW Doel (Bezeichnungen siehe Tabelle 53, Hintergrundkarte: OpenStreetMap).

Das diskontinuierliche Programm, das durch Probenahme und Laboranalyse eine höhere Empfindlichkeit für die Erkennung von potentiellen künstlichen Radionukliden um das KKW Doel hat, zeigt:

- in erster Linie das große Übergewicht der natürlichen Radioaktivität (vorwiegend ^{40}K und in geringerem Maße ^{226}Ra und ^{232}Th);
- bezüglich der künstlichen Radioaktivität, dass Spuren von Cs-137 im Boden gemessen werden können (3,3 Bq/kg im Boden im Jahr 2022⁷⁷), die fast ausschließlich auf den Unfall von Tschernobyl und auf den Fallout der Atomtests in der Atmosphäre zurückzuführen sind (die in den 1960er Jahren ihren Höhepunkt erreichten). Die in der Umgebung von Doel gemessenen Konzentrationen sind durchschnittlich für die in Belgien. Aufgrund der unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen (Regen) beim Vorbeiziehen der radioaktiven Wolke nach dem Tschernobyl-Unfall können in Belgien räumliche Unterschiede beobachtet werden.
- dass die künstlichen transuranischen Alpha-Strahler (Pu und Am) ihrerseits nicht messbar sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Kernkraftwerk Doel weder signifikante messbare radiologische Auswirkung auf die Umwelt durch atmosphärische Einleitungen noch signifikante messbare radiologische Auswirkungen auf die Schelde hat. Eine Analyse der Messergebnisse in der Umgebung des KKW Doel ist immer repräsentativ für alle Aktivitäten am Standort. Die Schlussfolgerungen gelten daher insbesondere auch für den Betrieb von Doel 4.

Auswirkungen auf den Menschen

Der aktuelle radiologische Status und die Auswirkungen der Aktivitäten des Standorts des KKW Doel sind durch die Kombination aus Überwachung der Einleitungen in Verbindung mit Dosiswirkungsberechnungen und der Überwachung der Radioaktivität und Strahlung in der Umgebung des KKW Doel sehr gut charakterisiert.

Einerseits können wir die radiologischen Auswirkungen der genehmigten Einleitungsgrenzwerte für das KKW Doel als Ganzes (4 Einheiten) und für die gasförmigen und flüssigen Einleitungen betrachten. Die konservativ geschätzte Dosis gemäß der in Abschnitt 2.3.3.3 beschriebenen Methodik ist in Tabelle 55 angegeben. Es handelt sich um die effektive Dosis pro Jahr für eine repräsentative Person nach Altersgruppe. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, dass eine repräsentative Person, die am stärksten exponierte Person ist, eine Person, die sich u. a. ständig (das ganze Jahr über) in der Nähe des Standortes aufhält, an dem die Belastung am höchsten ist, und die nur Lebensmittel verzehrt, die in der Nähe des Kernkraftwerks erzeugt werden. Die maximale effektive Dosis pro Jahr aus gasförmigen und flüssigen Einleitungen, die den Einleitungsgrenzwerten pro Jahr entsprechen sollte, beträgt etwa 0,36 mSv für die kritische Person (Altersgruppe Teenager). Dies liegt deutlich unter dem Grenzwert für die effektive Dosis für die Bevölkerung von 1 mSv/Jahr. Es zeigt sich, dass bei den Einleitungsgrenzwerten die effektive Dosis pro Altersgruppe aufgrund von Flüssigkeitseinleitungen besonders stark schwankt, was hauptsächlich mit der Ernährung zusammenhängt.

Tabelle 55: Effektive Dosis pro Jahr für die kritische Person nach Alterskategorie aufgrund von gasförmigen, flüssigen und gesamten Einleitungen entsprechend den aktuellen Einleitungsgrenzwerten für den gesamten Standort des KKW Doel.

Effektive Dosis in mSv/Jahr für die gasförmigen und flüssigen Einleitungsgrenzwerte; Standort des KKW Doel für die verschiedenen Alterskategorien. Die maximale effektive Gesamtdosis ist fett gedruckt.						
	Baby	1 bis 2 Jahre	2 bis 7 Jahre	7 bis 12 Jahre	Teenager	Erwachsene
Atmosphärisch	0,131	0,168	0,135	0,123	0,128	0,118
Flüssig	0,008	0,005	0,199	0,181	0,227	0,228
Insgesamt	0,139	0,173	0,334	0,304	0,355	0,346

⁷⁷ Radiologische Überwachung in der Umgebung des Kernkraftwerks Doel: Ergebnisse der Überwachungskampagne im Jahr 2022. SCK CEN-Bericht.

Wie wir bereits beschrieben haben, liegen die tatsächlichen Einleitungen weit unter den Einleitungsgrenzwerten, und daher ist die tatsächliche Dosis, die eine kritische Person durch den Betrieb des gesamten Standorts des KKW Doel erhält, viel geringer. Die effektive Dosis pro Jahr (gemittelt über die Jahre 2012-2021) für eine kritische Person der verschiedenen Alterskategorien für die realen gasförmigen und flüssigen Einleitungen kann in der folgenden Tabelle gefunden werden: *Tabelle 56*

Tabelle 56: Effektive Dosis pro Jahr für die kritische Person nach Alterskategorie aufgrund der tatsächlichen gasförmigen, flüssigen und totalen Einleitungen für den gesamten Standort des KKW Doel.

Effektive Dosis KKW Doel in mSv/Jahr für reale gasförmige und flüssige Einleitungen für den Zeitraum 2012-2021 für die verschiedenen Alterskategorien. Die Gesamtmenge ist ebenfalls angegeben, und die maximal wirksame Dosis ist fett gedruckt.						
	Baby	1 bis 2 Jahre	2 bis 7 Jahre	7 bis 12 Jahre	Teenager	Erwachsene
Atmosphärisch	0,0068	0,0217	0,0146	0,0117	0,0114	0,0109
Flüssig	0,0005	0,0006	0,0008	0,0007	0,0007	0,0008
Insgesamt	0,0073	0,0223	0,0154	0,0124	0,0121	0,0117

Die Berechnungen, die auf der Überwachung der Einleitungen basieren, zeigen also eine maximale Auswirkung, d. h. eine effektive Dosisbelastung für die am stärksten exponierte kritische Person von ungefähr 0,02 mSv/Jahr^{lxix} (maximal 0,0223 mSv/Jahr). Diese Bestrahlung ist auch über die Jahre stabil, wie in Abbildung 74 dargestellt wird. Diese konservativ berechnete effektive Dosis für die am stärksten bestrahlte Person ist mindestens 15-mal niedriger als die Dosis gemäß den Einleitungsgrenzwerten für das KKW Doel und 50-mal niedriger als das Dosislimit für die Öffentlichkeit, das 1 mSv/Jahr beträgt. Dies zeigt auch, dass das Konzept der Dosisoptimierung für die Bestrahlung der Bevölkerung, eine der Säulen des Strahlenschutzes, die in Abschnitt 2.3.2 erörtert wird, beim Betrieb des KKW Doel angewandt wird.

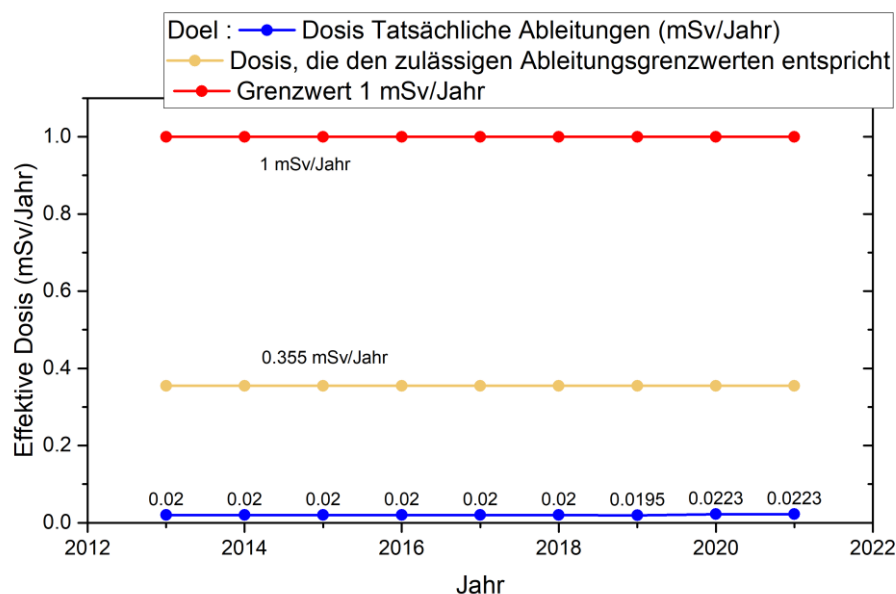


Abbildung 74: Effektive Dosis für das kritischste Individuum in der Umgebung des KKW Doel, berechnet aus gemeldeten tatsächlichen Einleitungen^{lxix}. Zum Vergleich sind der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung und die den Einleitungsgrenzwerten entsprechende Dosis angegeben.

Auch die Überwachung der Umgebung zeigt, dass das KKW Doel keine messbaren radiologischen Auswirkungen auf seine Umgebung hat. Die Exposition in der Umgebung von Doel wird daher wie in anderen Teilen des Landes vollständig von der Exposition gegenüber natürlicher Radioaktivität dominiert. Folglich ist auch die Exposition durch radioaktive Einleitungen viel kleiner als die lokalen räumlichen Schwankungen der natürlichen Radioaktivität und Exposition. Der sehr begrenzte Beitrag künstlicher oder vom Menschen verursachter Radioaktivität in der Umgebung des KKW Doel stammt hauptsächlich aus dem radioaktiven Fallout der oberirdischen Atombombentests (1950-60) und dem Tschernobyl-Unfall (1986).

Auswirkungen auf die biologische Vielfalt (Fauna und Flora)

Von den Radionukliden, insbesondere ^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs die in der zusätzlichen Überwachungskampagne der Electrabel AG berücksichtigt werden, liegen nur die ^{14}C - und die ^{137}Cs -Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze. Die gemessenen Konzentrationen für Boden, Sediment und Bioindikatoren (Moos und Fucus), die Radioaktivität akkumulieren, zeigen, dass die Kontamination des Ökosystems sehr gering ist, nämlich 3,3 Bq/kg ^{137}Cs im Boden und 4,5 Bq/kg ^{137}Cs im Flusssediment im Jahr 2022. Die maximale gemessene Konzentration beträgt 0,23 Bq/kg ^{14}C für Fucus. Diese gemessenen Konzentrationen sind hauptsächlich auf natürlich vorkommendes ^{14}C und ^{137}Cs aus Tschernobyl zurückzuführen. Im Jahr 2013 wurde eine umfassende Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt, um die Auswirkungen von atmosphärischen und flüssigen Einleitungen auf Fauna und Flora zu bewerten⁷⁸. Für den Standort Doel wurden häufig vorkommende Referenzorganismen ausgewählt und die Auswirkungen der tatsächlichen Einleitungen und der Einleitungsgrenzwerte auf diese Organismen mit Hilfe des ERICA-Bewertungstools berechnet. Es zeigte sich, dass die maximale Dosisleistung für die Einleitungsgrenzwerte 0,24 $\mu\text{Gy/h}$ beträgt und damit deutlich unter dem Schwellenwert von 10 $\mu\text{Gy/h}$ liegt, unterhalb dessen keine schädlichen Wirkungen auftreten. Daraus lässt sich schließen, dass die derzeitigen Einleitungsgrenzwerte für die untersuchten belgischen Kernkraftwerke nicht zu schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt führen. Auch die Messergebnisse aus dem Überwachungsprogramm der FANK und des Betreibers in der Umgebung des KKW Doel führen zu denselben Schlussfolgerungen.

4.1.2 Auswirkungen bei Abschaltung von Doel 4 (Null-Alternative)

Der Block Doel 4 ist derzeit bis spätestens 1. Juli 2025 für die industrielle Stromerzeugung zugelassen. Im Falle einer Nichterneuerung (Deaktivierung, endgültige Abschaltung) wird nach dem derzeitigen Zeitplan nur der Block Doel 2 am Standort des KKW Doel für die industrielle Stromerzeugung in Betrieb sein und dies auch nur noch für eine begrenzte Zeit (bis zum 1. Dezember 2025). Die anderen Blöcke werden sich dann in der Nachbetriebsphase befinden. Die Situation für den gesamten Standort des KKW Doel im Falle einer Nichtverlängerung von Doel 4 ist also so, dass ein Reaktor (Doel 2) noch bis zu sechs Monate in Betrieb ist und die anderen dauerhaft abgeschaltet werden.

Die Abschaltung von Doel 4 an sich hat zur Folge, dass einige radioaktive gasförmige und flüssige Einleitungen in die Umgebung entfallen. Direkt mit dem Reaktorbetrieb zusammenhängende Einleitungen (z. B. die Erzeugung von Kohlenstoff-14) werden beseitigt. Kohlenstoff 14 leistet auch den größten Beitrag zur Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen. Andererseits werden bestimmte gasförmige und flüssige Einleitungen auch in der Nachbetriebsphase fortbestehen. Über Mengen und Auswirkungen auf die Dosis liegen nur relativ wenig Informationen vor. Einerseits können wir uns ansehen, was theoretisch zu erwarten ist:

- Flüssiges Tritium: Die Tritiumproduktion ist mit der Erzeugung von Kernkraft verbunden, ein theoretischer Rückgang auf praktisch Null ist möglich, aber angesichts der langen Halbwertszeit sind Restmengen möglich;

⁷⁸ Vandehove H., Sweeck I., Vives i Batlle, Wannijn J., Van Hees M., Camps J., Olyslaegers G., Miliche C., Lance B., 2013. Vandenhove et al. (2013) Predicting the environmental risks of radioactive discharges from Belgian nuclear power plants. Journal of environmental radioactivity, 126, 61-76.

- Flüssige Beta-Gamma-Radionuklide: Theoretisch kann mit einer Verringerung der Einleitungen gerechnet werden, wobei Resteinleitungen als Folge der POP bei den verschiedenen Anlagen bestehen können; Die flüssigen Einleitungen erfolgen hauptsächlich aus dem Wasser- und Abfallbehandlungsgebäude (WAB);
- Edelgase: Es ist ein theoretischer Rückgang auf praktisch Null zu erwarten, da Edelgase Spaltprodukte sind, die nicht mehr erzeugt werden. Die historischen Daten zeigen einen leichten Rückgang der Edelgasemissionen in den Jahren, in denen weniger Strom produziert wird (MWh-Defizit);
- Jod: Theoretischer Rückgang auf praktisch Null nach dem Produktionsstopp, aber dieser Rückgang wird teilweise durch Jodrückstände im Brennstoffbad ausgeglichen, und es gibt auch die Tests der Filter. Mit anderen Worten: Es ist ein Rückgang zu erwarten;
- Aerosole: Es werden keine eindeutigen Auswirkungen erwartet; auf der Grundlage der in der Vergangenheit gemeldeten Werte ist klar, dass die gemeldeten Werte hauptsächlich auf den Nachweisgrenzen und nicht ausschließlich auf den tatsächlichen Einleitungen beruhen; aufgrund dieser Nachweisgrenzen wird die Größenordnung der Einleitungen gleich bleiben. Ein begrenzter Anstieg in Abhängigkeit von den POP-Aktivitäten kann nicht völlig ausgeschlossen werden;
- Tritium (Gas): Ein Rückgang ist zu erwarten;
- Kohlenstoff-14: abhängig von der Produktion, daher sollte die Produktion von Kohlenstoff-14 praktisch auf Null sinken.

Andererseits können effektive Erfahrungen mit der postoperativen Phase im Ausland berücksichtigt werden ⁷⁹(sie sind jedoch eher begrenzt). Ausgehend von den Erfahrungen in Deutschland kann geschätzt werden, dass die Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen infolge der Abschaltung eines Reaktorblocks im ersten Jahr nach der Abschaltung auf 25 % des Niveaus beim Betrieb und in den folgenden Jahren weiter auf etwa 10 % abfällt (Daten liegen bis zu 7 Jahre nach der endgültigen Abschaltung vor).

Auf der Grundlage dieser Informationen kann konservativ geschätzt werden, dass die effektive Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen für den gesamten Standort des KKW Doel im Falle einer Nichtverlängerung von Doel 4, bei der keine Reaktoren mehr in Betrieb sind (also ab 2026), auf einen Wert von **unter 0,007 mSv/Jahr** und in den Folgejahren (wir betrachten einen Zeitraum von 10 Jahren) **weiter auf unter 0,003 mSv/Jahr sinken wird**.

Für 2025, das Jahr in dem Doel 1 und 2 und bei einer Nichtverlängerung Doel 4 abgeschaltet werden, können wir konservativ von einer effektiven Dosis ausgehen, die in der Größenordnung von oder knapp unter 0,02 mSv/Jahr liegen wird, also einer effektiven Dosis, die dem heutigen Zustand entspricht.

⁷⁹ Basierend auf: Periodic Safety Review Tihange Unit 2 and TEF - SF14-2: Radiological impact to the public. PSR3/4NT/0791625/000/01, Tractebel Engineering AG, 2022

4.1.3 Auswirkungen eines Weiterbetriebs von Doel 4 für 10 Jahre über das Jahr 2025 hinaus (Das Projekt)

Die gasförmigen und flüssigen Einleitungen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Doel 4 werden während der Verlängerung auf einem ähnlichen Niveau wie heute bleiben, da wir davon ausgehen, dass der Reaktor mit derselben Leistung betrieben wird und dass alle gasförmigen und flüssigen Einleitungen auf dieselbe Weise behandelt werden. Eine konservative Schätzung der effektiven Dosis aus dem Betrieb von Doel 4 ergibt **0,01 mSv/Jahr oder weniger, und dies konstant über die 10 Jahre des verlängerten Betriebs**. Dies ist nach wie vor hauptsächlich auf die gasförmigen Kohlenstoff-14-Einleitungen zurückzuführen, die direkt mit der Reaktorleistung zusammenhängen. Für den gesamten Standort des KKW Doel müssen wir nun zusätzlich zum Betrieb von Doel 4 die Einleitungen in der Nachbetriebsphase berücksichtigen, wie wir sie im vorherigen Abschnitt für die Null-Alternative, d. h. die Nichtverlängerung, geschätzt haben. Tabelle 57 fasst die effektive Dosis aus dem Betrieb von Tihange 3 und für den gesamten Standort des KKW Tihange bei Verlängerung sowie im Fall der Nicht-Verlängerung des Betriebs zusammen.

Tabelle 57: Effektive Dosis aus gasförmigen und flüssigen Einleitungen, konservativ geschätzt für kritische Personen bei Normalbetrieb für das Projekt. Die angegebene Spanne der effektiven Dosis für den gesamten Standort ist die zeitliche Entwicklung über einen Zeitraum von 10 Jahren, die auf Erfahrungen aus der Nachbetriebsphase von Reaktoren in Deutschland beruht.

	Konservativ geschätzte effektive Dosis kritischer Personen gasförmige und flüssige Einleitungen
Betrieb Doel 4	0,010 mSv/Jahr
Gesamter Standort KKW Doel bei Verlängerung Doel 4	0,017-0,013 mSv/Jahr
Gesamtes Gelände des KKW Doel bei Nichtverlängerung des Betriebs von Doel 4 (alle Reaktoren außer Betrieb)	0,007-0,003 mSv/Jahr*
Unterschied zwischen Projekt und Null-Alternative	0,010 mSv/Jahr für 10 Jahre

*Dieser Dosisbereich ist auch repräsentativ für eine konservative Schätzung der effektiven Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen für den gesamten Standort in der Nachbetriebsphase von Doel 4 nach 10 Jahren Verlängerung.

Folglich liegt die geschätzte effektive Jahresdosis des Projekts weit unter der derzeitigen Betriebsgenehmigung und auch weit (Faktor 100) unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr. Um diese Dosis zu relativieren, können wir sie mit einer natürlichen Exposition vergleichen. Eine effektive Dosis von 0,01 mSv entspricht der zusätzlichen Dosis, die eine Belgierin oder ein Belgier durch erhöhte kosmische Strahlung erhält, wenn er oder sie zwei Wochen in den Bergen Ski fährt⁸⁰. Folglich ist die effektive Dosis im normalen Betrieb des Projekts eine triviale Auswirkung.

4.2 Unfallbedingte Einleitungen

In Anbetracht der Ähnlichkeit der für Doel 4 und Tihange 3 betrachteten Unfälle wird eine Beschreibung dieser Unfälle und der Methode zur Berechnung der Auswirkungen in Kapitel 2 (Abschnitt 2.3.4) ausführlich dargestellt. Wir stellen hier die Ergebnisse der Verträglichkeitsprüfung vor und diskutieren die Ergebnisse.

4.2.1 Auslegungsstörfall

Die radiologischen Auswirkungen der beiden betrachteten Auslegungsstörfälle, d. h. eines LOCA und eines FHA, wurden auf der Grundlage der allgemeinen Daten gemäß Artikel 37 Euratom-Vertrag und der Sicherheitsdatei Doel

⁸⁰ Vergleich auf Basis von <https://fank.fgov.be/de/dossiers/medizinische-anwendungen/vergleich-der-strahlendosen>.

4 bewertet. Darüber hinaus wurde eine Analyse auf der Grundlage einer Tractebel-Studie⁸¹ gemäß den FANK/Bel-V-Richtlinien 2017 für neue Anlagen der Klasse 1 durchgeführt. Die letztgenannte Analyse ist streng genommen für Doel 4 nicht anwendbar, da es sich um die Verlängerung der Lebensdauer einer bestehenden Anlage der Klasse 1 handelt. Neben den Folgen der atmosphärischen Einleitungen aufgrund der für Doel 4 betrachteten Unfälle ermöglicht diese Analyse auch eine Bewertung der längerfristigen Folgen für Mensch, Nahrungskette und Umwelt. 25 % des nuklearen Jodinventars und 100 % der Edelgase werden bei einem **LOCA-Unfall** in das Reaktorgebäude freigesetzt, 91 % des Jods liegen in elementarer (molekularer) Form vor, 5 % in Aerosolform und die restlichen 4 % in organischer Form. Die Edelgaskonzentration wird durch den radioaktiven Zerfall und die Leckrate des Reaktorgebäudes bestimmt. Die Jodkonzentration wird auch durch den radioaktiven Zerfall und die Leckrate sowie durch die Sicherheitsinjektion (Berieselung) und die Rezirkulation zur Kühlung bestimmt (siehe Abschnitt 2.3.4.1). Begrenzte Mengen von Beta(-Gamma)-Aerosolen. Die Einleitung in die Umwelt wird für 30 Tage berücksichtigt.

Beim **FHA-Unfall** wird davon ausgegangen, dass 30 % der Aktivität von Kr-85 im Zwischenraum zwischen Hülle und abgebrannten Brennelementen und 10 % der anderen Radionuklide aus den Brennelementen freigesetzt werden, wobei 99,75 % des Jods in elementarer Form und 0,25 % in organischer Form vorliegen. Außerdem wird ein Dekontaminationsfaktor von 133 für molekulares Jod und 1 für organisch gebundenes Jod aus dem Spaltstofflagerbecken (Wasser) in das Gebäude berücksichtigt. Für die Einleitung in die Atmosphäre über den Schornstein wird davon ausgegangen, dass die Filter funktionieren und einen Wirkungsgrad von 90 % für das gesamte Jod haben. Es wird von einer Einleitungszeit von 2 Stunden ausgegangen.

Die Dosisergebnisse beider Analysen für beide Unfälle sind in **Tabelle 58** aufgeführt. Beide Analysen zeigen die effektive Dosis aufgrund des Vorbeiziehens der radioaktiven Wolke, einschließlich der damit verbundenen Inhalation von Radioaktivität, und die Schilddrüsen-Äquivalentdosis aufgrund der Inhalation von Jodradioisotopen für die kritische Person.

Tabelle 58: Effektive Dosis und Schilddrüsen-Äquivalentdosis außerhalb der Standortgrenze des KKW Doel (300 m Entfernung von der Einleitungsstelle), die sich aus dem Auftreten eines LOCA und eines FHA für Doel 4 ergeben, im Vergleich zu den in den allgemeinen Angaben nach Artikel 37 des Euratom-Vertrags beschriebenen Dosislimits, die Bestandteil der Genehmigung sind, in mSv. Zur Information sind auch die Ergebnisse einer Folgenabschätzung gemäß den Leitlinien für neue Anlagen der Klasse 1 beigefügt.

Doel 4	Sicherheitsakte/Art 37		Analyse gemäß den Leitlinien für neue Anlagen der Klasse 1	
	Dosis	Grenzwert	Dosis	Kriterium
Effektive Dosis				
LOCA	20,4 mSv	20,4 mSv	2,0 mSv	5 mSv
FHA	5,7 mSv	20,4 mSv	2,8 mSv	5 mSv
Schilddrüsen-Äquivalentdosis				
LOCA	38,5 mSv	38,5 mSv	36,70 mSv	10 mSv
FHA	24,7 mSv	38,5 mSv	33,28 mSv	10 mSv

Die obige Tabelle zeigt, dass die **effektiven Dosen und die Schilddrüsen-Äquivalentdosen, die sich aus den beiden Auslegungsstörfällen für Doel 4 ergeben, innerhalb der festgelegten Grenzwerte bleiben, im Rahmen**

⁸¹ LTO D4 - ELP - KCD4 - Radiological consequences of a Loss of Coolant Accident and a Fuel Handling Accident", CNT-KCD/4NT/29657/000/01, Tractebel Engineering AG, 2023

der Analyse nach Artikel 37. Es ist zu beachten, dass verschiedene Analysen desselben Unfalls je nach den verwendeten Annahmen erhebliche Unterschiede aufweisen können. Die Analyse gemäß den Leitlinien für neue Anlagen der Klasse 1 ergibt niedrigere effektive Dosen, was darauf zurückzuführen ist, dass für die Schätzung dieser Dosen in der Sicherheitsakte eine sehr pessimistische (konservative) Analyse und für neue Anlagen der Klasse 1 eine geringere, aber immer noch konservative Schätzung verwendet wurde. Die Schilddrüsen-Äquivalentdosen entsprechen denjenigen in der Sicherheitsakte gemäß der Analyse für neue Anlagen der Klasse 1. Das Kriterium der Schilddrüsen-Äquivalentdosis wurde bei den beiden Auslegungstörfällen überschritten. Folglich kann in beiden Unfallszenarien in den Richtlinien für Gegenmaßnahmen (K. E. föderaler nuklearer und radiologischer Notfallplan) die Einnahme von stabilem Jod zum Schutz der Schilddrüse für alle Altersgruppen mit Ausnahme nicht schwangerer Erwachsener empfohlen werden (10 mSv-Kriterium der Schilddrüsen-Äquivalentdosis). Daher wird bei dieser Maßnahme Schutz empfohlen, auch wenn das Kriterium dafür (effektive Dosis von 5 mSv in 24 Stunden) nicht überschritten wird.

Unter den sehr konservativen Annahmen (einschließlich Regen während der Entladung), die in der Tractebel-Analyse getroffen wurden, werden die maximalen Depositionswerte der gesamten Jod-Isotope die abgeleiteten Orientierungswerte für die Nahrungskette (siehe

Tabelle 17) in beiden Unfallszenarien deutlich überschreiten (etwa 220.000 Bq/m² I-131 beim LOCA-Unfall und etwa 925.000 Bq/m² I-131 beim FHA-Unfall). In diesen Szenarien könnten daher Gegenmaßnahmen für die Nahrungskette erforderlich sein. Aufgrund der relativ kurzen Halbwertszeit der wichtigsten Jodisotope (8,02 Tage für I-131) werden die Auswirkungen jedoch immer zeitlich begrenzt sein. Bei den Aerosolen (nur für LOCA, nicht eingeleitet beim FHA), einschließlich des langlebigen Cs-137 (Halbwertszeit 30,05 Jahre), werden die Depositionswerte den abgeleiteten Wert für die Auswirkungen auf die Nahrungskette nicht überschreiten (die maximale Deposition von Cs-137 beträgt nur etwa 9 Bq/m²).

Die lebenslange effektive Dosis (Lifetime Effective Dose) durch abgelagerte Radioaktivität im Boden und durch den Verzehr von Lebensmitteln ab einem Jahr nach dem Unfall liegt in der Größenordnung von bis zu 5 mSv⁸² für alle Altersgruppen (Erwachsene bis 50 Jahre, Jugendliche und Kinder bis 70 Jahre) und damit deutlich unter dem Kriterium von 1 Sv für beide Unfallszenarien.

4.2.2 Auslegungsüberschreitender Unfall

Die radiologischen Auswirkungen des auslegungsüberschreitenden Unfalls für Doel 4, d. h. eines Complete Station Blackouts (CSBO), wurden auf der Grundlage der von Tractebel durchgeführten Analyse gemäß den FANK-/Bel-V-Leitlinien 2017 für neue Anlagen der Klasse 1 bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 59 aufgeführt.

Tabelle 59: Effektive Dosis und Schilddrüsen-Äquivalentdosis an der Standortgrenze des KKW Doel aufgrund des Auftretens eines CSBO für Doel 4.

Doel 4 CSBO		
	Dosis	Genehmigungsgrenze
Effektive Dosis	8,89 mSv	keine
Schilddrüsen-Äquivalentdosis	0,24 mSv	keine

⁸²Wir unterscheiden uns hier von den Ergebnissen des Tractebel-Papiers, weil wir in die gesamte effektive Lebenszeitdosis die Dosis externer Strahlung aufgrund von Bodenkontamination (hauptsächlich Jodkontamination) im ersten Jahr nach dem Unfall einbeziehen.

Die effektive Dosis ergibt sich fast ausschließlich aus der direkten Strahlenbelastung durch die vorbeiziehende radioaktive Wolke aufgrund der verschiedenen kontrollierten Entlüftungen durch das Containment Filter Venting System (in 65 Metern Höhe). Durch dieses Filtersystem (CFVS) werden fast ausschließlich Edelgase an die Atmosphäre abgegeben, andere Gruppen von Radionukliden werden weitgehend zurückgehalten. Auch aus dem Sicherheitsbehälter (in typischer Höhe von 30 Metern) treten nur begrenzt Lecks aus. Folglich ist die Menge des freigesetzten Jods begrenzt, was zu einer begrenzten Schilddrüsen-Äquivalentdosis und begrenzten Kontaminationswerten führt. Für Auslegungstörfälle sind in der Genehmigung keine Grenzwerte festgelegt. Ein Schutzraum könnte in diesem Fall eine wirksame Gegenmaßnahme sein und würde die Dosis weiter reduzieren (der im belgischen nuklearen Notfallplan festgelegte Richtwert für den Schutzraum beträgt 5 mSv, siehe Abschnitt 9.2.1). Die für die kritische Person berechnete Schilddrüsen-Äquivalentdosis liegt unter dem Richtwert für die stabile Jodtabletteneinnahme (10 mSv für Kinder und schwangere Frauen).

Eine begrenzte Kontamination mit Jodisotopen kann nicht ausgeschlossen werden, die sich möglicherweise auf die Nahrungskette auswirkt (Deposition von mehr als 4000 Bq/m²), die jedoch aufgrund des radioaktiven Zerfalls nur von kurzer Dauer sein wird. Nach einem Jahr (nächste Ernte) werden keine Auswirkungen auf die Nahrungskette erwartet.

4.2.3 Auswirkung der erwogenen Unfälle auf die biologische Vielfalt

Die in Vandenhove et al, 2013⁸³ diskutierten Referenzorganismen für Routineeinleitungen wurden auch zur Berechnung der Auswirkungen von Unbeabsichtigten Einleitungen auf die Umwelt aufgrund eines LOCA und eines FHA-Unfalls verwendet. Zu den Referenzorganismen, die für die Ökosysteme rund um Doel repräsentativ sind, gehören eine Amphibie, ein Reptil, ein fliegendes Insekt, ein Maulwurf, ein Kaninchen, eine Maus, Vögel, Moos, Gras, ein Baum, eine Fledermaus und ein Dachs. Die Berechnungen der Auswirkungen wurden mit dem Umweltbewertungstool ERICA durchgeführt, das den radioaktiven Zerfall von Radionukliden berücksichtigt. Die Berechnungen berücksichtigen nur die maximale Deposition, nicht die durchschnittliche Deposition, was zu eher konservativen Berechnungen führt, da Flora und Fauna nicht auf den Ort der maximalen Deposition beschränkt sind. Das ERICA-Tool wird auch bei chronischer Exposition eingesetzt, wenn die Konzentrationen über einen langen Zeitraum konstant bleiben. Damit eignet sich das Tool besonders für Routineeinleitungen oder einen bestehenden Zustand. Im Fall von unbeabsichtigten Einleitungen, bei denen hauptsächlich kurzlebige Radionuklide freigesetzt werden, nimmt die im Boden deponierte Radioaktivität mit der Zeit rasch ab und damit auch die Dosisleistung, der Flora und Fauna ausgesetzt sind. Um eine Vorstellung von der chronischen Exposition nach einer unfallbedingten Einleitung zu erhalten, wird die durchschnittliche Dosisleistung für den ersten Monat und das erste Jahr nach dem Unfall berechnet.

Die Berechnungen mit dem Umweltrisiko-Tool zeigen, dass die radiologischen Dosen für Fauna und Flora beim LOCA-Unfall um mehr als den Faktor 17 bis 59 variieren, je nach der Zeit, die nach dem Unfall verstrichen ist (unmittelbar bis ein Jahr nach der maximalen Deposition), wobei die am stärksten exponierten Organismen Säugetiere sind.

Die Dosiswerte für die maximale Deposition reichen von 0,1 bis 1,74 µGy/h (wobei die externe Dosis die interne Dosis dominiert) und liegen alle unter dem Screening-Wert von 10 µGy/h, unterhalb dessen keine schädlichen Auswirkungen auf Fauna und Flora zu beobachten sind. Die durchschnittliche Dosisleistung im ersten Monat nach dem Unfall ist vernachlässigbar, d. h. sie liegt unter 4,5E-02 µGy/h und sinkt im Laufe eines Jahres weiter auf weniger als 5E-03 µGy/h. Auf der Grundlage dieser Dosisleistungen können wir daher zu dem Schluss kommen, dass es keine chronische Exposition gegenüber Radioaktivität gibt und somit die schädlichen Auswirkungen der Exposition von Fauna und Flora gegenüber der eingeleiteten unfallbedingten Radioaktivität zu vernachlässigen sind.

⁸³ Vandehove H., Sweeck I., Vives i Batlle, Wannijn J., Van Hees M., Camps J., Olyslaegers G., Miliche C., Lance B., 2013. Vandenhove et al. (2013) Predicting the environmental risks of radioactive discharges from Belgian nuclear power plants. Journal of environmental radioactivity, 126, 61-76.

Die radiologischen Dosen für Fauna und Flora für den FHA liegen zwischen 19 und 159 $\mu\text{Gy/h}$ für die maximale Deposition, wobei die am stärksten exponierten Organismen detritivore wirbellose Gliederfüßer, Ringelwürmer, kleine Säugetiere und Mäuse sind. Die Exposition ist höher als im LOCA-Fall. Bei dem FHA-Unfall werden jedoch nur kurzlebige Jodisotope freigesetzt, insbesondere ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I und ^{135}I , von denen ^{131}I die größte Halbwertszeit - 8 Tage - hat. Die Halbwertszeiten der anderen Jodisotope reichen von 2 (^{132}I) bis 20 Stunden (^{133}I). Die Radionuklide, die am meisten zur Dosis beitragen, sind ^{131}I und ^{133}I (in absteigender Reihenfolge), wobei die externe Dosis die interne Dosis dominiert. Die Tatsache, dass diese Jodisotope den größten Beitrag leisten, erklärt sich durch ihre längere Halbwertszeit, d. h. sie verbleiben länger in der Umwelt als ^{132}I und ^{135}I . Die Dosisleistungen nehmen jedoch mit der Zeit ab. Über einen Monat schwankt die durchschnittliche Dosisleistung zwischen 9 und 46 $\mu\text{Gy/h}$ und liegt nur bei Gras unter dem Schwellenwert von 10 $\mu\text{Gy/h}$. Über ein Jahr liegen die durchschnittlichen Dosisleistungen zwischen 0,9 und 4,2 $\mu\text{Gy/h}$ und damit für alle Referenzorganismen unter dem Grenzwert.

So beträgt die Dosisleistung für eine Reihe von Organismen mehr als 10 $\mu\text{Gy/h}$, wenn sie im ersten Monat nach dem Unfall exponiert werden. In diesem konkreten Szenario besteht der nächste logische Schritt darin, die Dosisleistungen direkt mit den von der ICRP abgeleiteten Referenzwerten (DCRL) für Referenztiere und -pflanzen zu vergleichen, unterhalb derer nach den besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen das Auftreten schädlicher Wirkungen unwahrscheinlich ist. Jeder DCRL-Wert stellt einen Bereich von Dosisleistungen für jeden Referenzorganismus dar, innerhalb dessen eine gewisse Wahrscheinlichkeit des Auftretens schädlicher Wirkungen besteht.

Aus der ICRP-Veröffentlichung 108 (ICRP, 2008) geht hervor, dass der untere Bereich der DCRL-Werte für Rehe, Ratten, Kiefern und Enten bei 0,1 mGy/d (4 $\mu\text{Gy/h}$) liegt. Für Gräser und Frösche liegt der niedrige Grenzwert bei 1 mGy/d (40 $\mu\text{Gy/h}$). Für Regenwürmer und Bienen liegt der untere Bereich der DCRL bei 10 mGy/d (400 $\mu\text{Gy/h}$). Die berechneten Dosen überschreiten diese niedrigeren Werte für eine Reihe von Referenzorganismen, wobei der wichtigste Fall die detritivoren wirbellosen Arthropoden sind. Man kann zwar nicht sagen, dass bei einem solchen Unfall keinerlei Risiko für die Tier- und Pflanzenpopulationen besteht, aber es ist klar, dass einige Pflanzen und Tiere widerstandsfähiger sind als andere, insbesondere auf Populationsebene. Wir kommen zu dem Schluss, dass eine Überschreitung des Schwellenwerts von 10 $\mu\text{Gy/h}$ zu einer Reihe von negativen Auswirkungen wie verminderter Reproduktion und erhöhter Morbidität führen kann. In diesem besonderen Szenario liegt die durchschnittliche 1-Jahres-Dosisleistung für alle Organismen unter dem Schwellenwert von 10 $\mu\text{Gy/h}$. Es liegt also keine langfristige chronische Exposition vor. Wir können daher zu dem Schluss kommen, dass die schädlichen Auswirkungen der Exposition von Fauna und Flora gegenüber der eingeleiteten unfallbedingten Radioaktivität sehr gering bis vernachlässigbar sind.

Auch hier ist zu beachten, dass die Berechnungen konservativ sind. Es ist daher durchaus möglich, dass eine überarbeitete Bewertung mit einer Verringerung der Konservativität einiger ihrer Annahmen (wie der Annahme, dass die Fauna an dem Ort mit den höchsten Bodenkonzentrationen vor Ort verbleibt) einige Dosisleistungen weiter reduzieren könnte.

Für den CSBO-Unfall sind auf der Grundlage der eingeleiteten Radionuklide und der Depositionen allenfalls mäßige bis vernachlässigbare schädliche Auswirkungen auf Flora und Fauna zu erwarten.

4.2.4 Diskussion unfallbedingter Einleitungen

Erfolgt keine Verlängerung der Lebensdauer, wird Doel 4 endgültig stillgelegt (DSZ). Um die durch den radioaktiven Zerfall entstehende Wärme abzuführen, müssen die Brennelemente weiterhin gekühlt werden, zunächst mit dem Reaktorkühlkreislauf. Die Reaktoren werden dauerhaft entladen. Die Brennelemente werden in das Brennelementlagerbecken überführt und mit den Kühlkreisläufen dieses Beckens gekühlt. Diese Übergangsphase - die Nachbetriebsphase - bis zum Beginn des Rückbaus wird sowohl bei der Nullvariante (kein Projekt) als auch bei dem Projekt stattfinden. Die Radioaktivität im Kern wird jedoch rasch abnehmen (Zerfall kurzlebiger Radionuklide), sodass weniger Kühlung erforderlich ist, und auch das Inventar an radioaktivem Material, das bei solchen Unfällen freigesetzt werden kann, nimmt mit der Zeit nach der Außerbetriebnahme rasch ab, so dass die Auswirkungen eines Unfalls ebenfalls geringer sind. Es ist klar, dass das Risiko (Risiko = Wahrscheinlichkeit x Auswirkung), das bei einer

Erweiterung bereits gering ist (wegen der geringen Unfallwahrscheinlichkeit und der begrenzten radiologischen Auswirkungen), bei einer Nicht-Erweiterung noch geringer ist, da zumindest die Auswirkungen geringer sind. Das Projekt birgt daher ein begrenztes Unfallrisiko (sowohl Auslegungs- als auch auslegungsüberschreitender Störfall). Für den gesamten Standort des KKW Doel wird das Risiko jedoch abnehmen, da nach dem derzeitigen Zeitplan während der Projektlaufzeit (Zeitraum von 10 Jahren nach 2025) nur Doel 4 für die industrielle Stromerzeugung genutzt werden wird.

4.3 Radioaktive Abfälle aus dem Betrieb

4.3.1 Abfallbehandlung vor Ort

Der Betrieb des Kernkraftwerks (Normalbetrieb) geht mit der Produktion verschiedener Arten von radioaktivem Abfall einher, dessen Volumen durch die Behandlung im Wasser- und Abfallbehandlungsgebäude (WAB) am Standort des KKW Doel so weit wie möglich minimiert wird:

- Brennbare Abfälle

Nach der Volumenreduzierung im WAB wird der brennbare Abfall als nicht konditionierter Abfall zur Verbrennung zu Belgoprocess transportiert. Bei Belgoprocess wird der Abfall durch Verbrennung weiter stark reduziert. Die Restfraktion (Asche), die die gesammelten radioaktiven Stoffe enthält, wird konditioniert.

- Nichtbrennbare Abfälle

Nichtbrennbare oder verdichtbare Abfälle werden in mehrere Abfallströme unterteilt. Unter anderem werden die verschiedenen Metalle von den anderen verschiedenen verdichtbaren Abfällen getrennt, mit dem Ziel, jeden einzelnen Abfallstrom bestmöglich zu reduzieren. In den Anlagen des KKW Doel wird der kompaktierbare Abfall zunächst gepresst (mit einer 16-Tonnen- oder 100-Tonnen-Presse) und anschließend als unkonditionierter Abfall zu Belgoprocess transportiert. Dort wird es in den Anlagen mit einer 2.000-Tonnen-Presse ein zweites Mal gepresst. Der kompaktierte Abfall wird anschließend konditioniert.

- Filter

Um möglichst viele radioaktive Partikel aus der Luft zu entfernen, wird die Luft aus der kontrollierten Zone kontinuierlich durch Vorfilter, Aktivkohlefilter (für Jod) und Absolutfilter gefiltert. Auch die Belüftungsfilter aus diesen Anlagen werden je nach ihren physikalischen Eigenschaften als brennbarer oder verdichtbarer Abfall aufbereitet und als unkonditionierter Abfall zu Belgoprocess transportiert.

Die Flüssigkeitsfilter aus den Kreisläufen des nuklearen Teils der Anlagen werden, wenn möglich, ebenfalls in einer Betonmischung zusammengepresst und konditioniert.

- Flüssige Abfälle

Das Volumen des radioaktiven Flüssigabfalls wird hauptsächlich durch Verdampfung reduziert. Die in der Flüssigkeit vorhandenen radioaktiven Stoffe werden im „Konzentrat“ gesammelt, und der nichtradioaktive Teil der Flüssigkeiten, die Kondensate, können nach vorheriger Kontrolle eingeleitet werden. Das „Konzentrat“ wird in der Konditionierungsanlage von Doel zu konditioniertem Abfall weiterverarbeitet. Nach Annahme⁸⁴ durch die NERAS wird der konditionierte Abfall zur Entsorgung zu Belgoprocess transportiert.

- Harze

⁸⁴ Die Abnahme ist die Gesamtheit der Kontrollen, die von der NERAS durchgeführt werden, um zu prüfen, ob der Abfall die geltenden Abnahmekriterien erfüllt.

Radioaktive Harze aus Ionenaustauschern, die für die Reinigung von Kreisläufen verwendet werden, werden nicht verdichtet, sondern wie das Konzentrat zu konditioniertem Abfall verarbeitet. Die Harze werden mit einer Betonmischung vermischt.

- Schutzkleidung

Die Verwendung von Einweg-Schutzkleidung (radioaktiver Abfall) wird in den nuklearen Teilen der Anlage durch den Einsatz waschbarer Schutzkleidung so weit wie möglich eingeschränkt. Diese wiederverwendbare persönliche Schutzausrüstung (PSA) wird in der Spezialwäscherei des WAB-Gebäudes gereinigt. Das Wäschewasser wird nach Filterung und vorheriger Kontrolle eingeleitet.

4.3.2 Mengen schwach- und mittelradioaktiver Abfälle

Nach der Behandlung der verschiedenen Abfallströme im WAB werden die Betriebsabfälle vom KKW Doel zur weiteren Verarbeitung und/oder Lagerung zu Belgoprocess (BP) transportiert. Eine Übersicht über die Mengen an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen (sowohl konditionierte (GA) als auch unkonditionierte Abfälle (NGA)) und die daraus resultierenden Volumen, die nach der Verarbeitung bei BP entsorgt werden müssen, sind in der zweiten und dritten Spalte von Tabelle 60 dargestellt. Diese Daten wurden auf der Grundlage der Umwelterklärung des KKW Doel zusammengestellt, die jährlich aktualisiert wird^[xxi]. Es wird nicht zwischen Abfällen der Kategorie A und der Kategorie B unterschieden. Es ist zu beachten, dass das Volumen der konditionierten Abfälle (GA) nach der Behandlung bei BP im Jahr 2020 höher ist als in den Vorjahren, da auch zuvor gelagerte Abfälle entsorgt wurden und zusätzliche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Außerdem wurden mehr kompressible Abfälle entsorgt, die einen geringeren Volumenreduktionsfaktor aufweisen als brennbare Abfälle.

Spalte 3 gibt das Volumen GA pro TWh Nettostromerzeugung im KKW Doel im entsprechenden Jahr an, woraus sich ein langfristiger Durchschnitt von **6,11 m³ /TWh an schwach- und mittelaktivem konditioniertem Abfall ergibt**. Unter Berücksichtigung des Anteils des Reaktors Doel 4 an dieser Stromproduktion ergibt sich ein langfristiger Durchschnitt von **45,9 m³ schwach- und mittelradioaktiven konditionierten Abfällen** pro Jahr für Doel 4 (Spalte 5). Hier schwankte der tatsächliche Anteil von Doel 4 an der gesamten Stromerzeugung am Standort im Zeitraum 2011-2020 um 40 %. Dieser Wert ist etwas höher als der auf der Leistung basierende Wert (36 %), da andere Reaktoren (vor allem Doel 3 im Zeitraum 2012-2015) mehrmals längere Zeit abgeschaltet waren.

Tabelle 60: Jährliches Volumen an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen aus dem KKW Doel, die zu Belgoprocess transportiert werden, und die daraus resultierenden zu entsorgenden Mengen nach der dortigen Verarbeitung. GA: konditionierter Abfall; NGA: nicht konditionierter Abfall; NB: Daten nicht verfügbar. Im Jahr 2014 wurde eine Korrektur der Vorjahreswerte vorgenommen; die korrigierten Werte wurden hier übernommen. Ab 2015 wird das Volumen nach einer anderen Methodik berechnet: Die Volumen der unkonditionierten Harze werden ebenfalls berücksichtigt.

	Menge (m ³) an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen, die zu BP transportiert wurden (GA + NGA, KKW Doel)	Volumen (m ³) der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle (GA, KKW Doel)	Volumen der schwach- und mittelradioaktivem Abfall (GA) pro erzeugtem Nettostrom im KKW Doel (m ³ /TWh)	Volumen der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle für Doel 4 (m ³)
2011	NB	196	8,62	68,6
2012	NB	124,7	6,84	53,5
2013	NB	125,9	6,08	51,3
2014	NB	46,8	3,33	16,3
2015	NB	108,2	9,68	75,0
2016	NB	100,5	4,54	39,9

2017	NB	95,1	4,60	34,3
2018	183,9	91,1	7,64	42,2
2019	372	61,9	2,96	24,9
2020	293	132	6,85	53,2
Langjähriger Durchschnitt		108	6,11	45,9

4.3.3 Auswirkungen von LTO und Folgen für die Abfallbehandlung

Auf der Grundlage von Tabelle 60 wird erwartet, dass der Aufschub der Abschaltung des Kernreaktors Doel 4 eine zusätzliche Menge an schwach- und mittelradioaktivem Abfall von etwa **460 m³** für einen Produktionszeitraum von 10 Jahren verursachen wird. Diese Schätzung ist recht konservativ, da ein breiter Zeitraum (2011-2020) zugrunde gelegt wurde, der auch Jahre mit höherem Abfallaufkommen umfasst. Unter der Annahme, dass die Auswirkungen der LTO-Vorbereitungsarbeiten in Bezug auf das Aufkommen radioaktiver Abfälle relativ begrenzt sind, kann diese Schätzung als repräsentativ für beide Zeiträume/Aspekte - LTO-Vorbereitungsarbeiten und LTO-Betrieb - angesehen werden. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A und nur in begrenztem Umfang um Abfälle der Kategorie B, möglicherweise einschließlich bestimmter Harze und Filter. Verglichen mit den ~50.000 m³ Abfällen der Kategorie A, die derzeit als Quell-Term in der Sicherheitsakte für die oberflächennahe Endlagerung^{boxii} enthalten sind, stellt dies eine geringfügige Erhöhung dar (<1 %).

Geht man davon aus, dass die zusätzliche Menge der Abfälle der Kategorie B vernachlässigbar ist, entspricht das zusätzliche Abfallvolumen etwa **287 Monolithblöcken** oder **0,31 Modulen** im Endlager für Abfälle der Kategorie A. Die (volumetrische) Kapazität des Endlagers beträgt 34 Module^{boxiii} basierend auf:

- Schätzungen aus 2013 für bestehende und künftige Abfallmengen der Kategorie A (d. h. ohne Berücksichtigung einer möglichen LTO der Reaktorblöcke in Doel und Tihange): 28,6 Module;
- einer Reserve von ~20 % (5,4 Module), wovon die Entscheidung, den Betrieb von Doel 4 zu verlängern (neben anderen bereits getroffenen Entscheidungen) also 0,31 Module oder ~5,7 % verbraucht.

Es wird davon ausgegangen, dass diese Abfälle die von NERAS festgelegten Annahmekriterien erfüllen, die unter anderem die Konformitätskriterien aus dem Sicherheitsbericht berücksichtigen. Letztere betreffen radiologische Kriterien (Spaltstoff- und Kritikalitätskriterien sowie Begrenzungen der Aktivitätskonzentration auf Radionuklidebene) und einige physikalisch-chemische Anforderungen. Da es sich um die Erweiterung einer bestehenden Tätigkeit handelt, werden keine (zusätzlichen) Auswirkungen auf die (kurz- und langfristige) Sicherheit der Endlageranlage für Abfälle der Kategorie A erwartet, abgesehen von den Auswirkungen, die ohnehin mit der Errichtung dieser Endlageranlage verbunden sind.

4.4 Abgebrannte Brennelemente

Im Kernkraftwerk wird Strom durch die Energie erzeugt, die durch die Spaltung des in den Brennelementen enthaltenen Uran-235 freigesetzt wird. Nach drei bis vier Jahren im Reaktorkern ist ein Brennelement erschöpft, d. h. die gesamte nutzbare Energie ist aufgebraucht. Diese angereicherten Brennstoffkassetten werden unter Wasser abgekühlt (mindestens 2 Jahre lang) und dann in das Lagergebäude für abgebrannte Brennelemente (SCG oder SF²) gebracht, wo sie trocken in Behältern des Typs Dual Purpose Cask (DPC) gelagert werden. Diese Art der Verpackung wird seit Ende der 1970er Jahre verwendet und arbeitet mit einem passiven Kühlsystem. Im Fall des Kernkraftwerks Doel sind die Verpackungen mit einem Primärdeckels und einem Raketenschutz ausgestattet. Widerstandstests haben gezeigt, dass die extremen Naturphänomene (Erdbeben oder Überschwemmungen), die in Belgien auftreten könnten, die Sicherheit der Lagereinrichtungen nicht gefährden können.

4.4.1 Mengen

Die Menge des in einem Kernkraftwerk anfallenden hochradioaktiven Abfalls hängt sehr stark von der erzeugten Strommenge und dem Nachladezyklus des Blocks ab. Tabelle 61 zeigt die Anzahl der Brennstoffkassetten, die jedes Jahr in den verschiedenen Reaktorblöcken dauerhaft entladen wurden, basierend auf Daten in der Umwelterklärung des KKW Doel^{lxvi}. Die gleichen Informationen sind in Tabelle 62 dargestellt, ausgedrückt in tSM (Tonnen Schwermetall).

Tabelle 61: Anzahl der dauerhaft entladenen Brennelemente in den verschiedenen Reaktorblöcken des KKW Doel.

	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	KKW Doel insgesamt
2011	32	28	44	52	156
2012	32	32	44	60	168
2013	0	32	0	0	32
2014	36	28	0	56	120
2015	60	0	44	52	156
2016	28	40	40	0	108
2017	28	32	0	60	120
2018	0	28	40	56	124
2019	24	28	40	0	92
2020	24	28	44	52	148
Langjähriger Durchschnitt				39	122

Tabelle 62: Anzahl der Tonnen Kernbrennstoff (tSM oder Tonne Schwermetall), die in den verschiedenen Reaktorblöcken des KKW Doel endgültig entsorgt wurden.

	Doel 1	Doel 2	Doel 3	Doel 4	KKW Doel insgesamt
2011	8,6	7,5	20,2	28,1	64,5
2012	8,6	8,6	20,2	32,5	69,9
2013	0,0	8,6	0,0	0,0	8,6
2014	9,7	7,5	0,0	30,3	47,5
2015	16,1	0,0	20,2	28,1	64,5
2016	7,5	10,8	18,4	0,0	36,7
2017	7,5	8,6	0,0	32,5	48,6
2018	0,0	7,5	18,4	30,3	56,2
2019	6,5	7,5	18,4	0,0	32,4
2020	6,5	7,5	20,2	28,1	62,4
Langjähriger Durchschnitt				21,0	49,1

Die obigen Tabellen zeigen, dass die Jahresproduktion im Block Doel 4 im Durchschnitt 39 Brennstoffkassetten bzw. 21,0 tSM Brennstoff beträgt.

4.4.2 Auswirkungen von LTO und Folgen für die Abfallbehandlung

Auf der Grundlage der obigen Tabellen kann davon ausgegangen werden, dass die 10-jährige Verlängerung des Betriebs von Doel 4 eine zusätzliche Menge von etwa **390 abgebrannten Brennstoffkassetten** erzeugen wird. Dies entspricht einem **Anstieg von 3,5 %** gegenüber dem gesamten belgischen Kernbrennstoffbestand im Falle einer endgültigen Abschaltung. Es handelt sich hier um UOX-14ft-Brennelemente mit einer anfänglichen U-Masse von 0,541 tSM/Brennelement, die sich in ihren Eigenschaften nicht von den bereits in Doel 4 produzierten Brennelementen unterscheiden dürften.

Lagerung

Im KKW Doel werden die Brennstoffkassetten in Behältern im SCG (Gebäude für Brennstoffcontainer) und ab 2025 auch im SFB-Gebäude des SF²-Lagers trocken zwischengelagert (siehe Abschnitt 2.3.7.3). Die Deaktivierungsbecken dienen als Puffer, in dem die Brennstoffbündel abkühlen können. Ausführlichere Informationen über das SF²-Projekt finden sich im entsprechenden UVP-Bericht^{lii}. Durch die Verschiebung der Abschaltung von Doel 4 wird die Abschaltung der vier Blöcke, die sonst in wenigen Jahren erfolgen würde, gleichmäßiger verteilt.

Die IAEA hat ein internationales Forschungsprogramm^{lxiv} (Projekt SPAR: Spent Fuel Performance and Research Program, 1997-2001) über das Verhalten von bestrahltem Kernbrennstoff und der für seine langfristige (100 Jahre und mehr) Lagerung verwendeten Materialien durchgeführt. Auf der Grundlage der durchgeführten Programme konnten eine Reihe von Abbaumechanismen für Brennelemente aufgedeckt werden. Nach einer detaillierten Analyse wurde festgestellt, dass es unwahrscheinlich ist, dass diese Mechanismen die Integrität der Elemente auf lange Sicht beeinträchtigen. Das langfristige Ziel, die Integrität der abgebrannten Brennelemente zu erhalten, besteht darin, alle Optionen für die Bewirtschaftung dieser Brennelemente offen zu halten.

Endlagerung

Für diese Brennelemente muss eine langfristige Entsorgungslösung gefunden werden, die auf eine geologische Endlagerung hinausläuft, wenn das spaltbare Material als Abfall eingestuft wird (siehe Abschnitt 2.3.7.4). Davon ausgehend, dass die Entsorgung in schwach verfestigtem Ton mit Supercontainern als Primärverpackung erfolgt, würde der oben genannte Mehrverbrauch **98 zusätzlichen Supercontainern** (Typ SC-4) und einer zusätzlich benötigten Stollenlänge von ca. 600 m entsprechen.

Die Auswirkungen eines solchen Endlagerungssystems auf die Langzeitsicherheit werden begrenzt sein. Langfristige Sicherheitsbewertungen von Endlagersystemen sind komplexe Analysen, bei denen Abschätzungen der radiologischen Auswirkungen oder des Risikos anhand von Szenarien vorgenommen werden, bei denen erwartete, mögliche oder hypothetische Ereignisse die Leistung in Bezug auf den Einschluss und die Isolierung⁸⁵ der SSCs⁸⁶ bestimmen. Die Auswirkungen bzw. das Risiko sind auf sehr kleine Fraktionen von Radionukliden zurückzuführen, die über einen sehr langen Zeitraum (mehrere zehntausend bis hunderttausend Jahre) aus dem Endlagersystem ins Grundwasser gelangen könnten. Die Verwendung dieses Wassers für eine Vielzahl von Anwendungen (z. B. Trinkwasser, Tränken von Vieh, Bewässerung von Kulturen) könnte dann zu einer potenziellen radiologischen Bestrahlung führen. Eine zusätzliche Menge an zu entsorgenden abgebrannten Brennelementen führt nicht zu einem entsprechenden Anstieg der geschätzten Dosis oder des Risikos, da lokale Spitzenkonzentrationen im Biosphärenrezeptor berücksichtigt werden und diese Konzentrationen hauptsächlich von anderen Faktoren abhängen: Endlagerkonfiguration, Freisetzungsrates der Abfälle, Migrationsrate - hauptsächlich durch Diffusion - durch künstliche und natürliche Barrieren, Wasserflussrate in den umliegenden wasserführenden Schichten und Geschwindigkeit des radioaktiven Zerfalls.

4.5 Rückbau

⁸⁵ Der Einschluss der Radionuklide und die Isolierung der Abfälle sind Sicherheitsfunktionen, die das Endlagerungssystem erfüllen muss, um die Langzeitsicherheit zu gewährleisten.

⁸⁶ Strukturen, Systeme und Komponenten im Sinne von Artikel 1, 9° des KE VVKI: alle Elemente einer Anlage oder Aktivität - mit Ausnahme des menschlichen Faktors - die zum Schutz und zur nuklearen Sicherheit beitragen.

Radioaktives Material, das beim Rückbau von Kernkraftwerken freigesetzt wird, wird nach strengen Standards so weit wie möglich behandelt und dekontaminiert, so dass die Menge an radioaktivem Abfall minimiert wird. Der überwiegende Teil (nach Schätzungen der Electrabel AG 98 %) ist nichtradioaktiver oder konventioneller Abfall, der so weit wie möglich recycelt werden soll. Die verbleibenden 2 % bestehen daher hauptsächlich aus Abfällen der Kategorie A, die an den Standorten konditioniert und in Monolithblöcke verpackt werden, bevor sie an NERAS zur oberflächennahen Endlagerung übergeben werden. Komponenten des Reaktors, der Reaktor selbst und die Betonummantelung werden wahrscheinlich größtenteils als Abfälle der Kategorie B in eigens dafür vorgesehenen Behältern bis zur Endlagerung in der Tiefe in ein Zwischenlager an den Standorten (SF²) verbracht^{lxxxv}.

Ein Teil des radioaktiven Abfalls ist auf die Neutronenaktivierung von großen (Struktur-)Komponenten zurückzuführen. Diese Aktivierung erfolgt während des Betriebs des Reaktors und wird in der Regel durch Berechnungen geschätzt, wie sie im nächsten Abschnitt beschrieben werden. Materialien, die sich in der Nähe der Neutronenquelle (z. B. im Mittelteil des Reaktorbehälters) befinden, werden stärker aktiviert als weiter entfernte Materialien. Die Abfallklassifizierung (Kategorie A oder B) basiert auf der Radioaktivitätskonzentration der sicherheitsrelevanten Radionuklide und hängt daher vom Neutronenfluss während des Reaktorbetriebs und der Bestrahlungsdauer ab. Eine längere Belastung mit Neutronen könnte also möglicherweise zu einer Verschiebung der Übergangszone von Kategorie A zu Kategorie B führen, wodurch sich das Volumen der Abfälle der Kategorie B erhöhen würde (siehe Schema in Abbildung 75). Derzeit gibt es nur wenige oder gar keine Messdaten, um diese Berechnungen zu validieren⁸⁷.

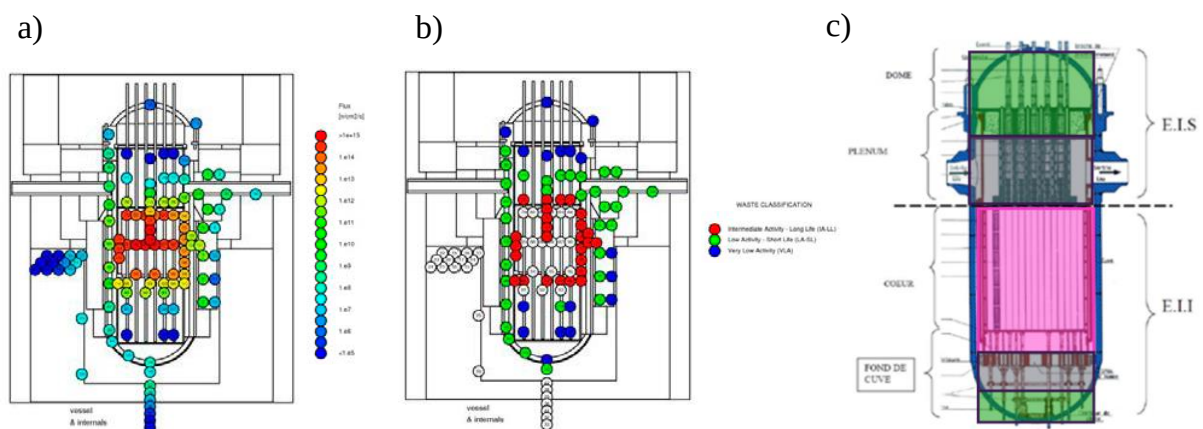


Abbildung 75: Schematische Darstellung (a) des simulierten Neutronenflusses in einem Reaktorbehälter, (b) der daraus abgeleiteten Abfallklassifizierung und (c) Angabe der Übergangszone (in grau) für die a priori-Einstufung in die Abfallkategorie A (grün) oder B (violett). (a) und (b) entnommen aus. ^{lxxxvi}

Um den Effekt einer Verschiebung der Abschaltung um 10 Jahre quantitativ abschätzen zu können, wurde eine Berechnung der Aktivierung an verschiedenen Orten im Reaktorbehälter von Doel 4 mithilfe des Aktivierungs-codes ALEPH2 durchgeführt^{lxxxvii}.

4.5.1 Eingabedaten

Für die Berechnungen werden Daten über *i)* den Neutronenfluss, *ii)* das Neutronenspektrum, *iii)* die Bestrahlungsgeschichte und *iv)* die Materialzusammensetzung benötigt.

⁸⁷Ein Beispiel für die Validierung von Berechnungen der Neutronenaktivierung findet sich in Anhang IV des IAEA SRS-95^{lxxxvi}, in dem EDF-CIDEN Berechnungen und Messungen von Aktivierungsprodukten im Reaktorbehälter von Chooz A vergleicht.

- i) Es wurde ein konstanter energieintegrierter Neutronenfluss von $1,4 \times 10^{11}$ [n/cm²s] verwendet, der auf der maximalen Auslegungsfluenz des Reaktorbehälters von Doel 4 und Tihange 3 basiert und den Durchschnittswerten auf der Ebene der Überwachungskapseln⁸⁸ nach 40 Betriebsjahren entspricht.
- ii) Da die tatsächlichen Spektren von Doel 4 und Tihange 3 nicht vorliegen, wurde ein typisches normalisiertes Neutronenspektrum für thermische Leichtwasserreaktoren^{boxviii} verwendet, „PWR-RPV“ in Abbildung 76. Da dieses Spektrum einen signifikanten Beitrag von Spaltneutronen (mit höherer Energie) aufweist, wird angenommen, dass es für das Innere des Reaktorbehälters repräsentativ ist. Um die Empfindlichkeit gegenüber der Form des Spektrums zu bewerten, wurde auch ein anderes Spektrum „BR1 Y3“ betrachtet, das für den Kanal Y3 im BR1-Reaktor des SCK CEN berechnet wurde und für das der Standort eher repräsentativ für die Außenseite des Reaktorbehälters ist.

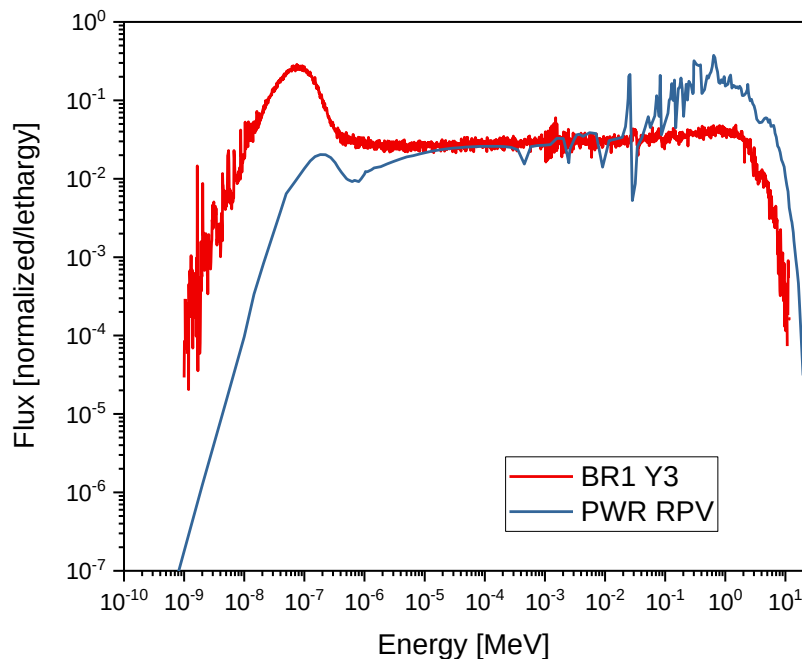


Abbildung 76: Normalisiertes Neutronenspektrum pro Einheit Lethargie.

- iii) Für die Berechnung der Aktivierung wurde zum einen der tatsächliche Bestrahlungsverlauf von Doel 4^{boxix} mit Daten von 1985 bis 2021 herangezogen. Dieser Verlauf besteht aus abwechselnden Perioden der Bestrahlung (unter der Annahme voller Leistung) und Perioden der Abschaltung, in denen der Zerfall der produzierten Radionuklide stattfinden kann. Auf dieser Grundlage wurde für Doel 4 ein durchschnittlicher jährlicher Auslastungsgrad von 85 % geschätzt, der für den LTO-Zeitraum extrapoliert wurde. Ab 2022 berücksichtigt das Modell also jährliche Zyklen von 310 Tagen Bestrahlung und 55 Tagen Zerfall. Andererseits wird auch eine kontinuierliche Bestrahlung ohne Abschaltzeiten verwendet, um konservative Schätzungen der Aktivität zu erhalten.
- iv) Die Materialzusammensetzung beruht auf Daten, die für die Überwachungskapseln^{boxxx} bereitgestellt und die für den Kernmantel, den Übergangsring und die Schweißnaht des Reaktorbehälters von Doel 4 angegeben wurden. Die chemische Zusammensetzung der wichtigsten Elemente (außer Eisen) ist in Tabelle 63 angegeben.

⁸⁸ Überwachungskapseln (Surveillance Capsules) sind kleine Stahlroben mit der gleichen Materialzusammensetzung wie der Reaktorbehälter, die etwas näher am Kern platziert werden, sodass sie einem etwas höheren Neutronenfluss ausgesetzt sind als der Behälterstahl. Die konservative Analyse dieser Proben gibt Aufschluss über Materialalterungsprozesse.

Tabelle 63: Zusammensetzung der Hauptelemente von Teilen des Reaktorbehälters von Doel 4 (in Gewichtsprozent).

Block	Material	C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	V
Doel 4	Kernmantel	0,20	0,0075	0,007	0,275	1,4	0,74	-	0,05	0,51	<0,01
	Übergangsring	0,215	0,005	0,007	0,285	1,46	0,77	-	0,04	0,49	<0,01
	Schweißnaht	0,062	0,006	0,015	0,15	1,11	0,8	0,075	0,093	0,480	0,019

Diese Elemente bestimmen das thermochemische Verhalten des Stahls. In den Erzen und während des Produktionsprozesses können jedoch Spurenelemente (oder Verunreinigungen) vorhanden sein, die im endgültigen Stahl enthalten sein werden. Diese Elemente haben keinen Einfluss auf das Verhalten des Stahls, können aber im Hinblick auf eine sichere langfristige Entsorgung von Bedeutung sein. Da keine Informationen über die Menge der Spurenelemente in den Reaktorbehältern von Doel 1 und 2 vorliegen, wurde die internationale Richtlinie NUREG-3474^{boxi} zugrunde gelegt.

4.5.2 Resultate

Da für alle Berechnungen in dieser Studie ein konstanter Neutronenfluss von $1,4 \times 10^{11}$ [n/cm²s] verwendet wurde und der Gesamtfluss für den Reaktorbehälter von Tihange 3 aufgrund des angenommenen höheren Belastungsfaktors höher ist, werden die Ergebnisse der Aktivierungsberechnungen für Tihange 3 als Beispiel für Doel 4 dienen. Für eine Diskussion der Ergebnisse wird daher auf Abschnitt 7.5.2 verwiesen.

4.5.3 Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerungen bezüglich der Aktivierungsberechnungen sind analog zu denen, die für Tihange 3 durchgeführt wurden, siehe Abschnitt 7.5.3.

4.6 Grenzüberschreitende Auswirkungen

4.6.1 Normalbetrieb

Die Grenze zu den Niederlanden befindet sich in der kürzesten Entfernung etwa 3,15 km vom Standort des KKW Doel. In Anbetracht der vernachlässigbaren und nicht beobachtbaren radiologischen Auswirkungen (Größenordnung 0,02 mSv/Jahr durch gasförmige und flüssige Einleitungen und möglicherweise begrenzte Dosis durch direkte Strahlung, jedoch im Rahmen lokaler Schwankungen der natürlichen Strahlung) beim Betrieb aller Blöcke des KKW Doel für die am stärksten exponierte Person auf belgischem Hoheitsgebiet direkt außerhalb des Standorts des KKW Doel und der Tatsache, dass die Auswirkungen mit der Entfernung nur abnehmen (Verdünnung für Einleitungen und inverses Quadratgesetz für jegliche Direktstrahlung, die vom KKW Doel ausgeht), kann festgestellt werden, dass es beim normalen Betrieb des KKW Doel keine grenzüberschreitenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt gibt, d. h. auch dann nicht, wenn Doel 4 noch 10 Jahre weiter betrieben wird.

4.6.2 Unfälle

Zur Bewertung der grenzüberschreitenden Auswirkungen unter den beiden übergreifenden Auslegungstörfallszenarien (LOCA und FHA) und dem auslegungsüberschreitenden Störfallszenario verwenden wir einerseits die Tractebel-Berechnungen, die der Methodik auf der Grundlage der neuen FANK/Bel-V-Richtlinien für neue Anlagen der Klasse 1 für die Auswirkungen auf die Niederlande folgen (angesichts der geringen Entfernung ist die zu diesem Zweck verwendete atmosphärische Modellierung angemessen), und andererseits für die anderen Nachbarländer in größerer Entfernung die Flexpart-Methodik, die beide im Abschnitt zur Methodik in Abschnitt 2.3.4 erläutert werden.

Beide Methoden führen eine konservative Schätzung für kritische Personen durch. Daher haben wir für die Flexpart-Berechnungen den Quell-Term für den LOCA (Dauer 720 Stunden) konservativ als 6-stündige Einleitung betrachtet (dies ergibt eine geringere Dispersion), für die FHA 2 Stunden (tatsächliche Dauer der Einleitung) und für den CSBO ebenfalls 6 Stunden (Einleitung während mehrerer Entlüftungen und kontinuierliche Einleitung über 10 Tage). Wir betrachten in der Flexpart-Berechnung auch das gesamte Jod in der elementaren Form (I₂).

Die in diesen Szenarien angenommenen Einleitungen in die Umgebung sind in Tabelle 64 aufgeführt.

Tabelle 64: Abgeleitete Aktivität der verschiedenen Gruppen von Radionukliden, die für die Auswirkungen wichtig sind.

	Auslegungsbasiszenarien		Auslegungsüberschreitenden Störfallszenario
	LOCA	FHA	CSBO
Edelgase	2,5 PBq	8,89 PBq	13,7 PBq
Jod	64,5 TBq (74.4 % I-131)	7,23 TBq (43 % I-131)	0.49 TBq (14.6 % I-131)
Aerosole (Cs-137 + Cs-134)*	1,88 GBq	-	58.3 GBq

* Cs-134 gilt nur für CSBO-Unfälle

Die berechneten radiologischen Auswirkungen, insbesondere die effektive Gesamtdosis und die Schilddrüsen-Äquivalentdosis, sind in Tabelle 65 aufgeführt. Diese wurden für die Niederlande in einer Entfernung von etwa 3 Kilometern vom Standort Doel nach den neuen FANK/Bel-V-Richtlinien (Tractebel-Studien⁸⁹, geeignet für kurze Entfernungen), für die anderen Länder (und die Ablagerung Niederlande) mit der Flexpart-Methode (größere Entfernungen: siehe Methodik Abschnitt 2.3.4.3) ermittelt. Beide Methoden verwenden denselben Gesamt-Quell-Term. Bei der Flexpart-Methode werden die maximalen Luftkonzentrationen und Depositionswerte in den betreffenden Ländern verwendet, die für eine Reihe von Simulationen mit stündlichem Beginn der Einleitung eines ganzen Jahres (meteorologische Daten ECMWF 2020 —) für die betrachtete Dauer der Einleitung (6 Stunden oder 2 Stunden, je nach Szenario) und die betrachteten Gruppen von Radionukliden ermittelt wurden. Auch die Höchstwerte auf See wurden ermittelt. Auf der Grundlage dieser Luftkonzentrationen und Depositionen wurden dann die effektive Gesamtdosis, die Schilddrüsen-Äquivalentdosis und die Depositionswerte für die verschiedenen Altersgruppen ermittelt. Bei den Dosen wurde der Höchstwert über alle Altersgruppen hinweg tabellarisch erfasst (kritische Person).

Tabelle 65: Effektive Gesamtdosis (TED), Schilddrüsen-Äquivalentdosis (beide für kritische Personen) und maximale Deposition von I-131 für die verschiedenen Nachbarländer und für die verschiedenen betrachteten Unfallszenarien, ermittelt mit der Flexpart-Methode. Für die Niederlande wurden zwei Werte angegeben. Der erste Wert wurde mit der Methode der lokalen Auswirkungen ermittelt, der Wert in Klammern mit der Flexpart-Methode (siehe Text). Für die Bewertung verwenden wir daher für die Niederlande die lokale Methode (für die Dosen) und für die anderen Länder die Flexpart-Methode.

Doel 4	LOCA			FHA			CSBO		
	TED (mSv)	Schilddrüsendosis (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)	TED (mSv)	Schilddrüsendosis (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)	TED (mSv)	Schilddrüsendosis (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)

⁸⁹ LTO D4 - ELP - KCD4 - Radiological consequences of a Loss of Coolant Accident and a Fuel Handling Accident" CNT-KCD/4NT/29657/000/01, Tractebel Engineering, 2023 & DEC B: RC-1.5 - D4 - Radiological consequences off-site – Assessments DEC/4NT/0606802/150/04, Tractebel engineering, 2022

Niederlande	0,22 (0,55)	4,05 (16.0)	(3.4 10 ⁵)	0,44 (0,14)	4,79 (1,46)	(33202)	0,44 (12,5)	0,011 (0,51)	(5980)
Deutschland	0,01	0,26	8400	0,01	0,04	992	0,99	0,009	190
Luxemburg	0,00	0,05	4970	0,00	0,01	380	0,12	0,002	61
Frankreich	0,03	0,90	12700	0,02	0,15	1600	1,11	0,032	289
Vereinigtes Königreich	0,01	0,29	5330	0,01	0,03	410	0,56	0,009	70
Meer	0,37	10.62	-	0,10	1,03	-	8,57	0,340	-

Wir stellen fest, dass die Dosen in den Niederlanden aufgrund ihrer Nähe am höchsten sind, aber unter den typischen Richtwerten für sofortige Gegenmaßnahmen wie Schutzmaßnahmen oder die Einnahme von Jodtabletten, um eine Anreicherung von radioaktivem Jod in der Schilddrüse zu vermeiden (siehe Notfallplanung, Abschnitt 9.4.1). Daher werden die radiologischen Auswirkungen in den Nachbarländern sehr begrenzt sein. Die Aerosoldeposition (Cs-137 und auch Cs-134 für den CSBO-Unfall) liegt für alle Nachbarländer und alle Szenarien unter dem Wert, bei dem Auswirkungen auf die Nahrungskette zu erwarten sind. Bei Jodisotopen und insbesondere bei I-131 kann der niedrigste abgeleitete Wert für die Bodenkonzentration (4000 Bq/m² I-131), bei dem Auswirkungen auf die Nahrungskette möglich sind (z. B. Kontamination von Milch), in allen Nachbarländern bei einem LOCA-Unfall überschritten werden. Zugegeben, mit den Niederlanden als Ausnahme aufgrund ihrer Nähe ist dies eine sehr begrenzte Überschreitung. Entsprechend der angewandten Methodik sind die berechneten Depositionswerte für jedes Nachbarland spezifisch für den ungünstigsten Zeitpunkt, zu dem der Unfall eintreten kann (hinsichtlich der meteorologischen Bedingungen im Jahr 2020). Angesichts der Halbwertszeit von I-131 (8,02 Tage) wird diese Kontamination auch keine langfristigen Folgen haben.

4.7 Minderungsmaßnahmen: Notfallplanung

Dies wird für Doel 4 und Tihange 3 gemeinsam beschrieben: siehe Abschnitt 9.4.1

4.8 Wissenslücken

Dies wird für Doel 4 und Tihange 3 gemeinsam beschrieben: siehe Abschnitt 9.4.2

4.9 Empfehlungen

Im Zusammenhang mit der Bewertung der radiologischen Auswirkungen möchten wir hiermit einige Empfehlungen für die Durchführung des Projekts geben:

1. Die Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen beim Betrieb von Doel 4 wird weitgehend durch die gasförmigen Einleitungen von Kohlenstoff-14 bestimmt, einem Radionuklid, das auch in der Natur vorkommt. Die Einleitung basiert auf Berechnungen und wurde nur für Tihange 2 durch Messungen verifiziert. Dabei wurde festgestellt, dass die tatsächliche Einleitung von Kohlenstoff-14 in Tihange 2 niedriger ist als die (konservativ) berechneten Werte. In diesem Zusammenhang würde es bei einem Weiterbetrieb von Doel 4 ratsam sein, die Einleitungen von K-14 anhand von Messungen, die den bei Tihange 2 verwendeten Messungen entsprechen, zu quantifizieren, um so eine bessere und realistischere Schätzung der Dosen im Normalbetrieb zu erhalten;
2. Bei einer Verlängerung von Doel 4 um 10 Jahre würde der Betrieb mit der Nachbetriebsphase und möglicherweise der Rückbauphase der anderen Reaktoren und einiger Nebengebäude am Standort KKW Doel zusammenfallen. Es wird empfohlen, die radiologischen Belastungen, die durch die möglicherweise durch den Rückbau entstehen und diejenigen, die durch den Betrieb von Doel 4 zur weiteren

Stromerzeugung entstehen, so weit wie möglich zu trennen und getrennt zu veröffentlichen, damit die Auswirkungen des Betriebs von Doel 4 zur industriellen Stromerzeugung getrennt von den Rückbauaktivitäten analysiert werden können.

5 Synthese und Entscheidung Standort Doel - Doel 4

5.1 Synthese der Auswirkungen

5.1.1 Nichtradiologische Auswirkungen

Die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 bedeutet, dass für einen zusätzlichen Zeitraum von 10 Jahren (behandeltes) Sanitärabwasser, behandeltes Betriebsabwasser und (erwärmtes) Kühlwasser eingeleitet werden. In dieser Zeit werden auch die Überlaufprobleme der Mischwasserkanalisation des Standorts fortbestehen. Dies wird nicht zu einer Verschlechterung des ökologischen Zustands der Seeschelde führen, vorausgesetzt, dass der Überwachung und rechtzeitigen Anpassung weiterhin ständige Aufmerksamkeit geschenkt wird. Auch die Erreichung des guten ökologischen Potenzials des Wasserkörpers wird durch das Projekt nicht gefährdet. Es wird jedoch empfohlen, die Auswirkungen der thermischen Einleitungen stärker auf die Entwicklung des Temperaturgradienten zwischen der niederländischen Grenze und Antwerpen abzustimmen.

Im Hinblick auf die biologische Vielfalt wurden die Auswirkungen des Plans auf die Qualität des Oberflächenwassers, die Barrierewirkung, die Mortalität, die Störung, den direkten Flächenverbrauch sowie die Eutrophierung und Säuerung untersucht. Für die Barrierefunktion und den direkten Flächenverbrauch zeigte sich, dass keine Auswirkungen zu erwarten waren. Für die Mortalität gibt es möglicherweise eine (begrenzte) Auswirkung durch die Kühlwasserzufuhr beeinflusst werden. In Bezug auf die Beeinträchtigungen sind Änderungen nur im Bereich der Lärmbelästigung zu erwarten. Dies ist jedoch nur von begrenzter Bedeutung, da die Störung während der Lebensdauer nur von Doel 4 ausgehen wird. Außerdem handelt es sich um einen bestehenden Lärm, der kontinuierlich und vorhersehbar ist, so dass keine signifikanten Auswirkungen auf benachbarte Arten zu erwarten sind.

Die Auswirkungen des Betriebs des Kernkraftwerks selbst in Form von versauernden und eutrophierenden Ablagerungen sind vernachlässigbar. Außerdem sind andere Faktoren wie die Wasserqualität der Schelde viel entscheidender für den trophischen Zustand an diesem Standort. Positive Auswirkungen sind jedoch von den „vermiedenen Emissionen“ zu erwarten, die mit einer 10-jährigen zusätzlichen Stromerzeugung aus Kernkraft verbunden sind.

Die Einleitung von Kühl-, Sanitär- und Industrierwasser führt zu einer Verschlechterung der Wasserqualität, die jedoch auf den Bereich innerhalb des Wellenbrechers beschränkt ist. Bedeutende Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem der Schelde werden dadurch vermieden. Lokal gibt es keine Hinweise darauf, dass die Auswirkungen einen nachteiligen Effekt für die vorhandenen Organismen haben. Angesichts der Ausweisung der Schelde selbst als Habitat-Richtliniengebiet und der potenziellen Bedeutung dieses Gebiets für die Vögel des Vogelrichtliniengebiets ist dies eine wichtige Schlussfolgerung.

Der Betrieb des KKW Doel kann ebenfalls Auswirkungen auf die Luftqualität haben. Die wichtigsten Quellen mit potenziellen Auswirkungen sind Dampfkessel und Dieselmotoren, die jedoch nur begrenzte Betriebsstunden pro Jahr haben. Wenn nur noch Doel 4 in Betrieb ist, verdoppelt sich die Zahl der Betriebsstunden der Dampfkessel quasi, aber auch dann bleibt die Gesamtzahl der effektiven Betriebsstunden begrenzt. Die Emissionen aus den Anlagen sind daher sehr begrenzt und werden mit der Außerbetriebnahme weiterer Verbrennungsanlagen weiter abnehmen.

Die höchsten berechneten Emissionen (für 2026) werden als Modellinput verwendet, um die Auswirkungen auf die Luftqualität zu berechnen. Da nicht für alle Anlagen Modelleigenschaften verfügbar waren, wurden für diese Berechnungen eine Reihe von Annahmen getroffen. Aus den Berechnungen der Auswirkung geht hervor, dass die Auswirkung auf die Luftqualität (weniger als 1 % der verwendeten Grenz- oder Prüfwerte) vernachlässigbar ist. Es werden auch keine Überschreitungen der Grenzwerte unter Berücksichtigung der erwarteten Hintergrundkonzentrationen festgestellt. Es besteht also kein Bedarf an Minderungsmaßnahmen.

Wenn die Laufzeit von Doel 4 nicht verlängert wird, muss an dessen Stelle Strom mit (teilweise) fossilen Brennstoffen erzeugt werden. Die dabei entstehenden Emissionen (die bei der Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 als

„vermieden“ angesehen werden können) sind wesentlich höher als die Emissionen, die beim Betrieb von Doel 4 entstehen.

Die Treibhausgasemissionen, die Doel 4 über den Zeitraum der Betriebsverlängerung zugeschrieben werden können, liegen in der Größenordnung von 14 kt (kumuliert). Die durch eine längere Offenhaltung von Doel 4 *vermiedenen* Treibhausgasemissionen liegen in einer anderen Größenordnung. Über den gesamten Zeitraum führt der Aufschub der Abschaltung von Doel 4 zu einer Vermeidung von Emissionen von ca. 12.417 kt CO₂-Äq. Dies entspricht einer Einsparung von fast 10 % der Emissionen im Sektor „Strom- und Wärmeerzeugung“ in Belgien im Jahr 2021 (12,8 Mt). Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 4 im ungefähr gleichen Zeitraum freigesetzt werden (14 kt), so stellt man fest, dass die Emissionen von Doel 4 im Zeitraum der Verlängerung der Lebensdauer nur 0,11 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen.

Doel 4 beeinträchtigt die Widerstandsfähigkeit der Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels während des Referenzzeitraums nicht, da der Standort sowohl in der Referenzsituation als auch bei Umsetzung des Projekts versiegelt bleibt. Innerhalb der zeitlichen Perspektive der Verlängerung der Lebensdauer ist auch der Standort Doel selbst nicht anfällig für die Folgen des Klimawandels, und diese Situation ist unabhängig davon, ob die Abschaltung von Doel 4 verschoben wird oder nicht.

Das Projekt hat keine nennenswerten Auswirkungen auf die Gesundheit. Auf der Grundlage eines vorläufigen Screenings wurden nur Auswirkungen im Zusammenhang mit Legionellen, psychosomatische Aspekte (im Zusammenhang mit der Risikowahrnehmung) und vermiedene gesundheitliche Auswirkungen eines Stromausfalls als potenziell relevant eingestuft. Die Analyse in dieser UVP zeigt, dass Legionellen angesichts des Brackwassers, das zur Speisung der Kühltürme von Doel 4 verwendet wird, kein Problem darstellen können. Was die Risikowahrnehmung in Bezug auf nukleare Unfälle angeht, so kann man sagen, dass es zwar eine solche Risikowahrnehmung gibt, aber kein nachweisbarer Zusammenhang mit psychosomatischen Auswirkungen besteht. Schließlich kann bestätigt werden, dass die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 die Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls deutlich verringert (insbesondere in den ersten Jahren der Verlängerung der Lebensdauer), was sich positiv auf die Vermeidung der gesundheitlichen Auswirkungen auswirkt, die mit Stromausfällen einhergehen können.

5.1.2 Radiologische Auswirkungen

Die potenzielle Strahlenexposition während des normalen Betriebs der Anlage hängt für Mensch und Umwelt mit der direkten Strahlung der am Standort vorhandenen Radioaktivität und den gasförmigen und flüssigen Einleitungen zusammen, die bestimmte Konzentrationen von Radioaktivität enthalten.

Messungen des von der FANK betriebenen TELERAD-Netzes zeigen, dass die Dosis durch externe Strahlung in der Umgebung des KKW Doel deutlich unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr liegt und sich nicht von lokalen Schwankungen des natürlichen Hintergrunds unterscheiden lässt.

Das Kernkraftwerk Doel hat weder signifikante messbare radiologische Auswirkung auf die Umwelt durch atmosphärische Einleitungen noch signifikante messbare radiologische Auswirkungen auf die Schelde. Diese Schlussfolgerung gilt natürlich auch dann, wenn nur der Betrieb von Doel 4 in Betracht gezogen wird.

Eine Berechnung auf der Grundlage der geltenden Einleitungsgrenzwerte zeigt, dass selbst für die (hypothetische) „am stärksten exponierte Person“ die durch atmosphärische und flüssige Einleitungen verursachte Dosis deutlich unter dem effektiven Dosisgrenzwert für die Bevölkerung von 1 mSv pro Jahr liegt. Da die tatsächlichen Einleitungen in der Praxis nur einen Bruchteil der genehmigten Grenzwerte betragen, ist die tatsächliche Dosis (für den gesamten Standort des KKW Doel) natürlich noch geringer; sie beträgt (höchstens) etwa 2,2 % des Dosisgrenzwertes.

Im Jahr 2013 wurde eine umfassende Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt, um die Auswirkungen von atmosphärischen und flüssigen Einleitungen auf Fauna und Flora zu bewerten⁹⁰. Es zeigte sich, dass die Dosisleistungswerte selbst bei den Einleitungsgrenzwerten deutlich unter dem Schwellenwert von 10 $\mu\text{Gy/h}$ liegen, unterhalb dessen keine schädlichen Auswirkungen auftreten. Die derzeitigen Einleitungsgrenzwerte führen also nicht zu schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt, was auch durch die Messergebnisse des Überwachungsprogramms der FANK und des Betreibers in der Umgebung des Standorts bestätigt wird.

Die Abschaltung von Doel 4 hat zur Folge, dass die radioaktiven gasförmigen und flüssigen Einleitungen in die Umgebung teilweise entfallen. Die direkt mit dem Betrieb der Reaktoren verbundenen Einleitungen (die auch den Hauptbeitrag zur Dosis aus den gasförmigen und flüssigen Einleitungen leisten) werden eliminiert. Andererseits werden bestimmte gasförmige und flüssige Einleitungen auch in der Nachbetriebsphase fortbestehen.

Auf der Grundlage der Erfahrungen in Deutschland kann konservativ geschätzt werden, dass die effektive Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen im Falle einer Nichtverlängerung von Doel 4 (d. h. wenn kein Reaktor mehr am Standort Doel in Betrieb ist) im ersten Jahr nach der Abschaltung auf ein Niveau in der Größenordnung von 0,007 mSv/Jahr und in den Folgejahren weiter auf unter 0,003 mSv/Jahr abnehmen wird. Dies kann mit einer effektiven Dosis im Jahr 2025 verglichen werden, die in der Größenordnung von (höchstens) 0,02 mSv/Jahr liegen wird, und mit dem Standard von 1 mSv/Jahr.

Wird das Projekt durchgeführt und damit die Lebensdauer von Doel 4 verlängert, kann davon ausgegangen werden, dass die gasförmigen und flüssigen Einleitungen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Doel 4 zehn Jahre lang auf demselben Niveau bleiben wie heute, wobei davon ausgegangen wird, dass der Reaktor weiterhin mit derselben Leistung betrieben wird und dass die Behandlung der gasförmigen und flüssigen Einleitungen unverändert bleibt. Eine konservative Schätzung der effektiven Dosis durch den Betrieb nur von Doel 4 ergibt einen Wert von 0,01 mSv/Jahr oder weniger, und dieser Wert bleibt über die 10 Jahre des verlängerten Betriebs konstant. Dies liegt weit unter der derzeitigen Betriebsgenehmigung und auch weit (Faktor 100) unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr. Eine effektive Dosis von 0,01 mSv entspricht der zusätzlichen Dosis, die eine Belgierin oder ein Belgier durch erhöhte kosmische Strahlung erhält, wenn er oder sie zwei Wochen in den Bergen Ski fährt⁹¹. Die effektive Dosis ist im normalen Betrieb des Projekts also eine triviale Auswirkung.

In der vorliegenden UVP wurden auch die Auswirkungen des Projekts auf die Dosis untersucht, die sich aus zwei Auslegungsschmelzen und aus einem Auslegungsschmelze ergeben würde. Die Analyse auf der Grundlage der Sicherheitsakte von Doel 4 zeigt, dass die effektiven Dosen und die Schilddrüsen-Äquivalentdosen, die sich aus beiden Auslegungsschmelzen für Doel 4 ergeben, innerhalb der festgelegten Grenzwerte liegen. Wird die Analyse auf der Grundlage der FANK-Richtlinien für neue Anlagen der Klasse 1 durchgeführt, wird das Kriterium für die Schilddrüsen-Äquivalentdosis tatsächlich überschritten, so dass in einem solchen Fall die Einnahme von stabilem Jod zum Schutz der Schilddrüse empfohlen wird. Bei einem Auslegungsschmelze liegt die effektive Dosis in der gleichen Größenordnung wie bei den beiden Auslegungsschmelzen, aber die Schilddrüsen-Äquivalentdosis ist niedriger. Bei allen drei Unfallszenarien könnte es auch zu einer Kontamination der Nahrungskette kommen, die typischerweise die Aktivitätswerte in Milch, Blattgemüse und Fleisch mit radioaktiven Jodisotopen übersteigt. Angesichts der relativ kurzen Halbwertszeit dieser Isotope (8,02 Tage für I-131) wäre diese Kontamination zeitlich begrenzt.

Die langfristigen Auswirkungen der beiden Referenzunfälle sind vernachlässigbar: Die berechnete effektive Lebenszeitdosis (durch abgelagerte Radioaktivität auf dem Boden und den Verzehr von Lebensmitteln ab einem Jahr nach dem Unfall) liegt für alle Altersgruppen weit unter dem Kriterium von 1 Sv. Das Gleiche gilt für die langfristigen Auswirkungen des Auslegungsschmelzes.

⁹⁰ Vandehove H., Sweeck I., Vives i Batlle, Wannijn J., Van Hees M., Camps J., Olyslaegers G., Miliche C., Lance B., 2013. Vandenhove et al. (2013) Predicting the environmental risks of radioactive discharges from Belgian nuclear power plants. Journal of environmental radioactivity, 126, 61-76.

⁹¹ Vergleich auf Basis von <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/medische-toepassingen/vergelijking-stralingsdosis>

Das Projekt birgt daher ein begrenztes Unfallrisiko (sowohl Auslegungs- als auch auslegungsüberschreitender Störfall). Für den gesamten Standort des KKW Doel wird das Risiko jedoch abnehmen, da während der 10-jährigen Laufzeitverlängerung nur noch Doel 4 am Standort betrieben wird.

E wird erwartet, dass der Aufschub der Abschaltung des Kernreaktors Doel 4 eine zusätzliche Menge an schwach- und mittelradioaktivem Abfall von etwa 460 m³ für einen Produktionszeitraum von 10 Jahren verursachen wird. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A und nur in geringem Umfang um Abfälle der Kategorie B. Verglichen mit den ca. 50.000 m³ Abfällen der Kategorie A, die derzeit als Quell-Term in der Sicherheitsakte für die oberflächennahe Endlagerung enthalten sind, stellt dies eine geringfügige Erhöhung dar (<1 %).

Geht man davon aus, dass die zusätzliche Menge der Abfälle der Kategorie B vernachlässigbar ist, entspricht das zusätzliche Abfallvolumen etwa 287 Monolithblöcken oder 0,31 Modulen im Endlager für Abfälle der Kategorie A. Die (volumetrische) Kapazität dieses Endlagers beträgt 34 Module.

Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass die 10-jährige Verlängerung des Betriebs von Doel 4 eine zusätzliche Menge von etwa 390 abgebrannten Brennstoffkassetten erzeugen wird. Dies entspricht einem Anstieg von 3,5 % gegenüber dem gesamten belgischen Kernbrennstoffbestand im Falle einer endgültigen Abschaltung.

Für diese Brennelemente muss eine langfristige Entsorgungslösung gefunden werden, die auf eine geologische Endlagerung hinausläuft, wenn das spaltbare Material als Abfall eingestuft wird. Davon ausgehend, dass die Entsorgung in schwach verfestigtem Ton mit Supercontainern als Primärverpackung erfolgt, würde der oben genannte Mehrverbrauch 98 zusätzlichen Supercontainern (Typ SC-4) und einer zusätzlich benötigten Stollenlänge von ca. 600 m entsprechen. Eine zusätzliche Menge abgebrannter Brennelemente, die entsorgt werden muss, führt jedoch nicht zu einem entsprechenden Anstieg der geschätzten Dosis oder des Risikos.

5.2 Synthese der grenzüberschreitenden Auswirkungen

Die meisten der nichtradiologischen Auswirkungen, die auf die Lebensdauerverlängerung von Doel 4 zurückzuführen sind, beschränken sich auf die unmittelbare Umgebung des Kernkraftwerks, sind von begrenztem Ausmaß und führen daher nicht zu grenzüberschreitenden Auswirkungen. Nur für das Thema Wasser können (begrenzte) grenzüberschreitende Auswirkungen auftreten. Ausgehend von der Überwachung der Temperatur der Schelde in der Nähe der niederländischen Grenze (ca. 3,4 km von der Einleitungsstelle entfernt) können die Auswirkungen der Kühlwassereinleitung höchstens als begrenzt negativ angesehen werden, d. h. der Temperaturanstieg aufgrund der Einleitung wird weniger als 1 °C betragen. Dieser Temperaturanstieg wird flussabwärts auf niederländischem Staatsgebiet langsam weiter abnehmen.

Wenn die Lebensdauer von Doel 4 nicht verlängert wird, müssen natürlich andere Produktionsmittel eingesetzt werden, um die verlorene Produktionskapazität zu ersetzen. Grenzüberschreitende Auswirkungen können in einem solchen Fall nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Die Bedeutung und die Art dieser grenzüberschreitenden Auswirkungen werden jedoch sehr stark von den Standorten, an denen (theoretische) Ersatzkapazitäten bereitgestellt werden, sowie von den technischen Merkmalen dieser Anlagen und von ihren Genehmigungsmerkmalen abhängen.

Wie man sieht, haben die gasförmigen und flüssigen radiologischen Einleitungen aus dem Betrieb *aller* Blöcke des KKW Doel eine vernachlässigbare und nicht wahrnehmbare Auswirkung (Größenordnung 0,02 mSv/Jahr) für die hypothetisch am stärksten exponierte Person, die sich direkt außerhalb des Standorts des KKW Doel befindet. Die Dosis, die von der direkten Strahlung des Standorts ausgehen könnte, bleibt im Rahmen der natürlichen Schwankungen. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Auswirkung nur mit der Entfernung abnehmen kann (Verdünnung bei Einleitungen und inverses Quadratgesetz bei jeglicher Direktstrahlung), kann gesagt werden, dass bei normalem Betrieb des KKW Doel, und somit auch bei Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4, keine grenzüberschreitenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu erwarten sind.

Berechnungen der grenzüberschreitenden radiologischen Auswirkungen verschiedener Unfallszenarien zeigen, dass die Dosen in den Niederlanden wie auch in anderen Nachbarländern unter den typischen Richtwerten für sofortige

Gegenmaßnahmen (wie Schutzmaßnahmen oder die Einnahme von Jodtabletten) liegen. Für Jodisotope könnten in den Niederlanden Gegenmaßnahmen in der Nahrungskette erforderlich sein, die angesichts der räumlichen Nähe mit denen in Belgien vergleichbar sind. In den anderen Nachbarländern sind Depositionen, bei denen Gegenmaßnahmen in der Nahrungskette erforderlich sind, sehr unwahrscheinlich, sind aber unter sehr ungünstigen meteorologischen Bedingungen bei einem LOCA-Unfall auch nicht völlig auszuschließen. Bei Auswirkungen auf die Nahrungskette, auch in den Niederlanden, handelt es sich jedoch nur um eine kurze Zeitspanne (keine signifikante Ablagerung von langlebigen Radionukliden wie Cs-137). Daher werden die radiologischen Auswirkungen in den Nachbarländern begrenzt sein.

Teil III. Umweltverträglichkeitsprüfung aufgrund des Aufschubs der Abschaltung des Kernkraftwerks Tihange 3

6 Nichtradiologische Auswirkungen Tihange 3

6.1 Allgemeines

Für die Wirkungsbeschreibung und -bewertung der verschiedenen Disziplinen in diesem Kapitel wird die folgende Struktur verwendet:

Relevante politische Ziele

Eine Beschreibung der verschiedenen politischen Ziele, die geprüft werden sollen. Als Quelle für diese Ziele dienen die verschiedenen relevanten politischen Dokumente. Dies sind High-Level-Ziele.

Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Eine Beschreibung der Auswirkungen, die relevant sind, um ein Urteil darüber abgeben zu können, inwieweit das Projekt zur Erreichung der politischen Ziele beiträgt oder nicht, sowie über die Ursache-Wirkungs-Beziehung zum Projekt.

Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Grundsätzlich ist der Ausgangspunkt die Situation im Jahr 2025, dem Jahr, in dem Tihange 3 nach dem Kernenergiegesetz abgeschaltet werden würde. Wir beschreiben hier auch alle (autonomen oder gesteuerten) Entwicklungen, die dazu führen könnten, dass sich die Situation im Jahr 2025 (grundlegend) von der aktuellen Situation (2023) unterscheidet, sowie Entwicklungen, die die Entwicklung der Referenzsituation während der Laufzeitverlängerung beeinflussen könnten. Wenn es solche Entwicklungen gibt, berücksichtigen wir sie in der Wirkungsbeschreibung (Entwicklungsszenario oder zweite Referenzsituation).

Beschreibung der Auswirkungen

Hier beschreiben wir die Auswirkungen, die für die Bewertung im nächsten Schritt relevant sind. Wo möglich und relevant, geben wir auch einen Hinweis auf die kumulativen Auswirkungen über die zehn Jahre (z. B. kumulierte Emissionen; ggf. unter Berücksichtigung jährlicher Schwankungen der Emissionen).

Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Hier erfolgt die Bewertung (über die Auswirkungen hinweg), inwieweit die Erreichung der verschiedenen politischen Ziele durch die Auswirkungen unterstützt wird oder nicht.

6.2 Wasser

6.2.1 Relevante politische Ziele

Die Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, allgemein bekannt als „Wasserrahmenrichtlinie“, wurde am 23. Oktober 2000 verabschiedet (Amtsblatt der Europäischen Union vom 22. Dezember 2000).

Sie dient einerseits dem Schutz und der Verbesserung der aquatischen Umwelt und zum anderen einem Beitrag zu einer nachhaltigen, ausgewogenen und gerechten Wassernutzung.

Das ultimative Ziel der Rahmenrichtlinie ist es, einen „guten Zustand“ aller Gewässer in der Gemeinschaft zu erreichen. Es wurden separate Umweltziele für Oberflächengewässer, Grundwasser und Schutzgebiete festgelegt.

In Bezug auf Oberflächengewässer sind die Hauptziele:

- Verhinderung einer Verschlechterung des Zustands aller Oberflächenwasserkörper;
- Erreichen eines guten ökologischen Potenzials und eines guten chemischen Zustands aller künstlichen und stark veränderten Wasserkörper;

- Schrittweise Verringerung der Verschmutzung durch prioritäre Stoffe und Beendigung oder schrittweise Verringerung von Emissionen, Einleitungen und Verlusten prioritärer gefährlicher Stoffe⁹².

Bewirtschaftungspläne für Flusseinzugsgebiete

Am 23. Oktober 2000 verabschiedete die Europäische Union die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die einen rechtlichen Rahmen für die Wasserbewirtschaftung in ganz Europa schafft. Das festgelegte Ziel besteht darin, den quantitativen und chemischen Zustand aller europäischen Gewässer bis 2016 zu verbessern. Die Wallonie ist in vier Flusseinzugsgebiete oder internationale Flussgebietseinheiten (Maas, Schelde, Rhein und Seine) eingebunden und hat die Grenzen von 15 natürlichen Unterteilungen, den Untereinzugsgebieten, klar festgelegt. Darüber hinaus hat sie selbst den Rahmen ihrer eigenen hydrographischen Teileinzugsgebiete neu festgelegt (Erlass vom 13. September 2001).

Die Umsetzung dieser Richtlinie sieht unter anderem die Erstellung von Bewirtschaftungsplänen zum Schutz, zur Verbesserung und zur Wiederherstellung von Oberflächen- und Grundwasserkörpern vor. Diese Bewirtschaftungspläne müssen regelmäßig aktualisiert werden.

Die ersten Bewirtschaftungspläne (2009-2015) wurden in ihrer endgültigen Fassung am 27. Juni 2013 von der wallonischen Regierung genehmigt, die die zuständige Behörde für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in den wallonischen Teilen der internationalen Flussgebietseinheiten von Maas, Schelde, Rhein und Seine ist. In ähnlicher Weise wurden auch die zweiten Bewirtschaftungspläne (2016-2021) am 28. April 2016 verabschiedet. Die Entwürfe der dritten Bewirtschaftungspläne (2022-2027) wurden am 29. September 2022 von der wallonischen Regierung verabschiedet. Sie werden derzeit einer öffentlichen Anhörung unterzogen, die am 02. Mai 2023 endet. Diese sollten dann in ihren endgültigen Fassungen verabschiedet und im Laufe des Juli 2023 im Belgischen Staatsblatt veröffentlicht werden.

Im Szenario „Guter Zustand“ werden die geschätzten „Gaps“ für die verschiedenen physikalisch-chemischen Parameter und Sektoren, die den ökologischen Zustand der Wasserkörper beeinflussen, auf null reduziert. Der Gap stellt für einen bestimmten physikalisch-chemischen Parameter die Differenz zwischen der gemessenen Konzentration im Wasserkörper und der akzeptierten Konzentration (Norm) im Wasserkörper dar. Ein Wasserkörper kann durch mehrere physikalisch-chemische Parameter herabgestuft werden. Im Rahmen des Szenarios „Guter Zustand“ werden verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen, um die Gaps der einzelnen Wasserkörper zu verringern. Mit all diesen Maßnahmen könnte der gute Zustand/das gute Potenzial für 72 % der Oberflächenwasserkörper erreicht werden.

Das vorgeschlagene Maßnahmenprogramm umfasst nicht alle Maßnahmen des Szenarios „Guter Zustand“ bis zum Erreichen des guten Zustands der Oberflächenwasserkörper. Dieses vorgeschlagene Szenario würde es jedoch ermöglichen, den guten Zustand für 69 % der Oberflächenwasserkörper zu erreichen, vorausgesetzt, dass landwirtschaftliche Maßnahmen, insbesondere solche, die über die Gemeinsame Agrarpolitik erfolgen werden, in den von landwirtschaftlichen Belastungen betroffenen Wasserkörpern eine maximale Akzeptanz finden (die insbesondere von den Umsetzungsbedingungen abhängt). Wenn dagegen diese Maßnahmen kaum oder nur in Wasserkörpern angewendet werden, die sich in einem guten Zustand/Potenzial befinden oder nicht von landwirtschaftlichen Belastungen betroffen sind, könnten die Wasserkörper, die den guten Zustand erreichen, auf 58 % begrenzt werden.

Dieses Maßnahmenprogramm wurde in den folgenden Schritten entwickelt, die die einzelnen Kapitel der vorliegenden Bewirtschaftungspläne bilden:

- Bestandsaufnahme der Belastungen und Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Qualität der Wasserressourcen.
- Vergleich der Belastungen mit den herabsetzenden Parametern.
- Geschätzter Aufwand pro Sektor, um den guten Zustand zu erreichen.

⁹² Die Liste der 45 prioritären oder prioritären gefährlichen Stoffe ist in Anhang X der Richtlinie 2000/60/EG festgelegt.

- Vorschlag eines eigenen Maßnahmenprogramms für jeden Wasserkörper, das proportional zur Größe des „Gap“ ist.

Das Kraftwerk Tihange liegt im Flusseinzugsgebiet der Maas, genauer gesagt im Teileinzugsgebiet Untere Maas.

Der wallonische Teil des internationalen Maas-Distrikts umfasst 257 Wasserkörper in 8 Teileinzugsgebieten. Oberflächenwasserkörper wurden durch den Erlass der wallonischen Regierung vom 13. September 2012 (B.S. 12. Oktober 2012) über die Identifizierung, Charakterisierung und Festlegung der Schwellenwerte für den ökologischen Zustand, die auf Oberflächenwasserkörper anwendbar sind, und zur Änderung von Buch II des Umweltgesetzbuchs, das das Wassergesetzbuch enthält, definiert.

Das Kraftwerk Tihange befindet sich innerhalb des Oberflächenwasserkörpers „Maas II“ (Code: MV35R)⁹³. Dieser ist ein sogenannter „stark veränderter“ Wasserkörper mit einer Fläche von 425 km² (336,6 km² im Teileinzugsgebiet Untere Maas und 87,9 km² im Teileinzugsgebiet Obere Maas). Er umfasst die Maas von ihrem Zusammenfluss mit dem Ruisseau de Tailfer bis zur niederländischen Grenze. Die Typologie dieses Wasserkörpers entspricht den „sehr großen Flüssen aus dem Condroz mit geringem Gefälle“. Es handelt sich um einen stark veränderten Wasserkörper.

Geschützte Gebiete

Laut der Wasserrahmenrichtlinie beziehen sich die Schutzgebiete:

- auf Gebiete, die für die Entnahme von Wasser für den menschlichen Gebrauch ausgewiesen sind;
- auf Wasserkörper, die als Erholungsgewässer ausgewiesen sind, einschließlich Badegewässerzonen im Rahmen der Richtlinie 76/160/EWG;
- auf nährstoffempfindliche Gebiete, einschließlich der im Rahmen der Nitratrichtlinie 91/676/EWG als gefährdet ausgewiesenen Gebiete und der im Rahmen der Richtlinie 91/271/EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser als empfindlich ausgewiesenen Gebiete;
- auf Gebiete, die als Schutzgebiete für Lebensräume und Arten ausgewiesen sind, in denen die Erhaltung oder Verbesserung des Wasserzustands ein wichtiger Faktor dieses Schutzes ist, einschließlich der einschlägigen Natura2000-Gebiete, die im Rahmen der Richtlinie 92/43/EWG und der Richtlinie 79/409/EWG ausgewiesen wurden;
- auf Gebiete, die zum Schutz von wirtschaftlich wichtigen Wasserlebewesen ausgewiesen wurden.

Im Oberflächenwasserkörper MV35R gibt es keine Gebiete, die für den menschlichen Konsum bestimmt sind, und auch keine Badegebiete. Unterhalb des Kraftwerks Tihange sind daher keine Badegebiete erlaubt.

Das Gebiet „Crétacé de Hesbaye“ und das Gebiet „Nord du sillon de la Sambre et de la Meuse“ werden als „gefährdete Gebiete“ ausgewiesen. Etwa 1,8 % (4.918 ha) der Fläche des Gebiets „Crétacé de Hesbaye“ und etwa 5,15 % (200.966 ha) der Fläche des Gebiets im „Nord du sillon de la Sambre et de la Meuse“ befinden sich im Einzugsgebiet des Wasserkörpers MV35R. Darüber hinaus wird das gesamte Gebiet der Wallonie als „sensibles Gebiet“ ausgewiesen.

Etwa 50,1 % (246,3 ha) der Fläche des Natura2000-Gebiets „BE33010 vallée de la Meuse à Huy et vallon de la Solières“ liegen im Einzugsgebiet des Wasserkörpers MV35R. Dieser weist weder ein Feuchtgebiet von internationalem Interesse, ein sogenanntes „Ramsar“-Feuchtgebiet, noch ein Fischwassergebiet auf.

In der Wallonie sind keine Gebiete zum Schutz wirtschaftlich wichtiger Wasserlebewesen ausgewiesen.

Pläne für das Hochwasserrisikomanagement

Die europäische Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (2007/60/EG), die in das Wassergesetzbuch umgesetzt wurde, soll einen Rahmen für die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken schaffen. Sie soll die mit Hochwasser verbundenen negativen Folgen für die menschliche

⁹³ Bewirtschaftungsplan 2016-2021 - Charakterisierungsblatt des Wasserkörpers MV35R Maas II V 2.1, Direktion für Oberflächenwasser, 2016.

Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und die Wirtschaftstätigkeit verringern. Sie fordert jeden Mitgliedsstaat auf, in drei Schritten zu arbeiten: das Hochwasserrisiko auf seinem Gebiet bewerten, es kartografieren und dann durch die Einführung von Maßnahmen, die in strategischen Plänen, den Plans de Gestion des Risques d'Inondation - PPGR (Pläne für das Hochwasserrisikomanagement) (Schelde, Maas, Rhein, Seine), enthalten sind, managen. Der Zweck dieser Pläne besteht darin, den Staaten zu ermöglichen, sich Ziele zu setzen, die sie im Bereich des Hochwassermanagements auf der Grundlage der vorläufigen Analysen (Karte der Überschwemmungsgebiete und Karte des Hochwasserrisikos) und unter besonderer Berücksichtigung der Kosten und des Nutzens erreichen wollen.

Die PGRI umfassen globale Ziele, die für die gesamte Wallonische Region und aus dem PLUIES-Plan hervorgegangen sind, sowie spezifische Ziele für jedes Teileinzugsgebiet. Um diese Ziele zu erreichen, werden zahlreiche Projekte geplant und von einem breiten Spektrum an Akteuren getragen, die im Hochwassermanagement in der Wallonie aktiv sind.

2016 wurden die 1. Managementpläne von der wallonischen Regierung genehmigt. 2021 aktualisierte die Wallonie nach einem reichhaltigen und bereichsübergreifenden Abstimmungsprozess ihre PGRI. Die Entwürfe der PGRI 2022-2027, die im März von der Regierung genehmigt wurden, wurden vom 3. Mai bis zum 3. November 2021 einer öffentlichen Anhörung unterzogen. Anschließend wurden sie auf der Grundlage der Anmerkungen aus der öffentlichen Anhörung angepasst. Sobald die Pläne von der wallonischen Regierung bestätigt wurden, werden sie an die Europäische Union weitergeleitet.

Die allgemeinen Ziele dieser Pläne sind:

- Schäden an Personen und Gütern so gering wie möglich halten;
- Verringerung der negativen Auswirkungen von Hochwasser auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und die Wirtschaftstätigkeit.

Für die Wallonie wurden operative Ziele festgelegt:

- Verbesserung der Kenntnisse über Hochwasserphänomene durch einen multidisziplinären Ansatz;
- Verringerung der Abflussgeschwindigkeit und Erhöhung der Infiltration im Einzugsgebiet;
- Berücksichtigung der natürlichen Dynamik der Flüsse und Förderung der Ausbreitung von Hochwasser und der Wasserspeicherung in ihrem Hauptbett;
- Verringerung der Hochwassergefährdung von Gebieten, die durch überlaufende Flüsse und Schlammlawinen gefährdet sind;
- Förderung der Entwicklung von Notfallplänen auf lokaler Ebene und der Bereitstellung eines gut funktionierenden Warnsystems;
- Verringerung der finanziellen und gesellschaftlichen Belastung durch Schadensfolgen.

Im Rahmen des ersten Zyklus der PGRI wurden zwischen 2016 und 2021 42 globale Maßnahmen und 491 Projekte mit eher lokaler Ausrichtung umgesetzt. Diese Projekte waren mehrheitlich der Stufe „Schutz“ zuzuordnen. Für das Flusseinzugsgebiet der Maas betrug der Anteil der abgeschlossenen Projekte im Vergleich zu den geplanten 21,4 Prozent.

Im Rahmen des Abstimmungsprozesses konnten die Mitglieder der Technischen Ausschüsse für die einzelnen Teileinzugsgebiete die strategischen Leitlinien festlegen, die mit den verschiedenen Teileinzugsgebieten, zu denen sie gehören, verbunden sind. Die strategischen Leitlinien sind nicht als Maßnahmen definiert, sondern es handelt sich um spezifische Ziele für die einzelnen Teileinzugsgebiete. Aus diesen strategischen Leitlinien ergibt sich eine ganze Reihe von Maßnahmen, die zur Erfüllung dieser Leitlinien durchgeführt werden müssen.

Der 2. Zyklus der PGRI, der von 2022 bis 2027 läuft, knüpft an den ersten Zyklus an. Er bewahrt die übergeordneten Ziele, die aus dem „PLUIES“-Plan hervorgegangen sind, sowie die Projekte, die noch nicht abgeschlossen sind. Der 2. Zyklus umfasst neue spezifische Ziele für jedes Teileinzugsgebiet, 41 globale Maßnahmen (neu oder verlängert) sowie 929 Projekte (davon 103 für das Teileinzugsgebiet Untere Maas), bei denen es sich größtenteils um neue Projekte handelt.

Für das Flusseinzugsgebiet Maas zielen 79 % der lokalen Projekte auf die Lösung eines Überschwemmungsproblems von Flüssen ab, während die restlichen 21 % über das gesamte Gebiet verteilt sind und sich mit Abfluss beschäftigen.

Bei den Projekten zum Thema „Überlauf“ handelt es sich hauptsächlich um Arbeiten am Flussbett und in Überschwemmungsgebieten oder um Bauwerke zur Regulierung des Wasserabflusses. Die Projekte zum Thema „Abfluss“ fallen hauptsächlich in den Bereich des natürlichen Hochwasser-, Abfluss- und Einzugsgebietsmanagements, aber auch der Abflussregulierung und des Oberflächenwassermanagements in urbanisierten Kontexten.

Ziele

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Pläne und politischen Ziele können die folgenden Ziele für das hydrographische System im Zusammenhang mit der Folgenabschätzung des Projekts zur Offenhaltung von Tihange 3 für weitere 10 Jahre verwendet werden:

- Erhaltung und Erreichen eines guten ökologischen Zustands der Oberflächengewässer und Vermeidung einer Verschlechterung des Zustands;
- Erhaltung und Erreichen eines guten physikalisch-chemischen Zustands der Oberflächengewässer und Vermeidung einer Verschlechterung des Zustands;
- Begrenzung des Überschwemmungsrisikos.

6.2.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Um beurteilen zu können, ob das Projekt zur Erreichung der politischen Ziele für das Wassersystem und der Ursache-Wirkungs-Beziehung des Projekts beiträgt oder nicht, wird im Folgenden ein Überblick über die relevantesten vorhersehbaren Auswirkungen des Projekts (Aufschub der Abschaltung von Tihange 3) auf das hydrographische System gegeben.

Nach den Kernbrennstoffen ist Wasser wahrscheinlich der zweitwichtigste Rohstoff oder die zweitwichtigste Ressource eines Kernkraftwerks. Das Kernkraftwerk Tihange ist für seinen Betrieb stark vom hydrographischen System abhängig, da der tertiäre Kreislauf mit Wasser aus der Maas versorgt wird, um die Kondensatoren des zweiten Kreislaufs zu kühlen. Das Kernkraftwerk Tihange nutzt Kühltürme, auch Luftkühler genannt, um die Temperatur des Kühlwassers durch die natürliche Luftzirkulation zu senken. Das erhitzte Wasser wird an der Basis des Turms in Form von Tröpfchen versprüht und durch den aufsteigenden Luftstrom abgekühlt. Der Großteil des Wassers fließt zurück in den Kondensator, der Rest wird in die Maas geleitet und nur ein kleiner Teil, etwa 3 %, verdunstet in die Atmosphäre: die Kondensationsfahne (weiße Fahne), die aus dem Turm austritt. Jeder Block hat seinen eigenen Wasserkreislauf, der aus einer Wasserentnahme aus der Maas, einem Kühlturm und einer Kühlwassereinleitung besteht.

Im Kraftwerk gibt es zwei tertiäre Wasserkreisläufe: den Rohwasserkreislauf (RWK) und den Kreislaufwasserkreislauf (KWK). Der Rohwasserkreislauf (RWK) entnimmt Wasser aus dem Einlaufkanal, der direkt mit Wasser aus der Maas gespeist wird und liefert Kühlwasser (1 mm gefiltertes Maaswasser) an die nuklearen und konventionellen Hilfseinrichtungen (Dieselmotoren, Kältemaschinen usw.) des Kraftwerks.

Der Kreislaufwasserkreislauf (KWK) ist die Kühlquelle, die dafür sorgt, dass der aus den Turbinen austretende Dampf kondensiert. Er entnimmt das Wasser aus dem Einlaufkanal, der direkt aus dem Wasser der Maas oberhalb des Kraftwerks gespeist wird. Das Wasser aus dem KWK wird in die Kondensatoren geleitet. Nach dem Durchlaufen des Kühlturms wird ein Teil des Wassers aus dem KWK wieder in die Maas zurückgeführt. Der Abfluss in die Maas ist modulierbar, sodass die in der Genehmigung festgelegten Erwärmungsgrenzen eingehalten werden. Er hängt also nicht nur von der Wassermenge der Maas ab, sondern auch von der Lufttemperatur. Wenn es die hydrometeorologischen Umstände erfordern, kann ein Teil des Kühlwasserstroms, der den Kühlturm verlässt, in den Kreislauf zurückgeführt werden, wodurch die entnommene Menge, die eingeleitete Menge sowie die in das aufnehmende Gewässer eingeleitete Wärmebelastung reduziert werden. Wenn die Rückführungsrate steigt, sinken die entnommene Menge, die eingeleitete Menge und die Wärmeeinleitung deutlich: Die Einstellung der Rückführungsrate ermöglicht es dem Kraftwerk also, die Auswirkungen auf die aquatische Umwelt zu begrenzen und die gesetzlichen Einleitungsbedingungen einzuhalten, wenn die Verfügbarkeit von Oberflächenwasser abnimmt oder die Temperatur im Jahresverlauf hoch ist. Es ist zu beachten, dass der Betrieb mit Kühlwasserrückführung

jedoch zu einem geringeren Wirkungsgrad des internen thermodynamischen Kreislaufs des Kraftwerks und damit zu einer geringeren Energieeffizienz bei der Stromerzeugung führt.

Erinnern wir uns: Ein Wärmekraftwerk, egal ob Kernkraftwerk oder konventionelles Kraftwerk, funktioniert nach dem Carnot-Prinzip und sein Wirkungsgrad hängt von der Temperatur der Wärmequelle (der Reaktortemperatur, die aus Gründen der mechanischen Festigkeit festgelegt wird) und der Kühlquelle (der Wassertemperatur am Eingang des Kondensators) ab. Nach diesem Carnot-Prinzip gilt: Je kälter die Kühlquelle, desto höher ist der Gesamtwirkungsgrad der Einheit. Im Kraftwerk Tihange soll also der Gesamtwirkungsgrad der drei Blöcke optimiert und gleichzeitig die Wassereinleitungsgenehmigung eingehalten werden, um so die Produktion von Kernkraftwerken zu fördern, die die Luft weniger verschmutzen als andere konventionelle Kraftwerke.

Dies hat zur Folge, dass eine große Menge Oberflächenwasser abgepumpt wird, das sich in den Kühltürmen erwärmt und teilweise verdampft und dann mit einer etwas höheren Temperatur in die Maas geleitet wird.

Das Wasser des Tertiärkreislaufs wird über den Wasseraufbereitungskreislauf (WAK) aufbereitet. Der Zweck des WAK besteht darin, das Wachstum von Algen, Muscheln und pathogenen Organismen zu bekämpfen, um Ertragseinbußen aufgrund von Verschmutzung oder schlechterem Wärmeaustausch zu vermeiden. Dieser Kreislauf ermöglicht die Einspeisung von:

- Schwefelsäure (H_2SO_4) in den KWK, um das Verkalken von Kondensatoren und atmosphärischen Kühlmitteln zu verhindern;
- Natriumhypochlorit (NaOCl) in die Kreisläufe KWK und RWK, um das Wachstum von Mikroorganismen und Makroorganismen (Mollusken: Gefahr der Verstopfung von Rohren und Verlust der Kühlkapazität) zu verhindern.

Daher hat das Kühlwasser neben dem Temperatureffekt auch einen erhöhten Gehalt an Chloriden und sulfathaltigen Substanzen, da Produkte zur Verhinderung von mikrobiellem Wachstum und Schaumbildung zugesetzt werden.

Manchmal wird das Oberflächenwasser auch zur Herstellung von Prozesswasser (Demineralisierungswasser) oder zur Reinigung von Anlagen verwendet, das nach der Nutzung und Reinigung wieder in die Maas eingeleitet wird.

Das Kernkraftwerk verbraucht auch Leitungswasser (Trinkwasser) ausschließlich für den häuslichen Gebrauch (Sanitäranlagen usw.). Das Abwasser aus den Sanitäranlagen wird über 16 Kläranlagen gereinigt, bevor es in das interne Abwassersystem gelangt und dann in die Maas geleitet wird.

Haushalts- und Industrieabwasser sowie Kühlwasser müssen die Einleitungsnormen erfüllen, die in der Umweltgenehmigung vom 09.05.2008 festgelegt sind.

Im Falle eines Störfalls wird über 15 Bauwerke Grundwasser entnommen, um die (Not-)Kühlung der Anlagen zu gewährleisten. Es kann auch zur Herstellung von entmineralisiertem Wasser verwendet werden (nur als Back-up).

Regenwasser wird in dem Prozess nicht verwendet. Einige minimale Teile von Tihange 3 befinden sich in einem Überschwemmungsgebiet entlang der Maas. In diesen Teilen gibt es keine kritischen Gebäude, Anlagen oder Lagerstätten. Für die Bewertung der Auswirkungen wird daher davon ausgegangen, dass sich das Kraftwerk Tihange 3 nicht in einem hochwassergefährdeten Gebiet befindet. Auch infolge des Klimawandels (mit höheren Wasserständen und intensiveren Niederschlägen) werden in Zukunft keine größeren Probleme erwartet.

Im Bereich von Wasserentnahmestellen können Fische aufgrund des Pumpensogs sterben. Diese Auswirkungen und die sekundären Auswirkungen der (thermischen) Einleitungen auf das Leben im Wasser werden im Fachgebiet Biodiversität untersucht und bewertet.

Die wichtigsten erwarteten Auswirkungen auf das Oberflächenwasser sind daher die Menge an Wasser, die als Rohstoff verbraucht wird (Wasserhaushalt), die Auswirkungen auf die Fließgeschwindigkeit und die Folgen für die Temperatur und die Wasserqualität der Maas.

Zu beachten ist, dass das Wasser, das in die Maas geleitet wird, nicht mit dem Primärkreislauf (dem nuklearen Teil der Anlage) in Berührung kommt. Es besteht also (unter normalen Betriebsbedingungen) kein Risiko einer radioaktiven Kontamination.

Da an den bestehenden Einleitungs- oder Entnahmestellen in die Maas keine Bauwerke geplant sind, werden die Auswirkungen auf die Strukturqualität der Maas nicht als erheblich angesehen.

6.2.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Das Untersuchungsgebiet für die Disziplin Wasser umfasst alle Oberflächengewässer, die zum öffentlichen Gewässernetz gehören und deren Qualität, Menge und/oder Struktur durch den Aufschub der Abschaltung von Tihange 3 beeinträchtigt werden könnten. Die genaue Abgrenzung des Untersuchungsgebiets hängt von der Reichweite der Auswirkungen ab, die Gegenstand der Studie ist. Konkret wird das Untersuchungsgebiet durch die Maas bestimmt, genauer gesagt durch den Einflussbereich, in dem die Auswirkungen auf die Wasserqualität durch Wärmeinleitungen und Abwasser auftreten können. In Anbetracht dessen kann der Teil der Maas zwischen dem Staudamm von Andenne-Seilles oberhalb des Kraftwerks Tihange und dem Kraftwerk Seraing unterhalb der Einleitungsstellen des Kernkraftwerks als ungefähres Untersuchungsgebiet definiert werden.

Durch die Übersetzung auf die im Bewirtschaftungsplan des Einzugsgebiets definierten Wasserkörper wird der Zustand des Oberflächenwasserkörpers Untere Maas angesprochen.

Die *Referenzsituation* ist die Situation im Jahr 2025 (Jahr des Beginns der Betriebsverlängerung). Mögliche autonome oder kontrollierte Entwicklungen, die dazu führen könnten, dass sich die Situation 2025 (grundlegend) von der im Jahr 2023 unterscheidet, könnten für den Wasserkörper Untere Maas eine weitere Verbesserung der Wasserqualität (durch zusätzliche Sanierungsbemühungen im Einzugsgebiet) sein; andererseits könnte man auch an mögliche beobachtbare Auswirkungen des Klimawandels in diesem Zeitraum denken (temperaturbedingte Auswirkungen oder Veränderungen in Bezug auf die Durchflussmenge).

Im Laufe der Jahrhunderte wurden zahlreiche Anlagen und mehrere Umleitungen und Kanalsysteme angelegt, um die Schifffahrt über die Maas zu ermöglichen oder zu erleichtern. So wurde die Maas von ihrer Quelle bis zu ihrer Mündung (mit Ausnahme des Abschnitts an der Grenze zwischen Flandern und den Niederlanden) auf einer Länge von rund 100 Kilometern über Ingenieurbauwerke und eine Reihe von Schleusen und Dämmen schiffbar gemacht. Die Maas ist also kanalisiert und besteht aus einer Reihe von Staustufen, die durch Dämme oder Schleusenanlagen voneinander getrennt sind. Diese Ausbauten haben in vielen Abschnitten zu erheblichen Veränderungen des natürlichen Charakters und der Morphologie des Flusses geführt, insbesondere im Abschnitt Namur - Lixhe (Visé), der in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt ist.

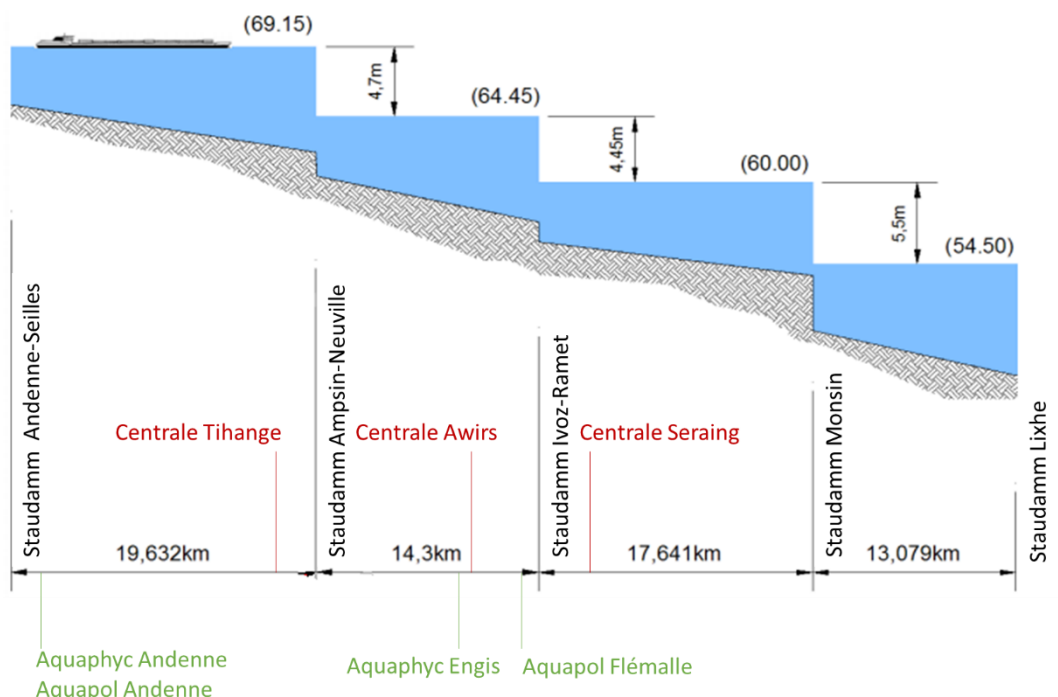


Abbildung 77: Dämme der Maas zwischen Andenne und Lixhe und Lage des Kraftwerks Tihange (Quelle: ÖDW).

Diese Bauwerke verändern das Verhältnis von Durchfluss und Wasserhöhe und ermöglichen so die Flussschifffahrt und ein angemessenes Management bei Hochwasser. Das dem Standort nächstgelegene Bauwerk, der Staudamm von Ampsin-Neuville, befindet sich etwa 1 km flussabwärts vom Kraftwerk.

Außerdem ist die Maas ein Fluss, der hauptsächlich durch abfließende Regenfälle gespeist wird. Ihre Fließgeschwindigkeit ist unregelmäßig und kann von einem Tag zum anderen und innerhalb eines Tages stark schwanken. Sie schwankt von Jahreszeit zu Jahreszeit und von Jahr zu Jahr erheblich.

Niederschläge können zu starken Abflüssen und plötzlichen Anstiegen der Wassermenge führen. Diese Flussschwankungen können abrupt auftreten und zu Hochwasser führen, das mehrere Tage lang bis zu 1.500 m³/s erreichen kann. Umgekehrt kommt es in bestimmten Jahreszeiten (meist Sommer und Herbst) in der Maas zu längeren Perioden mit niedrigen Abflüssen (Niedrigwasser). Die Abflüsse können dann über mehrere Wochen auf Werte von 20 bis 30 m³/s (mittlere Tagesabflüsse) sinken.

Die Abflüsse der Maas werden an verschiedenen Stellen des Flusses gemessen. Die dem Kraftwerk Tihange nächstgelegene Messstelle ist die Station Ampsin Bief Amont, die sich 1 km flussabwärts (östlich) vom Standort befindet. Dort werden die Abflüsse der Maas kontinuierlich mit einem Ultraschallgerät gemessen (Messstation SETHY 7.137 für Ampsin).

Laut ÖDW-DWW⁹⁴ beträgt der durchschnittliche Abfluss der Maas, der im Zeitraum von 1996 bis 2021 in Amay gemessen wurde, 205,05 m³/s, mit einem Minimum von 18,57 m³/s und einem Maximum von 1.933 m³/s.

Zwischen der Messstation Amay und dem Kraftwerk Tihange fließen weitere Flüsse in die Maas, sodass die vorherigen Abflüsse für die folgende Analyse maximal sind.

Für die Beschreibung und Charakterisierung der Oberflächenwasserqualität der Schelde in der Referenzsituation (2025) kann auf die Bewertung der Situation im Rahmen des 2. und 3. Bewirtschaftungsplans des Einzugsgebiets für die untere Maas gemäß der Wasserrahmenrichtlinie verwiesen werden.

Die Bewertung im Rahmen des 2. Bewirtschaftungsplans für das Einzugsgebiet (2016-2021) basiert auf den Messergebnissen der Jahre 2005-2013. Der Zustand des Wasserkörpers wird im „Charakterisierungsblatt des Wasserkörpers MV35R Maas II“ (ÖDW-LNSU, 2016) beschrieben und in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 66: Ökologischer und chemischer Zustand des Wasserkörpers MV35R (2013).

MV35R	Ökologische Qualitätselemente		Ökologischer Zustand	Chemischer Zustand	
Maas II	Biologie	Gut und besser	Mittel	Qualität ohne PBT***	Gut
	Physikalisch-chemisch (allgemeine Parameter*)	Gut		Qualität mit PBT*	Nicht gut
	Physikalisch-chemisch (spezifische Schadstoffe**)	Schlecht			
	Hydromorphologie	Unbefriedigend			

* Gelöster O₂, DBO₅, DCO, MES, NH₄⁺, NTK, NO₂⁻, NO₃⁻, P_{TOI}, Orthophosphat, T°, pH, anionische Tenside, Cl⁻ und SO₄²⁻

**Metalle und Metalloide, landwirtschaftliche Pestizide, gemischte Pestizide, monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Chlorphenole, Organochlorverbindungen

***Ubiquitäre PBT: Persistente, bioakkumulative und toxische Stoffe

Wie aus der Tabelle hervorgeht, kann der Zustand des Wasserkörpers als mäßig charakterisiert werden, wobei der identifizierte herabstufende Parameter Vinylchlorid ist. Gemäß Anhang V der Wasserrahmenrichtlinie wird der Zustand eines Wasserkörpers als mäßig eingestuft, wenn: „Die Werte für die biologischen Qualitätskomponenten des Oberflächengewässertyps weichen mäßig von den Werten ab, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse mit dem betreffenden Oberflächengewässertyp einhergehen. Die Werte geben Hinweise auf mäßige anthropogene

⁹⁴ ÖDW - DWW: Öffentlicher Dienst der Wallonie - Direktion für Wasserwirtschaft.

Abweichungen und weisen signifikant stärkere Störungen auf, als dies unter den Bedingungen des guten Zustands der Fall ist.“

Im Charakterisierungsblatt heißt es, dass auf der Grundlage der Analyse des Zustands des Wasserkörpers und in Projektion auf die Umsetzung des Maßnahmenprogramms der zweiten Bewirtschaftungspläne die ökologischen und chemischen Ziele nicht erreicht werden.

Die Bewertung im Rahmen des dritten Bewirtschaftungsplans für das Einzugsgebiet (2022-2027) basiert auf den Messergebnissen der Jahre 2016-2018.

Tabelle 67: Ökologischer und chemischer Zustand des Wasserkörpers MV35R (2018).

MV35R	Ökologische Qualitätselemente		Ökologischer Zustand	Chemischer Zustand	
Maas II	Biologie	Unbefriedigend	Unbefriedigend	Qualität ohne PBT*	Nicht gut
	Makroschadstoffe (DBO ₅ , DCO, MES, N _{TOT} und P _{TOT})	Gut		Qualität mit PBT*	Nicht gut
	Physikalisch-chemisch (spezifische Schadstoffe)	Gut			

Es gibt Überschreitungen für Bifenox, Cypermethrin, ubiquitäre PBTs: Quecksilber (Biota), Heptachlor/Heptachlorepoxyd (Biota), PBDE (Biota).⁹⁵

Der ökologische Gesamtzustand der Maas II hat sich leicht verschlechtert, von einem mäßigen Zustand im Jahr 2013 auf einen unbefriedigenden Zustand im Jahr 2018. In Anhang V der Wasserrahmenrichtlinie werden Wasserkörper mit unbefriedigendem Zustand wie folgt definiert: „Gewässer, bei denen die Werte für die biologischen Qualitätskomponenten des betreffenden Oberflächengewässertyps stärkere Veränderungen aufweisen und die Biozönosen erheblich von denen abweichen, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse mit dem betreffenden Oberflächengewässertyp einhergehen, werden als unbefriedigend eingestuft.“

Bei den spezifischen Schadstoffen ist jedoch eine physikalisch-chemische Verbesserung zu beobachten.

Da das Projekt Auswirkungen auf eine Einleitung von Industrieabwasser haben könnte, muss eine weitere Studie durchgeführt werden, um die Auswirkungen auf den Zustand des betroffenen Wasserkörpers zu bewerten. Die Situation darf sich tatsächlich nicht verschlechtern.

Der Aquaphyc-Dienst des ÖDW unterhält 6 Stationen für monatliche Messungen und Analysen an der Maas, darunter die Station Andenne (Code 3260), die etwa 13 km flussaufwärts des Standorts liegt, und die Station Engis (Code 3290), die etwa 10 km flussabwärts des Standorts liegt (siehe Abbildung oben). Nach einem Vergleich der Analyseergebnisse von 2021 (letztes verfügbares Jahr) mit den unteren Grenzen der Zustandsklassen (Anhang Xter.B.I des Wassergesetzes) ergibt sich, dass der Zustand des Wassers in der Maas oberhalb und unterhalb des Kraftwerks Tihange insgesamt sehr gut ist. Nur hinsichtlich der Gehalte an Stickstoffmaterialien (Kjeldahl-Stickstoff, Ammoniumstickstoff, Nitrate, Nitrite) und Phosphatmaterialien (lösliche Orthophosphate und Gesamtphosphor) ist der Zustand der Maas als gut einzustufen. Erwähnenswert ist jedoch eine leichte Verschlechterung der Wasserqualität von flussaufwärts nach flussabwärts in Bezug auf Chloride und Sulfate.

Der ÖDW unterhält auch ein zweites Messnetz namens Aquapol⁹⁶. Es handelt sich um ein Netz zur kontinuierlichen Messung der physikalisch-chemischen Qualität der wallonischen Wasserläufe. Nur die Leitfähigkeit, der pH-Wert, der gelöste O₂, die Sättigung mit gelöstem Sauerstoff und die Temperatur werden überwacht. Die nächstgelegenen Messstationen sind Andenne oberhalb des Projekts und Flémalle unterhalb des Projekts. Die Entwicklung der täglichen Durchschnittstemperaturen, die an den beiden Messstationen (Andenne oberhalb des Standorts und Flémalle unterhalb) gemessen wurden, sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

⁹⁵ Projekt der dritten Bewirtschaftungspläne der wallonischen Flusseinzugsgebiete, DEE - ÖDW-LNU

⁹⁶ <http://environnement.wallonie.be/aquapol/#/aquapol/home>.

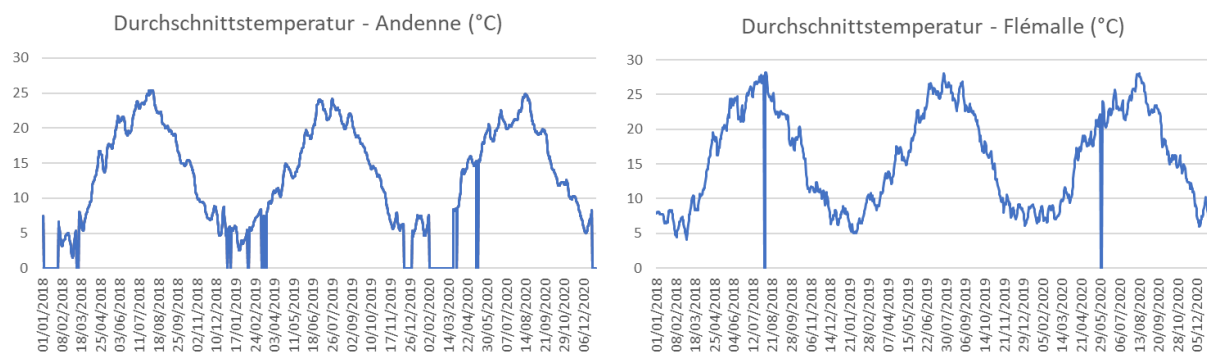


Abbildung 78: Temperaturentwicklung (2018-2020) oberhalb (Andenne) und unterhalb (Flémalle) des Kraftwerks Tihange.

Die Untersuchung dieser Graphen zeigt, dass die Temperatur des Maaswassers in Flémalle insgesamt höher ist als in Andenne. Tatsächlich schwankt die durchschnittliche Tagestemperatur, die in Andenne gemessen wurde, ungefähr zwischen 3 °C und 25 °C, während diese Schwankungen in Flémalle zwischen 5 °C und 27 °C liegen. Es kann also festgestellt werden, dass sich die Maas zwischen diesen beiden Stationen erwärmt. Außerdem scheint es, dass die Wassertemperatur der Maas im Laufe der Jahre leicht ansteigt.

Die folgende Tabelle zeigt für die Jahre 2018 bis 2020 die Anzahl der Tage, an denen die Tagesmitteltemperaturen der Maas, gemessen in Flémalle unterhalb des Kraftwerks Awirs (kontinuierliches Messnetz der Wallonischen Region), 24, 25, 26, 27, 28 und 29 °C übersteigen, wobei die untere Grenze der Zustandsklassen (RIV_19) für die Temperatur bei 24 °C liegt.

Tabelle 68: Anzahl der Tage, an denen bestimmte Temperaturschwellenwerte überschritten werden - Station ANDENNE.

Jahr	T>24 °C	T>25 °C	T>26 °C	T>27 °C	T>28 °C	T>29 °C
2018	22	11	1	0	0	0
2019	11	0	0	0	0	0
2020	14	4	0	0	0	0

Tabelle 69: Anzahl der Tage, an denen bestimmte Temperaturschwellenwerte überschritten werden - Station Flémalle.

Jahr	T>24 °C	T>25 °C	T>26 °C	T>27 °C	T>28 °C	T>29 °C
2018	49	25	4	0	0	0
2019	92	65	30	7	3	0
2020	70	48	30	20	6	0

Diese Tabellen scheinen zu bestätigen, dass sich das Wasser der Maas einerseits von Jahr zu Jahr erwärmt und dass andererseits die Wassertemperatur flussabwärts höher ist als flussaufwärts des Standorts.

Hydromorphologische Veränderungen oder eine Auswirkung auf den Grundwasserkörper sind im Rahmen des Projekts nicht anwendbar.

Für spezifische Schadstoffe, die zur Bestimmung des ökologischen Zustands beitragen, und für Schadstoffe, die den chemischen Zustand bestimmen, muss eine Bewertung für die Parameter vorgenommen werden, bei denen die Umweltqualitätsnorm im derzeitigen Zustand überschritten wird oder die Konzentration zunehmen würde. Zu guter Letzt müssen auch die biologischen Qualitätskomponenten bewertet werden (wenn möglich).

6.2.3.1 Beschreibung der Auswirkungen

Diese Beschreibung basiert auf den verfügbaren Daten und Informationen, die in den verschiedenen vom Kraftwerksbetreiber vorgelegten Jahresberichten (PISOE, Umwelterklärungen, Betriebsberichte) und den verschiedenen im Zeitraum 2018-2019 erstellten Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP des Projekts SF² - Spent fuel storage facility - Lagergebäude für verbrauchten Kernbrennstoff) enthalten sind. Zu beachten ist, dass nur die Daten für das gesamte Kraftwerk Tihange verfügbar waren. Da für den Block Tihange 3 keine eigenen Daten vorliegen, wurde im Rahmen dieser Studie beschlossen, den Beitrag dieses Blocks anhand der elektrischen Leistung der drei Blöcke, aus denen sich das Kernkraftwerk zusammensetzt, zu schätzen.

Einheit	Tihange 1	Tihange 2	Tihange 3	Insgesamt
Erzeugung von elektrischer Energie (MWe)	962	1.008	1.045,8	3.015,8
Beitrag jeder Einheit (%)	31,9 %	33,4 %	34,7 %	100 %

Der Aufschub der Abschaltung um 10 Jahre bedeutet, dass in dieser Zeit weiterhin Wasser vom Kraftwerk Tihange 3 verbraucht und eingeleitet wird. Das Kraftwerk nutzt Trinkwasser/Stadtwasser (als Prozesswasser, für die Wartung und in den Sanitäranlagen) und Wasser aus der Maas (als Kühlwasser). Das Grundwasser wird nur bei Zwischenfällen genutzt und Regenwasser wird am Standort weder gesammelt noch verwendet. Abbildung 79 zeigt den Wasserverbrauch für das Jahr 2019 für das gesamte Kraftwerk Tihange.

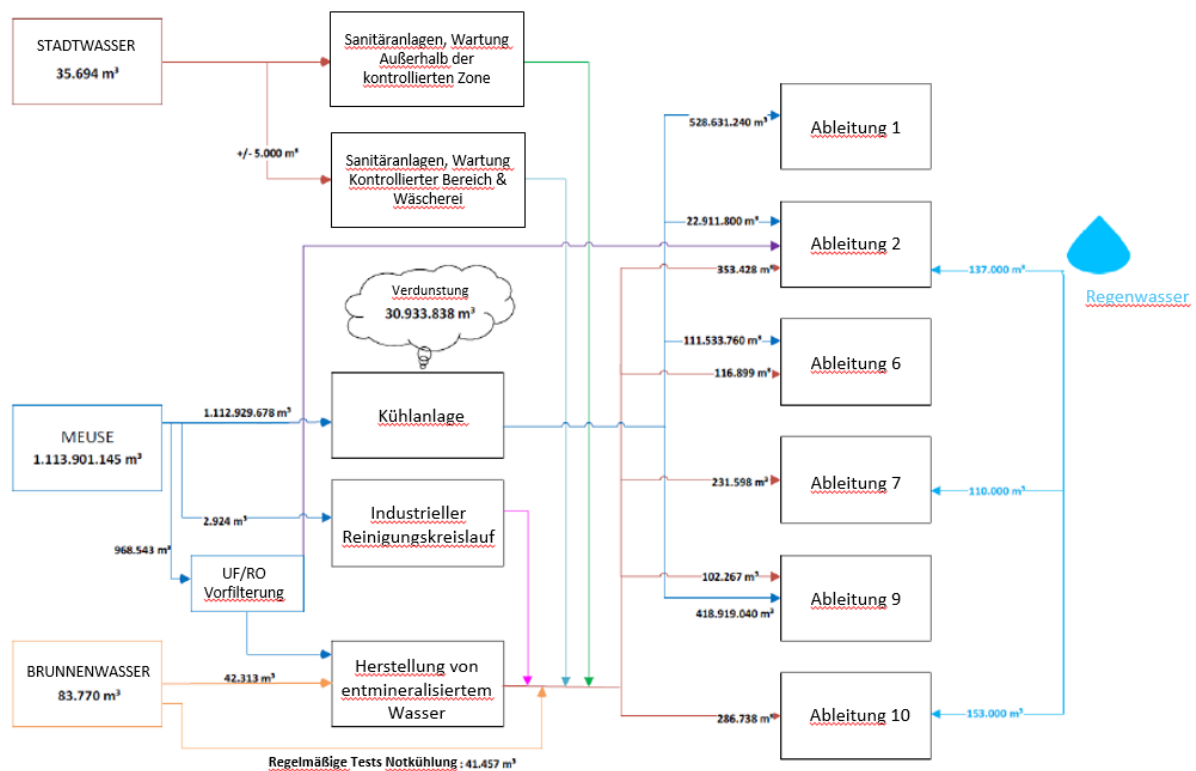


Abbildung 79: Wasserbilanz des KKW Tihange für 201.

Leitungswasser wird hauptsächlich für sanitäre Zwecke verwendet.

Häusliches Abwasser stammt ausschließlich aus dem Sanitärbereich (WCs, Duschen, Waschbecken usw.) und aus der Instandhaltung (Waschwasser für Gebäude usw.). Das häusliche Abwasser wird über Kläranlagen gereinigt, bevor es

in die interne Kanalisation gelangt und dann in die Maas eingeleitet wird. Das Kraftwerk verfügt dazu über 16 Kläranlagen (von 5 bis 700 EW) mit insgesamt 1.469 EW.

2021 beträgt der Trinkwasserverbrauch auf dem Kraftwerksgelände 30.877 m³. Bei Anwendung des 34,7 %igen Beitrags würden etwa 10.714 m³ in Tihange 3 verbraucht werden. Der Verbrauch des Standorts schwankt je nach Anzahl der vom gesamten Personal (intern und extern) geleisteten Stunden. Trinkwasser wird nämlich fast ausschließlich für die sanitären Bedürfnisse des Personals verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte verbrauchte Leitungswasser nach Klärung wieder in die Maas eingeleitet wird.

Oberflächenwasser, das der Maas entnommen wird, wird fast ausschließlich für die Kühlung der Einheiten verwendet. Die aus der Maas abgepumpte Wassermenge ist variabel, um die Erwärmung der Maas wie in der Wassereinleitungsgenehmigung angegeben zu respektieren. Die gepumpte Menge kann zwischen 2 m³/s (vollständige Umwälzung der Anlagen und Kompensation der Verdampfung durch die atmosphärischen Kältemittelfahnen) und etwa 110 m³/s für alle drei Einheiten variieren (theoretischer maximaler Einleitungswert ohne Umwälzung).

Ein Teil davon wird auch zur Herstellung von entmineralisiertem Wasser und zur Reinigung der Anlagen verwendet. Etwa 97 % werden direkt in den Fluss geleitet, der Rest gelangt als Wasserdampf über die Kühltürme in die Atmosphäre. Im Jahr 2021 betrug die aus der Maas entnommene Wassermenge 1.453 Millionen Kubikmeter (± 500 Mm³ für Tihange 3 unter Anwendung des Beitragsfaktors), wovon ± 1.020 Mm³ (± 355.000 m³ für Tihange 3) für die Produktion von entmineralisiertem Wasser und die Reinigung der Anlagen verwendet wurden. Was die in den Kühltürmen verdampfte Menge angeht, so waren im Jahr 2021 die drei Luftkühler insgesamt 24.989 Stunden in Betrieb. Daraus ergibt sich eine berechnete Verdunstung von 36,5 Millionen Kubikmetern Maaswasser (± 20 Mm³ für Tihange 3).

Kühlwasser besteht aus Kreislaufwasser (KWK - Wasser, das zur Kühlung der Turbinen entnommen wird) und Rohwasser (RWK - Wasser, das zur offenen Kühlung einer Reihe von Hilfsaggregaten verwendet wird). Dieses Wasser wird direkt in die Maas geleitet.

Industrieabwasser besteht hauptsächlich aus:

- Regenerationsabwasser aus den Entsalzungsanlagen der drei Einheiten;
- Spülwasser aus den Maschinenräumen der drei Einheiten;
- Abwasser aus dem kontrollierten Bereich der drei Einheiten;
- Spülwasser der Dampferzeuger (auf der Seite des Sekundärkreislaufs) der drei Einheiten.

Dieses Wasser wird in das interne Abwassersystem des Standorts und anschließend in die Maas geleitet.

Wenn man die in den Kühltürmen verdampfte Wassermenge von dem aus der Maas entnommenen Wasser abzieht, kann die Einleitung von Kühlwasser und Industrieabwasser auf 1,417 Mio. m³ im Jahr 2021 geschätzt werden (± 500 Mio. m³ für Tihange 3). Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte entmineralisierte Wasser in die Maas eingeleitet wird und eine Einleitung von Industrieabwasser darstellt (1.020 Mio. m³, davon ± 355.000 m³ für Tihange 3).

Regenwasser besteht aus dem Wasser, das von den Dächern der Gebäude abfließt, und dem Wasser, das auf die asphaltierten Straßen des Kraftwerksgeländes fließt. Bei einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 850 Litern pro Quadratmeter und Jahr (Quelle: www.meteo.be) und einer Sammelfläche von ca. 382.000 m² (Dächer, Einfahrten, Parkplätze usw.) wird die Menge des eingeleiteten Regenwassers auf 325.000 m³ pro Jahr geschätzt.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die Abschaltung und der Rückbau von Tihange 1 und 2 über mehrere Jahre erstrecken werden, wird davon ausgegangen, dass im Zeitraum 2025-2037 keine wesentlichen Unterschiede in den Beschichtungswerten zu erwarten sind. Daher gilt die oben geschätzte jährliche Regenwassermenge auch für die nächsten 10 Jahre (unter Berücksichtigung der Schwankungen der jährlichen Niederschlagsmenge).

Das Kraftwerk ist aufgrund seiner Umweltgenehmigung vom 09.05.2008 berechtigt, sein Abwasser und Regenwasser über 6 direkte Einleitungsstellen für Kühlwasser, Industrieabwasser und behandeltes Haushaltsabwasser in die Maas einzuleiten (Einleitungen Nr. 1, 2, 6, 7, 9, 10 der Umweltgenehmigung).

Die Menge an Kühlwasser, die im untersuchten Zeitraum (2025-2037) eingeleitet wird, entspricht in etwa der Menge, die für den Betrieb von Tihange 3 allein geschätzt wird (± 500 Mio. m^3/Jahr). Zur Erinnerung: Dieses Volumen wurde durch Anwendung eines Faktors geschätzt, der auf der Grundlage der Leistung der einzelnen Einheiten berechnet wurde, es handelt sich also um eine Größenordnung. Außerdem wird erwartet, dass dieses Jahresvolumen je nach Betriebsstunden der Anlage, der Notwendigkeit der Kühlung und der Frage, ob das Wasser vor der Einleitung rezirkuliert werden muss, schwankt, um die Wärmestands der Genehmigung zu erfüllen. Dies ist immerhin ein Rückgang um etwa ein Drittel im Vergleich zu einer Situation, in der alle drei Kraftwerke in Betrieb wären.

Beim Industrieabwasser kann das gleiche Verhältnis wie bei Kühlwasser angewendet werden. Daher wird geschätzt, dass die jährliche Menge an Industrieabwasser, die in die Maas eingeleitet wird, um $355.000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$ schwanken wird.

Zur Erinnerung: Leitungswasser wird hauptsächlich für Sanitäranlagen und zur Reinigung von Anlagen verwendet. Die Menge des verwendeten Wassers hängt daher stark von der Anzahl der Personen ab, die sich auf dem Gelände aufhalten. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie waren weder die Dauer der Rückbauperiode von Tihange 1 und Tihange 2 noch die Anzahl der Personen, die sich während dieser Zeit vor Ort aufhalten werden, bekannt. Daher kann der Verbrauch von Stadtwater in den nächsten Jahren nicht genau geschätzt werden. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass der Verbrauch während des 10-jährigen Weiterbetriebs identisch mit dem derzeitigen Verbrauch (alle drei Blöcke von Tihange in Betrieb) sein wird.

Auf Grundlage der obigen Ausführungen lässt sich folgern, dass die Hauptauswirkung des Betriebs des Kernkraftwerks auf das hydrographische System die Einleitung von Abwasser und Kühlwasser in die Maas ist. Es sind Auswirkungen auf die Quantität (Durchfluss) und die Qualität der Maas zu erwarten.

Quantität

Unter normalen Umständen werden etwa $120.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\pm 50.000 \text{ m}^3/\text{h}$ für Tihange 3) Maaswasser zu Kühlzwecken in den Tertiärkreislauf gepumpt (Durchschnitt der letzten 5 Jahre). Dies entspricht 17 % (7 % für Tihange 3) des durchschnittlichen Abflusses der Maas, der bei Tihange etwa $198,55 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt (Durchschnitt der letzten 5 Jahre).

2021 verbrauchte das Kernkraftwerk Tihange $1.143.000.000 \text{ m}^3$ Maaswasser. Etwa $36.500.000 \text{ m}^3$ verdampften in den Kühltürmen und $1.106.500.000 \text{ m}^3$ wurden in die Maas eingeleitet. Zu diesem Volumen kommt die Einleitung von häuslichem Abwasser (ca. 30.877 m^3 im Jahr 2021), industriellem Abwasser ($1.020.036 \text{ m}^3$ im Jahr 2021) und Regenwasser (5.785 m^3) hinzu, was ein Gesamtvolumen von $1.056.698 \text{ m}^3$ ergibt. Dieses Volumen kompensiert größtenteils den Wasserverlust durch Verdunstung in den Kühltürmen (Kompensation von ca. 97%), obwohl es im Vergleich zum Kühlwasserdurchfluss (ca. 1.120-mal kleiner) als vernachlässigbar zu betrachten ist.

Für das Jahr 2022 wird eine hinsichtlich der Größenordnung ähnliche Jahresmenge erwartet (1,143 Millionen m^3 , siehe oben). Ab 2023, nach der Abschaltung von Tihange 2, werden unter Anwendung des oben berechneten Beitragsfaktors für diesen Block schätzungsweise 761 Mio. m^3 entnommen. Es ist zu beachten, dass beim Rückbau von Tihange 2 noch Wasser verwendet wird und dass die Menge des aus der Maas entnommenen Wassers um etwa ein Sechstel auf 952 Millionen m^3 sinken wird. Dies gilt auch infolge der für 2025 geplanten Abschaltung von Tihange.

Obwohl die Auswirkungen auf das Wassersystem in Bezug auf die Durchflussmenge größer sein werden als im Referenzszenario, in dem Tihange 1 und 3 ab 2025 und Tihange 2 ab 2023 den Betrieb einstellen, was bedeutet, dass kein Abwasser mehr eingeleitet wird, bleiben die Auswirkungen begrenzt. Es wird geschätzt, dass die Auswirkungen beim Weiterbetrieb von Tihange 3 auf Jahresbasis nur 34,7 % betragen, aber in Bezug auf die Auswirkungen auf die Wassermenge der Maas auf jeden Fall vernachlässigbar sind.

Qualität

Was die chemische Qualität des Abwassers betrifft, so entsteht durch die tägliche Tätigkeit der Arbeiter im Kraftwerk und den Betrieb der Kreisläufe Abwasser, das nach herkömmlichen, nicht radioaktiven Parametern überwacht wird. Die Einleitung dieses Abwassers in die Maas erfolgt streng nach den Vorschriften. Im Rahmen eines ständigen

Überwachungsprogramms wird überprüft, ob die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften dieses Wassers den Einleitungsnormen entsprechen, die dem Kernkraftwerk Tihange in seiner Umweltgenehmigung auferlegt wurden.

Zur Erinnerung: Die Hauptursachen für die Freisetzung von Chemikalien sind:

- Wasseraufbereitung für den Bedarf an entmineralisiertem Wasser für die Kreisläufe. Dabei fallen Abwässer an, die mit Salzen aus der Regeneration von Ionenaustauscherharzen und Schwebstoffen aus den Abwässern der Entsalzungsanlage (Konzentration und Einleitung von Schwebstoffen aus Maaswasser) belastet sind;
- Die Behandlung von Kühlkreisläufen:
 - durch Einspritzen von Schwefelsäure, was zu einer Freisetzung von Sulfaten führt, um Verkalkung zu verhindern;
 - durch Chlorierung des Kühlwassers, um die Besiedlung der Kreisläufe durch festsitzende Organismen (Algen, Muscheln usw.), die den Betrieb des Kreislaufs gefährden könnten, sowie Legionellen zu beseitigen. Das derzeit verwendete Verfahren ist die Chlorierung durch Einspritzen von Natriumhypochlorit (Chlor).
- Die Einleitung von sekundären Abwässern (Spülungen der Dampferzeuger und Abwässer aus den Entwässerungsgruben der Maschinenräume - CEM), die mit Ammoniak und Hydrazin (Korrosionsschutzbehandlung) behandelt sind.

Laut den Umwelterklärungen des Kraftwerks Tihange wurden vom zugelassenen Labor für den Zeitraum 2019-2021 nur sechs Überschreitungen der Einleitungsnormen festgestellt. Die drei Überschreitungen im Jahr 2019 bezogen sich auf durch Sedimentation gebildetes Material. In zwei Fällen war die Überschreitung darauf zurückzuführen, dass sich vor der Einleitung Schlamm am Boden von Wassertanks angesammelt hatte. Diese beiden Tanks wurden gereinigt. Im Jahr 2020 konnte eine erste Überschreitung des Stickstoffwertes mit einem Versuch in Verbindung gebracht werden, Hydrazin durch ein weniger schädliches Konditionierungsmittel, Carbohydrazid, zu ersetzen. Die zweite Überschreitung, bei der es sich um Nitrit handelte, betraf eine zu hohe Zufuhr von Abwasser aus Wäschereien in die Tanks vor der Einleitung. Im Jahr 2021 wurde nur eine DCO-Überschreitung im Abwasserkanal östlich von Einheit 1 festgestellt. Es wurde eine Inspektion des Abwasserkanals oberhalb des Hydrokollektors von Einheit 1 durchgeführt und eine teilweise Verstopfung des Abwasserkanals unterhalb der Kläranlage festgestellt und beseitigt. Bei den folgenden Probenahmen wurden keine Überschreitungen mehr festgestellt.

Erwähnenswert ist, dass 2021 eine Überschreitung der Norm für sedimentierbare Stoffe in der CEM-Grube von Tihange 3 festgestellt wurde. Eine Auffüllung mit Maaswasser in der CEM-Grube wurde zu dieser Zeit identifiziert, wodurch das Ergebnis an sedimentierbaren Stoffen aus der Maas für diese Probe abgeleitet werden kann. Es gibt keine Überschreitung der Normen der Genehmigung, diese Überschreitung muss nicht berücksichtigt werden.

Es ist anzumerken, dass alle diese Überschreitungen nicht direkt die Aktivitäten von Tihange 3 betreffen. Außerdem betreffen sie unterschiedliche Schadstoffe und sind weder wiederkehrend noch zeitlich konstant. Jede der Überschreitungen konnte mit einem bestimmten, isolierten Ereignis in Verbindung gebracht werden. Sobald die Ursache der Überschreitung festgestellt wurde, wurden Korrekturmaßnahmen ergriffen und weitere Analysen ergaben, dass die Normen wieder eingehalten wurden. Zwar kann es am Standort zu „Zwischenfällen“ kommen, bei denen die in der geltenden Genehmigung festgelegten Normen für bestimmte Schadstoffe sporadisch überschritten werden, doch sind diese eher selten und werden vom Betreiber relativ schnell behoben, sodass solche Überschreitungen im Laufe der Zeit nur selten auftreten.

Zur Erinnerung: Der ökologische Zustand des Wasserkörpers MV35R Maas II hat sich von 2013 bis 2018 leicht verschlechtert (von mäßig auf unbefriedigend), wobei jedoch eine physikalisch-chemische Verbesserung bei den spezifischen Schadstoffen zu verzeichnen war. Darüber hinaus ist der Wasserzustand der Maas laut Daten des Aquaphyc-Dienstes des ÖDW oberhalb (Andenne) und unterhalb (Engis) des Kraftwerks insgesamt sehr gut, lediglich eine leichte Verschlechterung der Wasserqualität von flussaufwärts nach flussabwärts in Bezug auf Chlorid und Sulfat ist zu beobachten. Es ist anzumerken, dass zahlreiche Industriebetriebe wie die Zuckerfabrik Wanze, Recyfuel, Hydrométal, Revatech, Knauf oder Prayon entlang der Maas an diesem Abschnitt angesiedelt sind. Diese

Betriebe leiten auch Abwasser in die Maas und könnten zur Verschlechterung der Qualität ihres Oberflächenwassers beitragen, wobei der Beitrag der einzelnen Betriebe aufgrund fehlender Zahlenangaben nicht bestimmt werden kann.

Da die Qualität des Wasserkörpers Maas von 2013 bis 2018 insgesamt nicht schlechter war, kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Zeitraum keine wesentlichen Auswirkungen des Abwassers auf die Wasserqualität der Maas zu beobachten waren. Für den zukünftigen Zeitraum (2025-2037) werden unter normalen Bedingungen und bei gleichem Betriebsmodus keine signifikanten Auswirkungen auf die Wasserqualität erwartet. Die geplante Abschaltung der Blöcke Tihange 1 im Jahr 2025 und Tihange 2 im Jahr 2023 bedeutet, dass die mit diesen Blöcken verbundenen Abwassereinleitungen eingestellt werden müssen. Obwohl die Qualität des in die Maas eingeleiteten Wassers wahrscheinlich unverändert bleiben wird, wird erwartet, dass die Abwassermenge und damit die Schadstoffbelastung in den nächsten Jahren sinken wird. Die Auswirkungen des Kraftwerks auf die Wasserqualität der Maas werden daher umso vernachlässigbarer sein.

In Bezug auf die Qualität muss zusätzlich zwischen eingeleitetem Kühlwasser, häuslichem Abwasser und industriellem Abwasser unterschieden werden.

Das *Kühlwasser* hat eine thermische Auswirkung auf die Maas, hat einen erhöhten Chloridgehalt aufgrund der Dosierung von NaOCl zur Vermeidung von mikrobiellem Wachstum und hat einen erhöhten Sauerstoffgehalt aufgrund der Belüftung in den Kühltürmen. Bevor das Kühlwasser wieder in den Fluss zurückfließt, wird es in den Kühltürmen gekühlt, wo der aufsteigende Luftstrom die Sauerstoffkonzentration im Wasser erhöht und die Temperatur senkt. In der Umweltgenehmigung werden Bedingungen für die Immission festgelegt:

1. Temperatur im Unterlauf der Maas;
 - 1.1. Die Temperatur im Unterlauf der Maas, die nach der Mischung am Staudamm von Ampsin-Neuville gemessen wird, darf aufgrund der Wärmeeinleitungen des Kraftwerks 28 °C nicht überschreiten. Dieser Grenzwert darf jedoch für 2 % der Zeit überschritten werden, ohne dass 29 °C überschritten werden;
 - 1.2. Der jährliche Mittelwert der Temperatur unterhalb des Kraftwerks, gemessen nach der Mischung am Staudamm von Ampsin-Neuville, ist kleiner oder gleich 25 °C;
2. Erwärmung des Wassers der Maas:

Die maximale Erwärmung im Tagesmittelwert liegt bei 4 °C außer:

 - 2.1. Vom 01.07. bis einschließlich 31.03.:
 - 2.1.1. Die maximale Erwärmung im Tagesmittelwert beträgt 5 °C, wenn die Fließgeschwindigkeit der Maas weniger als 300 m³/s und die Oberwassertemperatur im Tagesmittelwert höchstens 21 °C beträgt. Diese Grenze darf jedoch für 2 % der Zeit überschritten werden;
 - 2.1.2. Bei einer Durchflussmenge von weniger als 28 m³/s und einer Oberwassertemperatur von 21 °C oder weniger beträgt die momentane Erwärmung 5°C, die maximale Erwärmung im Tagesdurchschnitt jedoch 4 °C. Diese Grenze darf jedoch für 2 % der Zeit überschritten werden;
 - 2.2. Vom 01.04. bis einschließlich 30.06.:

Entweder beträgt während der Laichzeit der Fische die maximale Erwärmung im Tagesmittelwert 5 °C, wenn die Fließgeschwindigkeit der Maas zwischen 28 und 50 m³/s liegt. Diese Grenze darf jedoch für 2 % der Zeit überschritten werden.

In Zeiten großer Hitze und Trockenheit oder bei geringen Abflüssen ist daher erhöhte Wachsamkeit beim Umgang mit Wärmefreisetzung erforderlich.

Die Erwärmung der Maas, um die es hier geht, wird durch die Differenz zwischen der stromabwärts und der stromaufwärts gelegenen Temperatur der Maas in Bezug auf den Standort des Kraftwerks bestimmt. Diese Temperaturen werden in 5 von der Electrabel AG betriebenen Messstationen gemessen und von einer unabhängigen, vom Öffentlichen Dienst der Wallonie zugelassenen Stelle kontrolliert.

Zu diesem Zweck gibt es ein Protokoll zwischen dem Öffentlichen Dienst der Wallonie, der Electrabel AG und der Firma Luminus über die Überwachung der Temperatur der Maas zwischen Huy und Lüttich. Das Protokoll wurde am 12. November 1997 für eine Dauer von zehn Jahren unterzeichnet und wird alle zehn Jahre stillschweigend verlängert.

Die 5 Messstationen bilden das sogenannte „Temperaturnetz“ und befinden sich auf dem Abschnitt der Maas zwischen Huy und der Val-Benoit-Brücke, eine flussaufwärts (Huy) und 4 flussabwärts des Kraftwerks (Ampsins-Neuville-Staudamm, Amay, Serai und Lüttich).

Um zu überprüfen, ob die Standards der Genehmigung eingehalten werden, wird die gesamte Wärmeabgabe geschätzt, indem die berechnete Wärmeabgabe jedes Kraftwerks addiert wird. Diese Gesamtwärmeabgabe, ausgedrückt in MJ/s, muss kleiner oder gleich dem Vierfachen des Abflusses der Maas sein.

Der jährliche Mittelwert der Temperatur unterhalb des Kernkraftwerks Tihange betrug 15,40 °C im Jahr 2019, 16,25 °C im Jahr 2020 und 14,85 °C im Jahr 2021 bei einem zulässigen Höchstwert von 25 °C. Die durchschnittliche jährliche Erwärmung der Maas durch das Kraftwerk betrug 2,29 °C im Jahr 2019, 2,01 °C im Jahr 2020 (Tihange 1 für mehr als 11 Monate abgeschaltet; Tihange 2 und 3 für regelmäßige Überprüfungen abgeschaltet) und 2,61 °C im Jahr 2021.

In den Jahren 2018, 2019 und 2020 wurde keine Überschreitung des Temperaturgrenzwerts Maas flussabwärts des Standorts beobachtet. Die zulässige Höchstgrenze liegt bei 28 °C im Drei-Stunden-Mittel. Außerdem wurde keine Überschreitung der zulässigen Erwärmung beobachtet. Zur Veranschaulichung ist die Entwicklung des 98-Perzentils der Erwärmung der Maas des Kraftwerks Tihange seit 2006 in der folgenden Tabelle aufgeführt. Man stellt fest, dass die Erwärmung über die Zeit relativ konstant ist.

Entwicklung des 98-Perzentils der CNT-Erwärmung seit 2006 :

Jahre	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
°C	4,78	4,75	4,68	4,59	4,54	4,59	4,24	4,28	4,03	4,46	4,61	4,33	3,47	4,06	3,74

Wie bereits erwähnt, werden die Umweltqualitätsnormen für die Temperatur in der Maas sowohl stromaufwärts (Station Andenne) als auch stromabwärts (Station Flémalle) des Kraftwerks Tihange nicht immer eingehalten, obwohl die Überschreitungen stromabwärts häufiger und größer sind. Der Beitrag der Kühlwassereinleitungen des Kraftwerks zur Erwärmung des Wassers in der Maas kann nicht ausgeschlossen werden.

Da die drei Blöcke des Kraftwerks Tihange ihre Wärmeeinleitungen (durch die Verwendung, manchmal im Kreislauf, von atmosphärischen Kühlmitteln) so modulieren, dass die durch die Einleitungsgenehmigung gegebenen Kühlmöglichkeiten maximal genutzt werden, und da die Wärmeeinleitungen auch von den Betriebsstunden der Blöcke abhängen, war es nicht möglich, die spezifische Wärmeeinleitung des Blocks Tihange 3 zu bestimmen. Mit der Abschaltung von Tihange 1 und 2 wird die Menge des in die Maas eingeleiteten Kühlwassers jedoch ausschließlich Tihange 3 zuzuschreiben sein und *de facto* geringer ausfallen als die derzeit eingeleitete Menge. Daher kann man davon ausgehen, dass die Maas bei einer ähnlichen Einleitungstemperatur wie derzeit gemessen, aber geringerem Durchfluss, weniger stark erwärmt wird, da ihre Kühlkapazität unverändert bleibt.

Allerdings ist zu erwähnen, dass die Wallonische Region auf der Grundlage des politischen Rahmens für den Atomausstieg und der im RAP 2030 festgelegten Ziele für die Senkung des Primärenergieverbrauchs Genehmigungen an das Unternehmen Luminus für die Errichtung eines neuen Gas-Kombikraftwerks – GuD und die Umrüstung des bestehenden GuD-Kraftwerks auf ein Gaskraftwerk mit offenem Kreislauf - GoK in Seraing sowie an das Unternehmen Engie für den Bau eines GuD in Flémalle (Les Awirs) erteilte. Beide Kraftwerke leiten jetzt und in Zukunft auch große Mengen an Kühlwasser in die Maas ein, was zur Erwärmung der Maas beiträgt und beiträgt wird. Obwohl erwartet wird, dass die Erwärmung des Maaswassers durch den Betrieb des Kraftwerks Tihange in den nächsten Jahren nach der Abschaltung von zwei der drei Blöcke zurückgehen wird, wird das Ausmaß dieses Rückgangs jedoch durch die Inbetriebnahme der beiden Wärmekraftwerke begrenzt.

Das Temperaturnetz der Maas ermöglicht es auch, die Wärmeabgaben des Kraftwerks Awirs im Hinblick auf die Modalitäten zu verwalten, die unter die in seiner Umweltgenehmigung enthaltene Erlaubnis zur Einleitung in Oberflächengewässer fallen. Es bietet auch die Möglichkeit, dem Kraftwerk Seraing einige der Daten zu liefern, die für die Verwaltung seiner Wärmeeinleitungen gemäß den in der Abwassereinleitungsgenehmigung angegebenen Modalitäten unerlässlich sind. Tatsächlich übernehmen die Genehmigungen der GuD Bestimmungen zur Temperatur und verweisen auf das Überwachungsnetz der Maas. Die Auswirkungen werden in den

Umweltgenehmigungen so eingegrenzt, dass ein akzeptabler Temperaturanstieg innerhalb der Maas (für die Biodiversität) gewährleistet ist. Zur Erinnerung: Die GuD waren als teilweiser Ausgleich für die vollständige Abschaltung des Atomparks vorgesehen. Wenn einige Einheiten des Atomparks verlängert werden, wäre zu erwarten, dass die GuD-Anlagen weniger laufen. In jedem Fall kann man aufgrund der gesetzlichen Auflagen in den verschiedenen Genehmigungen der drei Kraftwerke (Tihange, Awirs und Seraing) zu dem Schluss kommen, dass die Umwelt nicht verschlechtert wird. Laut den von Tihange bereitgestellten Daten wurden übrigens 2020 alle thermischen Bedingungen für die Freisetzungen aus diesen beiden Kraftwerken eingehalten.

Die möglichen Auswirkungen der Erwärmung des Maaswassers auf die Wasserflora und -fauna werden im Kapitel über die biologische Umwelt erörtert.

Längerfristig könnte sich der Klimawandel negativ auf die Maas auswirken. Er führt zu einer Reihe von Veränderungen in allen Umweltbereichen, darunter auch im Wasserkreislauf. Insgesamt werden die Auswirkungen die Grundwasserneubildung, das Überschwemmungsrisiko, die Temperatur der Flüsse und in geringerem Maße vielleicht auch den Wasserverbrauch betreffen. Die Daten des European Climate Assessment & Dataset ⁹⁷ zeigen, dass:

- die Höchst- und Tiefsttemperaturen heute höher sind als im 19. Jahrhundert, wobei der Anstieg zumindest seit den frühen 1960er Jahren konstant zu sein scheint;
- ein langfristiger Anstieg der Gesamtniederschlagsmenge festzustellen ist, wobei der Effekt besonders im Sommer zu beobachten ist. Derzeit regnet es etwa 100 mm mehr pro Jahr als Ende des 19. Jahrhunderts. Dabei ist eher ein durchschnittlicher Anstieg der Niederschlagsintensität als der Anzahl der Regentage festzustellen.

Diese Veränderungen könnten die Saisonabhängigkeit des Wasserhaushalts der Maas, insbesondere Hochwasser, Niedrigwasser und die Wasserqualität, verstärken⁹⁸.

Es gibt keine Beobachtungen bezüglich einer Zunahme der Häufigkeit von Niedrigwasser im 20. Jahrhundert im Maasbecken. Dennoch scheint es, dass die schwerwiegendsten Niedrigwasser im Maasbecken in Jahren auftreten, in denen einem trockenen Sommer ein trockener Winter vorausgeht.

Überschwemmungen und Niedrigwasser werden die Wasserqualität direkt durch Verdünnung oder Konzentration von gelösten Stoffen verändern. Die Lufttemperatur muss ebenfalls berücksichtigt werden, da sie fast alle physikalisch-chemischen Gleichgewichte und biologischen Reaktionen beeinflusst. Eine allgemeine Verschlechterung der Wasserqualität der Maas wird während Trockenperioden beobachtet, wobei die Wassertemperatur, die Eutrophierung, die Hauptelemente und einige Schwermetalle eine Rolle spielen. Dieser Rückgang der Wasserqualität dürfte vor allem auf die dadurch entstandenen günstigen Bedingungen für das Algenwachstum und auf eine geringere Verdünnungskapazität in den Gebieten, in denen Abwasser freigesetzt wird, infolge der geringeren Sommerabflüsse zurückzuführen sein.

Laut der europäischen Studie „Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment“ (European Environment Agency, 2008) ist die Wassertemperatur mehrerer europäischer Flüsse und Seen im 20. Jahrhundert um 1 bis 3 °C gestiegen, hauptsächlich aufgrund der höheren Lufttemperatur, aber auch aufgrund der Auswirkungen anthropogener Wassereinleitungen, darunter Kühlwasser aus Wärmekraftwerken, die einen nicht unerheblichen lokalen Einfluss haben können. Dieser Trend bestätigt sich nach der Analyse der Messungen des 2012 eingerichteten

⁹⁷ Klein Tank, A.M.G. and Coauthors, 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment, Int. J. of Climatol., 22, 1441-1453.

⁹⁸ A. Bauwens, C. Sohler et A. Degré, Impacts du changement climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin de la Meuse (synthèse bibliographique), BASE Volume 17 (2013), 22. Mai 2012.

Aqualim-Netzwerks, das mithilfe von 240 über die gesamte Wallonie verteilten Stationen die Wassertemperatur von nicht schiffbaren Wasserläufen kontinuierlich aufzeichnet⁹⁹.

Hinsichtlich der Wasserführung der Maas und der Wassermenge, die für die Entnahme und Nutzung als Kühlwasser zur Verfügung steht, muss, da die Maas eine schiffbare Wasserstraße ist, jederzeit eine Mindestwasserführung gewährleistet sein. Die Wassermenge der Maas lässt jedoch die geplanten Entnahmen zu. Außerdem wurde geschätzt, dass fast das gesamte entnommene Wasser in die Maas zurückgeführt wird, was nach der Abschaltung von Tihange 1 und 2 auch weiterhin der Fall sein wird (Verringerung des entnommenen und des zurückgegebenen Wasservolumens).

Wenn die Temperatur der Maas aufgrund des Klimawandels steigt, wird die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers proportional ansteigen, mit der Möglichkeit einer häufigeren Begrenzung der maximalen Wärmebelastung, die täglich eingeleitet werden muss (siehe Genehmigungsbedingungen), insbesondere im Sommer. In Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels auf die Temperatur von Oberflächenwasser¹⁰⁰ gibt das Institut für Natur- und Waldforschung der flämischen Regierung (2015) für „Oberflächenwasser im Allgemeinen“ an, dass ein Anstieg von 0,5 bis 0,6 °C pro 10 Jahre zu berücksichtigen ist. Dies würde theoretisch bedeuten, dass die Wassertemperatur der Maas während der zusätzlichen 10 Betriebsjahre um 0,5 bis 0,6 °C ansteigen könnte. Wenn man jedoch davon ausgeht, dass dies als Maximum für die Maas anzusehen ist, sollte dieser Verlust an Kühlkapazität dank einer besseren Überwachung der Maas-Temperatur und einer angepassten Steuerung der vorhandenen Kühlkapazität wahrscheinlich keine größeren Probleme verursachen (eine höhere Wärmebelastung, eine Überschreitung der Einleitungsnormen, eine größere Wärmebarriere im Sommer und dies in den kritischsten Zeiten - den Niedrigwasserperioden). Außerdem werden Tihange 1 und 2 in den Jahren 2023 und 2025 außer Betrieb genommen, was bedeutet, dass die thermische Belastung bereits reduziert wird.

Tihange 3 weitere 10 Jahre in Betrieb zu halten, bedeutet also, dass in diesen 10 zusätzlichen Betriebsjahren eine um etwa ein Drittel geringere Abwassermenge, aber mit ähnlicher Zusammensetzung (und damit einer geringeren jährlichen Gesamtschadstofffracht) eingeleitet wird. Unter Berücksichtigung der obigen Ausführungen ist davon auszugehen, dass die Verlängerung des Betriebs von Tihange 3 vernachlässigbare Auswirkungen auf die Maas haben wird.

Im Vergleich zum Referenzszenario (Tihange 2 wird 2023 geschlossen und Tihange 1 und 3 werden 2025 geschlossen) werden die *Schadstoffkonzentrationen* im Kühlwasser, einschließlich Temperatur und Chlorid, voraussichtlich ähnlich hoch sein wie in der aktuellen Situation und wie in den Jahren 2013-2014. Im neuen Szenario (nur Tihange 3 wird bis 2037 weiter betrieben) werden die Blöcke Tihange 1 und 2 und ihr Kühlkreislauf nicht mehr in Betrieb sein, was bedeutet, dass die Nutzung des Maaswassers als Kühlwasser ebenfalls auf etwa 397 Millionen m³ sinken wird (siehe oben). Die eingeleiteten Schadstofffrachten und die Wärmebelastung des Kühlwassers dürften daher im Referenzszenario im Vergleich zum Projekt mit Aufschub der Abschaltung ebenfalls sinken.

Strukturelle Qualität

Da im Rahmen des Weiterbetriebs von Tihange 3 keine Bauwerke an den bestehenden Einleitungs- oder Entnahmestellen in die Maas geplant sind, werden die Auswirkungen auf die strukturelle Qualität der Maas als nicht relevant betrachtet.

⁹⁹ B. Georges, A. Michez et X. Rollin, Suivi de la température des cours d'eau wallons: potentiels et contraintes du réseau Aqualim, Forêt Nature: Outils pour une gestion résiliente des espaces naturels N°153, Octobre-décembre 2019.

¹⁰⁰ Van der Aa B., Vriens L., Van Kerckvoorde A., De Becker P., Roskams P., De Bruyn L., Denys L., Mergeay J., Raman M., Van den Bergh E., Wouters J., Hoffmann M. (2015). Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.9952476). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Bruxelles.

Überschwemmungen

Das Risiko einer externen Überschwemmung besteht bei einem starken Hochwasser der Maas nördlich der Anlagen am Standort Tihange, bei einem unfallbedingten Bruch des Staudamms von Ampsin-Neuville oder bei einem Überlaufen der Luftkühler von Tihange 2 und Tihange 3.

Um Überschwemmungsrisiken zu vermeiden, wurde ein Schutzdamm errichtet, der am Ufer der Maas und oberhalb der Schutzvorrichtung des Kraftwerksgeländes Tihange gegen Überschwemmungen durch Maashochwasser (Flutmauer) angeordnet ist. Darüber hinaus ist der Standort Tihange, einschließlich seiner unteren Teile, vollständig durch eine Hochwasserschutzanlage (Hochwasserschutzmauer, Deich, Rückschlagventile) geschützt.

Das Kraftwerk plant auch Projekte für die Sammlung und Wiederverwendung von Regenwasser.

6.2.3.2 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Anschließend kann beurteilt werden, inwieweit die oben beschriebenen Auswirkungen, die eintreten können, wenn Tihange 3 weitere zehn Jahre in Betrieb bleibt, in größerem oder geringerem Maße dazu beitragen, die politischen Ziele, die für das Wassersystem als wichtig erachtet werden, zu erreichen oder möglicherweise zu behindern. Die relevanten politischen Ziele, die bei diesem Projekt eine Rolle spielen, sind die Erreichung eines guten Zustands der Oberflächengewässer, die Fortsetzung eines nachhaltigen Managements der Wasserkette, die Begrenzung des Hochwasserrisikos und die Fortsetzung einer nachhaltigen Wasserversorgung.

Erreichung eines guten Zustands der Oberflächengewässer

Wenn Tihange 3 weitere 10 Jahre in Betrieb bleibt, bedeutet dies, dass das (gereinigte) häusliche Abwasser, das aufbereitete industrielle Abwasser und das (erwärmte) Kühlwasser 10 Jahre lang eingeleitet werden. Da die Einleitungsnormen für die verschiedenen Parameter gut eingehalten werden und der berechnete Beitrag zur Erhöhung der Konzentration (lokal) begrenzt bis vernachlässigbar ist, bedeutet dies, dass eine Restverschmutzung noch 10 Jahre lang in der Maas zu finden sein wird. Der Wasserkörper, in den die Einleitung erfolgt, befindet sich derzeit noch in einem „unbefriedigenden“ ökologischen Zustand und erfüllt nicht alle Umweltqualitätsnormen. In Bezug auf die gesamte Schadstoffbelastung kann das Kernkraftwerk in jedem Fall als wichtiger Verursacher bezeichnet werden. Die Selbstreinigungskraft der Maas wurde noch nicht ausreichend wiederhergestellt.

Angesichts der begrenzten Auswirkungen des Kernkraftwerks auf die Wasserqualität und der anhaltenden Bemühungen, die Auswirkungen im Zeitraum 2025-2037 weiter zu reduzieren, kann davon ausgegangen werden, dass das Projekt die Erreichung des guten ökologischen Potenzials von Oberflächengewässern nicht gefährdet. Seit der Inbetriebnahme des Kernkraftwerks hat sich der Zustand der Maas nicht verschlechtert; die bisherigen und künftigen Anstrengungen zur Einhaltung der Einleitungsnormen werden dazu führen, dass die Wasserqualität der Maas nicht beeinträchtigt wird. Es gibt keinen Grund zu befürchten, dass sich der (zugegebenermaßen) unbefriedigende derzeitige Zustand der Maas verschlechtern wird, nachdem Tihange 3 weitere zehn Jahre in Betrieb bleibt. Die Deaktivierung (Referenzszenario) wird natürlich einen positiven Beitrag leisten, aber es ist nicht sicher, ob dies ausreicht, um den unbefriedigenden Zustand der Maas in einen guten Zustand zu verwandeln.

Begrenzung des Überschwemmungsrisikos

Hinsichtlich des Überschwemmungsrisikos gibt es in der aktuellen Situation keine Probleme und auch kurz- oder mittelfristig sind keine Probleme zu erwarten. Das Kernkraftwerk befindet sich nicht in einem überschwemmungsgefährdeten Gebiet und ist auch ausreichend gegen mögliche zukünftige Überschwemmungsrisiken infolge intensiverer Regenfälle (aufgrund des Klimawandels) geschützt. Es gibt auch keine Hinweise darauf, dass das Kraftwerk ein unerwünschtes Überschwemmungsrisiko stromabwärts verursachen oder aufrechterhalten wird. Daher wird ein längerer Weiterbetrieb von Tihange 3 nicht wesentlich dazu beitragen, das Risiko von Überschwemmungen zu verringern oder herbeizuführen.

6.2.3.3 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Die Bewertung in Bezug auf die Ziele für das Wassersystem ist in Tabelle 70 zusammengefasst.

Tabelle 70: Zusammenfassung der Bewertung der Ziele in Bezug auf das Wassersystem.

Ziel	Beitrag Projekt (Weiterbetrieb 10 Jahre)	Ergebnis
Guter Zustand des Oberflächenwassers	Keine Verschlechterung des Zustands.	Neutral
Begrenzung des Überschwemmungsrisikos	Keine nennenswerten Beiträge	Neutral
Nachhaltige Wasserversorgung	Keine Bemühungen/Pläne zur zirkulären Nutzung von Wasser	Negativ

6.2.4 Minderungsmaßnahmen

- Regenwasser von Sanitärabwasser trennen und Regenwasser als Brauchwasser wiederverwenden, den Verbrauch von Leitungswasser nach Möglichkeit zu vermeiden.
- Weich machen (Filtration), Gründächer oder Wasserflächen (Puffer) auf dem Gelände installieren, um den Wärmeinseleffekt zu verringern und Wasser lokaler zurückzuhalten und zu speichern;
- Vorausschauende Feinanpassung der Kühlkapazität auf der Grundlage der Überwachung der Temperatur der Maas.

6.2.5 Wissenslücken und Überwachung

Es gibt keine Wissenslücken, die verhindern würden, dass die Bewertung der Auswirkungen auf das Wassersystem ausreichend genau ist. Es fehlen jedoch Informationen über den Anteil des Abwassers aus den verschiedenen Blöcken und damit über den genauen Beitrag des Betriebs von Tihange 3 zur Restverschmutzung, die während der zusätzlichen zehn Betriebsjahre in der Maas gefunden wird.

Eine zusätzliche Überwachung über das bestehende Überwachungsprogramm hinaus wird nicht als notwendig erachtet.

6.3 Biodiversität

6.3.1 Relevante politische Ziele

Das Naturschutzgesetz (Loi sur la Conservation de la Nature) vom 12. Juli 1973 zielt darauf ab, den Charakter, die Vielfalt und die Unversehrtheit der natürlichen Umwelt durch Maßnahmen zum Schutz der Flora und Fauna, ihrer Gemeinschaften und ihrer Lebensräume zu bewahren. In diesem Sinne muss sichergestellt werden, dass Projekte, einschließlich der Entscheidung, den Betrieb des Reaktors Tihange 3 zu verlängern, nicht mit dem Schutz dieser Arten (Tötung, Störung der Nistplätze, Zerstörung/Beschädigung/Verwüstung/etc. von Nestern, Besitz, Verkauf, Pflücken, Abschneiden usw.) oder mit Naturschutzgebieten, die mit dem Ziel errichtet wurden, Gebiete zu bewahren, die für den Schutz von Flora und Fauna, ökologischen Milieus und der natürlichen Umwelt von Interesse sind, unvereinbar sind.

Das Dekret der wallonischen Regierung vom 6.12.2001 (Natura2000-Dekret) setzt die Richtlinie 79/409/EWG über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten sowie Anhang II der Berner Konvention über die Erhaltung der europäischen wildlebenden Pflanzen und Tiere und ihrer natürlichen Lebensräume in wallonisches Recht um.

Darüber hinaus gewährleistet die Umsetzung der EU-Richtlinien im Naturschutzgesetz, dass für Natura2000-Gebiete, d. h. Gebiete, die unter die Habitat- und Vogelschutzrichtlinie fallen, nicht nur nachgewiesen werden muss, dass erhebliche negative Auswirkungen im Vergleich zur derzeitigen Situation vermieden werden, sondern auch,

dass die Verlängerung des Kraftwerksbetriebs die Erreichung der für diese Gebiete festgelegten natürlichen Ziele nicht beeinträchtigt. Diese Frage wird im Rahmen einer angemessenen Bewertung untersucht.

Der Erlass der Wallonischen Regionalexekutive vom 8. Juni 1989 zum Schutz von Feuchtgebieten von biologischem Interesse (FBI) zielt auf den Schutz von Flächen von Sümpfen, Venns, Torfmooren oder natürlichen oder künstlichen, permanenten oder temporären Gewässern mit stehendem oder fließendem Wasser ab, deren ökologischer und wissenschaftlicher Wert per Erlass des für den Naturschutz zuständigen Ministers nach Stellungnahme des wallonischen Obersten Rates für Naturschutz (wie in Art. 1 des Erlasses definiert) anerkannt wird. Wiederum ist es in diesem Zusammenhang wichtig, sicherzustellen, dass der Weiterbetrieb des Reaktors von Tihange 3 keine Störungen für die in den FBI vorkommenden Arten mit sich bringt. Diese Ziele erscheinen im Rahmen des vorliegenden Betriebsverlängerungsprojekts nicht relevant, da der Standort sich nicht in einem FBI befindet. Es wird dennoch darauf hingewiesen, dass ein FBI in weniger als 3 km Entfernung vom Untersuchungsgebiet gefunden wurde.

Der Erlass der wallonischen Regierung vom 26. Januar 1995, der den Schutz der unterirdischen Hohlräume von wissenschaftlichem Interesse (UHWI) organisiert, hat insbesondere zum Ziel, die UHWI vor einer - auch teilweisen - Zerstörung oder Beschädigung durch direkte Rohstoffgewinnung, durch touristische oder sportliche Nutzung, durch Verschmutzung oder durch jede andere Form von freiwilligem Eingriff zu schützen, die zu einer deutlichen Verringerung ihres Interesses führt. Auch diese Ziele erscheinen im Rahmen des vorliegenden Betriebsverlängerungsprojekts nicht relevant, da sich am Standort kein UHWI befindet. Es wird dennoch darauf hingewiesen, dass ein UHWI in weniger als 3 km Entfernung vom Untersuchungsgebiet gefunden wurde.

Ein weiteres Ziel liegt im Projekt der Dritten Bewirtschaftungspläne für die wallonischen Flusseinzugsgebiete (PGDH3 - Zyklus 2022-2027),¹⁰¹ das die Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) in wallonisches Recht umsetzt. In Abschnitt 6.2.2 dieses Projekts werden die verschiedenen Umweltziele für Oberflächenwasser, Grundwasser sowie Schutzgebiete genannt. Eines der Ziele für Oberflächengewässer besteht darin, einen „guten“ ökologischen Zustand für die verschiedenen Wasserkörper zu erreichen, während eines der Ziele für Schutzgebiete darin besteht abzielt, einen guten Zustand (oder ein gutes Potenzial) der Wasserkörper in allen Natura2000-Gebieten zu erreichen. Daher muss geprüft werden, ob der Weiterbetrieb von Tihange 3 Auswirkungen auf die Erreichung der Ziele des ökologischen Zustands für den Wasserkörper MV35R Maas II und die darin vorkommenden Natura2000-Gebiete - mit Arten und Lebensräumen von gemeinschaftlichem Interesse - haben wird.

Die einzelnen Komponenten des geplanten Weiterbetriebs werden anhand der folgenden Fragen auf diese Ziele hin überprüft:

- Inwieweit kann erwartet werden, dass das Projekt Störungen geschützter Arten vermeiden kann (siehe NSG)?
- Inwieweit ist zu erwarten, dass das Projekt Störungen von Naturschutzgebieten vermeiden kann (siehe NSG)?
- Inwieweit kann erwartet werden, dass das Projekt signifikante Auswirkungen in Bezug auf Natura2000-Gebiete vermeiden kann (siehe NSG)?
- Inwieweit ist zu erwarten, dass das Projekt Störungen der FBI vermeiden kann (siehe Erlass der wallonischen Regionalexekutive vom 8. Juni 1989)?
- Inwieweit kann erwartet werden, dass das Projekt signifikante Auswirkungen in Bezug auf UHWI vermeiden kann (siehe EWR vom 26. Januar 1995)?
- Inwieweit kann davon ausgegangen werden, dass die Umsetzung des Projekts die Erreichung der Ziele, die im Entwurf der dritten Bewirtschaftungspläne für die wallonischen Flussgebietseinheiten für den Zyklus 2022-2027 formuliert wurden, nicht beeinträchtigt (siehe Richtlinie 2000/60/EG)?

¹⁰¹ ÖDW LNSU (2022) Projekt der dritten Bewirtschaftungspläne der wallonischen Flusseinzugsgebiete. Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG). eau.wallonie.be.

6.3.2 Diskussion der zu untersuchenden Auswirkungen

Der geplante Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 kann sich auf verschiedene Arten auf die biologische Umwelt auswirken. Die Folgenabschätzung zielt darauf ab, die Auswirkungen abzuschätzen, die eine Verlängerung des Betriebs von Tihange 3 auf die Ziele haben könnte, die mit der Erhaltung der biologischen Vielfalt in der wallonischen Gesetzgebung verbunden sind, die ihrerseits bestimmte Ziele aus europäischen Richtlinien umsetzt. Dann kann festgestellt werden, ob das der geplante Weiterbetrieb mit der Naturschutzpolitik vereinbar ist.

Bei der Untersuchung der Auswirkungen des Projekts auf die Artenvielfalt sind die meisten erwarteten Auswirkungen indirekt mit den Auswirkungen verbunden, die der Weiterbetrieb des Reaktors auf das Wasser, die akustische Umgebung oder auch die Luft haben wird. Wir weisen jedoch darauf hin, dass, falls die Auswirkungen des Projekts auf diese Themenbereiche als nicht signifikant eingestuft werden, diese in diesem Kapitel nicht behandelt werden.

Mehrere potenzielle Auswirkungen auf die Artenvielfalt stehen im Zusammenhang mit der Entnahme von Wasser aus der Maas und der Einleitung von Wasser in die Maas. Da der Standort des Kraftwerks direkt vor einem zu einem Natura2000-Gebiet gehörenden Hafenbecken liegt, ist es möglich, dass der Weiterbetrieb von Tihange 3 Auswirkungen auf die in diesem Gebiet genannten Lebensräume und Arten von gemeinschaftlichem Interesse haben könnte. Darüber hinaus könnte diese Betriebsverlängerung auch die Ziele beeinflussen, die im Bewirtschaftungsplan für die Flussgebietseinheit, zu der die Maas gehört, formuliert wurden.

Die Auswirkungen der Laufzeitverlängerung von Tihange 3 zeigen sich in verschiedenen signifikanten Bereichen:

- Freisetzung von Wärme in der Maas: Ein Anstieg der Temperatur der Maas aufgrund der Freisetzung von Wärme könnte zu einem Rückgang der Sättigungskonzentration von gelöstem Sauerstoff im Wasser führen, wodurch das Gebiet für bestimmte Arten (z. B. Salmoniden) weniger geeignet wird;
- Veränderung der Qualität von Oberflächengewässern durch Abwassereinleitungen. In diesem Kapitel geht es nicht darum, die Auswirkungen von Radioaktivität auf das Wasser der Maas zu untersuchen. Diese Aspekte liegen außerhalb des Rahmens der herkömmlichen Umweltverträglichkeitsprüfung. Sie werden im Abschnitt über radiologische Auswirkungen diskutiert;
- Physikalische Auswirkungen des Pumpens auf Fische, Muscheln, Krustentiere und andere wirbellose Tiere aufgrund der Entnahme von Kühlwasser direkt aus der Maas. Die starke Strömung, die durch das Pumpen entsteht, kann Fische in die Pumpen saugen, was zum Tod der Fische führen kann.

Neben den Auswirkungen, die der Weiterbetrieb von Tihange 3 auf die Maas haben könnte, werden in dieser Studie auch Auswirkungen im Zusammenhang mit Lärm- und Lichtbelastungen sowie andere Auswirkungen im Zusammenhang mit der Anwesenheit von Menschen diskutiert.

Indirekt kann das Verlängerungsprojekt auch versauernde und eutrophierende Ablagerungen durch Emissionen aus Feuerungsanlagen und den Verkehr auf dem Gelände bilden. Die Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden und Ammoniak aus dem Betrieb eines Kernreaktors sind im Normalfall gering, sodass es sinnvoller ist, die vermiedenen Auswirkungen im Vergleich zu den Emissionen eines Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerks mit gleicher Leistung zu untersuchen. Da Notgeneratoren vorhanden sind, die bei Bedarf in größerem Umfang Abgase freisetzen können, erscheint es jedoch dennoch sinnvoll, diese in der vorliegenden Folgenabschätzung zu diskutieren.

Auswirkungen auf die direkte Landnutzung können grundsätzlich in Betracht gezogen werden, da ein längerer Betrieb der Kraftwerke bedeutet, dass der in Anspruch genommene Raum nicht für die Entwicklung der Natur genutzt werden kann.

Veränderungen der Hydrologie der Maas sind nicht zu erwarten. Das entnommene Kühlwasser wird nämlich fast vollständig in den Fluss zurückgeführt, sodass keine Auswirkungen auf die Biodiversität aufgrund von Änderungen der Durchflussmenge oder des Wasserstands der Maas zu erwarten sind.

6.3.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Das allgemein verwendete Untersuchungsgebiet für alle Aspekte der Biodiversität in Umweltverträglichkeitsprüfungen ist der 3-km-Radius um den Untersuchungsstandort. Außerhalb dieses Perimeters können die Auswirkungen des Verlängerungsprojekts als nicht signifikant angesehen werden.

Daher werden alle Schutzgebiete, die zumindest teilweise im Untersuchungsgebiet liegen, in der vorliegenden Umweltverträglichkeitsprüfung berücksichtigt.

Das Natura2000-Gebiet „Vallée de la Meuse à Huy et vallon de la Solières“ (Code: BE33010) befindet sich auf der Höhe des Hafenbeckens am gegenüberliegenden Ufer, direkt gegenüber dem Kraftwerksgelände. Das Untersuchungsgebiet umfasst auch Waldgebiete und Maasufer, die Lebensräume von gemeinschaftlichem Interesse beherbergen.

785 m nordöstlich des Standorts befindet sich das Naturschutzgebiet „Carrière d'Ampsin“ (Code: 6033). Dieser Steinbruch enthält recht unterschiedliche Biotope: exponierte Felsen, Geröllhalden, Wasserflächen, grasbewachsenes Brachland, das von offeneren, steinigten Flächen unterbrochen wird, sowie buschige und bewaldete Massive. Diese Lebensräume sind von großem entomologischem Interesse und die Tümpel beherbergen einen reichen Bestand an Libellen und Amphibien.

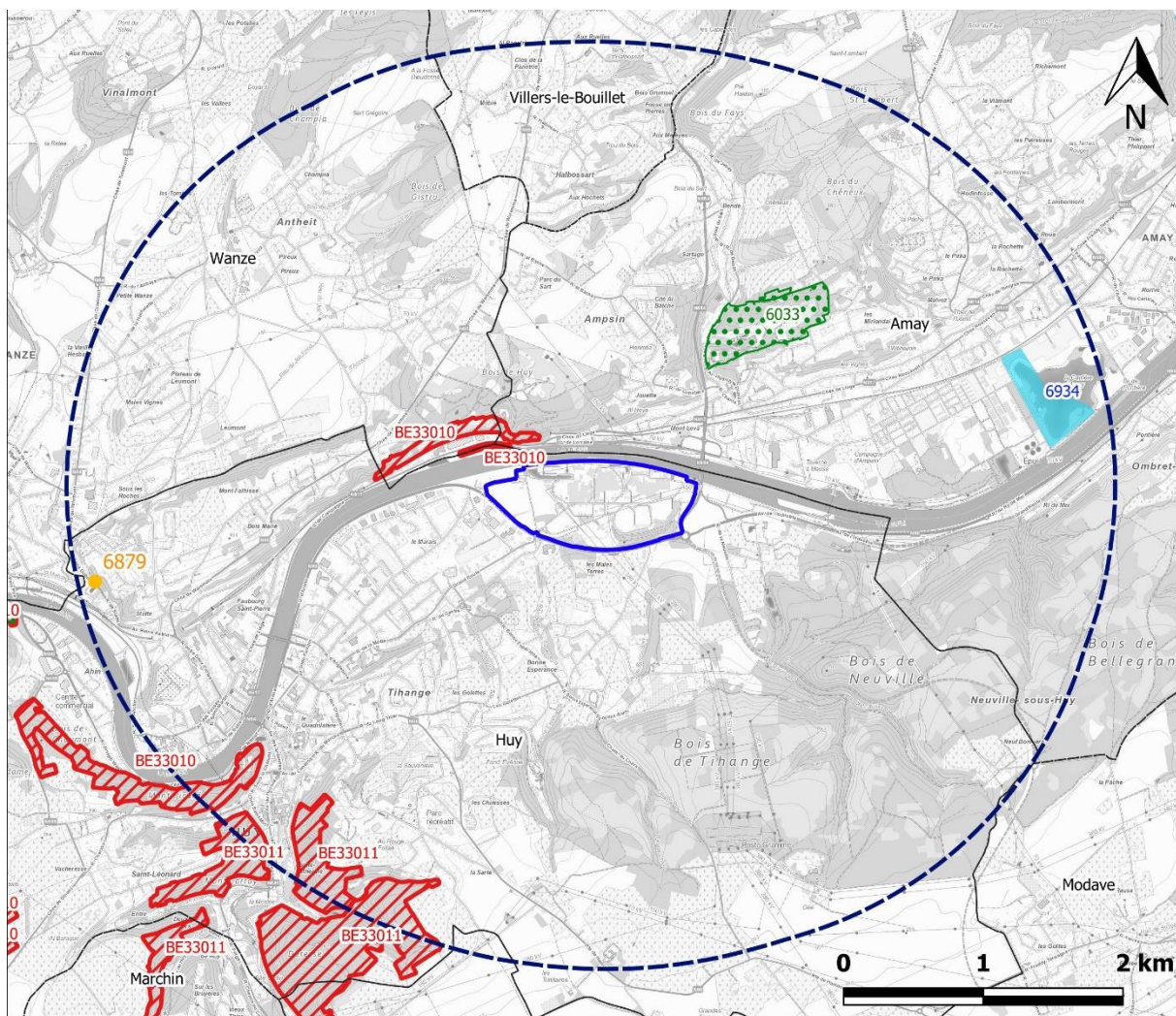
Ein Gebiet von biologischem Interesse befindet sich auch 2,4 km östlich des Kraftwerksgeländes. Es handelt sich um die „Gravière d'Amay“ (Code: 6934), die als Nist-, Rast- und Überwinterungsplatz für mehrere Vogelarten von ornithologischem Interesse ist. Das Gebiet beherbergt außerdem eine reiche Fauna an Amphibien und Libellen.

Ein zweites, etwas weiter entferntes Natura2000-Gebiet befindet sich etwa 2,4 km südwestlich von Tihange: „Vallées du Hoyoux et du Triffoy“ (Code: BE33011). Es beherbergt ein Massiv mit mehreren Waldarten (Kalk-, Neutrophilen-, Acidophilen-, Thermophilen-, Schlucht- und Auenwälder). *„Das Gebiet ist außerdem von einer Reihe von felsigen Lebensräumen und Rasenflächen gesäumt und beherbergt mehrere Magerwiesen von gemeinschaftlichem Interesse [...] Das Vorhandensein mehrerer Höhlen und Grotten macht es zu einem wichtigen Standort für Fledermäuse“* (ÖDW).¹⁰² Er ist außerdem von erheblichem ornithologischem Interesse.

Der unterirdische Hohlraum von wissenschaftlichem Interesse „Galerie minière de Statte à Huy“ (Code: 6879) schließlich befindet sich etwa 2,8 km östlich des Kraftwerksstandorts. Dieser Stollen wurde als UHWI eingestuft, um die Fledermauspopulationen zu erhalten und diesen Standort in das Netzwerk der Überwinterungsorte in der Wallonischen Region zu integrieren.

Die Lage dieser verschiedenen Standorte ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

¹⁰² biodiversite.wallonie.be.



Legende :

- Grenze des Standorts
- 3-km-Umkreis um den Standort
- Gemeindegrenze
- Natura 2000-Gebiet
- "Staatliches Naturreservat" (RND - WAL)
- "Feuchtgebiet von biologischem Interesse" (ZHIB - WAL)
- "Unterirdische Höhle von wissenschaftlichem Interesse" (CSIS - WAL)

Abbildung 80: Naturschutzgebiete.

6.3.4 Beschreibung der Referenzsituation

Natura-2000-Gebiete

Wie bereits beschrieben, befindet sich das Projektgebiet in einer Region, die mehrere besondere Schutzgebiete beherbergt, die zum Natura2000-Netzwerk gehören. Die natürlichen Ziele, die für diese Gebiete festgelegt wurden, stellen daher einen wichtigen Bezugspunkt für die Bewertung der Auswirkungen dar. Tabelle 71 zeigt die Zielarten

für alle zwei Natura2000-Gebiete, die sich im Untersuchungsgebiet befinden und weniger als 3 km vom Standort des Reaktors Tihange 3 entfernt sind.

Tabelle 71: Zielarten für Natura2000-Gebiete, die sich innerhalb von 3 km um den Standort des Kraftwerks Tihange befinden. x: Art explizit als Ziel aufgenommen; /: Art ist kein Ziel.

Zielart	Vallée de la Meuse à Huy et vallon de la Solières BE33010	Vallées du Hoyoux et du Triffoy BE33011
Vögel		
Schwarzstorch (<i>Ciconia nigra</i>)	/	X
Wespenbussard (<i>Pernis apivorus</i>)	X	/
Uhu (<i>Bubo Bubo</i>)	X	X
Zwergsäger (<i>Mergellus albellus</i>)	X	/
Eisvogel (<i>Alcedo atthis</i>)	X	X
Rotmilan (<i>Milvus milvus</i>)	/	X
Schwarzspecht (<i>Dryocopus martius</i>)	X	X
Neuntöter (<i>Lanius collurio</i>)	/	X
Säugetiere		
Mopsfledermaus (<i>Barbastellus barbastellus</i>)	/	X
Europäischer Biber (<i>Castor fiber</i>)	X	/
Großes Mausohr (<i>Myotis myotis</i>)	X	/
Große Hufeisennase (<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>)	X	/
Bechsteinfledermaus (<i>Myotis bechsteinii</i>)	X	/
Teichfledermaus (<i>Myotis dasycneme</i>)	X	/
Wimperfledermaus (<i>Myotis emarginatus</i>)	X	X
Kleine Hufeisennase (<i>Rhinolophus hipposideros</i>)	X	X
Fische		
Groppe (<i>Cottus gobio</i>)	/	X
Bachneunauge (<i>Lampetra planeri</i>)	/	X
Insekten		
Russischer Bär (<i>Callimorpha quadripunctaria</i>)	X	X
Hirschkäfer (<i>Lucanus cervus</i>)	/	X

Neben Arten werden auch Lebensräume von den beiden zuvor genannten Natura2000-Gebieten erfasst. Es ist jedoch zu beachten, dass alle in den Blättern dieser beiden Standorte aufgelisteten Lebensräume für diese UVP nicht relevant sind, da sie im 3-km-Radius um den Standort des Antragstellers nicht vertreten sind. Hier werden nur die Natura2000-Lebensräume behandelt, die sich im Untersuchungsgebiet befinden.

- Lebensraumtyp 6110: Kalk-Pionierrasen;
- Lebensraumtyp 91E0: Auenwälder;
- Lebensraumtyp 8160: Kalkschutthalden;

- Lebensraumtyp 9180: Schlucht- und Hangmischwälder;
- Lebensraumtyp 9150: Orchideen Buchenwälder;
- Lebensraumtyp 8210: Kalkfelsen mit Felsspaltenvegetation.

In der Wallonie sind die Natura-2000-Lebensräume in Bewirtschaftungseinheiten (BE) zusammengefasst, die Maßnahmen mit dem Ziel erfordern, sie in einem günstigen Erhaltungszustand zu halten.

Die verschiedenen Bewirtschaftungseinheiten, mit denen die Lebensräume von gemeinschaftlichem Interesse in den beiden Natura2000-Gebieten im 3-km-Radius um das Kraftwerk Tihange verbunden sind, sowie ihre Hauptziele¹⁰³ werden im Folgenden aufgeführt:

- BE2 „Prioritäre offene Lebensräume“: Diese Lebensräume werden in unseren Landschaften immer seltener. Die Bewirtschaftungsmaßnahmen zielen darauf ab, die Veränderung der Vegetationszusammensetzung zu verhindern – **Lebensraumtypen: 6110, 8160 und 8210**;
- BE7 „Prioritäre Auenwälder“: Erhalt dieses Waldlebensraums entlang von Wasserläufen durch Vermeidung seiner Zerschneidung – **Lebensraumtyp: 91E0** ;
- BE8 „Einheimische Wälder von großem biologischem Interesse“: Erhaltung dieses Waldlebensraums durch Vermeidung jeglicher Veränderung seiner Struktur und Zusammensetzung – **Lebensraumtyp: 9150**.

Naturreservat

Der Standort des Kernkraftwerks Tihange befindet sich 786 m südlich eines staatlichen Naturschutzgebiets. Zur Erinnerung: Es handelt sich um „Carrière d'Ampsin“ (Code: 6033). Dieser ehemalige Steinbruch erhielt den Status eines Naturschutzgebiets durch den Erlass der wallonischen Regierung vom 21. Mai 2015, mit dem das staatliche Naturschutzgebiet „La Carrière d'Ampsin“ in Ampsin (Amay) geschaffen wurde.

Dieses Naturschutzgebiet ist Gegenstand eines besonderen Bewirtschaftungsplans, der durch denselben Erlass genehmigt wurde.

Die Hauptziele dieses Bewirtschaftungsplans sind die Förderung der biologischen Diversifizierung durch die Nutzung des natürlichen und künstlichen Potenzials der Umgebung¹⁰⁴:

1. Erhaltung der Vielfalt der Lebensräume, die sich aus den Abbauaktivitäten ergeben und zur biologischen Bedeutung der Steinbrüche beitragen (senkrechte Wände, Geröll, Schotter, Brachland, Wasserflächen usw.), die für verschiedene Arten geeignet und in der Region selten oder bemerkenswert sind, z. B. Feuchtgebiete für Amphibien;
2. Verbesserung des ökologischen Interesses des Standorts durch die Bewirtschaftung oder teilweise Umwidmung der gewöhnlicheren Bereiche (Brennnesselbrachen, Strauchgruppen usw.), wobei jedoch darauf zu achten ist, dass Kontrollbereiche dieser Vegetationen erhalten bleiben; Erhaltung möglichst vieler offener Bereiche, die für die ursprünglichen Arten der Pionierpflanzengruppen und der Rasenflächen usw. günstig sind;
3. Schaffung neuer Lebensräume, die für die Entwicklung besonderer Tier- und Pflanzenarten notwendig sind (permanente oder temporäre Tümpel, Höhlen in Felswänden, Auffrischung von sandigen oder erdigen Klippen usw.);
4. Erhalt des Betriebsgeländes als Zeuge der Geschichte.

¹⁰³ Natagriwal asbl & ÖDW LNU (2021) Bewirtschaftungsmaßnahmen im Natura2000-Netzwerk in land- und forstwirtschaftlichen Gebieten. natagriwal.be.

¹⁰⁴ Amay.be.

Feuchtgebiet von biologischem Interesse

Zur Erinnerung: Der Erlass der wallonischen Regionalexekutive vom 8. Juni 1989 dient dem Schutz der Wasser- und Feuchtgebiete, die innerhalb der Feuchtgebiete von biologischem Interesse identifiziert wurden. In diesem Sinne wurde zwischen der Gemeinde Amay und dem ÖDW Landwirtschaft, Naturschätze und Umwelt (ÖDW LNU) ein Abkommen unterzeichnet, um die Bewirtschaftung des Standorts „Gravière d'Amay“ (Code: 6934) zu gewährleisten, der sich 2.357 m östlich des Standorts des Kraftwerks Tihange befindet. Daher muss sichergestellt werden, dass der Weiterbetrieb des Reaktors keine signifikanten Auswirkungen auf die als FBI ausgewiesenen Lebensräume sowie auf die dort lebenden Arten hat.

Zur Information: Die „Gravière d'Amay“ ist vor allem von ornithologischem Interesse und es wurden Einrichtungen geschaffen, die das Nisten der Uferschwalbe, einer Art von gemeinschaftlichem Interesse, begünstigen.

Unterirdischer Hohlraum von wissenschaftlichem Interesse

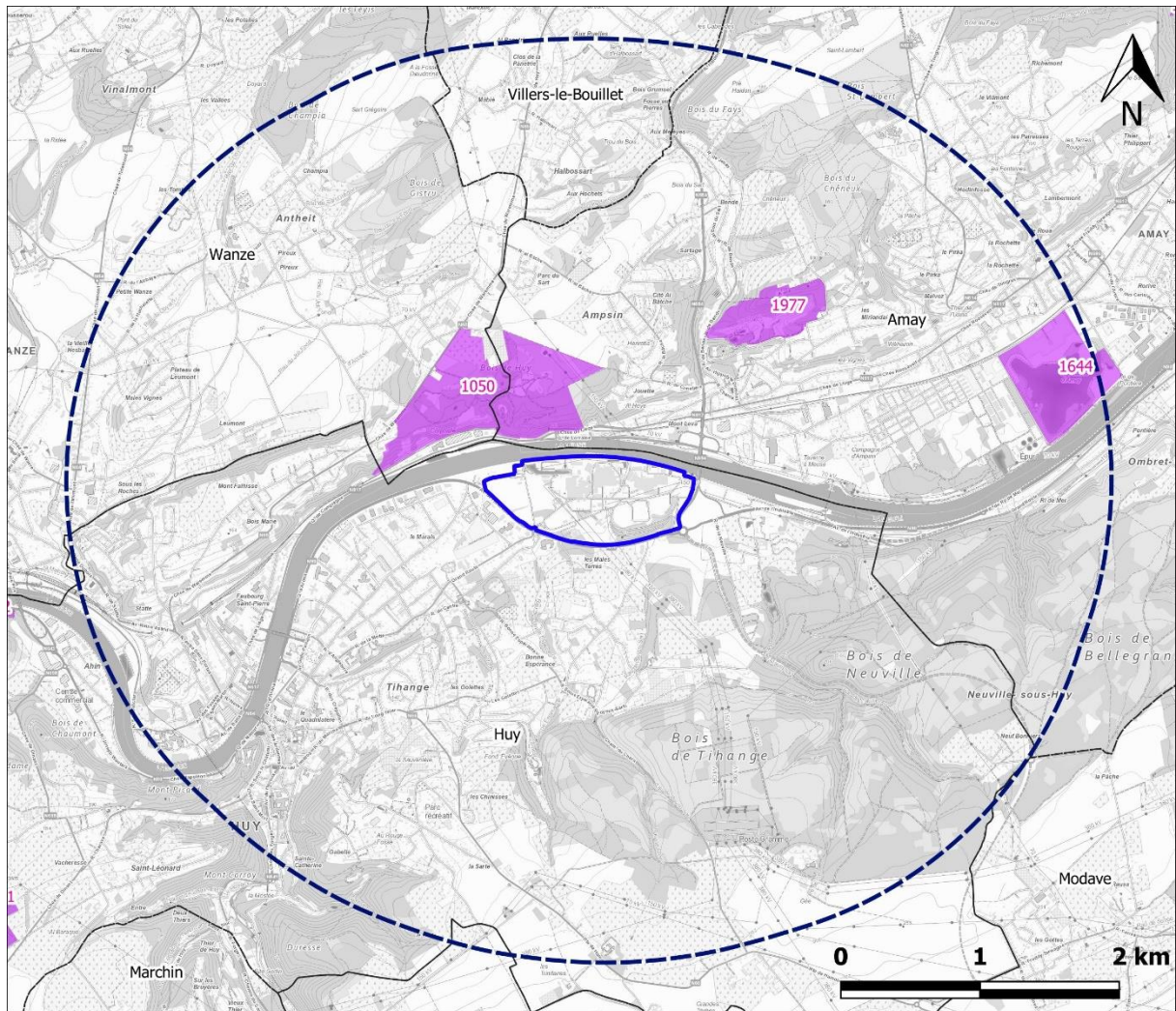
Der Bergwerksstollen Statte in Huy, der sich 2,8 km östlich des Kraftwerks Tihange befindet, wurde durch den Ministerialerlass vom 10. Oktober 2008 zur Schaffung des UHWI bestimmt. Dieser Erlass beinhaltet die Durchführung besonderer Schutz- und Verwaltungsmaßnahmen für den Hohlraum. Diese Schutz- und Bewirtschaftungsmaßnahmen bestehen darin, den Standort so zu gestalten, dass seine Erhaltung aus biologischer Sicht möglich ist und seine Attraktivität für Fledermäuse erhöht wird (Art. 1 & 2).

Standort von großem biologischen Interesse

Das Inventar der Standorte von großem biologischen Interesse (SGBI) hat zum Ziel, bemerkenswerte natürliche oder halbnatürliche terrestrische oder aquatische Gebiete in der Wallonie zu erfassen (identifizieren, lokalisieren und beschreiben). Es rationalisiert die Sammlung und Verwaltung zahlreicher biologischer Daten (Fauna, Flora, Habitats) und ist ein grundlegendes Instrument für die wissenschaftliche Kenntnis des Naturerbes in der Wallonie. Es liefert den Bewirtschaftern des Gebiets technische Informationen über die Natur und bildet eine Grundlage für die Ausarbeitung einer Naturschutzpolitik, insbesondere für die empfindlichsten Lebensräume.

Der Zweck der Datenbank besteht darin, alle Informationen, die das biologische Interesse der Standorte beschreiben, in einem einzigen System zusammenzufassen. Sie übernimmt daher alle Informationen aus dem Anfang 1990 erstellten Beschreibungsblatt und fügt weitere Informationen hinzu, um ein möglichst vollständiges Standardbeschreibungsblatt zu erhalten. Diese Beschreibungsmaske wird auf alle vorhandenen Verzeichnisse angewendet, damit sie in einer einzigen Datenbank zusammengefasst werden können. Einige Verzeichnisse sind jedoch zu wenig detailliert, zu alt oder zu umfangreich, um direkt als SGBI-Karten eingearbeitet zu werden. Sie werden daher in speziellen Dateien gespeichert, auf die die detaillierten SGBI-Einträge verweisen können.

Die SGBI sind wiederum nicht gesetzlich vorgeschrieben, sodass sie in einem Radius von 3 km um den Standort des Kraftwerks zu Informationszwecken angegeben werden (siehe folgende Abbildung). Es ist jedoch anzumerken, dass einige dieser Gebiete Arten beherbergen, die in Anhang I der Richtlinie 79/409 oder Anhang XI des Dekrets über die Erhaltung der Natura 2000-Gebiete aufgeführt sind.



Legende :

- Grenze des Standorts
- 3-km-Umkreis um den Standort
- Gemeindegrenze
- "Standort von hohem biologischen Interesse" (SGIB - WAL)

Abbildung 81: Orte von hohem biologischem Interesse im Projektgebiet.

Drei SGIB (in der vorherigen Abbildung dargestellt) sind weniger als 3 km vom Standort des Kraftwerks Tihange zu finden, es handelt sich dabei um:

- „Corphalie“ (Code: 1050), 150 m nördlich der Fundstelle. *„Befindet sich an einem steilen, felsigen Südhang. Hier gibt es Brachland und Kalkrasen, Galmeirasen, temporäre Tümpel, einen alten Absetzteich, Hangwälder, einen Buxuswald, exponierte Felsen etc. Dieses erstaunliche Mosaik von Lebensräumen ist der Grund für die Ansiedlung einer außergewöhnlich reichen Flora und Entomofauna, die viele bemerkenswerte Arten umfasst und oft in großer Dichte vorkommt (Schmetterlinge, Heuschrecken usw.).“*¹⁰⁵;
- „Carrière d'Ampsin“ (Code: 1977), 967 m nördlich des Standorts, ein Kalksteinbruch, dessen Abbau eingestellt wurde und der zum staatlichen Naturschutzgebiet erklärt wurde (siehe oben);
- „Gravière d'Amay“ (Code: 1644), 2,4 km östlich des Standorts, dessen Interesse vor allem in der Präsenz interessanter Feucht- und Wasserlebensräume liegt, die zum Teil als FBI (siehe oben) ausgewiesen sind.

¹⁰⁵ biodiversite.wallonie.be

Gemäß Artikel D.48. des Dekretteils des Umweltgesetzbuches kann der Gemeinderat einen kommunalen Umwelt- und Naturentwicklungsplan aufstellen. Dieser wird für eine Dauer von fünf Jahren erstellt und gilt, solange er nicht ersetzt wird. Der kommunale Naturentwicklungsplan (PCDN) ist ein Instrument, das den Gemeinden angeboten wird, um die Berücksichtigung der Natur auf ihrem Gebiet nachhaltig zu organisieren und dabei die wirtschaftliche und soziale Entwicklung einzubeziehen. Der PCDN dient der Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung der Biodiversität auf kommunaler, indem alle lokalen Akteure einbezogen werden, nachdem eine Diagnose des ökologischen Netzwerks erstellt und eine gemeinsame Vision der Natur und ihrer Zukunft auf lokaler Ebene herausgearbeitet wurde (biodiversité.wallonie.be).

Die Umsetzung des PCDN stellt keine gesetzlichen Auflagen dar, verpflichtet die Gemeinde aber dazu, das natürliche und landschaftliche Erbe auf ihrem Gebiet zu fördern und wiederherzustellen.

Ziel des PCDN ist es, *„das natürliche und landschaftliche Erbe eines Gebietes in seinen physischen und biologischen Komponenten zu erhalten oder zu verbessern und gleichzeitig die wirtschaftliche und soziale Entwicklung der Bewohner zu respektieren und zu fördern. Es geht darum, die Entwicklung von Werten, natürlichen und landschaftlichen, zu fördern und ein ökologisches Netzwerk auf kommunaler Ebene zu erhalten oder wiederherzustellen, indem alle betroffenen lokalen Akteure einbezogen werden“* (ÖDW LNSU).

Die Gemeinde Huy verfügt über einen PCDN, der 2012 eingeführt und seither nicht ersetzt wurde, sodass davon ausgegangen werden kann, dass er auf dem Gemeindegebiet noch immer Anwendung findet.

In seiner Anwendung auf das Management der biologischen Vielfalt wird das Konzept des ökologischen Netzwerks eher als ein Instrument der Raumplanung betrachtet, das auf eine Aufteilung des Territoriums in Zielgebiete abzielt, die die Erhaltung der biologischen Vielfalt ermöglichen. Generell werden mindestens drei Arten von Zonen gewählt, die drei Funktionen entsprechen¹⁰⁶:

- Kerngebiete (KG) sind Gebiete, die Populationen von Arten und Lebensräumen mit hohem Schutzwert beherbergen und sich noch in einem guten Erhaltungszustand befinden. Das Ziel der Erhaltung des Naturerbes ist hier vorrangig und diese Gebiete verdienen einen starken Erhaltungsstatus. Innerhalb dieser Kerngebiete wird auch zwischen charakteristischen Kerngebieten (cKG), d. h. Populationen von Arten oder Lebensräumen in gutem Erhaltungszustand, und wiederherstellbaren Kerngebieten (wKG) unterschieden, die ihrerseits Populationen von Arten oder geschädigte Lebensräume beherbergen, für die Wiederherstellungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen, um einen günstigen Erhaltungszustand zu erreichen;
- Entwicklungszonen (EZ) (oder assoziierte Zonen) sind Gebiete von geringerem biologischem Interesse, die aber dennoch ein großes Potenzial für die biologische Vielfalt bergen. Dies sind Gebiete, die von vornherein weniger Schutz benötigen als die Kerngebiete und in denen die Koexistenz verschiedener Ziele vereinbar ist. Im Rahmen unserer Untersuchung des ökologischen Netzwerks von Huy werden diese Entwicklungszonen in vier Unterkategorien unterteilt:
 - EZ Laubwald (EZLW) - Diese Gebiete entsprechen Laubwaldumgebungen, die Teil der ökologischen Hauptstruktur sind, aber keine besonders seltenen Lebensräume oder Arten aufweisen. Diese spielen jedoch eine wichtige Rolle innerhalb der ökologischen Hauptstruktur. Hier kann eine traditionelle Forstwirtschaft betrieben werden, die durch biodiversitätsfördernde Maßnahmen ergänzt wird;
 - EZ Nadelwald (EZNW) - Diese Gebiete entsprechen Nadelwaldumgebungen. Diese Anpflanzungen exotischer Arten sind von geringerem ökologischem Interesse als Laubwaldbestände, beherbergen aber dennoch einige interessante Arten. Es ist auch möglich, aus

¹⁰⁶ Taymans J. (2012) Etude du réseau écologique dans le cadre du Plan Communal de Développement de la Nature de la commune de Huy. Rapport final. Unité Biodiversité & Paysage Gembloux Agro-Bio Tech.

diesen Nadelholzanpflanzungen Laubwaldhabitate oder manchmal auch offene halbnatürliche Habitate wiederherzustellen;

- EZ mit Flurheckenwiesen (EZFW) Diese Zonen entsprechen Wiesen mit einem relativ hohen biologischen Wert, entweder aufgrund von Besonderheiten, die eine übermäßige Intensivierung nicht zulassen (Hanglage, Bodenfeuchtigkeit, ...), oder aufgrund des Vorhandenseins von Gehölzelementen, die die vertikale Struktur der Wiese diversifizieren (Hecken, Kopfweiden, Baumreihen usw.). Diese beiden Parameter sind häufig auch miteinander verknüpft;
- EZ intensiv genutztes Grünland (EZIGG) - Diese Gebiete entsprechen Grünland mit geringem biologischem Wert, da es stark gedüngt, beweidet und/oder künstlich bewirtschaftet wird. Dennoch unterscheiden sie sich von einer landwirtschaftlichen Matrix, die aus gepflügtem Boden besteht, was ihnen eine gewisse Bedeutung innerhalb des ökologischen Netzwerks verleiht;
- EZ mit sonstigem intrinsischem biologischen Wert (EZSIBW) - Diese Gebiete beherbergen Arten oder Lebensräume, die nicht strikt auf Wald oder Grasland beschränkt sind und einen hohen biologischen Wert haben, aber dennoch keinen Kerngebietsstatus rechtfertigen, da die zu ihrer Erhaltung erforderlichen Maßnahmen nicht besonders streng sind. Diese Gebiete können Schlossparks, öffentliche Grünflächen, Hochstamm-Obstgärten usw. umfassen.

Die Kern- und Entwicklungszonen bilden die Ökologische Hauptstruktur (ÖHS). Die Lage des Kraftwerksstandortes in Bezug auf das ökologische Netzwerk der Gemeinde Huy ist in der folgenden Abbildung wiedergegeben.

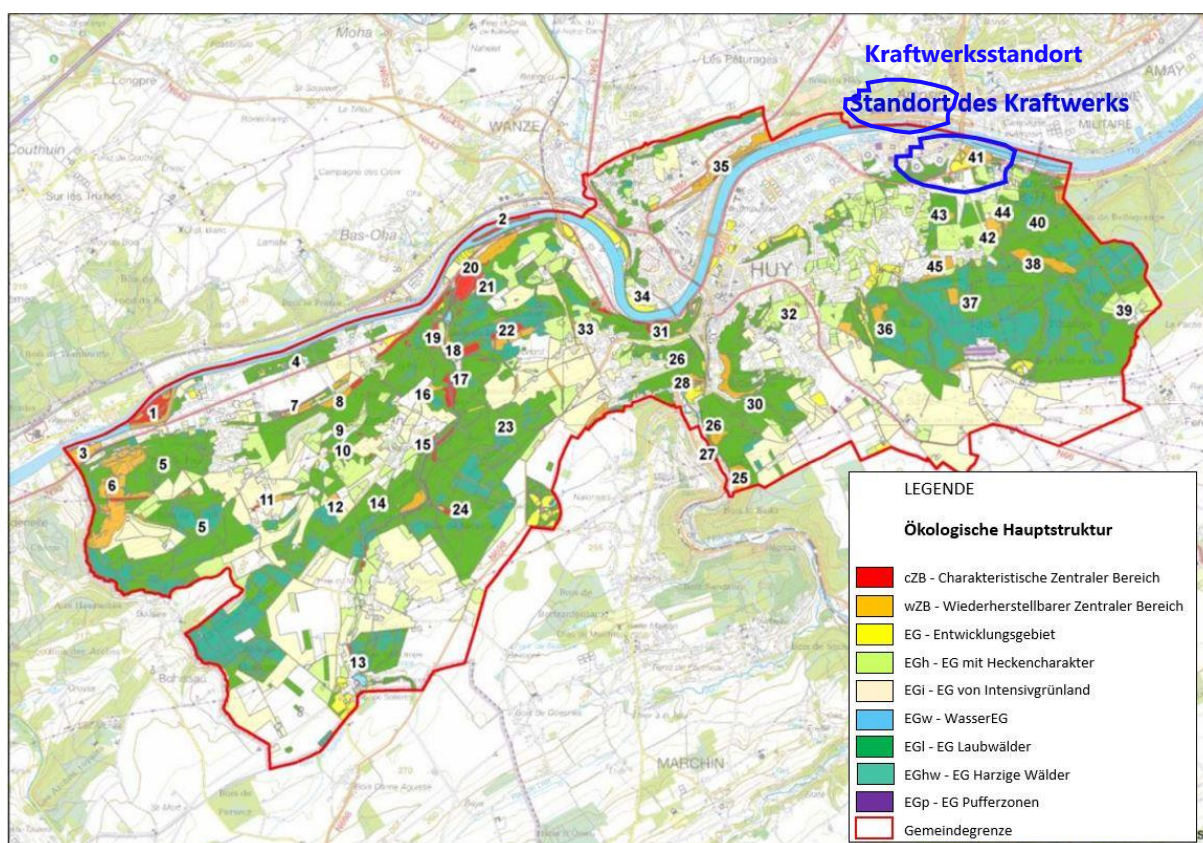


Abbildung 82: Ökologische Hauptstruktur (Quelle: GxABT 2012).

Ein Teil des Geländes des Kernkraftwerks Tihange befindet sich im ökologischen Netzwerk der Gemeinde Huy. Es handelt sich um Flächen, die in die Entwicklungszone Laubwald (EZLW) übernommen wurden.

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie, die Vinçotte Environnement im Rahmen eines Antrags auf eine Einzelgenehmigung für den Standort des Kraftwerks Tihange im Oktober 2007 durchgeführt hat, wurden biologische Feldaufnahmen gemacht, die es ermöglichen, mehrere Pflanzenarten zu nennen, die gepflanzt wurden und die EZLW innerhalb des Standorts bilden:

- *Cotoneaster franchetii*;
- *Cotoneaster* „Coral Beauty“;
- *Viburnum plicatum* „mariesii“;
- *Viburnum rhytidophyllum*;
- *Spiraea arguta*;
- *Paulownia tomentosa*;
- *Lonicera nitida* „Elegant“;
- *Weigelia* „Eva Rathke“;
- *Osmanthus burkwoodi*;
- *Deutzia gracilis*;
- *Prunus glandulosa*;
- *Prunus serotina*;
- *Corylus maxima* „Purpurea“;
- *Sambucus racemosa*;
- *Fagus sylvatica*;
- *Fagus purpurea tricolor*;
- *Pinus nigra* „Nigra“;
- *Pinus nigra* „Austriaca“;
- *Rosa nitida*;
- *Pyracantha rogersiana* „Orange glow“;
- *Pinus mugo*.

Die Gemeinde Amay, die sich in Bezug auf den Standort Tihange auf der anderen Seite der Maas befindet, verfügt über einen PCDN, dessen Charta 2008 unterzeichnet worden sein soll. Die Gemeindeverwaltung von Amay war jedoch nicht in der Lage, die entsprechenden Unterlagen zur Verfügung zu stellen.

Einrichtungen in und um den Standort

Wie in der von CSD Ingénieurs Conseils SA und SCK-CEN SA verfassten Umweltverträglichkeitsprüfung vom 24. April 2019 erläutert, führte die Electrabel AG in Zusammenarbeit mit Natagora ein Umgestaltungsprojekt zur Förderung der Biodiversität durch. Auf zwei Hektar Land, die an das Kraftwerk angrenzen und entlang der N90 in Richtung Namur liegen, wurden Blumenwiesen, Hecken, Feuchtgebiete und Waldflächen wiederhergestellt. Ziel des Projekts war es, die Biodiversität auf dieser Parzelle zu erhöhen und die Entwicklung von Flora und Fauna zu fördern. Insgesamt wurden fast 4.000 Bäume und Sträucher gepflanzt.



Abbildung 83: Aufnahme im Bereich der zwei rehabilitierten Hektar entlang der N90 (Quelle: Electrabel AG 2018).

Außerdem wurden Bienenstöcke und Nistkästen auf der Natagora-Parzelle aufgestellt. 2014 wurden etwa 15 Nistkästen an verschiedenen Stellen des Kraftwerksgeländes angebracht und etwa 50 Jungvögel beringt.

2015 erstellte die Electrabel AG eine Kartierung der auf dem Gelände vorhandenen Grünflächen und legte für jede Parzelle eine geeignete Pflegemethode fest. Außerdem wurden zwanzig weitere Nistkästen aufgehängt und ein Kilometer Weißdornhecke entlang der Mauer an der Maas gepflanzt. Diese Hecke beherbergt die Bienen, die in Zusammenarbeit mit einem lokalen Imker auf der Natagora-Parzelle gezüchtet werden.



Abbildung 84: Fotografien der auf dem Kraftwerksgelände und auf der Natagora-Parzelle realisierten Anlagen (Quelle: Electrabel AG 2017)

Beachten Sie, dass diese Anpassungen weder durch die Genehmigungsbedingungen noch durch eine gesetzliche Verpflichtung auferlegt wurden.

Bewirtschaftungsplan für Flussgebietseinheiten

Das Kraftwerk Tihange liegt im Flusseinzugsgebiet der Maas und insbesondere im Teileinzugsgebiet „Meuse Aval“.

Der Wasserkörper, der von den Aktivitäten des Antragstellers betroffen ist, ist der Wasserkörper „Maas II“ (Code: MV35R). Ab dem Zusammenfluss mit dem Ruisseau de Tailfer fließt die Maas bis zur niederländischen Grenze.

Im Rahmen des Bewirtschaftungsplans für die Einzugsgebiete (PGDH), der die Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) in wallonisches Recht umsetzt, wird alle sechs Jahre eine Bewertung des biologischen Zustands durchgeführt. Im Rahmen des zweiten PGDH wurde 2013 eine Bewertung der Qualität dieser Wasserkörper durchgeführt. Eine Zusammenfassung dieser Bewertung ist in den folgenden Tabellen enthalten.

Der ökologische Zustand der Wasserkörper wird anhand biologischer Indikatoren wie Makroinvertebraten, Kieselalgen, Fische und Makrophyten, physikalisch-chemischer Indikatoren (Sauerstoffhaushalt, pH-Wert, Stickstoff- und Phosphormaterialien, spezifische Schadstoffe) und hydromorphologischer Indikatoren wie der Durchgängigkeit der Wasserläufe und der Beschaffenheit der Ufer beurteilt. Der chemische Zustand wird durch die Berücksichtigung der Umweltqualitätsnormen für 45 prioritäre Stoffe beurteilt.

Aus der nachfolgenden Tabelle ist ersichtlich, dass der stark veränderte Wasserkörper Maas II eine durchschnittliche Qualität aufweist. Es kann im Übrigen darauf hingewiesen werden, dass der Vergleich des ökologischen Zustands

dieses Wasserkörpers zwischen den Bewertungen von 2007 und 2013 eine Beibehaltung der durchschnittlichen Qualität zeigt.

Zur Erinnerung: Das Ziel des Projekts des dritten Bewirtschaftungsplans für die Flussgebietseinheiten ist es, einen „guten“ ökologischen Zustand dieses Wasserkörpers zu erreichen. Zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Studie befindet sich dieser Entwurf des PGDH3 in der Phase der öffentlichen Anhörung.

Tabelle 72: Bewertung des ökologischen und chemischen Zustands der dem Standort nächstgelegenen Wasserkörper im Jahr 2013 (Quelle: eau.wallonie.be¹⁰⁷).

Wasserkör per MV35R - Maas II	Ökologischer Zustand PGDH 2		
	Mittel		
	Biologische Qualität	Physikalisch-chemische Qualität	Hydromorphologische Qualität
	Gut und besser	Allgemeine Parameter	Unbefriedigend
		Gut	
		Spezifische Schadstoffe	
		Schlecht	
	Chemischer Zustand PGDH 2		
	Qualität ohne PBT		
	Gut		
	Qualität mit PBT		
	Nicht gut		

Legende : PBT = Persistente, bioakkumulative, toxische und ubiquitäre Stoffe

Flussvertrag

Ein Flussvertrag ist das Ergebnis einer freiwilligen Initiative der Flussakteure, die darauf abzielt, eine integrierte Bewirtschaftung des Einzugsgebiets, seiner Wasserläufe und Wasserressourcen einzuführen, die auf Abstimmung, Sensibilisierung und Beteiligung setzt.

Die Rolle der Flussverträge (14 in der Wallonischen Region) besteht darin, alle Akteure, die an der Bewirtschaftung der Wasserressourcen eines Einzugsgebiets beteiligt sind, an einen Tisch zu bringen, um ein Aktionsprogramm festzulegen.

Dabei sind die Aufgaben der Flussverträge vielfältig: Durchführung einer Bestandsaufnahme der Beeinträchtigungen von Wasserläufen, Ausarbeitung eines Aktionsprogramms auf der Grundlage dieser Bestandsaufnahme, Förderung und Beitrag zu einem umfassenden und integrierten Wasserwirtschaft (insbesondere durch Information und Sensibilisierung der lokalen Akteure und der Bevölkerung), aber auch Beitrag zur Einführung von Wasserwirtschaftsplänen für Flusseinzugsgebiete, von Plänen für das Hochwasserrisikomanagement und Mitarbeit an kommunalen Initiativen wie PCDN, PCDR oder auch CRIE. Die Modalitäten der Ausarbeitung von Flussverträgen sind im Wassergesetzbuch festgelegt, dessen Buch II durch den Erlass der Wallonischen Regierung vom 13. November 2008 über Flussverträge geändert wurde.

Das Kernkraftwerk Tihange liegt am Ufer der Maas. Diese ist in den Flussvertrag „untere Maas“ eingeschlossen, in dem vor kurzem ein lokaler Ausschuss für die Maas gegründet wurde. Die Konsultation des Aktionsprogramms für 2023-2025 lässt jedoch keine Maßnahmen auf der Ebene des Flussabschnitts erkennen, in dem sich der Standort Tihange befindet.

¹⁰⁷ ÖDW LNSU (2016) Charakterisierungsdatenblatt für den Wasserkörper MV35R Maas II. Internationale Flussgebietseinheit der Maas. Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG). Bewirtschaftungsplan 2016-2021.

6.3.5 Beschreibung der Auswirkungen

Auswirkungen auf aquatische Ökosysteme

Der Betrieb von Kernkraftwerken kann sich auf verschiedene Weise auf die in der Maas vorkommenden Organismen auswirken. Es wird zwischen Sanitärabwasser/Regenwasser, Industrieabwasser und Kühlwasser unterschieden. Alle diese Einleitungen werden in der Studie zu den Auswirkungen auf das Wasser (Abschnitt 6.2.2) ausführlich untersucht und ihre Auswirkungen auf die Wasserqualität werden dort behandelt.

■ Wasserqualität

Zur Erinnerung: Das Kernkraftwerk Tihange leitet häusliche und industrielle Abwässer in die Maas ein. Im Rahmen eines ständigen Überwachungsprogramms wird überprüft, ob die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften dieses Wassers die Einleitungsnormen einhalten, die von der wallonischen Gesetzgebung durch die 2008 von der Wallonischen Region erteilte Umweltgenehmigung vorgeschrieben werden.

Die Einleitungsnorm wird im Allgemeinen für alle Parameter eingehalten, obwohl die Umwelterklärungen für das gesamte Kraftwerk Tihange in den letzten fünf Jahren Überschreitungen für Sedimentationsmaterial (2018 und 2019), freies Chlor (2018), Nitrit (2020), Stickstoffkonzentration (2020) und CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) (2021) gemeldet haben.¹⁰⁸ Jede dieser Überschreitungen wurde dem für die Überwachung des Kraftwerksgeländes zuständigen Beamten gemeldet, und es wurde systematisch nach den Ursachen gesucht, um ein erneutes Auftreten zu verhindern.

Aufgrund der Komplexität der Faktoren, die sich auf die Organismen auswirken können, die innerhalb des Hafenbeckens im Natura2000-Gebiet gefunden werden, ist es schwierig, genau zu bestimmen, ob die Einleitungen lokal einen signifikanten Einfluss haben. Unter normalen Umständen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Verlängerung der Laufzeit des Reaktors Tihange 3 nicht dazu führen wird, dass Wasser mit einer höheren Konzentration an Schadstoffen als derzeit in die Maas eingeleitet wird, um die Wasserfauna zu beeinträchtigen, insbesondere die Fauna im Bereich des Hafenbeckens, das in das Natura2000-Gebiet aufgenommen wurde. Die Verlängerung der Laufzeit von Tihange führt in diesem Punkt nicht zu zusätzlichen Auswirkungen auf der Ebene der Maas. Im Gegenteil werden im Falle der Schließung des KKW3 die Emissionen und die damit verbundenen Auswirkungen bis zum Abschluss des unvermeidlichen Rückbaus des Kraftwerks schrittweise verringert.

■ Kühlwasser

Aufgrund der durch die Einleitung von Wasser in die Kraftwerkskreisläufe induzierte Sterblichkeit von Biomasse enthält das in den Fluss zurückgegebene Wasser weniger lebendes und aktives Phytoplankton, was zu einer geringeren Sauerstoffproduktion in dem Gebiet unterhalb der Einleitung führt. Außerdem enthält das dem Fluss zurückgegebene Wasser tote Biomasse, was eine zusätzliche Menge an organischem Material darstellt, dessen Zersetzung durch das mikrobielle Kompartiment zu einem Sauerstoffverbrauch führt. Beide Effekte - Rückgang der Produktion und Anstieg des Verbrauchs an gelöstem Sauerstoff - wirken zusammen und führen zu einem Rückgang des Gehalts an gelöstem Sauerstoff im Wasser der Maas, der zu bestimmten Jahreszeiten in dem Gebiet unterhalb des Kraftwerks festzustellen sein kann¹⁰⁹. Einige Fischarten reagieren besonders empfindlich auf die Verfügbarkeit von Sauerstoff und könnten seltener werden. Es gibt keine Fischarten, die sehr hohe Ansprüche an die Sauerstoffverfügbarkeit stellen (wie Salmoniden): Solche Arten können nur in schnell fließenden Flüssen oder in oligotrophen Umgebungen leben. Nur wandernde Individuen (wie der Atlantische Lachs oder der Europäische Aal) könnten den Abschnitt passieren, an dessen Rand das Kraftwerk errichtet wird. Diese Fische scheinen jedoch in der

¹⁰⁸ Engie Electrabel AG (2018 bis 2022). Umwelterklärung. Kernkraftwerk Tihange.

¹⁰⁹ Everbecq, E. ; Bourouag, M.T. ; Deliège, J.F. ; Grard, A. ; Smits, J. ; Descy, J.P. ; Viroux, L. (2007) Etude d'incidence de la centrale de Tihange. Impact sur le milieu aquatique (la Meuse). C.E.M.E – Aquôle – Universität Lüttich. URBO. – Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix Namur.

Lage zu sein, Kühlwassereinleitungen zu erkennen und zu vermeiden¹¹⁰, sodass es unwahrscheinlich ist, dass der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 die Migration empfindlicher Fischarten signifikant beeinflusst.

Diese Arten sind eher durch Staudämme und Wasserkraftwerke bedroht. In der Maas wurden erhebliche Störungen bei der Abwanderung sowohl von Blankaalen als auch von Atlantiklachsen und Meerforellen gemeldet. Die Störung des Fischabstiegs stellt nach Expertenmeinung derzeit eines der größten Hindernisse für eine nachhaltige Wiederherstellung der Wanderfischpopulationen im Maasbecken unterhalb der Ourthe dar¹¹¹. Aufgrund dieser Feststellung rief Luminus - Betreiber mehrerer Wasserkraftwerke an der Maas - in Zusammenarbeit mit dem ÖDW-LNSU das Projekt Life4Fish ins Leben¹¹². Im Rahmen dieses Projekts wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um die Erholung der Lachs- und Aalpopulationen zu fördern (abweisende Barrieren, Abstiegsöffnungen, ichtyokompatible Turbinen usw.). Der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 wird die Wirksamkeit dieser Maßnahmen in keiner Weise beeinträchtigen, da das Projekt nicht die Installation von Bauwerken erfordert, die die Abwanderung dieser Arten stören könnten.

Die vorkommenden Arten gehören zu den Cypriniden, deren Ansprüche an den gelösten Sauerstoff geringer sind. Arten wie Karpfen, Schleie, Brasse, Zander, Rotaugen, Rotfeder, Barsch und Gründling, die in den Gewässern der Maas vorkommen, kommen mit mäßig sauerstoffreichem Wasser zurecht und haben eine gewisse Toleranz gegenüber Temperaturerhöhungen.

Die Umwelterklärungen des Kraftwerks Tihange besagen, dass die Temperatur des eingeleiteten Wassers streng kontrolliert wird, um die geltenden Normen einzuhalten. Die Umweltgenehmigung legt einen Schwellenwert fest, der je nach Jahreszeit variiert: Zwischen den Bereichen flussaufwärts oder -abwärts des Kraftwerks ist eine Erwärmung von maximal 4 oder 5 °C erlaubt. Dennoch kann die Temperatur der Maas flussabwärts nie den Spitzenwert von 28 °C überschreiten. In Zeiten großer Hitze und Trockenheit oder bei geringen Abflüssen ist daher erhöhte Wachsamkeit beim Umgang mit Wärmefreisetzung erforderlich. Eine Software ermöglicht ein optimales Management der Wärmeabgaben, indem sie sich ständig an die Abflussbedingungen in der Maas sowie an die Betriebsereignisse der drei Blöcke anpasst. Die Ergebnisse der kontinuierlich durchgeführten Messungen sind in Echtzeit in den Kontrollräumen verfügbar, sodass sofort geeignete Maßnahmen ergriffen werden können, wenn sich die Temperatur dem zulässigen Grenzwert nähert. Dieses Monitoring wird auch den wallonischen Behörden gemeldet. In den letzten fünf Jahren wurden keine Überschreitungen des in der Umweltgenehmigung des Kraftwerks festgelegten Schwellenwerts gemeldet.

Die Auswirkungen auf die Populationen von Makroinvertebraten und Phytoplankton wurden nicht untersucht. Innerhalb dieser Populationen ist mit lokalen Veränderungen zu rechnen, die weniger empfindliche oder wärmeliebende Arten auf Kosten anderer, vielleicht typischerer Arten begünstigen. Die meisten dieser Effekte werden jedoch nur lokal, im Bereich der Wassereinleitung des Kraftwerks in die Maas, auftreten und den Rest des Flusssystems nicht beeinträchtigen. Darüber hinaus beherbergt dieses Gebiet der Maas nur wenige anspruchsvolle Arten, da es sich um einen Fluss handelt, der durch menschliche Aktivitäten stark künstlich gestaltet wurde. Die Arten sind in der Regel ubiquitär und lassen sich durch kleine Veränderungen in ihrer Umgebung nicht stören. Die Möglichkeit signifikanter Veränderungen in der Artenzusammensetzung ist hier also stärker eingeschränkt als in anderen Ökosystemen.

Anzumerken ist auch, dass einige Studien darauf schließen lassen, dass die Wärmeverschmutzung ein lokales Brutgebiet für exotische Arten darstellen könnte. Es besteht immer die Gefahr, dass Arten einen invasiveren Charakter entwickeln (z. B. durch Anpassung an die Kälte) und sich durch Abwärme stärker ausbreiten. Da viele Arten planktonische Larvenstadien aufweisen, kann diese Verbreitung sehr schnell und weiträumig erfolgen.

¹¹⁰ Kerkum, L.C.M., bij de Vaate, A., Bijstra, D., de Jong, S.P. & Jenner, H.A. (2004). Effecten van koelwater op het zoete aquatische milieu. RIZA rapport 2004.033. Rijkswaterstaat.

¹¹¹ Baudouin, J-M ; Burgun V. ; Chanseau, M. ; Larinier, M. ; Ovidio, M. ; Sremski, W. ; Steinbach P. ; Voegtli B. (2014) Informations sur la Continuité Ecologique - ICE -Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. ONEMA.

¹¹² <https://www.life4fish.be/fr>.

Nach der Abschaltung von Tihange 1 und 2 wird es immer noch einen thermischen Effekt durch das Kühlwasser von Tihange 3 geben, falls dessen Laufzeit verlängert werden sollte, auch wenn die thermisch betroffene Zone nicht mehr so groß sein wird wie in den letzten Jahren, als alle drei Reaktoren gleichzeitig in Betrieb waren. Zwar wird der thermische Effekt des Kraftwerks auf die Maas infolge der Betriebsverlängerung des Kraftwerks weiterhin vorhanden sein, doch wird dieser im Vergleich zu der Situation, in der alle drei Reaktoren in Betrieb sind (nur Tihange 3 wird noch betrieben), weitgehend reduziert.

■ Wasserentnahmen in der Maas

Das Kernkraftwerk entnimmt das Kühlwasser über eine Wasserentnahmestelle aus der Maas. Der physikalische Effekt des Pumpens auf die Fische ist zu berücksichtigen. Die durch das Pumpen erzeugte Strömung kann Fische zu den Pumpen treiben, wo sie von den Rechenanlagen abgefangen werden. Diese Problematik ist besonders wichtig für Wasserentnahmestellen, die in Flussmündungen oder an der Küste installiert sind. Die Menge der abgefangenen Fische ist in Süßwasser geringer. Laut einer Studie der ULiège an den Wasserentnahmestellen von Tihange¹¹³ wurde zwischen 2001 und 2004 durchschnittlich 1 Fisch pro 1.000 m³ in die Wasserentnahmestelle gespült, d. h. 1,5 bis 2 Millionen Individuen entsprechen einer Biomasse von 15 bis 20 Tonnen Fisch über 4 Jahre. Aus diesem Grund schrieben die Auflagen der Betriebsgenehmigung des Kraftwerks bei der Erneuerung im Jahr 2008 dem Anlagenbetreiber ein Infrarot-Abstoßungssystem an diesen Wasserentnahmestellen vor (siehe folgende Abbildung).

Da das Wasser nur für den Reaktor Tihange 3 gepumpt wird und das Abweisungssystem vom Betreiber sachgemäß installiert wurde, wird die verbleibende Fischsterblichkeit, die durch diese Wasserentnahmen verursacht wird, nicht signifikant sein. Daraus lässt sich schließen, dass die Verlängerung des Betriebs von Tihange 3 nicht zu einem signifikanten Anstieg der Fischsterblichkeit in der Maas führen wird.

¹¹³ Philippart, J.C. & Ovidio M. (2009) L'impact des prises d'eau industrielles et des turbinages hydroélectriques sur la dynamique des populations de poissons et la qualité de leur habitat dans les cours d'eau navigables. Le cas de la Meuse et de l'Ourthe en Wallonie. Université de Liège.

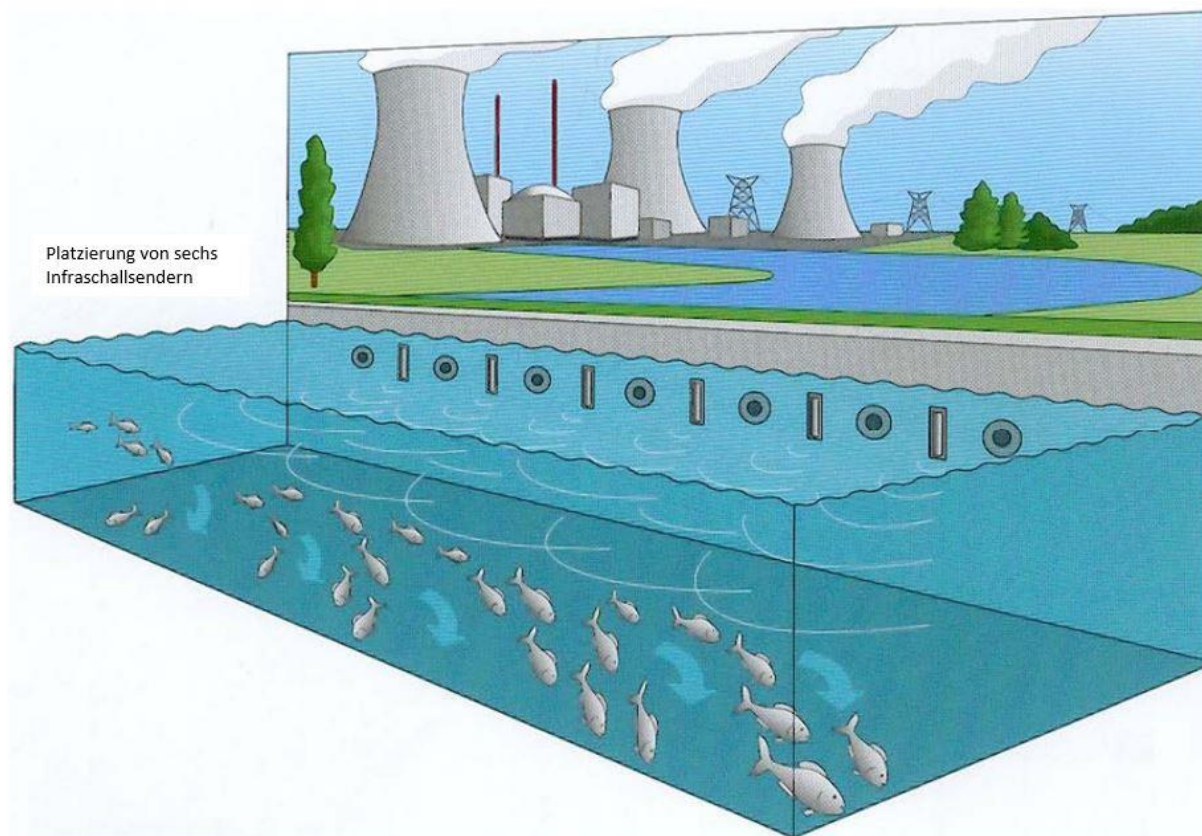


Abbildung 85: Abweisungssystem (6 Infraschallsender) an den Wasserentnahmestellen in der Maas (Quelle: ULiège 2009).

Störung

Kernkraftwerke können Störungen durch Licht, Lärm und die Anwesenheit von Menschen verursachen. Viele dieser Faktoren lassen sich nur schwer auf den Betrieb von Tihange 3 reduzieren.

■ Beleuchtung

Die asbl ASCEN veröffentlichte ein Dokument¹¹⁴ über die Auswirkungen von Bodenbeleuchtung auf Fledermäuse. Diese gemeinnützige Vereinigung greift den vom DNF geprägten Begriff der „ökologischen Falle“ auf und definiert ihn als „künstliches Milieu, in dem besondere ökologische Phänomene auftreten. Dort verschwinden mehr Arten aus dem angrenzenden Lebensraum, da sie dort einer verstärkten Prädation ausgesetzt sind“. Laut ASCEN schneidet die öffentliche und private Beleuchtung die Flugrouten der lichtscheuen Fledermäuse ab, stört ihre Beutetiere und schränkt ihre Jagdgründe ein. Laut ASCEN toleriert nur die Wimperfledermaus (*Myotis emarginatus*) Licht in ihrer Unterkunft, die anderen Arten verlassen Glockentürme, Gebäude und Höhlen, in denen sie Zuflucht finden, sobald die Eingänge oder Ausgänge beleuchtet sind. Einige Arten scheinen sich lokal an die Beleuchtung angepasst zu haben. Die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) hat lokal gelernt, im Bereich von Straßenlaternen zu jagen, allerdings auf die Gefahr hin, dass die Zahl ihrer Beutetiere zurückgeht. Die am stärksten betroffenen Arten wären die Große und die Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus ferrumequinum* und *Rhinolophus hipposideros*) sowie die Langohrfledermäuse (*Plecotus* sp.).

¹¹⁴ Association pour la Sauvegarde du Ciel et de l'Environnement Nocturnes (ASCEN) asbl (Datum der Veröffentlichung nicht angegeben). Impacts des éclairages sur les chauves-souris.

Bruxelles Environnement spricht übrigens von einem „Staubsauger“-Effekt, der durch Lichtverschmutzung verursacht wird: *„Die nächtliche Beleuchtung wirkt wie ein Staubsauger, der einen Teil der Tiere, die in der Umgebung leben, anzieht. Folge: Die nächtliche künstliche Beleuchtung, die manchmal schon von weitem zu sehen ist, entfernt aus der nicht direkt beleuchteten Umgebung buchstäblich alle Tiere, die vom Licht angelockt werden.“*¹¹⁵

Da mehrere Straßen an das Kraftwerk Tihange angrenzen (N90, N684, interne Straßen in Tihange) und das Kraftwerk zwischen den Städten Huy und Amay liegt, wird sich die mögliche Lichtbelästigung in der Umgebung nicht ändern, wenn nur der Reaktor Tihange 3 abgeschaltet wird.

▪ Lärm

In Bezug auf Lärm wurden 2010 im Rahmen einer akustischen Studie des Standorts des Kernkraftwerks Tihange und seiner direkten Umgebung die wichtigsten Lärmquellen identifiziert, die durch die Aktivitäten des Kraftwerks erzeugt werden. Im Anschluss an diese Studie wurden 2012 und 2013 vom Betreiber Arbeiten durchgeführt, um die für die Anwohner wahrnehmbare Lärmbelästigung zu reduzieren.

Laut der Umwelterklärung des Kraftwerks Tihange von 2022 werden die spezifischen Geräusche (Motorgeräusche) wahrscheinlich weiterhin wahrnehmbar sein und sich immer noch von den Umgebungsgeräuschen unterscheiden, die durch das Kraftwerk und den Straßenverkehr erzeugt werden. Sie sollten jedoch keine Lärmbelästigung der Anwohner mehr verursachen, selbst wenn man einen nächtlichen Betrieb der Reserve- und Notstromdieselaggregate in Betracht zieht. Es ist daher unwahrscheinlich, dass der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 zur Vergrämung von Vögeln führt, da am Kraftwerksstandort kontinuierlich und seit vielen Jahren Geräusche festzustellen sind. Es handelt sich nicht um plötzliche, laute Geräusche, die z. B. bei Sprengungen in Steinbrüchen auftreten und dann die örtliche Tierwelt überraschen könnten.

▪ Einrichtungen zur Förderung der Biodiversität

Außerdem wird daran erinnert, dass im Westen des Geländes Einrichtungen zur Förderung der biologischen Vielfalt in Form von Blumenwiesen, Hecken, Feuchtgebieten und Waldgebieten geschaffen wurden. Außerdem wurden dort Nistkästen und Bienenstöcke installiert. Diese Einrichtungen wurden vom Betreiber auf freiwilliger Basis geschaffen und werden auch nach dem Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 beibehalten. Sie begünstigen das Nisten verschiedener Vogelarten sowie die Jagd von Fledermäusen.

¹¹⁵ Bruxelles Environnement (2022) La Pollution Lumineuse en Région de Bruxelles-Capitale. Collection Fiches Documentées (n°24)
– Thème : Espaces verts et Biodiversité.



Abbildung 86: Einrichtungen zur Förderung der Biodiversität (Quelle: Engie 2022).

In Anbetracht der obigen Ausführungen ist keine Beeinträchtigung der lokalen Fauna durch Licht, Lärm und menschliche Präsenz durch den Weiterbetrieb des Reaktors zu erwarten.

Säure- und stickstoffhaltige Rückstände

Die Hauptanlagen des Kernkraftwerks Tihange erzeugen bei der Verwendung von Uran als Brennstoff keine direkten Verbrennungsgase, die für den sauren Regen verantwortlich sind. Die Hilfsanlagen zur Dampferzeugung und die Notstromgeneratoren werden jedoch mit Öl (Leichtöl) betrieben. Der Betrieb dieser Anlagen, die Verbrennungsgase erzeugen, ist relativ begrenzt. Denn wenn die Blöcke in Betrieb sind, erzeugen sie ihren Dampfbedarf selbst, nehmen keine Hilfskessel in Anspruch und produzieren daher auch keine Verbrennungsgase. Wenn ein Block stillsteht, profitiert er, wenn möglich, zuerst vom Dampf des Hauptkreislaufs, der von den anderen Blöcken abgegeben wird, bevor die Hilfskessel in Anspruch genommen werden. 2021 war die Verfügbarkeit der Blöcke sehr gut. Die Reaktoren Tihange 1 und 3 liefen das ganze Jahr über mit 100 % Leistung. Tihange 2 wurde während zwei kurzen Zeiträumen im Jahr 2021 für Wartungsarbeiten abgeschaltet (vom 1. Januar bis einschließlich 21. Januar und vom 14. Mai bis einschließlich 29. Mai). Die Hilfskessel wurden daher kaum in Anspruch genommen.

Es zeigt sich also, dass der Weiterbetrieb des Kernreaktors Tihange 3 nicht nur keinen Anstieg der Häufigkeit von saurem Regen in der Region verursachen wird, sondern darüber hinaus kann, wenn man die NO_x - und NH_3 -Emissionen des neuen Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerks Awirs (mit einer theoretischen Gesamtleistung von 875 MW) berücksichtigt, der Weiterbetrieb des Reaktors als positiv angesehen werden, da der Strom, der von dem Reaktor produziert wird, nicht von den Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerken produziert werden muss.

Selbst wenn der Weiterbetrieb von Tihange 3 zu höheren Emissionen von Verbrennungsgasen führen sollte (aufgrund des häufigeren Einsatzes von Notstromaggregaten), ist zu beachten, dass mittel- bis stark saure Böden (mit einem pH-Wert unter 5,5) am anfälligsten sind, mit dem Risiko der Ausscheidung von Aluminium und des

Absterbens von Pflanzen¹¹⁶. Die niedrigwüchsigen Lebensräume von gemeinschaftlichem Interesse, die in den beiden einzigen Natura2000-Gebieten in der Projektregion vorkommen, weisen jedoch Böden mit einem allgemein höheren pH-Wert auf, da sie auf kalkhaltigen Böden (pH > 7) siedeln. Daher werden keine Auswirkungen durch saure Niederschläge auf diese europaweit geschützten Lebensräume (6110, 91E0, 8160, 9180, 9150 und 8210) erwartet.

Direkte Landnutzung

Theoretisch könnte die Entscheidung, die Kernkraftwerke von Tihange 3 länger in Betrieb zu halten, negative Auswirkungen auf die Landnutzung haben. Sollte das Kraftwerk verschwinden, würde ein Gebiet frei, das aufgrund der Nähe zur Maas und der verschiedenen Naturentwicklungsgebiete (PCDN) potenziell für die Entwicklung der Natur genutzt werden könnte. Diese Argumentation ist jedoch fragwürdig.

Tatsächlich befindet sich der Standort Tihange in einem Industriegebiet, das von urbanen Zonen (Huy, Amay) umgeben ist. Daher besteht nach der Abschaltung die reale Möglichkeit, dass eine neue industrielle Entwicklung stattfindet, anstatt einer Entwicklung für die Natur. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Entscheidung, die Abschaltung zu verschieben, keine Auswirkungen auf die direkte Landnutzung hat.

6.3.6 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Inwieweit kann erwartet werden, dass das Projekt Störungen geschützter Arten vermeiden kann (siehe NSG)?

Die Entnahme von Wasser aus der Maas und die Einleitung von Kühlwasser wurden als die Vorgänge mit den größten Auswirkungen auf lokale Arten identifiziert. Dennoch können die vom Betreiber auf der Grundlage der Bedingungen der geltenden Umweltgenehmigung ergriffenen Maßnahmen die mit diesen Vorgängen verbundenen Auswirkungen drastisch reduzieren.

Andere potenzielle Störungen, die sich auf geschützte Arten auswirken könnten (Beleuchtung, Lärm usw.), wurden aufgrund der Lage des Kraftwerks (urbanisierte Umgebung, keine empfindlichen Lebensräume in der Nähe usw.) und der Schlussfolgerungen aus der Literatur als nicht signifikant eingestuft. Der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 verstößt nicht gegen das NSG ab und es werden keine Empfehlungen ausgesprochen.

Inwieweit ist zu erwarten, dass das Projekt Störungen von Naturschutzgebieten vermeiden kann (siehe NSG)?

Angesichts der Entfernung des nächstgelegenen Naturschutzgebiets zum Kraftwerksstandort (fast 800 Meter) und in Anbetracht der Tatsache, dass sein Interesse hauptsächlich botanischer Natur ist, können die Aktivitäten des Kraftwerks Tihange die Lebensräume und Arten dieses Naturschutzgebiets nicht beeinträchtigen, es sei denn indirekt durch die Erhöhung der Häufigkeit des säurebildenden Niederschlags.

Die Verlängerung der Laufzeit des Kernreaktors sollte jedoch den Bedarf an Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerken zur Stromerzeugung verringern (z. B. Kraftwerk Awirs). Das Projekt hat also in Bezug auf dieses Thema eher positive Auswirkungen. Der Weiterbetrieb des Reaktors wird daher die Naturschutzgebiete nicht beeinträchtigen.

Inwieweit kann erwartet werden, dass das Projekt signifikante Auswirkungen in Bezug auf Natura2000-Gebiete vermeiden kann (siehe NSG)?

Ebenso wie die durch das NSG geschützten Arten dürften auch die Arten von gemeinschaftlichem Interesse, auf Gegenstand der Natura2000-Gebiete der Region sind, nicht durch den Weiterbetrieb des Reaktors beeinträchtigt werden. Die Lebensräume innerhalb und in der Umgebung des Kraftwerksgeländes sind für das Vorkommen der meisten dieser Arten nicht förderlich.

¹¹⁶ ÖDW Direktion Bodenschutz (2012) Infoblatt Nr. 7: Säuerung der Böden.

<https://sol.environnement.wallonie.be/home/sols/autres-menaces/acidification.html>.

Auch hier können sich die Aktivitäten des Kraftwerks nur indirekt über den sauren Regen auf die Lebensräume von gemeinschaftlichem Interesse auswirken. Abgesehen davon, dass der Weiterbetrieb des Reaktors die Häufigkeit dieses Niederschlags nicht erhöhen wird, sind die Lebensräume von gemeinschaftlichem Interesse mit niedriger Vegetation im Projektgebiet nicht anfällig für diesen Niederschlag.

Der geplante Weiterbetrieb hat daher keine Auswirkungen auf das europäische Erhaltungsnetz.

Inwieweit ist zu erwarten, dass das Projekt Störungen der FBI vermeiden kann (siehe Erlass der wallonischen Regionalexekutive vom 8. Juni 1989)?

Generell wurden in der vorliegenden Studie keine signifikanten Auswirkungen auf aquatische Ökosysteme oder die darin lebenden Arten festgestellt.

Da das einzige FBI in der Region vor allem dem Schutz der Uferschwalbe dient, die nicht in den direkt am und um den Standort des Kraftwerks Tihange vorhandenen Lebensräumen vorkommt, sind keine Beeinträchtigungen durch das Projekt zu erwarten.

Inwieweit kann erwartet werden, dass das Projekt signifikante Auswirkungen in Bezug auf UHWI vermeiden kann (siehe EWR vom 26. Januar 1995)?

Das Projekt gefährdet in keiner Weise die Aufnahme des einzigen UHWI in der Region in das Netzwerk der Fledermausüberwinterungsgebiete oder das Ziel der Erhaltung von Chiropteren.

Die potenziellen Beeinträchtigungen von Fledermäusen durch das Kraftwerk sind gering, da die Region bereits stark urbanisiert ist und die vom Betreiber installierten Einrichtungen zur Förderung der Biodiversität sich positiv auf die Jagdaktivitäten von Fledermäusen auswirken. Daher werden keine signifikanten Auswirkungen auf den UHWI und seine Erhaltungsziele erwartet, es werden keine Empfehlungen ausgesprochen.

Inwieweit kann davon ausgegangen werden, dass die Umsetzung des Projekts die Erreichung der Ziele, die im Entwurf der dritten Bewirtschaftungspläne für die wallonischen Flussgebietseinheiten für den Zyklus 2022-2027 formuliert wurden, nicht beeinträchtigt (siehe Richtlinie 2000/60/EG)?

Der Kraftwerksbetreiber muss die in seiner Umweltgenehmigung festgelegten Emissionsstandards einhalten, und jede Überschreitung, die in den letzten fünf Jahren festgestellt wurde, wurde systematisch korrigiert. Was die Wärmeeinleitungen betrifft, so werden die Durchflüsse aufgrund der bevorstehenden Abschaltung der Reaktoren Tihange 1 und 2 entsprechend verringert. Es wird daher nicht davon ausgegangen, dass der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 die Erreichung der Ziele für einen guten ökologischen Zustand der Gewässer an der Maas im Jahr 2027 behindert.

6.3.7 Schlussfolgerungen

In der Region um das Kraftwerk Tihange befinden sich mehrere Naturschutzgebiete. Diese Gebiete werden gesetzlich geschützt, um Erhaltungsziele zu erreichen. Diese Ziele, die in der wallonischen Gesetzgebung verankert sind, dienen unter anderem dem Schutz international geschützter Arten und Lebensräume. Daher ist es wichtig, festzustellen, ob der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 die Verfolgung dieser Erhaltungsziele eventuell behindert. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie versucht, die möglichen Auswirkungen des Projekts auf diese geschützten Arten und Lebensräume so gut wie möglich abzuschätzen.

Es wurde festgestellt, dass das Projekt diese Arten und Lebensräume durch das Abpumpen von Wasser in die Maas, die Einleitung von Kühlwasser und die Veränderung der Wasserqualität der Maas, durch Lärm- und Lichtbelästigung, durch indirekte Auswirkungen des sauren Regens und durch die Tatsache, dass der Standort auf Flächen liegt, die potenziell für Erhaltungszwecke genutzt werden können, beeinträchtigen könnte.

Die verschiedenen Analysen führten zu dem Schluss, dass die Auswirkungen des Projekts auf die aquatische Umwelt angesichts der Maßnahmen, die der Kraftwerksbetreiber freiwillig oder im Rahmen der durch seine Umweltgenehmigung auferlegten Normen ergriffen hat (Kontrolle der Einleitungen, Rückstoßsystem usw.), die

Strategien zur Erhaltung dieser Ökosysteme nicht gefährden. Da der Fluss, an dem das Kraftwerk liegt, keinen hohen ökologischen Wert hat (ubiquitäre Arten) und nur einer der drei Reaktoren in den nächsten Jahren weiter betrieben werden soll, wird keine negative Entwicklung der Umwelt erwartet.

Was die Belästigung durch die Anwesenheit von Menschen (Lärm, Beleuchtung usw.) betrifft, so dürfte diese nicht signifikant sein, da das Kraftwerk sich in einer bereits stark urbanisierten Region befindet und der Betreiber auch Maßnahmen zur Verringerung der akustischen Auswirkungen ergriffen hat. Außerdem wurden am Standort Einrichtungen zur Förderung der biologischen Vielfalt installiert.

Zu guter Letzt wird der Beitrag des Weiterbetriebs von Tihange 3 zum sauren Regen nicht signifikant sein. Außerdem hat das Projekt positive Auswirkungen, da die Elektrizität, die der Reaktor erzeugen wird, nicht von Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerken erzeugt werden muss, die wesentlich mehr Verbrennungsgase freisetzen, die für die erhöhte Häufigkeit des sauren Niederschlags verantwortlich sind.

Berücksichtigt man diese Elemente, so ist der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 nicht unvereinbar mit den Erhaltungszielen, die in der wallonischen Gesetzgebung festgelegt sind, die wiederum die europäischen Ziele zum Schutz von Arten und Lebensräumen von Interesse umsetzt.

6.3.8 Minderungsmaßnahmen

Da das Projekt keine nennenswerten Auswirkungen auf die politischen Ziele hat, werden keine Minderungsmaßnahmen empfohlen.

6.4 Luft

6.4.1 Relevante politische Ziele

Die relevantesten politischen Ziele, die für die Zwecke dieser Umweltverträglichkeitsprüfung von Bedeutung sind, betreffen die Emissionsreduktionsziele, die auf europäischer Ebene im Vergleich zur föderalen Ebene festgelegt und dann auf regionaler Ebene weiter aufgeteilt wurden.

EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen

Die Richtlinie 2001/81/EG, allgemein bekannt als NEC-Richtlinie (National Emission Ceilings), die am 23. Oktober 2001 verabschiedet wurde, betrifft die Reduzierung der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe. Diese Richtlinie legte Emissionshöchstgrenzen fest, die ab 2010 für verschiedene Verbindungen nicht mehr überschritten werden durften, nämlich:

- Schwefeldioxid (SO₂);
- Stickoxide (NO_x);
- Flüchtige organische Verbindungen (VOC) außer Methan;
- Ammoniak (NH₃).

Diese Richtlinie wurde durch die Richtlinie 2016/2284/EU aufgehoben, die ihrerseits Ziele für 2020 und 2030 enthält, die als relative Reduzierungen im Vergleich zu den Emissionen von 2005 formuliert sind.

Diese Richtlinie erweitert die Liste der Verbindungen, für die Höchstgrenzen festgelegt werden, auf PM_{2,5}.

Die in der Richtlinie festgelegten Emissionsreduktionsziele für die 2020-er und 2030-er Jahre sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

*Tabelle 73: Obergrenzen für die Reduzierung von Emissionen gemäß der Richtlinie 2016/2284/EU für Belgien
(Quelle: Plan Air Climat Energie 2030).*

	Überarbeitete NEC- Richtlinie - 2020	Überarbeitete NEC- Richtlinie - 2030	Emissionen 2005
	% im Vergleich zu 2005	% im Vergleich zu 2005	kt/Jahr
SO _x	43 %	66 %	142,1
NO _x	41 %	59 %	303,5
COVNM	21 %	35 %	145,8
NH ₃	2 %	13 %	75,2
PM _{2,5}	20 %	39 %	34,8

Die Richtlinie verpflichtete die Mitgliedsstaaten, bis zum 31. März 2019 ein nationales Programm zur Bekämpfung der Luftverschmutzung festzulegen. In der Wallonie wurde das Dekret zur Zustimmung zum Kooperationsabkommen vom 24. April 2020 zwischen dem Föderalstaat und den Regionen (Flämische Region, Wallonische Region und Region Brüssel-Hauptstadt) über die Umsetzung mehrerer Bestimmungen der Richtlinie 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 am 19. November 2020 verabschiedet.

Da der zu bewertende Zeitraum 2027-2036 ist, wird die Bewertung auf den Zielen für 2030 basieren, die derzeit auf belgischer föderaler Ebene gelten.

Neben den Emissionszielen wird auch auf die Luftqualitätsziele verwiesen. Diese Ziele basieren ebenfalls auf der europäischen Gesetzgebung.

Plan Air Climat Energie (PACE)

Im Rahmen ihrer Energie- und Klimaziele 2030 veröffentlichte die Europäische Kommission 2016 das Gesetzespaket, das die Klima- und Energiepolitik der Mitgliedsstaaten zwischen 2020 und 2030 lenken soll. Dieses Paket wird als „Clean Energy Package“ bezeichnet. Dieses Paket verpflichtet die Mitgliedsstaaten, einen strategischen Energie-Klima-Plan zu erstellen, der fünf Dimensionen beinhaltet, nämlich:

- Entkarbonisierung;
- Energieeffizienz;
- Versorgungssicherheit;
- Organisation des Energiemarktes; und
- Forschung und Innovation.

Angeichts der großen Synergien zwischen Luft, Energie und Klima beschloss die Wallonie, die drei Politikbereiche in eine gemeinsame Vision zu integrieren. Um die Vorgaben der Richtlinie zur Reduzierung der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe (siehe Punkt *EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstmenge* oben) und die Vorgaben des „Clean Energy Package“ zu erfüllen, hat die Wallonie ihren eigenen Plan Air Climat Energie (PACE) erstellt. Dieser Plan soll daher zum nationalen Klima- und Energieplan Belgiens und zum nationalen Programm zur Bekämpfung der Luftverschmutzung beitragen, um die Klima- und die Luftqualitätsziele bis 2030 zu erreichen.

Der PACE 2021-2030 wurde am 4. April 2019 von der Wallonischen Regierung verabschiedet, und der endgültige wallonische Beitrag zum nationalen Energie- und Klimaplan Belgiens wurde am 28. November 2019 von der Wallonischen Regierung genehmigt.

Der PACE wurde aktualisiert, wobei die Empfehlungen der Europäischen Kommission berücksichtigt wurden. Der aktualisierte PACE wurde am 16. Dezember 2022 von der wallonischen Regierung in erster Lesung verabschiedet und wird derzeit einer Konsultation der Akteure unterzogen, um im März 2023 endgültig verabschiedet zu werden.

Der Plan umfasst 255 Maßnahmen, mit denen in 10 Themenbereichen gehandelt werden kann. Ziel ist es, alle Sektoren und Bereiche der Gesellschaft zu mobilisieren, indem die notwendigen Veränderungen antizipiert und geplant werden, alle Akteure über die Fristen informiert werden, Unternehmen und Haushalte unterstützt werden und in nachhaltige Alternativen investiert wird. Die Themen sind:

- Ausstieg aus der fossilen Energie;
- Massive Verbreitung von erneuerbaren Energien;
- Verbesserung des Zugangs zu Energie verbessern und Unterstützung des Energiewandels;
- Beschleunigung und Verbreitung der Gebäuderenovierung;
- Verbesserung des Energie- und Klimawandels in Unternehmen und Industriebetrieben;
- Sicherung der Nachhaltigkeit von Landwirtschaft, Böden und Wäldern;
- Transformation von Territorien und Mobilität;
- Sicherstellung der Akzeptanz der Maßnahmen des PACE;
- Unterstützung der lokalen Energie- und Klimapolitik;
- Verbesserung der Luftqualität.

Anzumerken ist, dass das PACE 2030 von einem Ausstieg aus der Kernenergie in der Wallonie im Jahr 2025 ausgeht.

Das ECAP verteilt die in der Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen festgelegten Ziele für Emissionshöchstmengen auf die Regionen. Die Ziele auf der Ebene der Wallonie und Belgiens sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 74: Verteilung der belgischen Emissionsobergrenzen für 2030 auf die Regionen (Quelle: PACE 2030)

Schadstoff	Emissionen Belgien 2005 [kt/Jahr].	Emissionsobergrenzen 2030 für Belgien [kt/Jahr].	Emissionsobergrenzen 2030 für die Wallonie [kt/Jahr]
NO _x	303,5	124,4 (-59 %)	49,4
SO _x	142,1	48,3 (-66 %)	15,4
PM _{2,5}	34,8	21,1 (-39 %)	8,8
NMCOV	145,8	94,8 (-35 %)	32,1
NH ₃	75,2	65,4 (-13 %)	27

EU-Richtlinie über die Luftqualität und saubere Luft für Europa

Eines der wichtigsten Elemente, das Grenzwerte für Schadstoffe in Europa festlegt, ist die EU-Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Diese Richtlinie besagt, dass die Luftqualität erhalten bleiben muss, wenn sie gut ist, und verbessert werden muss, wenn dies nicht der Fall ist.

Die Richtlinie legt Grenzwerte und quantifizierte Ziele für die folgenden Verbindungen fest:

- Schwefelhydrid;
- Stickstoffdioxid und Stickoxide;
- Partikel (PM₁₀/PM_{2,5});
- Blei;
- Benzol;
- Kohlenmonoxid.

Es wird auch festgelegt, dass, wenn die festgelegte Norm für einen oder mehrere Schadstoffe überschritten wird, der Zeitraum der Überschreitung so kurz wie möglich sein muss.

IED-Richtlinie

Die Richtlinie 2010/75/EU, auch IED-Richtlinie genannt, bezieht sich auf Industrieemissionen und betrifft europäische Unternehmen mit potenziell großen Auswirkungen auf die Umwelt. Ihr Ziel ist es, ein hohes Maß an Schutz für die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu erreichen. Dieser Schutz erfolgt über die Anwendung der besten verfügbaren Techniken für eine ganze Reihe von Branchen.

Die IED-Richtlinie ruht auf verschiedenen Säulen:

- einem integrierter Ansatz, der die gesamte Umweltleistung der Industrie berücksichtigen muss;
- die Bedingungen der Genehmigungen, insbesondere die Emissionsgrenzwerte, basieren auf den besten verfügbaren Techniken (BVT);
- der Flexibilität für die zuständigen Behörden bei den von ihnen vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerten;
- der Durchführung von Umweltinspektionen;
- der Beteiligung der Öffentlichkeit an der Entscheidungsfindung.

Die IED-Richtlinie ist für diese Studie relevant, da das Kraftwerk Tihange von der Aktivität IPPC/IED-1.1. - Großfeuerungsanlagen in Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von 50 MW oder mehr betroffen ist. Wenn man die Feuerungsanlagen (Kessel, Generatoren) berücksichtigt, die mit dem Betrieb des Reaktors 3 verbunden sind, beträgt die kumulierte Leistung der Anlagen mehr als 50 MW. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass die in der nicht-radiologischen Betriebsgenehmigung (Umweltgenehmigung) des Kraftwerks festgelegten Emissionsgrenzwerte auf den anwendbaren BVT und ihren zugehörigen Grenzwerten basieren.

Ziele

Zusammenfassend lassen sich die auf die Luft bezogenen politischen Ziele, die im Rahmen dieser Umweltverträglichkeitsprüfung bewertet werden, wie folgt zusammenfassen:

- Gute Luftqualität aufrechterhalten oder verbessern;
- Beitrag zur Erreichung der für 2030 festgelegten Emissionsobergrenzen auf nationaler Ebene.

6.4.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Um zu beurteilen, ob das Projekt zur Erreichung der politischen Ziele in Bezug auf Emissionen in die Luft beiträgt oder nicht, und um die Ursache-Wirkungs-Beziehung des Projekts zu beurteilen, wird im Folgenden ein Überblick über die relevantesten vorhersehbaren Auswirkungen des Projekts auf die Emissionen in die Luft gegeben.

Bei einem Kernkraftwerk vom Typ des Kraftwerks Tihange hängen die Emissionen in die Luft hauptsächlich mit den Feuerungsanlagen auf dem Gelände zusammen, die für die Wartung und Sicherheit des Kraftwerks erforderlich sind. Diese Anlagen arbeiten zeitweise und werden nicht genutzt, wenn das Kraftwerk im Normalbetrieb ist.

Verschiedene Arten von Feuerungsanlagen sind am Standort vorhanden und haben spezifische Aufgaben:

- Die **Hilfskessel** dienen der Erzeugung von Dampf, der für das Hochfahren von Nuklearanlagen und für die Beheizung bestimmter Gebäude benötigt wird, wenn die Dampferzeuger nicht verfügbar sind. Diese funktionieren nur während der Anlaufphasen der Blöcke (in der Regel einmal alle 18 Monate nach der Wartung) oder als Back-up, wenn die Dampftransformatoren in den Nuklearanlagen nicht verfügbar sind;
- Die **Notstromaggregate** (NSA) haben die Aufgabe, bei einem Totalausfall der externen Stromversorgung die Energie zu liefern, die notwendig ist, um die Anlagen des Kraftwerks in Sicherheit zu bringen und zu halten;
- Die **Notstromaggregate** (NSA) dienen der Versorgung der Notfallausrüstung, die notwendig ist, um die Anlagen des Kraftwerks bei einem Unfall mit Totalausfall der externen Netze und der Notstromdieselaggregate in Sicherheit zu bringen und zu halten;
- Die **groupes électrogènes de moyens ultimes** (GMU) werden an den höchsten Punkten des Geländes platziert, damit sie im Falle einer außergewöhnlichen Überschwemmung (Wiederkehrzeit von 10.000 Jahren) ihre Sicherungsfunktion erfüllen können;

- **Die Stromaggregate der autarken Betriebszentrale** (COR) ermöglichen ein verbessertes Notfallmanagement.

Um ihre Verfügbarkeit zu gewährleisten, werden alle oben genannten Einrichtungen 1 Stunde pro Monat getestet und zusätzlich findet alle 54 Monate ein 24-Stunden-Test statt.

Die relevanten Auswirkungen, die in dieser Umweltverträglichkeitsprüfung im Rahmen der Disziplin Luft untersucht werden, betreffen vor allem die Luftemissionen im Zusammenhang mit dem Betrieb und den Tests dieser Feuerungsanlagen, die für den Block Tihange 3 aufgrund seiner um 10 Jahre verlängerten Nutzung funktionsfähig gehalten werden.

Im Rahmen dieser Studie kann es sinnvoll sein, die Emissionen zu schätzen, die entstehen würden, um die verlorene Stromproduktion zu kompensieren, wenn das Projekt nicht durchgeführt wird (Abschaltung von Tihange 3). Denn für den Fall, dass der Block Tihange 3 abgeschaltet wird, wird die Stromerzeugung durch eine andere Technologie mit anderen Energieträgern wieder aufgenommen. Daher kann es relevant sein, die potenziellen Luftschadstoffemissionen anderer verwendeter Technologien zu bewerten. In der Wallonie ist beispielsweise vorgesehen, dass Gaskraftwerke die Kernenergie teilweise ersetzen sollen, obwohl der Anteil erneuerbarer Energien zunimmt. Von durch die Realisierung des Projekts „vermiedenen“ Emissionen ist die Rede, wenn sich herausstellt, dass die für eine andere Technologie geschätzten Emissionen höher sind als die durch Tihange 3 verursachten.

Mögliche Auswirkungen können mit dem Verkehr in der Nähe des Standorts zusammenhängen, die sich auf den Verkehr zum und vom Standort beziehen. Jedoch werden diese Auswirkungen auf den Straßenrand begrenzt sein und mit zunehmender Entfernung von der Straße stark abnehmen.

Zu guter Letzt könnte von Auswirkungen auf die Luft im Bereich der aus dem Reaktorkühlturm austretenden Fahne ausgegangen werden. Es sei daran erinnert, dass die Fahne nur aus dem Dampf des Wassers aus dem Tertiärkreislauf besteht (die Kühlung des Reaktors wird im Kapitel *Wasser* erläutert). Es handelt sich also einfach um Wasserdampf aus der Maas, der mit Schwefelsäure (H_2SO_4) behandelt wurde, um ein Verkalken der Kondensatoren und atmosphärischen Kühlmittel zu verhindern, und mit Natriumhypochlorit (NaOCl), um das Wachstum von Mikro- und Makroorganismen zu verhindern. Anzumerken ist, dass nur ein kleiner Teil des Wassers im Tertiärkreislauf als Dampf abgelassen wird. Der Rest kondensiert, um wieder in den Kreislauf eingespeist oder in die Maas eingeleitet zu werden.

Die Gruppe Electricité de France (EDF) führte umfangreiche Studien durch, um die Kenntnisse über die Funktionsweise von atmosphärischen Kühlmitteln zu verbessern¹¹⁷. Diese Studien ermöglichten eine Einschätzung des Einflusses von Luftkühlungsfahnen auf die lokale Luft. Die wichtigste Schlussfolgerung, die sich daraus ergab, war, dass die einzige nachweisbare Auswirkung des Betriebs eines Luftkühlers eine geringe Verringerung der Sonneneinstrahlung innerhalb weniger Kilometer von einem Kraftwerk ist, und dass dieser Wert geringer ist als die natürliche interannuelle Fluktuation der Sonneneinstrahlung.

Da die durch den Verkehr und den Kühlturm verursachten Auswirkungen auf die Luft als nicht signifikant eingestuft werden, werden diese im Abschnitt *Beschreibung der Auswirkungen* nicht näher analysiert.

6.4.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Die Aufrechterhaltung einer guten Luftqualität ist ein Punkt, der auf großes Interesse stößt und in vielen Regelwerken behandelt ist. Da Schadstoffe Risiken für die öffentliche Gesundheit und die Ökosysteme darstellen können, werden zahlreiche Normen und Messinstrumente eingeführt.

Die in mehreren EU-Richtlinien genannten *Luftqualitätsnormen* werden auf der Grundlage der von der Weltgesundheitsorganisation festgelegten Höchstkonzentrationen verschiedener Luftschadstoffe in der Luft festgelegt. In Belgien ermöglicht der *BelAQi*-Index die Einstufung der Luftqualität an einem bestimmten Ort auf der Grundlage der Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit. Dieser Index wird durch die Messung der

¹¹⁷ CNT – IED – Technisches Dossier, Tractebel Engineering AG, 2019

Konzentrationen von 4 Schadstoffen in der Umgebungsluft berechnet, nämlich Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5}, Ozon (O₃) und Stickoxide (NO_x). Im Durchschnitt gibt die wallonische Website der Agence wallonne de l'Air et du Climat¹¹⁸ die Luftqualität in der Gemeinde Huy als „ziemlich gut“ auf der BelAQi-Klassifikationsskala an. Es ist nicht einfach, das Gebiet zu bestimmen, in dem die Luftemissionen des Kraftwerks einen signifikanten Einfluss auf die Luftqualität haben können; es wird auf einige Kilometer geschätzt. Die Auswirkungen werden in unmittelbarer Nähe des Kraftwerksgeländes am größten sein und mit zunehmender Entfernung abnehmen.

Die in die Luft abgegebenen *Schadstoffbelastungen* werden aufgrund von gesetzlichen Auflagen geschätzt, die eine Analyse der Freisetzen in der Industrie vorschreiben. Um diese Emissionen charakterisieren zu können, werden Emissionswerte festgelegt, und zwar auf industrieller Ebene, aber auch auf nationaler und europäischer Ebene. Danach werden Obergrenzen festgelegt, um Anreize zur Verringerung dieser Emissionen zu schaffen. Da die Emissionen des Kraftwerks von diesen Emissionswerten betroffen sind, werden die Auswirkungen auf der Ebene des föderalen Territoriums bewertet, um ihren Beitrag zu den Zielen analysieren zu können.

Die betrachtete *Referenzsituation* ist die Situation kurz vor dem 1. September 2025, die einer Abschaltung der Blöcke Tihange 1 und Tihange 2 und dem Betrieb des Blocks Tihange 3 „as usual“ entspricht. Am 1. September 2025 soll zwar der Rückbau der Blöcke 1 und 2 begonnen haben (zumindest die Vorbereitungsphase), doch lässt sich nur schwer abschätzen, welcher Anteil der Anlagen dann noch in Betrieb ist und Emissionen verursachen könnte. Da diese Fragen im Rahmen der Rückbaugenehmigungen behandelt werden müssen, wird die Referenzsituation, die wir in diesem Kapitel betrachten, nur die Anlagen berücksichtigen, die mit dem Betrieb von Tihange 3 verbunden sind.

6.4.4 Beschreibung der Auswirkungen

Der Aufschub der Abschaltung von Tihange 3 um 10 Jahre bedeutet, dass in diesem Zeitraum weiterhin Emissionen aus Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Betrieb des Blocks entstehen werden. Wie bereits erwähnt, sind die Quellen für Luftemissionen am Kraftwerk mit mehreren Aktivitäten auf dem Gelände verbunden. Die Aktivitäten und die Arten der freigesetzten Schadstoffe sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 75: Aktivitäten und Arten von Schadstoffen, die am Kraftwerk Tihange freigesetzt werden.

Aktivität	Art der freigesetzten Schadstoffe
Hilfskessel	Verbrennungsgase (CO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , CO)
Dieselaggregate	Verbrennungsgase (CO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5})
Kühlturm	Salzhaltige Aerosole
Verkehr zum und vom Gelände	Verbrennungsgase (CO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5})

Emissionen aus ortsfesten Anlagen (Feuerungsanlagen)

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei den Feuerungsanlagen am Standort um Hilfskessel und Notstromaggregate. Jeder Kraftwerksblock hat seine eigenen Feuerungsanlagen. Im gesamten Kraftwerk Tihange belief sich die kumulierte Leistung der Feuerungsanlagen im Jahr 2019 auf 264,86 MWth.

Die Liste der Anlagen, die mit der Aktivität von Tihange 3 in Verbindung stehen, ist in Tabelle 76 aufgeführt. Es ist anzumerken, dass der Haushaltskessel, das COR-Dieselaggregat und die Feuerlöschpumpe allgemeine Anlagen des Kraftwerks Tihange sind, aber in der Referenzsituation mit der Abschaltung der Blöcke 1 und 2 wird davon ausgegangen, dass sie mit der Aktivität von Tihange 3 verbunden sind. Die kumulierte Leistung der mit Tihange 3 verbundenen Anlagen beträgt 93,2 MWh.

¹¹⁸ Wallonair, [Homepage \(wallonair.be\)](http://wallonair.be).

Tabelle 76: Beschreibung der Feuerungsanlagen, die mit dem Betrieb von Tihange 3 verbunden sind.

Funktionselement	Art	Brennstoff	Leistung [MWth]	Betriebszeit (Durchschnitt 2015-2019) [h]
PCT3-CVA-G19	Hilfskessel	Gasöl	29,28	442,36
PCT3-GDS-M01	Notstromdieselaggregat	Gasöl	13,24	37,10
PCT3-GDS-M02	Notstromdieselaggregat	Gasöl	13,24	31,34
PCT3-GDS-M03	Notstromdieselaggregat	Gasöl	13,24	34,72
PCT3-GDU-M01	Notstromdieselaggregat	Gasöl	6,4	32,59
PCT3-GDU-M02	Notstromdieselaggregat	Gasöl	6,4	36,08
PCT3-GDU-M03	Notstromdieselaggregat	Gasöl	6,4	30,30
PCT3-GMU-G01	Notstromaggregat	Gasöl	4,3	0,20
PCT3-OOO-Q01	Haushaltsheizkessel	Gasöl	0,08	n.a.
PCT3-COR-G01	Dieselaggregat	Gasöl	0,12	noch nicht vorhanden
PCT1-CEI-P02EI	Feuerlöschpumpe	Gasöl	0,5	8,4
Insgesamt			93,2	

Die besonderen Bedingungen der Umweltgenehmigung für den Betrieb des Kraftwerks von 2008 schreiben vor, dass die Luftschadstoffe NO_x und CO alle drei Jahre an den Emissionen von Kesseln gemessen werden müssen, die mehr als 360 Stunden pro Jahr in Betrieb sind. Die Überwachung der Einleitungen von Dieselmotoren und Heizkesseln, die weniger als 360 Stunden pro Jahr in Betrieb sind, erfolgt nur auf Antrag des Aufsichtsbeamten.

Für die Feuerungsanlagen im Zusammenhang mit der Aktivität von Tihange 3 ist die einzige analysierte Emissionsquelle der Hilfskessel, der im Durchschnitt etwa 450 h pro Jahr in Betrieb ist. Die letzten Messungen am Kessel wurden vom Ingenieurbüro Vinçotte im Februar 2021 durchgeführt. Es sind jedoch keine Messergebnisse für die anderen Einrichtungen vorhanden. Dies ist auf ihre sehr geringe jährliche Nutzungsdauer von ca. 30 h zurückzuführen, was weniger als 0,5 % der Zeit entspricht. Daher wird es nicht möglich sein, die gesamten Luftschadstoffemissionen aus dem Block Tihange 3 genau zu bewerten.

Zu Informationszwecken ist es dennoch interessant, eine Größenordnung der Emissionen abzuschätzen. Eine Annahme könnte in Betracht gezogen werden, um diese Schätzung auf der Grundlage der Daten des Kessels vorzunehmen. Wenn man nämlich davon ausgeht, dass die Schadstoffkonzentrationen und der Gasdurchsatz für den Hilfskessel und alle Generatoren mit einer Leistung von mehr als 1 MWth ähnlich sind, und alle Generatoren mit der gleichen Leistung wie der Kessel betrachtet, können die Schadstoffkonzentrationen auf alle Anlagen ausgeweitet werden. Die Betriebsstunden der Generatoren können dann zu denen des Kessels addiert werden, um eine einzige große Anlage zu betrachten. Dies ermöglicht eine vom Maximum ausgehende Schätzung des Verbrauchs und der Emissionen aller Anlagen.

Anlagen mit einer Leistung von weniger als 1 MWth wurden in der Schätzung nicht berücksichtigt, da ihre Auswirkungen im Verhältnis zu den anderen Anlagen aufgrund ihrer geringeren Leistung und ihrer sehr geringen Nutzung (in der Regel weniger als 10 h/Jahr) nicht signifikant sind.

Eine große Unsicherheit besteht in Bezug auf die Freisetzung der Generatoren. Die Übertragung der Generatoren auf eine Leistung von fast 30 MWth, d. h. das Zwei- bis Fünffache ihrer ursprünglichen Leistung, ermöglicht eine maximalistische Schätzung. Es wird davon ausgegangen, dass sie die Unsicherheit in Bezug auf die Emissionen dieser Generatoren weitgehend einschließt.

So kann die geschätzte Schadstoffbelastung auf der Grundlage der Durchflussdaten und der Messungen des Kessels bei einem jährlichen Betrieb der Anlagen von 645 h pro Jahr berechnet werden, was den kumulierten Stunden des Kessels und aller Generatoren mit einer Leistung von mehr als 1 MWth entspricht.

Tabelle 77 enthält die Berechnung und Schätzung der Schadstoffbelastungen für den Block Tihange 3.

Tabelle 77: Geschätzte Schadstoffbelastung, die jährlich durch die Aktivität von Tihange 3 entsteht.

Daten	Gasdurchfluss [Nm ³ /h]	22 214
	Kumulierte Betriebsstunden der Anlagen [h/Jahr].	645
	Konzentration NO _x [mg NO ₂ /Nm ³]	155,5
	Gesamtstaubmenge [mg/Nm ³]	2
	Konzentration SO ₂ [mg/Nm ³]	< 29
	Konzentration CO [mg/Nm ³]	5
Berechnungen	Belastung NO _x [kg/Jahr]	2 228
	Gesamtstaubbelastung [kg/Jahr]	28,7
	Belastung SO ₂ [kg/Jahr]	415,5
	Belastung CO [kg/Jahr]	71,6

Die Größenordnungen der Schadstoffbelastungen, die durch die Aktivität von Tihange 3 entstehen, sind daher wie folgt:

- NO_x: ~ 2.230 kg/Jahr;
- Gesamtstaubmenge: ~30 kg/Jahr;
- SO₂: ~ 416 kg/Jahr;
- CO: ~ 72 kg/Jahr.

Die größte Emission am Standort scheint NO_x zu sein, mit einer jährlichen Belastung von mehr als 2 Tonnen. Dies entspricht weniger als 0,05 % der Emissionsobergrenze, die für die Wallonie auf 50 kt/Jahr festgelegt wurde.

Obwohl der Hilfskessel und einige Generatoren am Standort eine hohe Leistung haben, ist aufgrund der geringen Auslastung dieser Anlagen die jährlich emittierte Schadstoffbelastung gering. Bei einer Nutzung des Hilfskessels von 450 h pro Jahr sind das nur 5 % der Zeit, was sehr wenig ist.

Vermiedene Emissionen des Kraftwerks

Im vorherigen Abschnitt wurde eine Größenordnung der emittierten Schadstoffbelastungen für den Betrieb von Tihange 3 geschätzt. Für den Fall, dass Tihange 3 außer Betrieb genommen wird, muss die verlorene Kapazität auf andere Weise erzeugt werden. Je nach Technologie und verwendetem Energieträger hat dies unterschiedliche Auswirkungen auf die Luft und andere Umweltaspekte. In den folgenden Abschnitten werden wir daher mögliche direkte Emissionen aus der Stromerzeugung mit anderen Energieträgern bewerten.

Da es eine Vielzahl von Möglichkeiten gibt, den Produktionsausfall von Tihange 3 zu kompensieren (erneuerbare Energien, Gaskraftwerke usw.) und dies von den Stromimporten ins Land abhängt, wird sich diese Studie nur auf die folgenden Möglichkeiten beziehen :

- *Szenario 1:* Die Kapazität wird vom wallonischen Energiemix übernommen. ¹¹⁹Es handelt sich um das realistischste Szenario, das jedoch mit Vorsicht zu genießen ist, da sich der Energiemix in den nächsten Jahren und somit im Zeitraum 2027-2036 mit der Inbetriebnahme der neuen Gaskraftwerke und der zunehmenden Entwicklung erneuerbarer Energien stark verändern kann;
- *Szenario 2:* Vollständige Übernahme der Kapazität durch ein erdgasbetriebenes Kraftwerk der neuesten Generation (unter Berücksichtigung der Emissionsgrenzwerte der BVT-Schlussfolgerungen). Dieses Szenario existiert nur in der Theorie, aber es bietet die Möglichkeit, als Anhaltspunkt Größenordnungen anzugeben.

Die Berechnungen werden auf dem Durchschnitt der bekannten Nettoproduktion von Tihange 3 in den letzten 10 Jahren (2012-2021) basieren, in denen es sowohl Jahre mit vollem Betrieb als auch Jahre mit mehr oder weniger langen Stillstandszeiten aufgrund von Wartungsarbeiten am Kraftwerk gab, sodass der Durchschnitt für den normalen Verlauf der Aktivität relevant ist. Diese Daten sind in Tabelle 82 aufgeführt, wobei der gemessene Durchschnitt bei 7.500 GWh/Jahr liegt.

Szenario 1: Wallonischer Energiemix

Für die Wallonie sind Emissionsdaten aus der Stromerzeugung für das Jahr 2020 verfügbar. Die Berechnungen werden also auf diesem Jahr basieren. Es wäre sinnvoller gewesen, die Berechnung auf den nicht nuklearen Energiemix zu stützen, aber die Emissionsdaten ohne Kernkraft wurden nicht gefunden. Die Berechnung basiert nur auf der Wallonie, sodass die Ergebnisse mit den für die Region festgelegten Emissionsobergrenzen verglichen werden können.

Anzumerken ist, dass das Ziel darin besteht, eine Größenordnung der Emissionen anzugeben, da man bedenken muss, dass die Situation im Jahr 2020 angesichts der Entwicklung des Energiemixes (Gaskraftwerke, Entwicklung von erneuerbaren Energien usw.) nicht dieselbe sein wird wie im Zeitraum 2027-2036.

Die Energieproduktion in der Wallonie betrug 2020 28.983 GWh.¹²⁰ Die Emissionsbelastungen für den Sektor „Energie“ sind auf der Website der AWAC (awac.be) verfügbar. Alle Daten und die daraus abgeleiteten Schätzungen sind in Tabelle 78 aufgeführt.

¹¹⁹ Es wurde beschlossen, den wallonischen Energiemix zugrunde zu legen, um die Ergebnisse mit den für die Region festgelegten Obergrenzen vergleichen zu können. Außerdem wurden keine aktuellen Emissionswerte des belgischen Energiemixes für die verschiedenen Schadstoffe gefunden.

¹²⁰ Energiebilanz der Wallonie 2020, ÖDW, Mai 2022

Tabelle 78: Daten zur Schätzung der Emissionen, die durch den wallonischen Energiemix entstehen würden (Quelle: Energiebilanz der Wallonie 2020; AWAC, 2020, 2020).

	Parameter	
Daten	Netto-Stromerzeugung Wallonie [GWh]	28 983
	NO-Emissionen x [kt]	2 587
	Staubemissionen [kt]	0,647
	SO-Emissionen x [kt]	0,268
	Nettostromerzeugung Tihange 3 [GWh/an]	7 500
	Emissionsfaktor NO _x [kg/GWh]	89
	Emissionsfaktor Staub [kg/GWh]	0,02
	Emissionsfaktor SO _x [kg/GWh]	0,009
Berechnung	NO-Emissionen x [t/Jahr]	668
	Staubemissionen [t/Jahr]	0,15
	SO-Emissionen x [t/Jahr]	0,068

Die höchsten und relevantesten Emissionen sind die Stickoxidemissionen. Um die „vermiedenen“ Emissionen für den Fall zu schätzen, dass das Projekt realisiert wird und somit der Betrieb von Tihange 3 um 10 Jahre verlängert wird, müssen von den Emissionen, die durch den Energiemix entstehen würden, die Emissionen abgezogen werden, die durch den Betrieb von Tihange 3 entstehen würden.

Zur Erinnerung: Die im vorherigen Abschnitt geschätzten Größenordnungen der von Tihange 3 verursachten Emissionen betragen etwa 70 kg/Jahr für CO, 415 kg/Jahr für Schwefeldioxid (SO₂), 2.225 kg/Jahr für Stickoxide (NO_x) und 30 kg/Jahr für Gesamtstaub.

Die „vermiedenen“ Emissionen hätten daher die folgenden Größenordnungen:

- NO_x: ~ 666 t/Jahr;
- Staub: ~ 0,12 t/Jahr;
- SO_x: keine vermiedenen Emissionen, die Emissionen wären bei Tihange 3 höher (415 kg/Jahr gegenüber 150 kg/Jahr).

Szenario 2: Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerk der neuesten Generation (Typ: Kraftwerk Awirs)

Bei den in Tabelle 79 aufgeführten Schätzungen für den Ersatz nur durch ein erdgasbetriebenes Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerk der neuesten Generation erfolgt die Schätzung auf der Grundlage der Emissionsfaktoren von erdgasbetriebenen Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerken der neuesten Generation¹²¹. Bei der Nutzung von Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerken (mit Erdgas) sind eigentlich nur die NO_x- und NH₃-Emissionen relevant. Hierbei wird berücksichtigt, dass die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden müssen, weshalb davon ausgegangen wird, dass eine Denox-Anlage eingesetzt werden muss, was zu erheblichen NH₃-Emissionen führen kann. Trotz der Tatsache, dass auch auf der Grundlage der Grenzwerte erhebliche SO₂-Emissionen auftreten könnten, sind diese angesichts des niedrigen S-Gehalts des Erdgases, den Fluxys ständig überwacht, nicht enthalten.

¹²¹ Die berücksichtigten Emissionsfaktoren wurden aus der Umweltverträglichkeitsprüfung übernommen, die SCK-CEN im Jahr 2021 im Zusammenhang mit dem Aufschub der Abschaltung der Kernkraftwerke Doel 1 und Doel 2 durchgeführt hat.

Tabelle 79: Geschätzte Emissionen, die entstehen würden, wenn die Kapazität vollständig von einem erdgasbetriebenen Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerk der neuesten Generation übernommen wird.

	Parameter	
Daten	Nettostromerzeugung Tihange 3 [MWh/Jahr].	7 500 632
	Emissionsfaktor NO _x GDT [kg/MWh]	0,144
	Emissionsfaktor NH ₃ GDT [kg/MWh]	0,048
Berechnungen	Emission GDT NO _x [t/Jahr]	1 080
	Emission GDT NH ₃ [t/Jahr]	360

Um die „vermiedenen“ Emissionen für den Fall zu schätzen, dass das Projekt realisiert wird und somit der Betrieb von Tihange 3 um 10 Jahre verlängert wird, müssen von den Emissionen, die durch das Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerk entstehen würden, die Emissionen abgezogen werden, die für den Betrieb von Tihange 3 aufrechterhalten werden.

Zur Erinnerung: Die im vorherigen Abschnitt geschätzten Größenordnungen der von Tihange 3 verursachten Emissionen betragen etwa 70 kg/Jahr für CO, 415 kg/Jahr für Schwefeldioxid (SO₂), 2.225 kg/Jahr für Stickoxide (NO_x) und 30 kg/Jahr für Gesamtstaub. Die NH₃-Emissionen von Tihange 3 werden als vernachlässigbar angesehen.

Die „vermiedenen“ Emissionen haben daher die folgenden Größenordnungen:

- NO_x: ~ 1.080 t/Jahr;
- NH₃: ~ 360 t/Jahr.

Betrachtet man die gesamte Dauer der Betriebsverlängerung des Reaktors Tihange 3 (2025-2037), würde dies auf insgesamt „vermiedene“ Emissionen von etwa 13.000 t NO_x und 4.320 t NH₃ hinauslaufen.

6.4.5 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Ziel „Auswirkungen auf die Luftqualität“.

Im Falle der Durchführung des Projekts werden die Auswirkungen auf die Luftqualität in der Umgebung des Kraftwerks ausgeprägter sein, als dies gegenwärtig der Fall ist. Die Emissionen, die bei der Aktivität des Blocks Tihange 3 ausgestoßen werden, werden beibehalten, aber nicht erhöht. Wenn man von einer „ziemlich guten“ Luftqualität ausgeht, wie sie durch den BelAQi-Index angegeben wird, wäre das Ziel, diese gute Luftqualität zu erhalten oder sogar zu verbessern. Dies wird der Fall sein, wenn das Projekt durchgeführt wird, und entspricht daher den Zielen, die die Richtlinie in Bezug auf die Luftqualität anstrebt. Das Projekt trägt zur Erreichung dieses Ziels bei.

Die Luftqualität in der direkten Umgebung des Standorts wird sich zum Zeitpunkt des Projekts aufgrund der Abschaltung von Tihange 1 und 2 verbessern, die Emissionen in demselben Gebiet wie Tihange 3 verursachen und bis zu ihrer Abschaltung verursachen werden. Der Weiterbetrieb von Tihange wird jedoch weiterhin Emissionen verursachen, die bei einer Abschaltung vermieden würden.

Ziel „Beitrag zur Erreichung der Emissionshöchstgrenzen“.

Tabelle 80 vergleicht die oben berechneten Emissionszahlen mit den NEC-Zielen für die Wallonie. Der Betrieb von Tihange 3 erzeugt aufgrund der Verbrennungsparameter sehr begrenzte Emissionen. Dies ist auf die geringe Betriebsrate der Anlagen zurückzuführen (zwischen 0,5 % und 5 % der Zeit bei Anlagen über 1 MWth). Diese Emissionen sind im Vergleich zu den Gesamtemissionen und den Emissionshöchstgrenzen vernachlässigbar, sie liegen bei maximal 0,004 % (für Stickoxide). Die Emissionen sind auch so gering, dass sie im Vergleich zu den Auswirkungen auf die Luftqualität und die säurebildenden und eutrophierenden Ablagerungen nur wenig oder gar keinen Einfluss verursachen.

Tabelle 80: Geschätzter relativer Anteil der „vermiedenen“ Emissionen im Vergleich zum NEC¹²²-2030-Ziel.

Schadstoff	Emissionsobergrenzen 2030 für die Wallonie (PACE) [t/Jahr]	Durch den Betrieb Aktivität von Tihange 3 aufrechterhaltene Emissionen [t/Jahr].	Durch den Betrieb von Tihange 3 vermiedene Emissionen - Energiemix [t/Jahr].	Durch den Betrieb von Tihange 3 vermiedene Emissionen - Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerk [t/Jahr].
NO _x	49 900	~ 2 (0,004 %)	~668 (1,3 %)	~ 1 080 (2 %)
SO _x	15 400	~ 0,4 (0,003 %)	~ 0,068 (0,0004 %)	n.a.
Staub	8 800	~ 0,03 (0,0003 %)	~ 0,15 (0,002 %)	n.a.
NH ₃	27 000	n.a.	n.a.	~ 360 (1 %)

In Bezug auf die Emissionen, die durch die Außerbetriebnahme der Anlagen von Tihange 3 entstehen würden, kann behauptet werden, dass sie im Vergleich zu den Reduktionszielen für Stickoxide, Staub und NH₃ einen größeren Einfluss hätten, im Falle der Verwendung des Energiemixes könnten die Schwefeldioxidemissionen geringer sein als die von Tihange 3 verursachten Emissionen. Generell kann der Anteil dieser Emissionen an den regionalen Emissionsobergrenzen bei den meisten Parametern als relativ begrenzt eingeschätzt werden. Im Hinblick auf NO_x können diese Emissionen jedoch als bedeutender angesehen werden. Im Zeitraum 2025-2037 würden 1,3 bis 2 % der nationalen NO_x-Obergrenze vermieden.

Die Auswirkungen der möglichen Quellen, die für die „Ersatzproduktion“ von Tihange 3 verantwortlich sind, auf die Luftqualität können in der unmittelbaren Nähe dieser Quellen (einige Kilometer) als begrenzt eingestuft werden. In größeren Entfernungen sind die Auswirkungen aufgrund der zunehmenden Streuung als vernachlässigbar anzusehen.

Es ist klar, dass bei einem längeren Betrieb von Tihange 3 die Emissionen, die im Zeitraum 2025-2037 von den mit dem Reaktor verbundenen Feuerungsanlagen erzeugt würden, viel geringer wären als die Emissionen, die im gleichen Zeitraum bei einer Abschaltung des Reaktors im Jahr 2025 entstehen würden, abgesehen von den SO_x-Emissionen (415 kg/Jahr gegenüber 150 kg/Jahr), die höher sein könnten. Bei den anderen Schadstoffen (NO_x, Staub und NH₃) sind die Emissionen, die darauf zurückzuführen sind, dass die Kraftwerke länger in Betrieb bleiben, im Vergleich zu den vermiedenen Emissionen sehr gering. Dies gilt natürlich auch für die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Luftqualität und die säurebildenden und eutrophierenden Ablagerungen (siehe Kapitel 6.1.3).

6.4.6 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Die Bewertung in Bezug auf die Ziele für die Luft ist in Tabelle 81 zusammengefasst.

Tabelle 81: Zusammenfassung der Bewertung der Ziele in Bezug auf die Disziplin Luft.

Ziel	Beitrag Projekt (Weiterbetrieb 10 Jahre)	Ergebnis
Gute Luftqualität aufrechterhalten oder verbessern	Beibehaltene Emissionen für Tihange 3 Positiver Beitrag für die unmittelbare Umgebung unter Berücksichtigung der Abschaltung von Tihange 1 und 2	Neutral bis positiv
Beitrag zur Erreichung der für 2030 festgelegten Emissionsobergrenzen	Positiv für NO _x -, Staub- und NH ₃ -Emissionen, potenziell negativ für SO _x -Emissionen	Neutral bis positiv

¹²² Basierend auf der EU-Richtlinie 2016/2284.

6.4.7 Minderungsmaßnahmen

Es werden keine Minderungsmaßnahmen für notwendig erachtet.

6.4.8 Wissenslücken und Überwachung

Für die Generatoren auf dem Kraftwerksgelände liegen keine Messergebnisse vor. Es wurden keine Messungen durchgeführt, da die Betriebszeit dieser Anlagen gering ist (ca. 30 h/Jahr) und Messungen in diesem Fall nicht zwingend erforderlich sind. Dennoch wäre es angesichts ihrer Leistung (manchmal größer als 10 MWth) interessant, ihre Emissionen zu kennen, um die gesamten Luftschadstoffemissionen im Zusammenhang mit dem Reaktor zu berechnen.

6.5 Klima

6.5.1 Relevante politische Ziele

Emissionshandelssystem „EU-EHS“ (EU-Emissionshandelssystem)

Die Europäische Union hat ein System für den Handel mit Emissionszertifikaten eingerichtet, das sogenannte „EU-EHS“. Von den Treibhausgasen werden einige Emissionen von diesem System erfasst, die Emissionen, die nicht unter das System fallen, werden als „Nicht-EHS-Emissionen“ bezeichnet. Dieses Emissionshandelssystem ist Teil des Ziels, bis 2050 klimaneutral zu werden, was ein Zwischenziel beinhaltet, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 40 % im Vergleich zu den Emissionen von 1990 zu senken.

Seit 2005 führt dieses System daher einen Kohlenstoffmarkt ein, der die Treibhausgasemissionen reduzieren soll, indem er die Menge an Gasen beschränkt, die von energieintensiven Industriezweigen, Stromerzeugern und Fluggesellschaften ausgestoßen werden dürfen. Das EHS gilt unter anderem für „Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mehr als 20 MW“ (siehe Anhang I der Richtlinie 2003/87/EG), also auch für das vorliegende Projekt. 2016 verpflichtete sich die Europäische Union im Rahmen ihrer Nationally Determined Contribution (NDC), ihre gesamten Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 40 % im Vergleich zu den Emissionen des Jahres 1990 zu reduzieren¹²³.

Das EHS wird durch die Richtlinie 2003/87/EG geregelt, die das System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Europäischen Union festlegt. Diese Richtlinie, die am 13. Oktober 2003 veröffentlicht wurde, beruht auf dem Prinzip der Obergrenze und des Austauschs und wurde seitdem mehrfach geändert.

Um das angestrebte Ziel einer Reduzierung um mindestens 40 % bis 2030 (im Vergleich zu den Emissionen von 1990) zu erreichen, müssen die unter das EHS fallenden Sektoren ihre Emissionen bis 2030 um 43 % (im Vergleich zu den Emissionen von 2005) senken, und zwar für die gesamte Union. Daher gibt es auf Ebene der Mitgliedstaaten keine spezifischen Ziele für die EHS-Sektoren. Ziel ist es, die EHS-Sektoren dazu anzuhalten, die Treibhausgasemissionen unter fairen Bedingungen auf EU-Ebene zu reduzieren. Eine umfassende Überarbeitung der Richtlinie 2003/87/EG (über die Richtlinie (EU) 2018/410), die für den Zeitraum 2021-2030 (vierte Phase) gilt, zielt darauf ab, dieses EHS-Ziel zu erreichen. Dazu gehört insbesondere ein strikteres Vorgehen hinsichtlich der Reduzierung, nach dem ab 2021 die Anzahl der Emissionszertifikate jährlich um 2,2% reduziert wird (in der dritten Handelsperiode waren es 1,74 %).

Am 18. Dezember 2022 wurde durch eine Vereinbarung eine substanzielle Komponente „Anpassung an Ziel 55“, die im „Green Deal“ hervorgehoben wurde, von der Kommission im Juli 2021 abgeschlossen. Der „Green Deal“ beinhaltet das Bestreben, das Reduktionsziel von 40 % (siehe oben) auf mindestens 55 % zu erhöhen und bis 2050

¹²³ Siehe den Europäischen Aktionsrahmen für Klima und Energie bis 2030.

klimaneutral zu sein. Eine Reduzierung in dieser Größenordnung ist auch (weltweit) erforderlich, wenn die globale Erwärmung auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden soll.

Infolgedessen wird das EHS sowohl gestärkt als auch auf die Bereiche Bauwesen und Straßenverkehr ausgeweitet. So wird die Reduzierung 2030 im Vergleich zu 2005 von 43% auf 62% angehoben. Die jährliche Reduzierungsrate für die Menge der Zertifikate wird daher von 2,2, % auf 4,3 % pro Jahr zwischen 2024 und 2027 und auf 4,4 % zwischen 2028 und 2030 steigen.

Für die Nicht-EHS-Sektoren wurde eine Reduzierung um 30 % angenommen, ebenfalls im Vergleich zum Jahr 2005.

Auf der Ebene der Mitgliedstaaten sind nur die Emissionen *außerhalb des EHS* (Verkehr, Gebäude, Abfall und Landwirtschaft) mit Zielvorgaben verbunden. Durch die Effort Sharing Regulation wurde das europäische Reduktionsziel von 30 % für Belgien in eine Reduktion von 35 % (bis 2030, im Vergleich zu 2005) übersetzt. Es ist also klar, dass der (politische) „Klimaraum“, der in Zukunft zur Verfügung steht, kleiner sein wird als heute. Außerdem müssen nach 2030 noch strengere Reduktionsziele angestrebt werden. 2009 einigten sich die Staats- und Regierungschefs der EU darauf, die europäischen Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80-95 % im Vergleich zu den Werten von 1990 zu senken. Diese Ambition wurde 2011 mit der Veröffentlichung eines „*Roadmap für eine wettbewerbsfähige kohlenstoffarme Wirtschaft bis 2050*“ bekräftigt, die auch eine Reihe von mittelfristigen Meilensteinen festlegt. Wie oben erwähnt, verfeinern die in den europäischen Green Deal aufgenommenen Vorschläge dieses Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2050 noch weiter.

Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten

Die UVP-Richtlinie 2011/92/EU in der durch die Richtlinie 2014/52/EU geänderten Fassung ist für diese Studie relevant. In Anhang IV der Richtlinie (in der geänderten Fassung) heißt es, dass eine Umweltverträglichkeitsprüfung neben einer Beschreibung der Auswirkungen des Projekts auf das Klima (insbesondere *Treibhausgasemissionen*) auch eine Bewertung der *Anfälligkeit des Projekts für den Klimawandel* enthalten muss.

Konvent der Bürgermeister

Der Konvent der Bürgermeister eine europäische Initiative, die mehrheitlich europäische lokale und regionale Gebietskörperschaften zusammenbringt. Die Stadt Huy, in der sich das Kraftwerk Tihange befindet, ist diesem Konvent beigetreten. Sie verpflichtet sich daher, auf eine Reduzierung der CO₂-Emissionen in ihrem Gebiet um mindestens 40 % bis 2030 hinzuarbeiten und ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen.

Der Konvent der Bürgermeister fordert die Aufnahme eines Abschnitts, der belegt, dass eine Bewertung der Anfälligkeit des Gebiets für den Klimawandel durchgeführt wurde und dass Maßnahmen oder Optionen zur Anpassung vorgesehen wurden. Die Anfälligkeit für den Klimawandel betrifft auch den Energiesektor, weshalb es relevant ist, sie im Rahmen dieser Studie zu bewerten.

Plan Air Climat Energie (PACE)

Wie im Kapitel Luft erläutert, betrifft der Plan Air Climat Energie auch das Klima und hat das Ziel, die Maßnahmen zur Bekämpfung der Treibhausgasemissionen (THG) auf integrierte Weise zu beschreiben, um eine bessere Klimaanpassung anzustreben.

Im PACE 2016-2022 wurde eine Reihe von Maßnahmen formuliert, die sich auf die Anpassung an den Klimawandel beziehen:

- Aufbau einer soliden Wissensgrundlage;
- Fortsetzung der Bekämpfung der Bodenerosion und des erhöhten Überschwemmungsrisikos;
- Förderung von Initiativen für eine nachhaltige Forstwirtschaft, die die natürliche Funktionsweise des Ökosystems respektiert;
- Verbesserung der Kenntnisse über Auswirkungen und Anfälligkeit auf Ebene der Städte und Gemeinden.

Ziele

Zusammenfassend lassen sich die auf das Klima bezogenen politischen Ziele, die im Rahmen dieser Studie bewertet werden, wie folgt zusammenfassen:

- Größtmögliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen;
- Erreichen einer maximalen Widerstandsfähigkeit von Umwelt und Gesellschaft gegenüber den Folgen des Klimawandels;
- Minimierung der Anfälligkeit des Projekts für die Auswirkungen des Klimawandels.

6.5.2 Relevante Auswirkungen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Das Projekt, das Gegenstand der Umweltprüfung ist, weist eine Reihe potenzieller Zusammenhänge mit der Erreichung oder Nichterreichung der oben zusammengefassten politischen Ziele auf.

Die Stromerzeugung erfordert eine Primärquelle: Kohle, Gas, Uran, Sonne, Wind oder Wasser. Strom ist aufgrund der Art und Weise, wie er erzeugt wird, die Hauptquelle der weltweiten CO₂-Emissionen. Bei der Erzeugung von Atomstrom ist der Betrieb der Kraftwerke mit Hilfsanlagen verbunden, die Treibhausgase erzeugen, nämlich mit Generatoren und Kesseln. Diese Anlagen werden im Normalbetrieb des Kraftwerks nicht genutzt. Wie im Kapitel *Luft* erläutert, werden die Kessel nämlich zum Anfahren des Reaktors und zur Dampferzeugung verwendet, während die Generatoren bei einem Ausfall zum Einsatz kommen. Diese Anlagen werden jedoch regelmäßig eingeschaltet, um Kontrollen durchführen zu können, mit denen ihr Betrieb getestet werden kann, und erzeugen bei diesen Tests oder Nutzungen Treibhausgasemissionen. In Bezug auf das Ziel der größtmöglichen Reduzierung der Treibhausgasemissionen sind zwei Effekte relevant, die es zu berücksichtigen gilt.

Der erste ist der Anteil der Treibhausgasemissionen des Kraftwerks, der bei der Umsetzung des Projekts (Weiterbetrieb des Blocks Tihange 3 um 10 Jahre) erhalten bleibt.

Der zweite Effekt betrifft die Schätzung der Emissionen, die entstehen würden, um die verlorene Stromproduktion zu kompensieren, wenn das Projekt nicht durchgeführt wird (Abschaltung von Tihange 3). Die Technologie, die zur Stromerzeugung eingesetzt wird, ist nämlich entscheidend für die Kontrolle der CO₂-Emissionen. Falls der Block Tihange 3 abgeschaltet wird, wird die Stromerzeugung mit anderen Energieträgern erfolgen. Daher kann es sinnvoll sein, potenzielle Emissionen aus anderen verwendeten Technologien zu bewerten. In der Wallonie ist beispielsweise vorgesehen, dass Gaskraftwerke die Kernenergie teilweise ersetzen sollen, obwohl der Anteil erneuerbarer Energien zunimmt. Von durch die Realisierung des Projekts „vermiedenen“ Emissionen ist die Rede, wenn sich herausstellt, dass die für eine andere Technologie geschätzten Emissionen höher sind als die durch Tihange 3 verursachten.

Was die Anfälligkeit des Projekts für den Klimawandel betrifft, so ist das Kraftwerk den potenziellen Folgen des Klimawandels ausgesetzt, z. B. Überschwemmungen oder Hitzeperioden.

Schließlich kann der Standort des Kraftwerks an sich schon Auswirkungen auf die Widerstandsfähigkeit der unmittelbaren Umgebung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels haben, z. B. aufgrund der Versiegelung einer großen Fläche.

6.5.3 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Referenzsituation

Treibhausgasemissionen berühren ein globales Problem, das nichts anderes als die globale Erwärmung ist. Die Auswirkungen von Emissionen werden nicht durch den Ort bestimmt, an dem sie entstehen. Die Treibhausgasemissionen, die entstehen würden, wenn das Projekt nicht durchgeführt wird (wenn Tihange 3 rückgebaut wird), könnten aus ganz Belgien und sogar aus dem Ausland kommen, wenn Stromimporte stattfinden.

In Bezug auf alle Aspekte der *Umweltanfälligkeit und -resilienz* entspricht das Projektgebiet dem Standort des Kraftwerks sowie seiner unmittelbaren Umgebung, die von Umweltauswirkungen betroffen sein könnte, die mit der Präsenz des Kraftwerks in Zusammenhang stehen oder durch diese verstärkt werden.

Die betrachtete *Referenzsituation* ist die Situation kurz vor dem 1. September 2025, die einer Abschaltung der Blöcke Tihange 1 und Tihange 2 und dem Betrieb des Blocks Tihange 3 „as usual“ entspricht. Am 1. September 2025 soll zwar

der Rückbau der Blöcke 1 und 2 begonnen haben (zumindest die Vorbereitungsphase), doch lässt sich nur schwer abschätzen, welcher Anteil der Anlagen dann noch in Betrieb ist und Emissionen verursachen könnte. Da diese Fragen im Rahmen der Rückbaugenehmigungen behandelt werden müssen, wird die Referenzsituation, die wir in diesem Kapitel betrachten, nur die Anlagen berücksichtigen, die mit dem Betrieb von Tihange 3 verbunden sind.

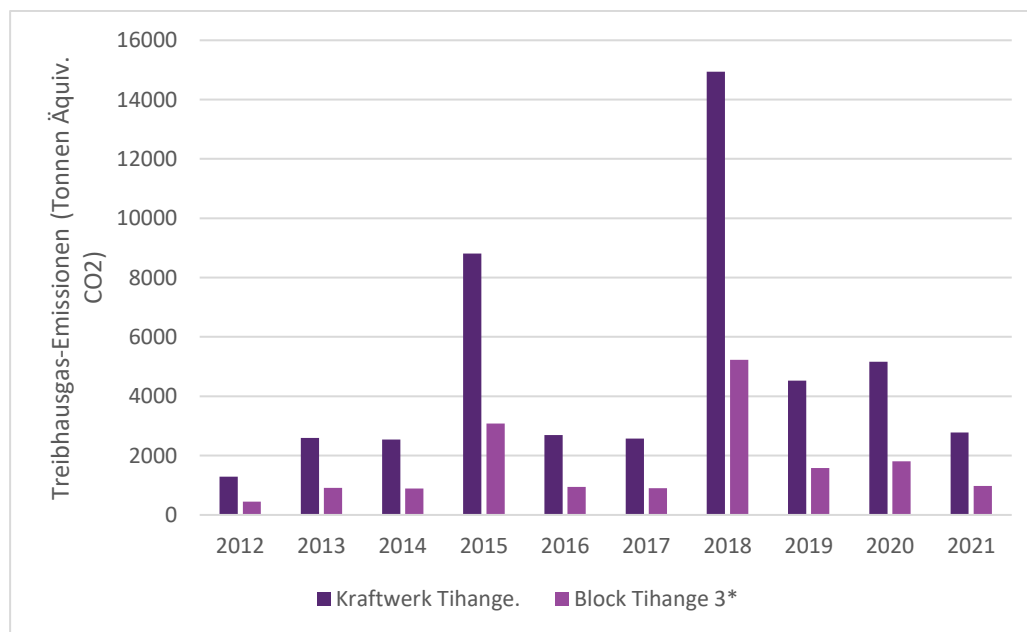
Mögliche Entwicklungen, die dazu führen könnten, dass sich die Situation im Jahr 2025 (grundlegend) von der im Jahr 2023 unterscheidet, könnten die Treibhausgasemissionen aus nichtnuklearer Produktion betreffen, die einerseits durch den verstärkten Einsatz von Gaskraftwerken gesteigert, andererseits durch die Entwicklung erneuerbarer Energien verringert werden könnten.

6.5.4 Beschreibung der Auswirkungen

Emissionen des Kraftwerks

Wie bereits erwähnt, stammen die Treibhausgasemissionen des Kraftwerks aus dem Betrieb einer Reihe von Generatoren (die Pumpen und Notstromaggregate versorgen) und leichtölbefeuerten Kesseln. Das Inventar der Anlagen, die Treibhausgasemissionen des Kernkraftwerks Tihange verursachen, das 2019 von Tractebel Engineering erstellt wurde, unterscheidet 4 Leichtölkessel mit einer Gesamtleistung von 87,8 MWth, 23 Notstromaggregate mit einer Gesamtleistung von 176,56 MWth und eine Feuerlöschpumpe mit einer Leistung von 0,5 MWth.

Wenn man nur die Anlagen betrachtet, die mit dem Block Tihange 3 verbunden sind, was der Referenzsituation entspricht, beträgt die kumulierte Leistung 93,2 MWth, d. h. etwa 35 % der Gesamtleistung für das Kraftwerk. Zusammen, ohne Berücksichtigung des Haushaltskessels, waren diese Anlagen im Zeitraum 2015-2019 durchschnittlich 653 h/Jahr in Betrieb. Da die Treibhausgas-Emissionsdaten nur für das gesamte Kraftwerk Tihange verfügbar sind, wird angenommen, dass die Emissionen, die dem Betrieb von Tihange 3 (Referenzsituation) zugeschrieben werden, 35 % der Gesamtemissionen des Kraftwerks entsprechen (Annahme auf Basis des Leistungsverhältnisses). Die Treibhausgasemissionen des Kraftwerks Tihange und diejenigen, die Tihange 3 für die letzten 10 Jahre zuzuschreiben sind, sind in Abbildung 87 dargestellt.



*Werte berechnet mit der oben angegebenen Annahme (35 % der Emissionen des Kraftwerks)

Abbildung 87: Treibhausgasemissionen (Tonnen CO₂-Äq./Jahr) für das Kraftwerk Tihange und dem Block Tihange 3 zugeordnet.

Auf der Grundlage der dem Block Tihange 3 zugewiesenen Emissionen und unter Kenntnis der Nettoproduktion der letzten Jahre können die relativen Emissionen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Tihange 3 geschätzt werden.

Tabelle 82 zeigt die geschätzten Treibhausgasemissionen des Blocks Tihange 3 (Referenzsituation für das Projekt) für die Jahre 2012-2021.

Tabelle 82: Treibhausgasemissionen (Tonnen Äquivalent CO₂/Jahr) und Emissionsintensität (g Äq. CO₂/kWh) Emissionen für den Block Tihange 3 für den Zeitraum 2012-2021 geschätzt (Quelle: Umwelterklärungen 2013-2022, Engie).

	Treibhausgas-Emissionen T3 (Tonnen Äquiv. CO₂/an)	Nettoproduktion T3 (MWh)	Relative Emissionen T3 (g Äq. CO₂/kWh)
2012	450,1	7 975 000	0,056
2013	908,95	8 094 000	0,11
2014	890,05	8 800 737	0,10
2015	3 085,25	7 336 436	0,42
2016	941,5	7 835 567	0,12
2017	901,6	8 963 786	0,10
2018	5 227,25	2 215 600	2,36
2019	1 586,2	8 945 120	0,18
2020	1 806,35	5 838 218	0,31
2021	971,6	9 001 857	0,11
Durchschnitt	1 676	7 500 632	0,39

Die hohen Treibhausgasemissionen, die 2018 für den Block Tihange 3 beobachtet wurden, sind darauf zurückzuführen, dass der Reaktor fast neun Monate lang aufgrund von Bauarbeiten abgeschaltet war. Parallel dazu waren die Emissionen des Kraftwerks in diesem Jahr hoch. Da die Emissionen von Feuerungsanlagen umgekehrt proportional zur Produktion sind (da sie hauptsächlich bei Reaktorabschaltungen verwendet werden), erklärt dies, warum der Emissionsfaktor (oder relative Emissionen) im Vergleich zu anderen Jahren besonders hoch ist.

Wenn man den Durchschnitt der letzten 10 Jahre als repräsentative Stichprobe des Betriebs von Tihange 3 betrachtet, würden die durchschnittlichen jährlichen Treibhausgasemissionen geschätzt werden auf 1.676 Tonnen Äquivalent CO₂/Jahr, was kumulierte Emissionen in der Größenordnung von 20.000 Tonnen Äquivalent CO₂-Emissionen im Zeitraum 2025-2037 als direkte Auswirkung des Aufschubs der Abschaltung von Tihange 3 bedeuten würde.

Wenn wir die Emissionen in Bezug auf die erzeugte Elektrizität ausdrücken, erhalten wir einen Wert, der in den betrachteten Jahren zwischen 0,10 und 2,35 g Äq. CO₂/kWh schwankt, bei einem Durchschnitt der letzten 10 Jahre von 0,39 g CO₂-Äq./kWh.

Zum Vergleich: Ein Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerk der neuesten Generation stößt etwa 320 g CO₂ Äq./kWh aus¹²⁴. Die spezifischen Treibhausgasemissionen der gesamten belgischen Stromerzeugung beliefen sich im Jahr 2021 auf 154 g CO₂ Äq./kWh (EEA, 2022).

Zur Veranschaulichung vergleicht Abbildung 88 die letztgenannte Zahl mit denen anderer EU-Mitgliedstaaten. Daraus geht eindeutig hervor, dass die spezifischen Emissionen des belgischen Kraftwerksparks niedriger sind als beispielsweise die der Niederlande (418 g CO₂ Äq./kWh) und Deutschlands (402 g CO₂ Äq./kWh), zwei Länder, die 2021 noch einen beträchtlichen Anteil an fossilen Energieträgern (einschließlich Steinkohle und im Falle

¹²⁴ Umweltverträglichkeitsprüfung – Antrag auf eine Einzelgenehmigung für ein erdgasbetriebenes Kombikraftwerk und einen Hochspannungsanschluss in Awirs; Sertius SA ; 2020.

Deutschlands auch Braunkohle) in ihrem Energiemix hatten. Die Länder, die besser abschneiden als Belgien, sind diejenigen, die über eine große Kernkraft- und/oder Wasserkraftkapazität verfügen.

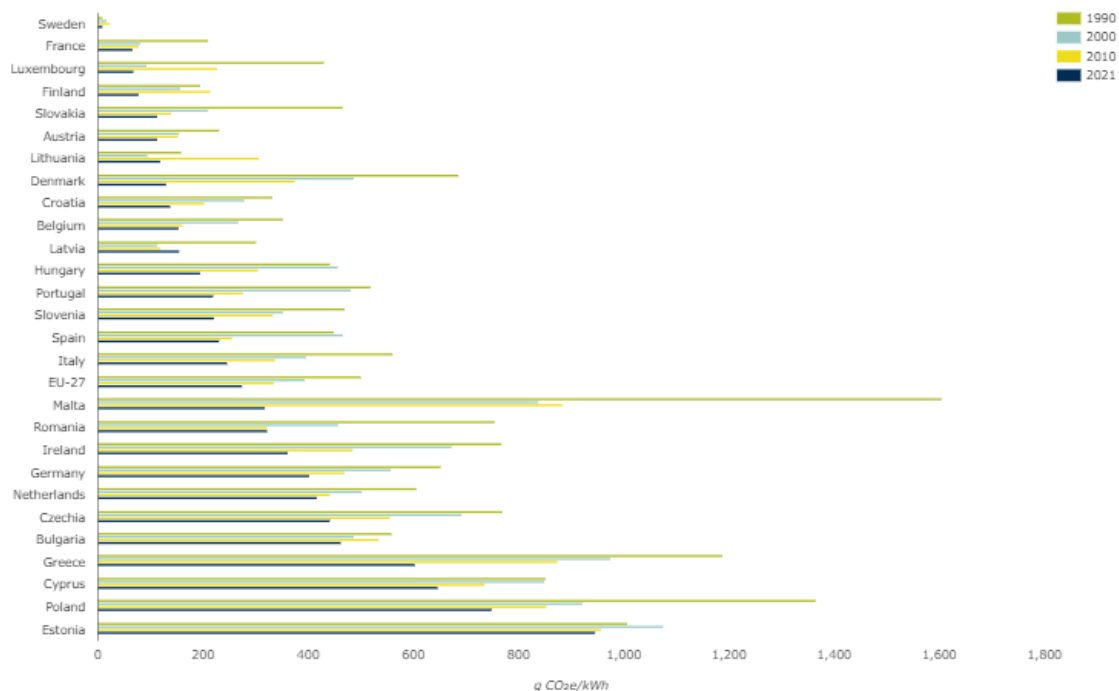


Abbildung 88: Intensität der Treibhausgasemissionen (g CO₂ Äq./kWh) des Stromsektors in den einzelnen EU-Mitgliedstaaten (EEA, 2022).

Wir können feststellen, dass die Intensität der relativen Treibhausgasemissionen, die durch die Aktivität von Tihange 3 erzeugt werden, fast 400 Mal geringer ist als die durchschnittlichen Emissionen des belgischen Kraftwerksparks (0,39 g CO₂ Äq./kWh gegenüber 154 g CO₂ Äq./kWh). Ihre Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen sind daher im Vergleich zu anderen Technologien, wie z. B. Gas- und Dampfturbinen, begrenzt. Angesichts der eingesetzten Technologie dürfte dies keine Überraschung sein. Die auftretenden Emissionen sind nicht auf den normalen Betrieb des Kraftwerks zurückzuführen, sondern auf Testzyklen von Anlagen, die nur in Notfällen eingesetzt werden. Die Betriebsrate dieser Anlagen liegt bei 0,5 % bis 5 % der Zeit und ist damit sehr niedrig.

Unter Berücksichtigung der oben berechneten durchschnittlichen jährlichen Emissionen im Zeitraum 2012-2021 werden die Emissionen, die durch die Verlängerung der Lebensdauer von Tihange 3 um 10 Jahre entstehen, zu zusätzlichen Emissionen (im Vergleich zur Referenzsituation) in Höhe von 16.760 Tonnen CO₂Äq führen, was 0,13 % der gesamten Emissionen aus der Strom- und Wärmezeugung in Belgien im Jahr 2021 (12,8 Mio. Tonnen) entspricht.

Vermiedene Emissionen des Kraftwerks

Für den Fall, dass der Reaktor Tihange 3 durch eine Energieerzeugung ersetzt wird, die auf einem nicht-nuklearen Energiemix basiert, ist es relevant, die Emissionen zu diskutieren, die für die verlorene nukleare Produktionskapazität während der für den Weiterbetrieb vorgesehenen 10 Jahre entstehen würden.

Es ist klar, dass das Wegfallen der nuklearen Kapazität in Belgien zumindest teilweise durch Gaskraftwerke aufgefangen werden muss. Ember¹²⁵ schätzt im Jahr 2020, dass die Kohlenstoffintensität der belgischen Stromversorgung im Jahr 2030 229 g CO₂/kWh betragen wird, was einen Anstieg von fast 71 % im Vergleich zur heutigen Situation bedeutet. Belgien ist eines der wenigen europäischen Länder, in denen die Kohlenstoffintensität eher steigen als sinken würde. Der Grund dafür ist natürlich, dass der Anteil der erneuerbaren Energien im Jahr 2030 noch zu gering sein wird, um die weggefallene nukleare Produktion zu kompensieren. EMBER geht von einem Anteil von 57 % Erdgas und 40 % erneuerbarer Energien im Jahr 2030 aus. Bitte beachten Sie, dass Energyville in einer Aktualisierung des Ausblicks für die belgische Stromversorgung in den Jahren 2030 und 2050 (2020) von einem deutlich geringeren Anteil von 44 % Erdgas im Jahr 2030 und damit auch einer geringeren Kohlenstoffintensität ausgeht (siehe unten).

Abbildung 63 zeigt eine Prognose der belgischen Stromerzeugung und -importe zwischen 2022 und 2032, wie sie im jüngsten „Adequacy and Flexibility Report“ von Elia (2021) enthalten ist.

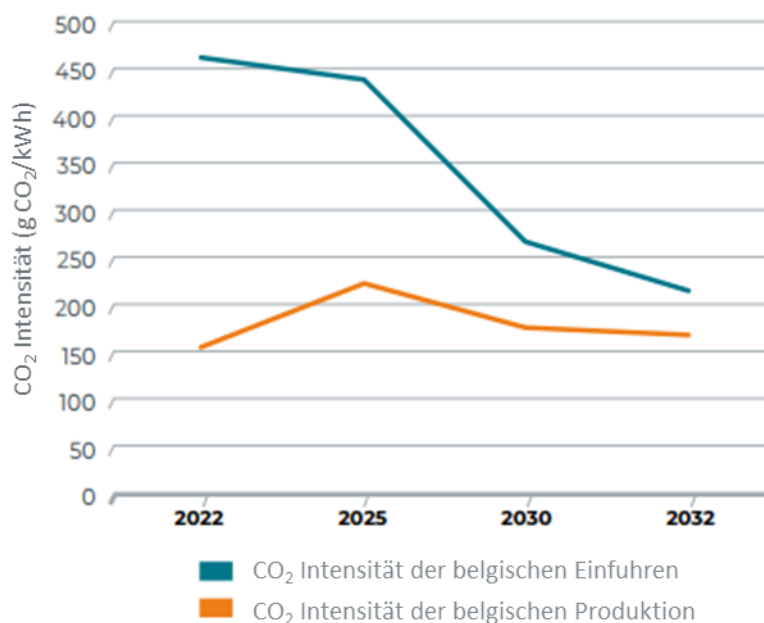


Abbildung 89: Voraussichtliche Kohlenstoffintensität der belgischen Stromerzeugung und -importe (Elia).

Wie diese Abbildung zeigt, ist Elia in Bezug auf die CO₂-Intensität der Stromerzeugung sehr viel optimistischer (und wahrscheinlich realistischer) als Ember. Der Grund dafür ist, dass Elia, ebenso wie Energyville, von einem deutlich geringeren Anteil an Gas als Ember ausgeht. Für das Jahr 2032 geht Elia bei der Stromerzeugung von einem Gasanteil zwischen 33 % und 44 % bei einem Windanteil von mindestens 37 % aus. Den Zahlen von Elia zufolge erreicht die Kohlenstoffintensität im Jahr 2025 (nach Abschaltung aller Kernkraftwerke) einen Höchststand von etwa 225 g CO₂/kWh, geht danach aber wieder stetig zurück.

Vergleichbare Informationen finden sich in der erwähnten Studie von Energyville aus dem Jahr 2020. Anhand der Daten dieser Studie lässt sich die folgende Grafik erstellen, die die erwartete Entwicklung der Kohlenstoffintensität einerseits in einem „Central“-Szenario (ohne Atomenergie nach 2025) und andererseits in einem „Nuclear 10“-Szenario mit Beibehaltung von 2 GW Atomenergie für 10 Jahre nach 2025 zeigt. Das letztgenannte Szenario entspricht dem Szenario, das wir in dieser UVP bewerten.

¹²⁵ Vision or division? What do National Energy and Climate Plans tell us about the EU power sector in 2030? EMBER, November 2020.

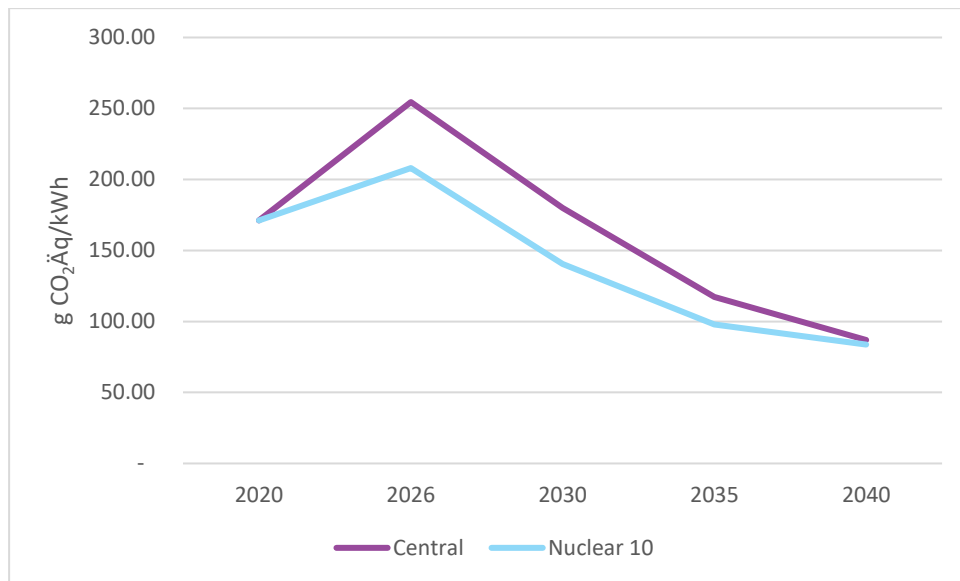


Abbildung 90: Entwicklung der Kohlenstoffintensität der Stromerzeugung in einem Szenario des vollständigen Atomausstiegs im Jahr 2020 (Central) und in einem Szenario der Verlängerung der Lebensdauer um 10 Jahre bei einer Kapazität von 2 GW (Nuclear 10)

Der Verlauf dieser Abbildung ist für das „Central“-Szenario sehr gut mit der Abbildung aus dem Elia-Bericht vergleichbar, obwohl Energyville von einem höheren Spitzenwert im Jahr 2026 ausgeht. Vergleichbar in beiden Grafiken ist der rasche Rückgang der Kohlenstoffintensität nach 2025/2026, wobei ab etwa 2030 eine Kohlenstoffintensität ähnlich der heutigen erreicht wird.

Durch Interpolation der Zahlen, die die Grundlage für die „Central“-Kurve in Abbildung 64 bilden, erhält man die Daten in Tabelle 83. Die Tabelle enthält für jedes Jahr von 2020 bis 2040 die Treibhausgasemissionen (in Tonnen CO₂Äq), die einer jährlichen Stromerzeugung von 7.500 GWh entsprechen (was (gerundet) der durchschnittlichen Erzeugung von Tihange 3 im Zeitraum 2012-2021 entspricht), und die Kohlenstoffintensität der Stromerzeugung im selben Jahr.

Tabelle 83: Geschätzte CO₂-Emissionen (in einem Szenario des vollständigen Atomausstiegs im Jahr 2025 (Central)), verursacht durch die Produktion von 7.500 GWh Strom pro Jahr, bei der durchschnittlichen Kohlenstoffintensität der Stromproduktion für jedes Jahr.

	Central	
	Gramm CO₂Äq/KWh	KTonne CO₂Äq
2020	171,12	1.283,43
2021	185,02	1.387,67
2022	198,92	1.491,90
2023	212,82	1.596,13
2024	226,72	1.700,36
2025	240,61	1.804,60
2026	254,51	1.908,83
2027	235,87	1.768,99
2028	217,22	1.629,16
2029	198,58	1.489,33
2030	179,93	1.349,49
2031	167,40	1.255,54
2032	154,88	1.161,58
2033	142,35	1.067,62
2034	129,82	973,66
2035	117,29	879,71
2036	112,24	841,77
2037	107,18	803,84
2038	102,12	765,90
2039	97,06	727,97
2040	86,95	652,10

Die kumulierten Emissionen im Zeitraum 2027-2036 entsprechen den Emissionen, die nicht emittiert (und somit „vermieden“) würden, wenn in diesem Zeitraum jährlich 7.500 GWh Strom durch Kernenergie (Tihange 3) erzeugt würden. Der so ermittelte Wert beträgt 12.417 kt oder 12,42 Mio. Tonnen.

Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Tihange 3 in ungefähr dem gleichen Zeitraum freigesetzt werden (16,76 kt), so stellt man fest, dass die Emissionen von Tihange im Zeitraum der aufgeschobenen Abschaltung nur 0,13 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen. Die Emissionen, die auf ein längeres Offenhalten des Kraftwerks zurückzuführen sind, sind daher gegenüber den vermiedenen Emissionen vernachlässigbar.

Die Verlängerung der Lebensdauer von Tihange 3 um 10 Jahre wird zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen um 12.417 kt führen, d. h. um durchschnittlich 1.242 kt/Jahr. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von fast 10 % der Emissionen im Sektor „Strom- und Wärmeerzeugung“ in Belgien im Jahr 2021 (12,8 Mt). Die jährliche Einsparung nimmt während der Laufzeitverlängerung von Jahr zu Jahr ab, wie aus Tabelle 83 deutlich zu erkennen ist.

Auswirkungen auf die Anfälligkeit der Umwelt

Die Frage, die unter dieser Überschrift beantwortet werden muss, lautet, inwieweit die Verlängerung des Betriebs von Tihange 3 die Anfälligkeit des umliegenden Gebiets für die Auswirkungen des Klimawandels beeinflussen kann. Die Effekte, die hier theoretisch relevant sein können, betreffen zum einen die Regenwasserbewirtschaftung und zum anderen die Entstehung einer Wärmeinsel.

Im Hinblick auf die Auswirkungen der **Regenwasserbewirtschaftung** ist die beträchtliche versiegelte Fläche zu nennen, die durch das Gebiet um das Kernkraftwerk Tihange gebildet wird. Niederschläge in diesem Bereich versickern nicht in den Boden und müssen daher gesammelt und eingeleitet werden. Dies geschieht natürlich derzeit (siehe die Beschreibung im *Kapitel Wasser*). Aufgrund des Klimawandels könnten die Regenschauer intensiver werden, was zur Folge haben könnte, dass das Sammel- und Abflusssystem nicht immer in der Lage ist, die Niederschläge zu verarbeiten. Die Präsenz des Kraftwerks könnte sich somit bei der Entstehung von lokalen Überschwemmungen auswirken.

Das Kraftwerk bildet außerdem eine **Wärmeinsel** im Vergleich zu seiner Umgebung. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass der Standort größtenteils versiegelt ist und es nur wenige Bäume gibt, die Schatten spenden oder für eine Verdunstungskühlung sorgen können. Beläge und Gebäude speichern tagsüber Wärme und geben sie nachts allmählich wieder ab. Infolgedessen kann die Temperatur am Standort im Vergleich zu den umliegenden Gebieten um einige Grad höher sein. Dieser Effekt wird verstärkt, wenn die Sommer wärmer sind. Diese Erwärmung macht sich bis zu einer Entfernung von (höchstens) mehreren hundert Metern vom Kraftwerk bemerkbar. Diese Effekte sind derzeit vorhanden und werden unabhängig davon, ob das Kraftwerk abgeschaltet wird oder nicht, bestehen bleiben (aufgrund der langen Dauer des Rückbaus).

Zu guter Letzt lässt sich noch das **Problem der Dürre** nennen, das sich aufgrund des Klimawandels verschärfen wird. Auf dem Kraftwerksgelände wird der Einrichtung von Puffern und der Infiltration derzeit wenig Aufmerksamkeit gewidmet.

Es ist anzumerken, dass die wallonischen Behörden die nächste (nicht radiologische) Genehmigungsverlängerung des Kraftwerks im Jahr 2028 und die Rückbauanträge nutzen sollten, damit die Aspekte Dürre und Regenwassermanagement stärker in das Umweltmanagement des Standorts einbezogen werden. Daher ist eine schrittweise Anpassung des Standorts an die Umweltgefährdung vorgesehen.

Anfälligkeit des Projekts für die Auswirkungen des Klimawandels

Unter diesem Thema werden zwei verschiedene Fragen behandelt:

- Einerseits die Auswirkungen, die sich für das Projekt selbst aufgrund des Klimawandels ergeben können (in Form von Trockenheit, Überschwemmungen usw.). Ein Beispiel ist die Verfügbarkeit von Kühlwasser, die abnehmen kann, wenn die Umgebungstemperatur und die Temperatur des Oberflächenwassers zu hoch werden;
- Zum anderen, inwieweit sich die Auswirkungen des Projekts, die an anderer Stelle in dieser UVP untersucht werden, aufgrund des Klimawandels verändern (verstärkt oder abgeschwächt werden) könnten. Mit zunehmender Trockenheit können z. B. die Abflüsse von Flüssen stark reduziert werden, was die Auswirkungen einer Freisetzung verschärfen kann, da die Verdünnung viel geringer ausfällt als erwartet.

Obwohl diese beiden Arten von Auswirkungen unterschiedlich sind, werden sie hier gemeinsam behandelt, da die zugrunde liegenden Ursachen (Hitze, Trockenheit, Überschwemmungen usw.) in beiden Fällen dieselben sind.

Dieses Projekt umfasst einen klar definierten Zeitraum, der im Jahr 2036 endet. Obwohl die Anzeichen für einen Klimawandel in den letzten Jahrzehnten und vor allem in den letzten Jahren immer deutlicher geworden sind, ist nicht zu erwarten, dass diese Veränderungen im Zeitraum 2027-2036 zu drastischen Änderungen der Klimaparameter führen werden. Sicher ist dagegen, dass sich die prognostizierten und bereits festgestellten Entwicklungen fortsetzen und auch intensivieren werden. Daher sollte im Rahmen des Bezugszeitraums des Projekts Folgendes berücksichtigt werden:

- Höhere Durchschnittstemperaturen mit milderen Wintern und wärmeren Sommern;

- Häufigere Hitzewellen, die auch intensiver sein und länger andauern können;
- Eine Zunahme der jährlichen Gesamtniederschlagsmenge, mit mehr Regen im Winter (und möglicherweise mehr Überschwemmungen), aber auch deutlich trockeneren Sommern;
- Eine Zunahme der Spitzenintensität von Niederschlägen in Form von kurzen, intensiven Schauern, die zu Überschwemmungen führen können;
- Höhere Windgeschwindigkeiten.

Die wichtigsten Elemente, die das Kraftwerk Tihange betreffen, sind das Risiko von Überschwemmungen und die Zunahme der maximalen Niederschlagsintensität.

Überschwemmungen

Wie im Kapitel *Wasser* erläutert, besteht das Risiko einer externen Überschwemmung bei einem starken Hochwasser der Maas nördlich der Anlagen am Standort Tihange, bei einem unfallbedingten Bruch des Staudamms von Ampsin-Neuville oder bei einem Überlaufen der Luftkühler von Tihange 2 und Tihange 3.

Um Überschwemmungsrisiken zu vermeiden, wurde ein Schutzdamm errichtet, der am Ufer der Maas und oberhalb der Schutzvorrichtung des Kraftwerksgeländes Tihange gegen Überschwemmungen durch Maashochwasser (Flutmauer) angeordnet ist. Darüber hinaus ist der Standort Tihange, einschließlich seiner unteren Teile, vollständig durch eine Hochwasserschutzanlage (Hochwasserschutzmauer, Deich, Rückschlagventile) geschützt.

In seinem Stresstestbericht vom Oktober 2011 behauptet Electrabel, dass ein Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren die neue Grundlage für die Auslegung des Kraftwerks Tihange ist, um internationalen Standards zu entsprechen. Die Verstärkung der Verteidigungslinien wurde daher zu dieser Zeit erneut untersucht, um die notwendigen Änderungen vorzunehmen. Es wird davon ausgegangen, dass die Annahme einer Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren ausreicht, um die mit dem Klimawandel einhergehende Risikoentwicklung zu berücksichtigen.

Das Kraftwerk Tihange 3 befindet sich nicht in einem hochwassergefährdeten Gebiet. Infolge des Klimawandels mit höheren Wasserständen und intensiveren Niederschlägen werden in Zukunft keine größeren Probleme erwartet.

Starke Winde

Die maximale Windgeschwindigkeit von 49 m/s, die als Grundlage für die Gestaltung aller Gebäude auf dem Gelände diente, wurde in Belgien bisher noch nie wirklich gemessen. Darüber hinaus werden sicherheitsrelevante Gebäude für höhere Belastungen als diese maximale Windgeschwindigkeit berechnet. Extreme Windgeschwindigkeiten könnten zu einem teilweisen oder vollständigen LOOP führen. Das LOOP-Szenario¹²⁶ ist Teil der Grundlage für die Konzeption der Blöcke. Eine solche Situation gefährdet die Kühlung des spaltbaren Materials nicht, weder im Normalbetrieb noch bei Abschaltung.

Tornados

Die Auslegung von Tihange 2 und 3 berücksichtigt einen Referenztornado, der in dieser Region noch nie aufgetreten ist (107,3 m/s, während in Belgien maximal 70 m/s als möglich angesehen werden). Die Auslegung von Tihange 1 geht von einer geringeren Intensität (70 m/s) aus. Da das Phänomen in der Regel nicht das entscheidende Kriterium bei der Planung von Gebäuden ist, können wichtige sicherheitsrelevante Gebäude auch Tornados standhalten, die stärker sind als der Referenztornado.

¹²⁶ LOOP = Loss of Off Site Power, oder vollständiger Verlust des externen Netzes, was den gleichzeitigen Verlust der externen 380-kV- und 150-kV-Netze bedeutet. In einer solchen Situation wird im Inselbetrieb über die elektrischen Schutzvorrichtungen automatisch eine Turbogeneratorgruppe aktiviert. Die Turbogeneratorgruppe versorgt ihre eigenen Hilfssysteme mit Strom. Dies ist der erste Schutzmechanismus, der die Hilfssysteme des Blocks mit Strom versorgt. Es ist auch möglich, die Turbinen der Station Coe (Wasserspeicherung in Becken, die mit einer tiefer gelegenen Wasserkraftanlage gekoppelt sind) in Betrieb zu nehmen, die die Hilfsbetriebe (über die Hochspannungsleitungen zwischen Coe und Tihange) versorgen können.

Ein schwerer Tornado kann zu einem teilweisen oder vollständigen LOOP führen, der mit einem Verlust der primären Kühlquelle kombiniert werden kann oder auch nicht (Abschaltung der Pumpen des Maaswasserkreislaufs - RWK). Sollte Tihange 3 seine Kühlquelle verlieren, stehen weiterhin andere eingebunkerte Pumpen zur Verfügung, die den Ausfall auffangen.

Höhere Durchschnittstemperaturen

Bei höherer Umgebungstemperatur erhöht sich auch die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers. Aufgrund des Klimawandels werden die durchschnittlichen Lufttemperaturen steigen, mit mildereren Wintern auf der einen Seite und längeren und intensiveren Hitzewellen im Sommer auf der anderen Seite.

Infolgedessen wird die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers im Durchschnitt steigen und es könnten zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein, um die Einleitungsstandards von Kraftwerken zu erfüllen. Im Bereich des Kraftwerks Tihange 3 ist der Abfluss in die Maas modulierbar, sodass die in der Genehmigung festgelegten Erwärmungsgrenzen eingehalten werden. Wenn es die hydrometeorologischen Umstände erfordern, kann ein Teil des Kühlwasserstroms, der den Kühlturm verlässt, in den Kreislauf zurückgeführt werden, wodurch die entnommene Menge, die eingeleitete Menge sowie die in das aufnehmende Gewässer eingeleitete Wärmebelastung reduziert werden.

Darüber hinaus werden die Temperaturen des entnommenen Oberflächenwassers natürlich auch aufgrund eines Anstiegs der durchschnittlichen Temperatur der Umgebungsluft steigen. Wenn die Temperatur der Maas aufgrund des Klimawandels steigt, wird die Temperatur des eingeleiteten Kühlwassers proportional ansteigen, mit der Möglichkeit einer häufigeren Begrenzung der maximalen Wärmebelastung, die täglich eingeleitet werden muss (siehe Genehmigungsbedingungen), insbesondere im Sommer.

Die beiden oben beschriebenen Phänomene (höhere Temperatur des abzuleitenden Kühlwassers und höhere Temperatur des Wassers im aufnehmenden Wasserkörper) können sich negativ auf die Stromerzeugung des Kraftwerks auswirken. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass dieser Effekt Probleme an der Maas und während der (verlängerten) Lebensdauer von Tihange 3 verursachen wird.

Extreme Temperaturen

Auch extreme Temperaturen wurden in der Konzeptionsgrundlage und bei der Dimensionierung der Anlagen berücksichtigt. Die Standards in diesem Bereich wurden auf der Grundlage von Statistiken und in Abhängigkeit von der geografischen Lage des Standorts des Kernkraftwerks festgelegt. Eine Periode extremer Temperaturen oder extremer Dürre ist kein plötzliches Naturereignis. Dies sind Entwicklungen, die rechtzeitig vorhergesagt werden können, sodass rechtzeitig gehandelt werden kann. Tihange hat außerdem Verfahren eingeführt, um den sicheren Betrieb bei Hitzewellen oder Frost zu gewährleisten.

Es ist nicht bekannt, ob und inwieweit der jüngste Anstieg der Durchschnittstemperatur und das Auftreten von häufigeren und längeren Hitzewellen in diesen Verfahren bereits berücksichtigt wurden. Da in den letzten Jahren mit teilweise sehr heißen Sommern keine Probleme in diesem Bereich aufgetreten sind, wird davon ausgegangen, dass dies auch für den Zeitraum 2025-2037 der Fall sein wird.

6.5.5 Bewertung der Auswirkungen in Bezug auf die politischen Ziele

Für die verschiedenen hochrangigen politischen Ziele in Bezug auf den Bereich Klima (siehe Abschnitt 6.5.1) wird im Folgenden angegeben, ob das Projekt zur Erreichung dieser Ziele beiträgt oder nicht:

Ziel „Größtmögliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen“.

Über den gesamten Zeitraum werden durch die Verschiebung der Abschaltung von Tihange 3 Emissionen in Höhe von ca. 12.417 kt CO₂Äq vermieden. Die Emissionen, die dem Weiterbetrieb des Blocks Tihange 3 zuzuschreiben sind, belaufen sich auf 16.760 Tonnen CO₂ Äq., was 0,13 % der vermiedenen Emissionen entspricht und im Vergleich zu diesen vernachlässigbar ist. Das Projekt trägt also zur Erreichung dieses Ziels bei und die Bewertung ist **positiv**.

Wie dem auch sei, es ist klar, dass die Verschiebung der Abschaltung von Tihange 3 auf den Zeitraum 2025-2037 zu vermiedenen Emissionen in der Größenordnung von 2.417 kt führt, was etwa 242 kt/Jahr entspricht. Dies entspricht einer Einsparung von etwa 1,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Belgien im Jahr 2021 (110.800 kt).

Außerdem ist klar, dass die Höhe der „vermiedenen“ Emissionen in hohem Maße von der angenommenen Kohlenstoffintensität der Energieerzeugung abhängt, also insbesondere vom Anteil der erneuerbaren Energien. Da die Annahme ohnehin nur theoretisch und illustrativ ist, ist es nicht notwendig, eine hohe Genauigkeit der Hypothesen anzustreben.

Ziel „Erreichen einer maximalen Widerstandsfähigkeit von Umwelt und Gesellschaft gegenüber den Folgen des Klimawandels“.

Im Referenzzeitraum 2025-2037 wird das Projekt keine zusätzlichen Auswirkungen auf die Widerstandsfähigkeit der Umwelt gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels haben. Die potenziell relevanten Auswirkungen werden nicht zunehmen, wenn die Abschaltung verschoben wird, zum einen aufgrund des kurzen Zeithorizonts (2037), in dem sich der Klimawandel manifestieren kann, zum anderen aufgrund der Tatsache, dass Tihange 3 auch bei einer Abschaltung im Jahr 2025 während des Referenzzeitraums versiegelt bleiben wird. Das Projekt trägt daher nicht nennenswert zur Erreichung des Ziels bei, wirkt ihr aber auch nicht nennenswert entgegen. Die Bewertung ist daher in Bezug auf diesen Aspekt neutral.

Ziel „Minimierung der Anfälligkeit des Projekts für die Auswirkungen des Klimawandels“

Die Analyse in dieser UVP zeigt deutlich, dass der Standort den Auswirkungen des Klimawandels weit über das hinaus standhält, was im Jahr 2025 zu erwarten ist. Ob Tihange 3 im Referenzzeitraum 2025-2037 in Betrieb ist oder nicht, ändert daran nichts. Die Bewertung ist daher neutral.

6.5.6 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Die Bewertung in Bezug auf die Klimaziele ist in Tabelle 84 zusammengefasst.

Tabelle 84: Zusammenfassung der Bewertung der Klimaziele

Ziel	Beitrag Projekt (Weiterbetrieb 10 Jahre)	Ergebnis
Größtmögliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen	Ermöglicht die Begrenzung der CO ₂ -Emissionen für den Strom, der erzeugt werden muss	Positiv
Erreichen einer maximalen Widerstandsfähigkeit von Umwelt und Gesellschaft gegenüber den Folgen des Klimawandels	Projekt könnte sich auf die Anfälligkeit der Umgebung auswirken, wenn keine Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels getroffen werden, aber geringer Beitrag im Zeitverlauf	Neutral
Minimierung der Anfälligkeit des Projekts für Klimaauswirkungen	Keine nennenswerten Beiträge	Neutral

6.5.7 Minderungsmaßnahmen

Im Bereich Klima sind keine Minderungsmaßnahmen erforderlich, wenn die geplanten Arbeiten zur Bewältigung des Klimawandels durchgeführt werden.

6.5.8 Wissenslücken und Überwachung

Es gibt keine Wissenslücken, die zu unterschiedlichen Entscheidungen führen würden. Eine zusätzliche Überwachung über das bestehende Überwachungsprogramm hinaus wird nicht als notwendig erachtet.

6.6 Mensch und Sicherheit

6.6.1 Rechtlicher und politischer Hintergrund

Im Rahmen dieses Projekts gibt es keinen größeren übergeordneten gesundheitspolitischen Rahmen für nicht radiologische Aspekte. Allerdings wurden von öffentlichen Stellen Umwelt- und Gesundheitspläne aufgestellt.

Die Umweltgesundheit ist ein Konzept, das 1993 von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert wurde: *„Umweltbezogene Gesundheit umfasst die Aspekte der menschlichen Gesundheit, einschließlich der Lebensqualität, die durch physikalische, biologische, soziale und psychosoziale Umweltfaktoren bestimmt werden. Sie umfasst die theoretischen und praktischen Aspekte der Bewertung, Korrektur, Kontrolle und Prävention von Umweltfaktoren, die potenziell die Gesundheit gegenwärtiger und zukünftiger Generationen nachteilig beeinflussen könnten“.*

Der Einfluss der Umwelt auf die menschliche Gesundheit ist unbestreitbar. Die Einwirkungen können vielfältig sein (Luft, Wasser, Böden, Abfälle, Nahrungsmittel, Produkte, Strahlung, Lärm usw.), ebenso wie die Folgen (Krebs, Atemwegserkrankungen, Allergien, Störung des Hormonsystems usw.). Die WHO schätzt, dass umweltbedingte Stressfaktoren für 15-20 % aller Todesfälle in den 53 Mitgliedstaaten der Europäischen Region der WHO verantwortlich sind¹²⁷.

Laut OECD wird die Luftverschmutzung in den Städten bis 2050 weltweit zur häufigsten Todesursache werden¹²⁸.

Das Thema Umwelt und Gesundheit ist Gegenstand zahlreicher internationaler Arbeiten, insbesondere auf der Ebene der Vereinten Nationen sowie der Europäischen Union und der WHO. Belgien erkannte auf der ersten Ministerkonferenz für Umwelt und Gesundheit in der Europäischen Charta für Umwelt und Gesundheit das Recht jedes Bürgers an, „eine Umwelt zu genießen, die das höchstmögliche Maß an Gesundheit und Wohlbefinden ermöglicht“. Dieser Punkt wird übrigens auch in Artikel 23 der Verfassung aufgegriffen.

Gemäß der auf der zweiten WHO-Konferenz am 3. April 2003 eingegangenen Verpflichtung verabschiedeten die belgischen Minister für Gesundheit und Umwelt einen ersten Nationalen Aktionsplan für Umwelt und Gesundheit (NEHAP), dem eine zweite Auflage folgte, deren Bewertung im Laufe des Jahres 2017 abgeschlossen wurde. Ein dritter Teil wird derzeit vorbereitet.

Auf regionaler Ebene wurden zusätzliche Maßnahmen durchgeführt, insbesondere durch die Entwicklung besonderer Projekte und die Verabschiedung eines regionalen Aktionsprogramms für Umwelt und Gesundheit (PARES) für den Zeitraum 2009-2013 durch die wallonische Regierung in ihrer Sitzung vom 12. Dezember 2008 und anschließend durch die Verabschiedung des wallonischen Plans für Umwelt und Gesundheit, genannt „ENVieS“-Plan, durch die wallonische Regierung am 6. Dezember 2018.

In Anlehnung an die von der WHO vorgeschlagenen Richtwerte für den Gesundheitsschutz haben mehrere EU-Richtlinien Luftqualitätsnormen für SO₂, NO_x, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, Blei, Benzol, CO, Ozon, Arsen, Kadmium, Nickel, Quecksilber und PAK entwickelt, die von den Mitgliedsstaaten eingehalten werden müssen. Diese Normen entsprechen den maximalen Konzentrationen verschiedener Luftschadstoffe in der Luft und basieren auf den von der WHO festgelegten Leitlinienstandards, ohne jedoch das von der WHO gewünschte Anspruchsniveau zu erreichen. Sie sorgen vor allem für den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Ökosysteme.

In der Wallonie ist die Agence wallonne pour l'Air et le Climat (AwAC) für den Bereich Luftqualität zuständig. Sie stützt sich auf die Luftqualitätsstandards der EU-Richtlinien und der WHO, um Emissionsgrenzwerte für verschiedene Industriezweige festzulegen, die als besondere Bedingungen in ihre Umweltgenehmigungen aufgenommen wurden.

¹²⁷ AEE, 2010. Die Umwelt in Europa: Zustand und Perspektiven 2010 - Zusammenfassung. Europäische Umweltagentur, Kopenhagen

¹²⁸ Europäische Union, 2014, Allgemeines Umweltaktionsprogramm der Union für 2020, Gut leben innerhalb der Grenzen unseres Planeten, doi:10.2779/67203

Im Hinblick auf die Sicherheit ist das Arbeitsschutzgesetz zu erwähnen, das alle Durchführungsbestimmungen des Gesetzes vom 4. August 1996 über das Wohlbefinden von Arbeitnehmern bei der Ausübung ihrer Arbeit enthält. Es behandelt zahlreiche Aspekte wie die Sicherheit am Arbeitsplatz und den Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmer, aber auch explosionsfähige Atmosphären (ATEX-Zonen), den Brandschutz in Gebäuden im Allgemeinen und Risiken im Zusammenhang mit Chemikalien.

Innerhalb von Industriestandorten schafft außerdem das Vorhandensein gefährlicher Stoffe Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Die Richtlinie 2012/18/EU („SEVESO“) dient der Beherrschung der Gefahren, die mit schweren Unfällen mit solchen Stoffen verbunden sind.

Relevante Effekte

Im Hinblick auf die Luftverschmutzung mit Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und insbesondere die drei wichtigsten Luftschadstoffe (PM_{2,5}, NO₂, O₃) wird nur Stickstoffdioxid in die vermiedenen Emissionen bei der Energieerzeugung durch Kernkraft einbezogen. Die Auswirkungen des Weiterbetriebs des Blocks von Tihange 3 auf die Luftqualität, einschließlich NO_x, werden in Kapitel 6.1.4 diskutiert, das sich mit Klima und Energie befasst.

Der Bereich „Menschliche Gesundheit“ oder „Humantoxikologie“ lässt sich wie folgt beschreiben: Der Teil der Studie, der sich mit der Sammlung, Verarbeitung und Interpretation von Informationen über Veränderungen der Lebensumwelt befasst, um die kurz- und langfristigen Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit abzuschätzen. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert Gesundheit wie folgt: „Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity“. Diese weit gefasste Definition bedeutet, dass bei Schätzungen der Umweltauswirkungen neben den direkten Auswirkungen von Stressoren auch die bestehende Situation, längerfristige Auswirkungen, der soziale Kontext, indirekte psychosomatische Auswirkungen und die öffentliche Wahrnehmung berücksichtigt werden müssen.

Die folgende Tabelle fasst die potenziell relevanten Umweltstressoren zusammen (in Anlehnung an Arcadis (2021)). Für einige von ihnen werden Argumente angeführt, warum sie nicht weiter verfolgt werden. Die potenziellen Auswirkungen der blau markierten Stressoren, bei denen signifikante Auswirkungen nicht von vornherein ausgeschlossen werden können, werden im Folgenden ausführlicher erörtert. Auch diese Ausführungen stützen sich weitgehend auf die UVP von Arcadis aus dem Jahr 2021, ergänzt durch Informationen aus der Strategischen Umweltprüfung für die Verschiebung der Abschaltung von Doel 1 und Doel 2 (SCK und KENTER, 2021).

Tabelle 85: Zusammenfassung der potenziell relevanten Umweltstressoren.

Stressoren	Spezifische Beschreibung des Stressors und/oder der Quelle, Auswirkungen auf die Gesundheit	Argumentation, warum der Stressor, falls vorhanden, nicht berücksichtigt wird
Chemische Stressoren		
Luftverschmutzung	Emissionen aus dem Betrieb von Tihange 3	Aus der Disziplin Luft geht hervor, dass die Auswirkungen auf die Luftqualität vernachlässigbar sind. Daher sind keine relevanten gesundheitlichen Auswirkungen zu erwarten.
Verunreinigung von Boden und Grundwasser	Unbeabsichtigte Emissionen	Im Falle einer unbeabsichtigten Emission müssen sofortige Maßnahmen ergriffen werden, vgl. die Bodenverordnung. Am Standort Tihange werden die erforderlichen Maßnahmen ergriffen, um eine Belastung der Boden- und Grundwasserqualität zu vermeiden. Darüber hinaus schreibt das Bodenschutzgesetz ein sofortiges Eingreifen im Falle einer unbeabsichtigten Verunreinigung vor. Die Belastung durch unbeabsichtigte Boden- oder Grundwasserverunreinigungen wird daher in der

Stressoren	Spezifische Beschreibung des Stressors und/oder der Quelle, Auswirkungen auf die Gesundheit	Argumentation, warum der Stressor, falls vorhanden, nicht berücksichtigt wird
		Disziplin Menschliche Gesundheit nicht weiter untersucht.
Verunreinigung von Oberflächenwasser	Einleitung von Abwasser	Sanitärabwasser wird nach der Behandlung in 5 Biorotoren in die Maas eingeleitet. Das Industrieabwasser wird getrennt aufgefangen und entsorgt und kann nach der Behandlung in die Maas eingeleitet werden oder auch nicht. Da das Wasser der Maas weder zur Trinkwassergewinnung noch als Erholungswasser genutzt wird, ist die Belastung durch Verunreinigungen über das Oberflächenwasser nicht relevant und wird in dieser Disziplin nicht weiter untersucht.
Geruch	Emissionen von Stoffen mit Geruchsbeeinträchtigung	Die wichtigsten emittierten Verbrennungsgase sind geruchlos (CO, NO und CO ₂) oder nur in hohen Konzentrationen wahrnehmbar (NO ₂). Andere Stoffe mit typischem Geruch im KKW Tihange sind Ammoniak und Hydrazin, aber ihre Lagerungseigenschaften vermeiden Geruchsemissionen (siehe auch Disziplin Luft). Die Geruchsbelästigung wird daher in der Disziplin Menschliche Gesundheit nicht weiter untersucht.
Physische Stressoren		
Lärm	Lärmemissionen aus dem Betrieb von Tihange 3	Die vom Kraftwerk ausgehenden Lärmemissionen halten sich in Grenzen (siehe auch Disziplin Biologische Vielfalt), insbesondere wenn man sie mit den derzeitigen und künftigen Lärmquellen in der Umgebung vergleicht. Darüber hinaus wird die Lärmbelastung durch den Normalbetrieb mit der Abschaltung der anderen Reaktoren abnehmen, und die Rückbauarbeiten (die nicht in den Rahmen dieser UVP fallen) werden wahrscheinlich eine weitaus größere Quelle von Lärmbelästigung für die Umgebung des Standorts darstellen.
Vibrationen		Die Verlängerung der Lebensdauer von Tihange 3 beinhaltet keine Aktivitäten, die zu Vibrationen führen könnten.
Wind		Trotz des Vorhandenseins hoher Bauwerke (Kühltürme) wird aufgrund der Entfernung zu Wohngebieten keine relevante Windbelastung erwartet.
Licht, Schatten	Schatten der Dampffahne	Französische Untersuchungen (Méry, 1989) haben gezeigt, dass die Verringerung der Sonnenstunden aufgrund der Verschattung durch die Dampffahne weitgehend auf eine Entfernung von 1,5 bis 3 km von einem Kraftwerk beschränkt ist.

Stressoren	Spezifische Beschreibung des Stressors und/oder der Quelle, Auswirkungen auf die Gesundheit	Argumentation, warum der Stressor, falls vorhanden, nicht berücksichtigt wird
Wärme	Einleitung von Kühlwasser in die Maas	Für den Menschen sind durch die thermischen Auswirkungen der Kühlwassereinleitung in die Maas keine gesundheitlichen Folgen zu erwarten.
Elektromagnetische Strahlung		Außerhalb der Grenzen des Geländes des KKW Tihange sind keine Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung zu erwarten.
Biologische Stressoren		
Infektionsgefahr	Kühltürme stellen möglicherweise ein Risiko für die Entwicklung von Legionellen dar.	Das Risiko einer Exposition gegenüber Legionellen wird angesichts der getroffenen Vorsichtsmaßnahmen als sehr gering angesehen. Soweit wir wissen, hat es in der Vergangenheit auch noch nie Beschwerden gegeben.
Akute Vergiftungen durch Toxine		Im Zusammenhang mit dem Betrieb von Tihange 3 gibt es keine relevanten Toxinquellen.
Chronische Toxizität		Im Zusammenhang mit dem Betrieb von Tihange 3 gibt es keine relevanten biologischen Toxinquellen.
Allergene		Im Zusammenhang mit dem Betrieb von Tihange 3 gibt es keine relevanten Allergene.
Sonstige		
Staubbelastigung		Die Verlängerung der Lebensdauer von Tihange 3 beinhaltet keine Aktivitäten, die zu einer Staubbelastigung führen könnten.
Nähe zu Grünanlagen	Einnahme von Grünanlagen	Das Projekt findet innerhalb der Grenzen des KKW Doel statt. Der Standort ist von einem Zaun umgeben. Das bedeutet, dass das Gelände derzeit keine öffentliche Funktion hat. Die Nähe zu Grünanlagen ist daher in der Disziplin Menschliche Gesundheit auch nicht weiter relevant.
Psychosomatische Aspekte	Besorgnis der Anwohner wegen der Aktivitäten im KKW Tihange (Betriebsphase)	Es wird untersucht, inwieweit der Betrieb von Tihange 3 psychosomatische Auswirkungen haben kann.
	Besorgnis der Bevölkerung hinsichtlich der Versorgungsunsicherheit	Die Versorgungs(un)sicherheit wird in dieser UVP als ein Thema behandelt.
Auswirkungen von Stromausfällen		Die möglichen (gesundheitlichen) Auswirkungen von Stromengpässen werden behandelt.

Der Experte hielt es zudem für relevant, die möglichen Auswirkungen auf die industrielle Sicherheit und den Brandschutz zu untersuchen. Die Aktivität kann für die Bewohner oder Anwohner Risiken oder Stress verursachen.

SEVESO-Betriebe werden nach der Menge und Gefährlichkeit der Stoffe, die vorhanden sind oder entstehen können, unterschieden. Diese Rechtsvorschriften schreiben insbesondere Präventivmaßnahmen, Inspektionen, die Erstellung und Einreichung eines Sicherheitsberichts durch die Betriebe mit hohem Schwellenwert, der bei der Verwaltung (DRIGM) eingesehen werden kann, sowie die Erstellung eines internen Notfallplans und - bei Betrieben mit hohem Schwellenwert - eines externen Notfallplans vor. Das Seveso-Risiko bezeichnet die Wahrscheinlichkeit eines schweren Unfalls, der sich in einem Seveso-Betrieb ereignen könnte.

Ein schwerer Unfall:

- Kann verschiedene Ursachen haben, z. B. Systemversagen, menschliches Versagen, Kettenreaktion;
- Hat schwerwiegende Folgen für die Umwelt, die im Unternehmen anwesenden oder in der Nähe des Unternehmens wohnenden Personen. Diese Folgen können sofort sichtbar sein oder sich erst später bemerkbar machen.

In einem Seveso-Betrieb werden vier verschiedene Arten von Risiken unterschieden:

- Brandgefahr;
- Explosionsgefahr;
- Risiko toxischer Emissionen;
- Ökotoxisches Risiko.

6.6.2 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Wie bereits erwähnt, wird dieses Kapitel hauptsächlich die möglichen Auswirkungen auf die Sicherheit der Menschen vor Ort und der Bevölkerung in der Umgebung des Kraftwerks bewerten. Zur Erinnerung: Es geht um die nicht-radiologische Umweltprüfung des Projekts, d. h., nicht darum, die Möglichkeit eines nuklearen Unfalls zu bewerten. Aus diesem Grund wurde das Untersuchungsgebiet dieses Themas auf einen Umkreis von 3 km um das Kraftwerk begrenzt, der in der Wallonie bei der Durchführung von Umweltverträglichkeitsstudien weitgehend verwendet wird. Außerdem sind in diesem Bereich die Siedlungsgebiete von Tihange und Ampsin sowie als Seveso-Unternehmen eingestufte Firmen enthalten.

6.6.3 Beschreibung der aktuellen Situation

Die dem Projekt am nächsten gelegenen bewohnten Gebiete befinden sich in den Orten Tihange und Ampsin.

Das nächstgelegene Krankenhaus ist das Centre Hospitalier de Huy, das sich 3,7 km südwestlich des Projekts befindet. Die Feuerwache von Huy befindet sich etwa 650 Meter westlich des Projekts. Sie befindet sich gegenüber der Einfahrt des Kraftwerks auf der anderen Seite der N90.

Die dem Projekt nächstgelegenen Schulen sind:

- Die kommunale Grundschule von Ampsin (Amay), die sich 1,1 km nordöstlich des Projekts befindet;
- Die freie Grundschule „Saint-Pierre“ (Amay), die sich 1,3 km nordöstlich des Projekts befindet ;
- Die Grundschule und der Kindergarten von Tihange, 1,4 km südwestlich des Projekts;
- Die Gemeindeschule Bons-Enfants (Huy), die sich 2 km westlich/südwestlich des Projekts befindet.

Der dem Projekt nächstgelegene Seveso-Standort befindet sich etwa 1,3 km nördlich. Es handelt sich um das Unternehmen EPC Belgique (früher Dynamichaines s.a.), das in der Gemeinde Amay, rue Bois de Huy 5d, ansässig ist. Die Lage ist in der folgenden Abbildung angegeben. Es handelt sich um einen niederschweligen Betrieb.

Die Firma EPC Belgique ist hauptsächlich in folgenden Bereichen tätig:

- Einfuhr von Sprengstoffen für Tagebaue und Baustellen;
- Transport von Sprengstoffen zwischen Frankreich und Belgien;
- Lagerung von Sprengstoffen in ihren Lagern in Amay;
- Lagerung von Matrix und Ammoniumnitrat an ihrem Standort in Amay;
- Verkauf und Lieferung von Sprengstoffen, Sprengschnüren, Zündern und allem Zubehör, das mit der Verwendung von Sprengstoffen in Steinbrüchen oder Tagebauunternehmen in Zusammenhang steht;
- Herstellung von Spezialsprengstoffen für Steinbrüche über Unités Mobiles de Fabrication d'Explosifs (UMFE).

Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, verlaufen die Vulnerabilitätszonen des belgischen EPC-Standorts über das Kraftwerksgelände.

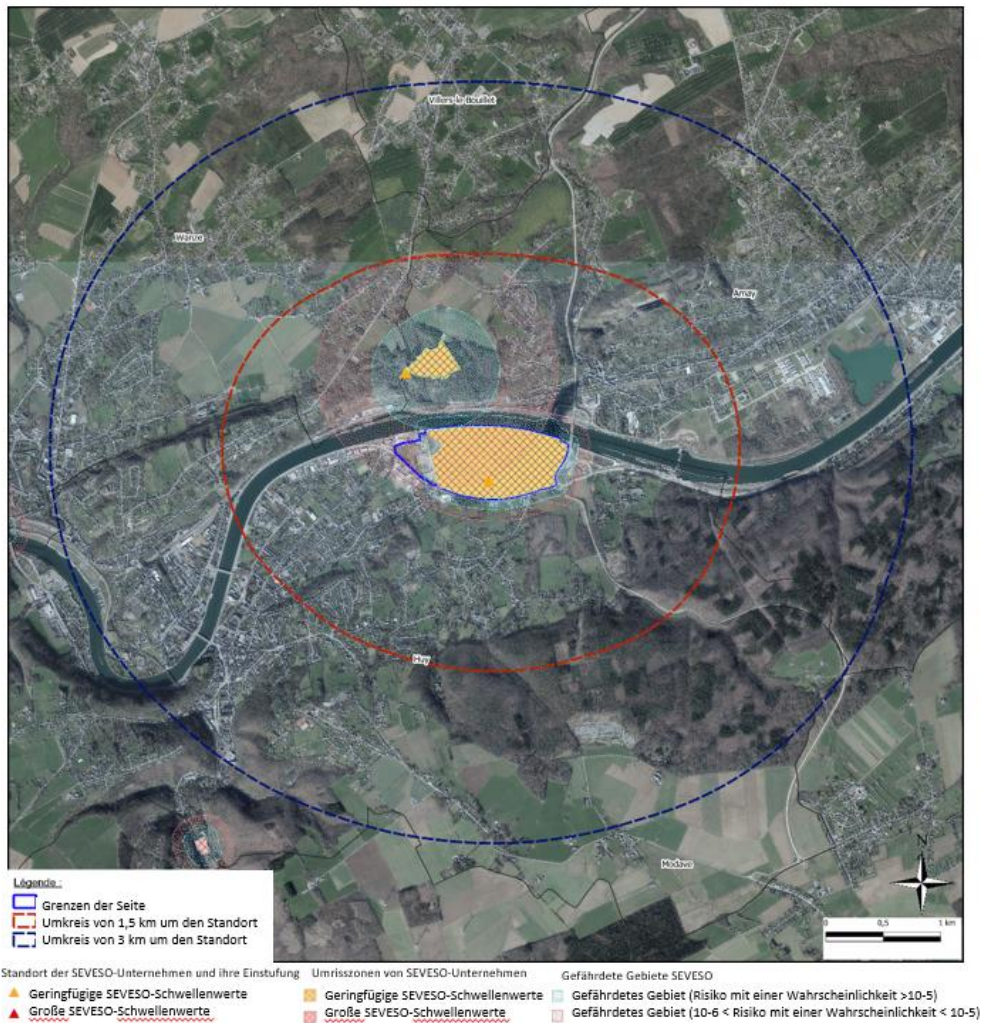


Abbildung 91: Seveso-Standorte im Umkreis von 3 km um das Kraftwerk Tihange.

6.6.4 Bewertung der Auswirkungen des Projekts

6.6.4.1 Psychosomatische Aspekte und Risikowahrnehmung

Mit der Risikowahrnehmung können psychosomatische Beschwerden verbunden sein. Bei „psychosomatischen“ Auswirkungen ist die direkte Ursache nicht immer eindeutig. Es liegt immer eine Kombination von Faktoren zugrunde. Psychische Probleme sind meist verständliche menschliche Reaktionen auf bestimmte Situationen und nicht einfach nur eine biomedizinische, genetische, neurologische Reaktion oder eine Krankheit des Gehirns.

Daten über das Auftreten von psychosomatischen Beschwerden, die speziell auf den Betrieb des Kernkraftwerks Tihange zurückzuführen sind, liegen nicht vor. Es liegen jedoch Daten aus Fragebögen und Umfragen über die Einstellung (einschließlich der Risikowahrnehmung) der belgischen Bevölkerung zur Atomenergie, zur Atomtechnik und zu den belgischen Kernkraftwerken vor.

SCK•CEN untersucht seit 2002 die öffentliche Wahrnehmung von Strahlungsrisiken und die Einstellung zur Kernenergie. Die Studien werden hauptsächlich über das „SCK•CEN-Barometer“ durchgeführt. Dabei handelt es sich um eine breit angelegte Befragung der Bevölkerung (mehr als 1.000 Personen), die für die erwachsenen Belgier (ab 18 Jahren) repräsentativ ist und nach Provinzen, Regionen, Verstädterungsgrad, Geschlecht, Alter und Beschäftigungsstatus unterteilt ist.

Die SCK•CEN-Barometer umfassen wiederkehrende Themen wie die Wahrnehmung verschiedener Strahlungsrisiken, das Vertrauen in die Akteure des Nuklearsektors und die Meinungen über die Nutzung der Atomenergie, aber auch detailliertere Fragen zu spezifischen Themen.

Das SCK-CEN-Barometer zeigt, dass im Jahr 2018 die Umweltverschmutzung und die nichtkonforme Nutzung von Nukleartechnologien die größte Sorge der Bevölkerung darstellen: 61 % halten Umweltverschmutzung für ein hohes oder sehr hohes Risiko in den nächsten 20 Jahren, und 54 % halten den möglichen Missbrauch von Nukleartechnologien durch Terroristen für ein hohes oder sehr hohes Risiko. In der gleichen Studie betrachtet die Hälfte der Bevölkerung einen möglichen Atomunfall und radioaktive Abfälle als ein hohes bis sehr hohes Risiko für ihre Gesundheit in den nächsten 20 Jahren. Es besteht ein allgemeiner Konsens, dass die Zahl der Kernkraftwerke reduziert werden sollte. Das Vertrauen in die Behörden hinsichtlich der Maßnahmen, die sie zum Schutz der Bevölkerung vor den Risiken eines nuklearen Unfalls ergreifen, nimmt zwischen 2013 und 2018 ab.

Im Jahr 2018 (SCK-CEN-Barometer, repräsentative Daten für die belgische Bevölkerung ab 18 Jahren) schätzt etwa die Hälfte der belgischen Bevölkerung die mit nuklearen Unfällen verbundenen Risiken als hoch bis sehr hoch ein. Ein großer Teil der Bevölkerung (75 %) ist der Meinung, dass selbst eine geringe Dosis, die aus einem Atomunfall resultiert, schädlich für die Gesundheit sei.

Die obigen Beobachtungen zeigen ein gemischtes Bild; es lässt sich jedenfalls nicht feststellen, ob die Nutzung der Atomenergie oder die Existenz von Kernkraftwerken zu spezifischen psychosomatischen oder psychosozialen Beschwerden führt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass solche Beschwerden, wenn sie vorhanden wären, hauptsächlich mit der nuklearen Stromerzeugung im Allgemeinen und nicht mit dem Funktionieren oder Nichtfunktionieren des spezifischen Reaktorblocks Tihange 3 zusammenhängen würden.

Obwohl, wie erwähnt, ein erheblicher Teil der Bevölkerung sich Sorgen über einen nuklearen Unfall macht, gibt es keine Daten, die zeigen, dass dieses wahrgenommene hohe Risiko auch psychosomatische Auswirkungen hat. Über die konkrete Situation in Bezug auf den Standort des KKW Tihange, geschweige denn Tihange 3, ist nichts bekannt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Risikowahrnehmung (bei den Anwohnern und darüber hinaus) bei einer Verlängerung der Lebensdauer von Tihange 3 ebenfalls zehn Jahre länger bestehen bleiben wird; allerdings wird sich diese Risikowahrnehmung verringert haben, weil zwei der drei Reaktoren in Tihange abgeschaltet sein werden. Da es keine konkreten Anhaltspunkte dafür gibt, dass die Risikowahrnehmung auch konkret zu psychosomatischen Beschwerden führt, die spezifisch auf den Betrieb von Kernkraftwerken zurückzuführen sind, ist davon auszugehen, dass die Wirkung der Risikowahrnehmung bei der Verlängerung der Lebensdauer nicht zu zuordenbaren psychosomatischen Beschwerden führt.

6.6.4.2 Sicherheit

Das Kraftwerk Tihange ist ein Standort, der hauptsächlich aufgrund des Kriteriums der Ökotoxizität der auf dem Gelände gelagerten Produkte als niedrighschwelliger Seveso-Standort eingestuft wurde. Die wichtigsten beitragenden Produkte sind Hydrazinhydrat¹²⁹ (4,95 und 15 %), Natriumhypochlorit (14 %) und Leichtöl.

Die Zentrale verfügt über einen strategischen Vorrat von 2.695 t Heizöl, der auf rund fünfzig Tanks verteilt ist. Der jährliche Verbrauch ist dagegen relativ gering und liegt bei 1.100 m³/Jahr im Normalbetrieb. Dieses Heizöl dient hauptsächlich zur Versorgung der Hilfskessel zur Dampferzeugung und der Notstrom-Diesgeneratoren bei Ausfall der externen Stromversorgung. Angesichts der geplanten Abschaltung von Tihange 1 im Jahr 2025 und Tihange 2 im Jahr 2023, die die Entfernung bestimmter Anlagen und Lagerstätten mit sich bringt, stellt sich die Frage, ob die niedrige Seveso-Schwelle infolge der Umsetzung des Projekts (Weiterbetrieb von Tihange 3 von 2025 bis 2037) noch überschritten wird. Da keine Zahlenangaben über die Art und Weise der Abschaltung und des Rückbaus dieser beiden Blöcke vorliegen, konnte dies im Rahmen dieser Umweltverträglichkeitsprüfung nicht ermittelt werden.

¹²⁹ Hydrazin: Chemisches Reagenz, das für die Konditionierung von Wasser-Dampf-Kreisläufen verwendet wird.

Jedes Seveso-Unternehmen muss vor Aufnahme seiner Tätigkeit eine Umweltgenehmigung einholen. Die regionalen Behörden müssen in der Lage sein, zu erkennen, ob die Errichtung oder Erweiterung eines Seveso-Betriebs ein akzeptables Risiko für die Umwelt, z. B. Wohngebiete und Naturgebiete, darstellt. Der Betreiber muss daher nachweisen, dass er die Risiken an seinem Standort beherrschen und die Folgen eines möglichen Unfalls begrenzen kann.

Zu diesem Zweck fügt der Betreiber eines niedrighschwelligen Seveso-Betriebs seinem Genehmigungsantrag ein Merkblatt zur Gefahrenidentifizierung bei, in dem die Auswahl der befürchteten Ereignisse (auf der Grundlage von Risikoanalysen) und die getroffenen Maßnahmen zur Beherrschung der Risiken dargestellt sind. Diese Mitteilung enthält auch eine Tabelle, in der die Anlagen aufgeführt sind, die Domino-Effekte erzeugen, die andere Seveso-Standorte erreichen, und in der die ergriffenen Maßnahmen beschrieben werden. Neben diesem Dokument, das im Rahmen der Anträge auf nicht radiologische Betriebsgenehmigungen (Umweltgenehmigungen) erstellt wird, hat das Kraftwerk Tihange einen internen Notfallplan erstellt, der aktiviert werden muss, wenn ein schwerer Unfall oder ein Vorfall, der zu einem schweren Unfall führen könnte, eintritt.

Außerdem führt die RAM-Stelle regelmäßige Inspektionen von Seveso-Standorten durch.

Wie bereits erwähnt, gibt es im Umkreis von 1,5 km um das Kraftwerk Tihange einen weiteren niedrighschwelligen Seveso-Betrieb (Firma EPC Belgique). Die gefährdeten Bereiche dieses Betriebs reichen bis zum Kraftwerk Tihange.

Diese Zonen werden von der RAM-Stelle in Übereinstimmung mit Art. 25 des Kooperationsabkommens festgelegt, der die Regionen dazu verpflichtet, in ihrer Urbanisierungspolitik um die Seveso-Standorte herum eine Kontrolle der neuen Einrichtungen oder der an diesen Einrichtungen vorgenommenen Änderungen durchzuführen. Zu diesem Zweck hat die RAM-Stelle für alle Seveso-Industrieanlagen in der Wallonie Nachbarschaftsschutzbereiche berechnet (10^{-6} /Jahr-Kurve, die die gefährdete Zone abgrenzt). Diese Kurven werden zur Kontrolle neuer Erschließungen in der Umgebung von Seveso-Betrieben verwendet. Bei jedem Genehmigungsantrag muss daher die Auswirkung des Projekts auf diese Kurven bewertet werden. Eine Neuberechnung dieser Kurven wird ggf. durchgeführt. Jede Zunahme dieser Kurven in Richtung bereits bebauter Gebiete kann in der Tat zu einer negativen Stellungnahme zum Genehmigungsantrag führen.

Da die beiden Seveso-Betriebe mit niedrigen Schwellenwerten ihre Genehmigungen erhalten haben und unter Berücksichtigung der oben genannten Elemente (Erstellung von Beschreibungen zur Identifizierung der Gefahren, Untersuchung der Dominoeffekte, Berücksichtigung der benachbarten Betriebe, Einführung von Maßnahmen zur Risikobeherrschung, interner Notfallplan) wird davon ausgegangen, dass die Risiken im Bereich der nicht-radiologischen Sicherheit beherrscht werden und dass die Verlängerung des Betriebs von Tihange 3 vernachlässigbare Auswirkungen haben wird.

Ein weiteres Sicherheitsrisiko, das sich auf die Beschäftigten und die Anwohner auswirken könnte, ist die Brandgefahr. Angesichts dieses Risikos wurden vom Kraftwerk zahlreiche Maßnahmen zur Brandverhütung getroffen, und es sind Mittel zur Brandbekämpfung auf dem Gelände vorhanden.

Die Einsatzrüstung wird ständig weiterentwickelt, um sich an die Techniken der Brandbekämpfung anzupassen und um allen industriellen Risiken besser begegnen zu können.

Das Kernkraftwerk Tihange verfügt über ein Fahrzeug zur Bekämpfung von Großbränden. Diese Ausrüstung steht bei der regionalen Feuerwehr gegenüber dem Kernkraftwerk Tihange zur Verfügung. Alle Räume, in denen sich Heizöltanks befinden, sind mit einer Brandmeldeanlage und einer Sprinkleranlage ausgestattet.

Die für Brandschutz und Prävention zuständige Abteilung profitiert von zwei Gebäuden, die nach dem Bau des Gebäudes SF2 leer stehen¹³⁰. Seit Anfang 2021 verfügt sie über eine neue Feuerwache. Dieser neue Stützpunkt ermöglicht durch seine Organisation und die Zentralisierung des Materials eine höhere Effizienz: Einsatzfahrzeuge (Löschfahrzeug, Pick-up, Logistikfahrzeug und spezielle Anhänger), Material, das für die Bewältigung konventioneller Zwischenfälle (Personalunfall, Brand, Umweltverschmutzung usw.) bestimmt ist, und ein

¹³⁰ SF2: Gebäude für die Zwischenlagerung von verbrauchtem Kernbrennstoff.

Maskenlabor, um die Wartung und Kontrolle des an die spezifischen Risiken angepassten Atemschutzes zu gewährleisten.

Das Kraftwerk Tihange verfügt über ein internes Feuerwehrteam, das rund um die Uhr vor Ort ist. Bei einem Zwischenfall greifen es Zusammenarbeit mit den Betriebsteams (die als Ersthelfer ausgebildet sind) und mit externen Rettungskräften ein (die Feuerwache der HEMECO-Notfallzone¹³¹ befindet sich gegenüber dem Kraftwerk). Eine Vereinbarung verbindet das Kernkraftwerk Tihange mit der HEMECO-Notfallzone, was die Entwicklung einer engen operativen Zusammenarbeit (Schulungen, gemeinsame Übungen, Erfahrungsaustausch usw.) zwischen dem ESI-Team und der zivilen Sicherheit ermöglicht.

In Anbetracht aller Präventionsmaßnahmen und Brandbekämpfungsmittel, die im Kraftwerk Tihange eingerichtet wurden, und unter der Annahme, dass diese Maßnahmen und Mittel bis zum Rückbau von Tihange 3 bestehen bleiben, wird davon ausgegangen, dass die Verlängerung des Betriebs dieses Blocks bis 2037 keine zusätzlichen Risiken mit sich bringt, zumal diese Risiken beherrscht werden.

6.6.4.3 (Vermiedene) gesundheitliche Auswirkungen eines Stromausfalls.

Die Verlängerung der Lebensdauer von Tihange 3 zielt darauf ab, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, und zwar im Vorgriff auf eine Situation, in der diese Sicherheit durch andere Energiequellen erreicht werden kann.

Die Verlängerung der Lebensdauer verringert somit die Gefahr eines Stromausfalls (und die damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen) drastisch. Stromausfälle sind potenziell tatsächlich mit erheblichen wirtschaftlichen und sozialen Kosten verbunden.

In einer Studie des Föderalen Planbüros aus dem Jahr 2014 wurde eine quantitative Bewertung der Auswirkung von Stromausfällen in Belgien vorgenommen, basierend auf einem österreichischen Modell (Black-out-Simulator). Ein einstündiger Stromausfall auf belgischem Gebiet während eines Arbeitstages zu einer Zeit, in der alle belgischen Unternehmen aktiv sind, würde einen gesamtwirtschaftlichen Schaden von ca. 120 Millionen Euro verursachen (sowohl im Winter als auch im Sommer). Einige alternative Methoden wurden ebenfalls berechnet und ergaben eine Spanne zwischen € 61 Millionen (die „BIP-Methode“) und € 278 Millionen (die „RTE-Methode“). Der genannte wirtschaftliche Schaden schließt den Schaden für Familien ein, der allerdings „nur“ 8 Mio. EUR pro Stunde beträgt. Der Industriesektor hat mit 49 % den größten Anteil an den Gesamtkosten, der tertiäre Sektor macht etwa 40 % der Kosten aus. Das verwendete Modell erlaubte auch die räumliche Zuordnung des berechneten Schadens. Dabei zeigte sich, dass der mit Abstand größte Verlust in der Provinz Antwerpen zu verzeichnen wäre (24,74 Mio. Euro bzw. fast 21 % der Gesamtsumme), mit einigem Abstand gefolgt von der Region Brüssel-Hauptstadt (15,67 Mio. Euro bzw. 13 %).

Dabei ist wichtig zu beachten, dass diese Schätzung immer auf einer einstündigen Unterbrechung beruhte. Die Auswirkungen eines 2-stündigen Ausfalls sind nicht unbedingt doppelt so groß. Das zeigen auch die Zahlen des Simulators: Der Schaden eines 2-stündigen Ausfalls für ganz Belgien beträgt „nur“ 170 Millionen Euro (oder 42 % mehr als bei einem einstündigen Ausfall). Je länger eine Störung jedoch anhält, desto größer werden ihre Auswirkungen linear mit der Zeit, und nach etwa 8 Stunden steigt der Schaden exponentiell an. Ein Ausfall von mehr als 8 Stunden kann als Katastrophensituation angesehen werden: Die Anzahl und vor allem die Schwere der Folgen sind dann schwer zu überblicken (und abzuschätzen).

Es ist deutlich, dass mit den oben genannten wirtschaftlichen Verlusten auch gesundheitliche Risiken einhergehen.

Stromausfälle können den Betrieb von Notfalldiensten beeinträchtigen. Alle Krankenhäuser verfügen über Notstromsysteme zur Unterstützung der kritischsten Aktivitäten, wie z. B. Operationssäle, Intensivstationen, Notfalldienste usw. Je nach Einrichtung sind die Notstromsysteme möglicherweise nicht in der Lage, einige andere Dienste zu unterstützen, z. B. die Röntgenanlage, Klimaanlage, Kühlung, Aufzüge usw. Außerdem können technische Probleme bei den Hilfsgeneratoren auftreten, wie der Stromausfall in New York 1977 gezeigt hat. Einige

¹³¹ HEMECO-Zone: Zone Hespengau, Maas und Condroz

Krankenhäuser hatten Schwierigkeiten, die Generatoren in Betrieb zu nehmen, und hatten mit einer Überhitzung der Generatoren zu kämpfen.

Zu den Faktoren, die diese Auswirkung bestimmen, gehören zum einen direkte Parameter wie die Dauer und die Häufigkeit, zum anderen kontextbezogene Parameter wie die Außentemperatur und der Maßstab. Auch bei einem Stromausfall ergeben sich Sicherheitsfragen, diese sind jedoch nicht Gegenstand der Disziplin Gesundheit. Klassische Sicherheitsprobleme können in Krankenhäusern, Aufzügen, Verkehrsstaus usw. entstehen usw.

Eine wichtige Studie (Dominianni 2018) berichtet über die gesundheitlichen Auswirkungen eines Stromausfalls anhand von drei Ereignissen. Bei zwei von drei Stromausfällen ist auch der Kontext entscheidend: Die Stromausfälle traten nämlich während einer Hitzewelle auf. Zu den Auswirkungen, die auf dieser Forschung beruhen, gehören Atemprobleme und wahrscheinlich eine erhöhte Sterblichkeit. Stromausfälle während Hitzewellen können zu Nierenversagen führen. Bei extremer Kälte führen sie zu mehr allgemeineren Todesursachen und Herzkrankheiten.

Casey et al. (2020) kommen auf der Grundlage einer umfassenden Metaanalyse zu dem Schluss, dass Stromausfälle erhebliche gesundheitliche Auswirkungen haben, die von Kohlenmonoxidvergiftungen, temperaturbedingten Erkrankungen, Magen-Darm-Erkrankungen und Sterblichkeit bis hin zu Krankenhauseinweisungen durch alle Ursachen, Herz-Kreislauf-, Atemwegs- und Nierenerkrankungen reichen, insbesondere für Personen, die auf stromabhängige medizinische Geräte angewiesen sind.

Es ist daher offensichtlich, dass die mit dem Projekt verbundene Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Stromausfällen auch die Wahrscheinlichkeit der damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit verringert und daher positiv bewertet werden kann.

6.6.5 Bewertung der politischen Auswirkungen

Es ist nun zu bewerten, ob die oben beschriebenen Auswirkungen zur Erreichung der politischen Ziele beitragen können oder nicht.

Das relevante und vorherrschende Ziel für diesen Themenbereich ist die Gewährleistung der Sicherheit der Bevölkerung. Da das Kraftwerk Tihange ein Seveso-Betrieb ist und daher strengen Vorschriften unterliegt, insbesondere in Bezug auf den Brandschutz, die Vermeidung schwerer Unfälle und damit verbundener Dominoeffekte sowie auf die jährlichen Inspektionen, wird davon ausgegangen, dass die Fortsetzung des Betriebs für einen Zeitraum von zehn Jahren die Erreichung des wichtigsten politischen Ziels dieses Bereichs nicht beeinträchtigt. Es sind auch keine psychosomatischen Auswirkungen zu erwarten. Man kann jedoch von einer positiven Auswirkung auf die Gesundheit sprechen, wenn Tihange 3 länger in Betrieb bleibt, da die Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls und die damit verbundenen potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen deutlich verringert werden.

6.6.6 Minderungsmaßnahmen

Auf Projektebene werden keine Minderungsmaßnahmen vorgeschlagen, außer der Überprüfung des Seveso-Status des Standorts nach der Abschaltung von Tihange 1 und 2. Sollte das Kraftwerk nicht mehr als Seveso-Betrieb eingestuft werden und somit nicht mehr den Vorschriften unterliegen, muss dennoch ein besonderes Augenmerk auf die Vermeidung von Unfällen und Zwischenfällen gerichtet werden, um die Kontrolle über mögliche Sicherheitsrisiken für die Bevölkerung zu behalten (das derzeitige Sicherheitsniveau muss beibehalten werden, auch wenn der Standort irgendwann nicht mehr als SEVESO-Betrieb eingestuft wird).

6.6.7 Wissenslücken

Für die Bewertung der Auswirkungen dieses Themenbereichs sind keine Wissenslücken zu verzeichnen. Die Erteilung der Genehmigung für das Kraftwerk Tihange, einen Seveso-Betrieb mit niedriger Schwelle, sowie die regelmäßigen Inspektionen durch die RAM-Stelle zeigen uns, dass das Kraftwerk die gesetzlichen Auflagen erfüllt und dass die möglichen Risiken eines schweren Unfalls unter Kontrolle sind.

6.7 Grenzüberschreitende Auswirkungen

Die meisten nicht-radiologischen Auswirkungen, die auf den Aufschub der Abschaltung von Tihange 3 zurückzuführen sind, beschränken sich auf die unmittelbare Umgebung des Kernkraftwerks. Sie sind von begrenztem Umfang und haben daher keine grenzüberschreitenden Auswirkungen.

Nur die Einleitung von Kühlwasser, die die Temperatur der Maas beeinflusst, könnte sich längerfristig auswirken. Angesichts der Temperaturdaten der Maas an der letzten Messstation vor den Niederlanden kann der Einfluss der Kühlwassereinleitung jedoch als vernachlässigbar angesehen werden (weniger Überschreitungen von 25 °C und keine Überschreitungen von 28 °C im Tagesmittel, die in den letzten 3 Jahren verzeichnet wurden).

Es ist zu beachten, dass mehrere grenzüberschreitende Auswirkungen in der Ausgangssituation nicht ausgeschlossen werden können, wenn die Deaktivierung nicht aufgeschoben wird. Ausmaß und Art dieser grenzüberschreitenden Auswirkungen werden weitgehend davon abhängen, wo die (theoretische) Ersatzkapazität vorgesehen ist, welche technischen Merkmale diese Anlagen aufweisen und welche Genehmigungsmerkmale sie haben.

7 Radiologische Auswirkungen Tihange 3

7.1 Direkte Strahlung und Einleitungen im Normalbetrieb

7.1.1 Aktuelle Situation

Wie in der allgemeinen Methodik (Abschnitt 2.3.3) erörtert, hängt die potenzielle Strahlenbelastung für Mensch und Umwelt im Normalbetrieb mit der direkten Strahlung und den gasförmigen und flüssigen Einleitungen zusammen, die bestimmte Konzentrationen von Radioaktivität enthalten. Wir beschreiben hier die aktuelle Situation des KKW Tihange.

Direkte Strahlung

Das von der FANK betriebene TELERAD-Netz misst kontinuierlich die in der Umwelt vorhandene Strahlung (siehe Abschnitt 2.3.5). Speziell für das Gelände des KKW Tihange besteht das TELERAD-Netz aus 20 Ringstationen rund um das Gelände und etwa 15 Stationen in der weiteren Umgebung des KKW Tihange (Agglomerationsstationen). Die Ringstationen sind spektroskopische Stationen, die neben der Dosisleistung auch Gammapektren aufzeichnen (sie messen auch die Gammastrahlenenergie). Dies ermöglicht die Identifizierung spezifischer/typischer Radionuklide, die mit dem Betrieb des KKW Tihange verbunden sind, wenn vorhanden. Alle Stationen messen die Dosisleistung (Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $H^*[10]$) und sind in der Lage, sowohl die Hintergrundstrahlung genau zu messen, wobei Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung in Abhängigkeit von der Zeit beobachtet werden können (wenn zum Beispiel genügend Schnee liegt, wird aufgrund der Abschirmung der natürlichen Strahlung aus dem Boden eine geringere Dosisleistung gemessen.) als auch die Jahresdosis der externen Gammastrahlung am Standort jeder Station abzuschätzen, sowie genaue Messungen bei stark erhöhten Dosisleistungen (Unfallsituationen) durchzuführen.

Neben der natürlichen Strahlung aus der Umgebung können die Ringstationen sowohl direkte Strahlung (Direktstrahlung) aus Radioaktivität und Strahlung am Standort als auch solche aus radioaktiven Einleitungen aufnehmen. In Abbildung 92: Jaarljkse dosis in mSv (gemiddelde over periode 2015 tot en met 2022) zoals gemeten door de Telerad stations uitgebaat door het FANK rondom de site van KKW Tihange (Abbildung gemaakt op basis van 10-minuten data bekomen van het FANK). Die Jahresdosis¹³² wird von den Ringstationen aufgezeichnet. Tabelle 49 zeigt die Daten für alle betrachteten Jahre. Wir sehen, dass die Mittelwerte für die verschiedenen Ringstationen zwischen 0,72 und 1,00 mSv pro Jahr schwanken. Diese Werte entsprechen den typischen Werten der Hintergrundstrahlung in der Region um Huy in der Wallonie, die etwa 0,85-0,95 mSv/Jahr beträgt (0,3 mSv/Jahr kosmische Strahlung und 0,55-0,65 mSv/Jahr terrestrische Strahlung). Die Schwankungen lassen sich auf die natürliche Radioaktivität in der unmittelbaren Umgebung jeder Station zurückführen. Da diese Stationen sowohl die natürliche als auch die künstliche Strahlung messen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Betrieb des KKW Tihange einen - wenn auch sehr geringen und im Rahmen der Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung liegenden - Beitrag leistet.

In jedem Fall zeigen diese Messungen, dass die Dosis durch externe Strahlung viel geringer ist als der gesetzliche Grenzwert von 1 mSv/Jahr und sich nicht von lokalen Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung unterscheiden lässt.

¹³² Die durchschnittliche Jahresdosis wurde für jede Telerad-Ringstation berechnet, indem die durchschnittliche Dosisleistung aus den 10-Minuten-Daten für jedes Jahr des Zeitraums ermittelt und mit einem Faktor (365,25*24) für die durchschnittliche Anzahl von Stunden in einem Jahr multipliziert und dann über die verschiedenen Jahre gemittelt wurde.

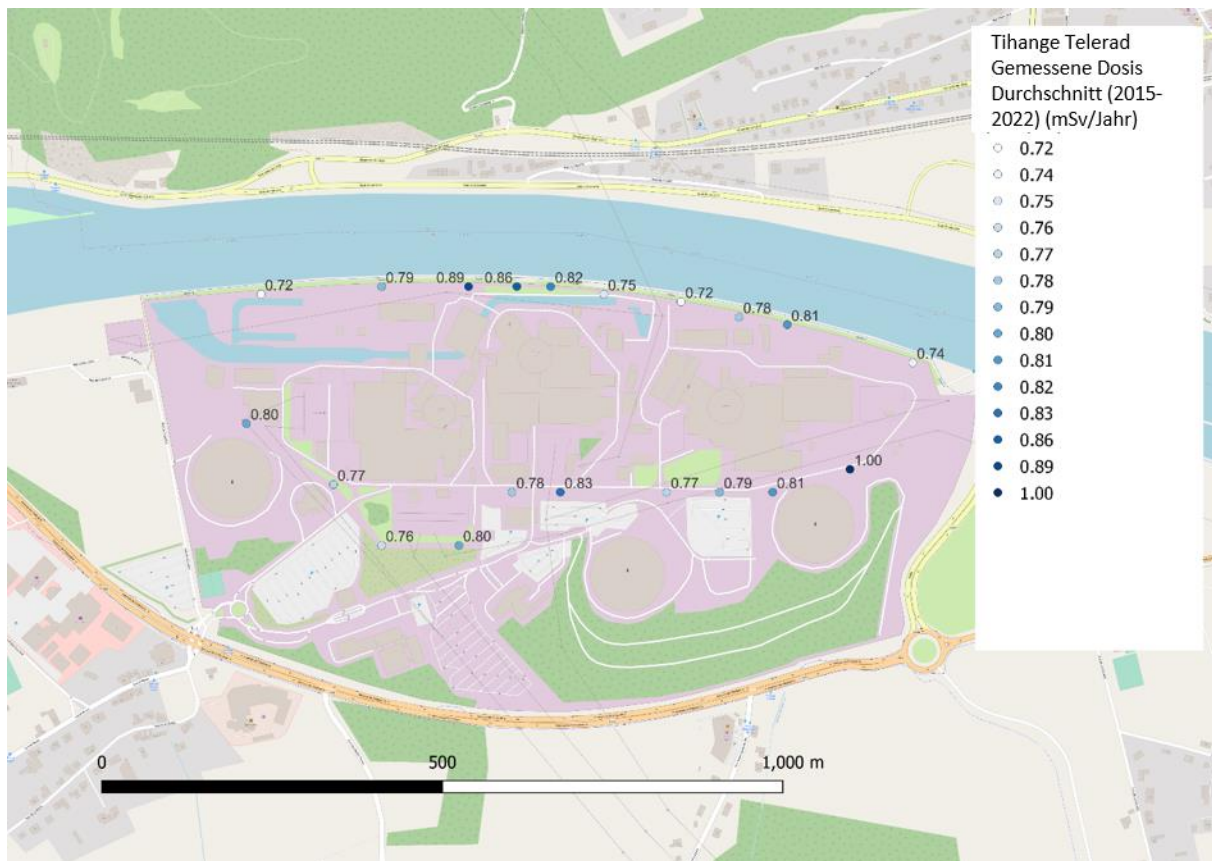


Abbildung 92: Jaarlijkse dosis in mSv (gemiddelde over periode 2015 tot en met 2022) zoals gemeten door de Telerad stations uitgebaat door het FANK rondom de site van KKW Tihange (Abbildung gemaakt op basis van 10-minuten data bekomen van het FANK).

Tabelle 86: Jaarlijkse dosis in mSv van externe straling zoals geregistreerd door de 20 Telerad stations rondom de site van KKW Tihange (Data op basis van 10-minuten gegevens FANK). Der Mittelwert und die Standardabweichung sind ebenfalls angegeben.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Mittelwert	Standardabweichung
BE501	0,790	0,796	0,793	0,809	0,807	0,811	0,778	0,777	0,795	0,013
BE502	0,757	0,770	0,753	0,781	0,780	0,762	0,757	0,752	0,764	0,011
BE503	0,781	0,784	0,781	0,782	0,764	0,760	0,758	0,763	0,772	0,011
BE504	0,790	0,817	0,818	0,807	0,818	0,796	0,783	0,784	0,802	0,014
BE505	0,748	0,725	0,755	0,754	0,706	0,697	0,693	0,695	0,722	0,026
BE506	0,817	0,782	0,792	0,807	0,802	0,774	0,777	0,768	0,790	0,016
BE507	0,967	0,860	0,878	0,918	0,899	0,885	0,871	0,853	0,891	0,035
BE508	0,917	0,858	0,853	0,889	0,857	0,832	0,850	0,838	0,862	0,026
BE509	0,848	0,820	0,823	0,843	0,823	0,832	0,801	0,793	0,823	0,018
BE510	0,804	0,766	0,774	0,766	0,760	0,725	0,725	0,719	0,755	0,028
BE511	0,757	0,732	0,733	0,732	0,699	0,696	0,696	0,696	0,718	0,022

BE512	0,753	0,752	0,749	0,751	0,798	0,825	0,827	0,822	0,785	0,034
BE513	0,826	0,803	0,802	0,820	0,825	0,825	0,790	0,784	0,809	0,016
BE514	0,749	0,738	0,740	0,750	0,752	0,754	0,729	0,726	0,742	0,010
BE515	1,201	0,965	0,880	1,111	1,154	1,041	0,828	0,809	0,999	0,141
BE516	0,815	0,824	0,819	0,820	0,821	0,805	0,809	0,806	0,815	0,007
BE517	0,788	0,797	0,801	0,803	0,806	0,807	0,781	0,774	0,795	0,012
BE518	0,807	0,749	0,752	0,753	0,764	0,795	0,791	0,784	0,774	0,021
BE519	0,820	0,832	0,837	0,847	0,845	0,840	0,815	0,815	0,831	0,012
BE520	0,781	0,777	0,778	0,786	0,784	0,788	0,785	0,781	0,783	0,004

Im Rahmen einer nuklearen Notfallplanung wurde am 8. Juni 2021 in Zusammenarbeit zwischen SCK CEN, IRE, Landesverteidigung, FANK und in Absprache mit dem Betreiber des KKW Tihange ein Hubschrauberflug über das KKW Tihange mit radiologischer Ausrüstung an Bord durchgeführt, die speziell für die Kartierung der Kontamination nach einem Unfall entwickelt wurde. Diese aus 4x4-Liter-NaI(Tl)-Detektoren bestehende Ausrüstung ist auch ausreichend empfindlich, um Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung oder künstliche Radioaktivitätsquellen zu erkennen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Abbildung 94: Verteilung der Dosisleistung für alle Messungen über dem KKW Tihange und im weiteren Umkreis (7 km x 7 km). Nur eine sehr geringe Anzahl von Messungen weist Werte über 0,100 $\mu\text{Sv/h}$ auf.. Diese Abbildung ist das Ergebnis von zwei Flügen: eines Flug mit parallelen Flugbahnen entlang des Maastals und eines Flug mit Flugbahnen senkrecht zum Maastal. Die Abbildung zeigt die Dosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$ pro Sekunde entlang der Flugbahn des Hubschraubers, korrigiert um die Höhe über dem Gelände, die aufgrund der Lage des KKW Tihange im Tal der Maas stark schwankt. Die Korrektur für die Höhe über dem Boden stellt sicher, dass die ermittelte Dosisleistung für die Exposition durch externe Strahlung am Boden repräsentativ ist, möglicherweise für einen Mittelwert über die Fläche eines Kreises mit einem Radius, der in etwa der Höhe entspricht, in der der Hubschrauber über dem Boden fliegt, da die Messgeräte des Hubschraubers Strahlung aus verschiedenen Richtungen erfassen. Die typische Flughöhe beträgt 150 Meter.

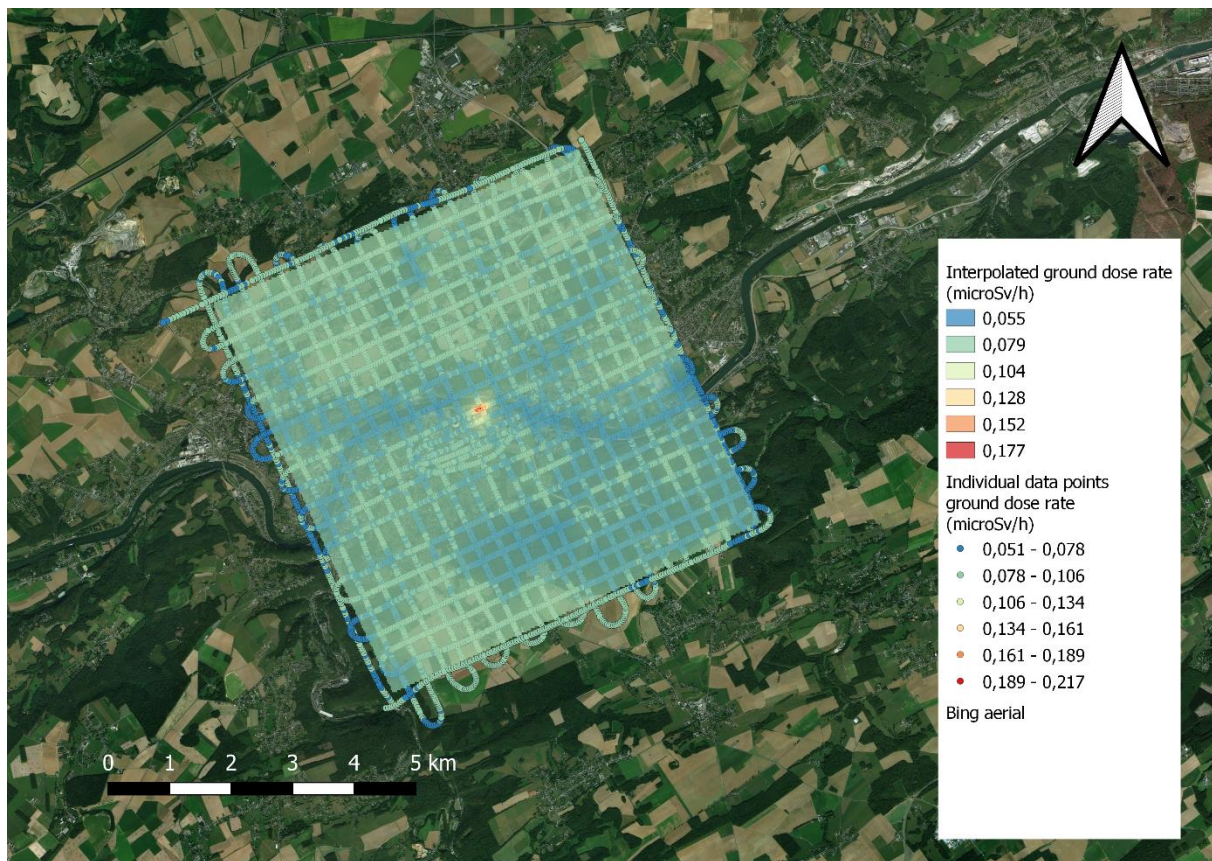


Abbildung 93: Die aus Hubschraubermessungen ermittelte Dosisleistung in μSv pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$) am Boden nach Korrektur für die Höhe über dem Boden über dem KKW Tihange und der weiteren Umgebung. Maßstab und Farben wurden so gewählt, dass kleine Unterschiede in der Dosisleistung sichtbar werden, z. B. ist der Verlauf der Maas aufgrund der geringeren natürlichen Radioaktivität, die über dem Wasser gemessen wird, sehr gut zu erkennen. Eine kleine Erhebung ist über dem KKW Tihange zu sehen: siehe auch Abbildung 95 und Text).

Die Dosisleistung schwankt in der gesamten Region, in der der Hubschrauberflug durchgeführt wurde, einschließlich des Standorts des KKW Tihange, zwischen $0,050 \text{ mikroSv/h}$ und $0,217 \text{ mikroSv/h}$, wobei jedoch bis auf einige wenige Messungen (oberhalb des Standorts des KKW Tihange, auf die wir noch zurückkommen werden) alle Messungen Ergebnisse zwischen $0,05 \text{ mikroSv/h}$ und $0,10 \text{ mikroSv/h}$ aufweisen (Abbildung 94). Dies entspricht einer externen Strahlendosis von $0,44 \text{ mSv}$ bis $0,88 \text{ mSv/Jahr}$, wenn man die Hubschrauberwerte als repräsentativ für ein ganzes Jahr betrachtet. Die Streuung ist im Vergleich zu den Telerad-Messungen etwas größer, wobei insbesondere mehr Werte auf der unteren Seite liegen. Das liegt vor allem daran, dass das Wasser (die Maas) eine geringere natürliche Radioaktivitätskonzentration aufweist als der Boden und dass die Maas immer im Blickfeld der Strahlungsdetektoren im Hubschrauber über dem Maastal liegt (auch in Abbildung 93 deutlich zu sehen). Außerdem handelt es sich um Daten, die nur eine Sekunde lang gemessen wurden, während die TELERAD-Daten Durchschnittswerte über mehrere Jahre sind. Zum Zeitpunkt der Hubschraubermessungen hat es nicht geregnet, und alle drei Reaktoren waren zum Zeitpunkt des Fluges zur Stromerzeugung in Betrieb. Der Wertebereich entspricht den typischen Hintergrundwerten, abgesehen von der begrenzten Höhe, die über dem Standort des KKW Tihange gemessen wurde (siehe unten). Der Maßstab und die verwendeten Farben wurden gewählt, um kleine Unterschiede sichtbar zu machen.

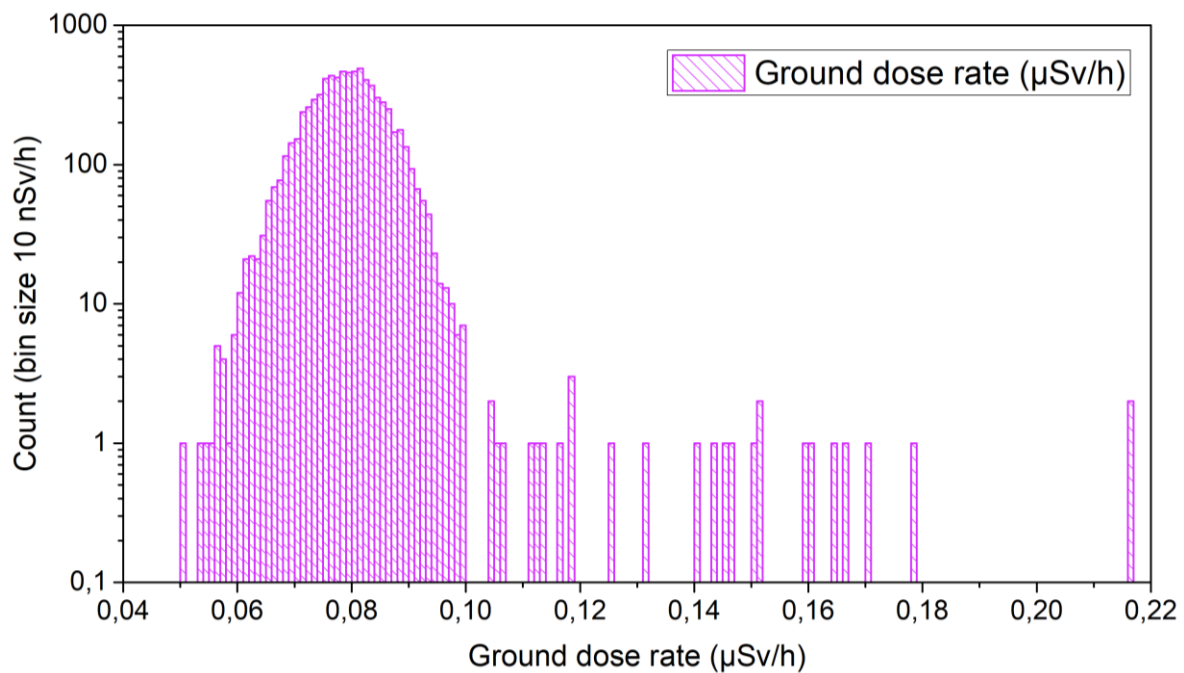


Abbildung 94: Verteilung der Dosisleistung für alle Messungen über dem KKW Tihange und im weiteren Umkreis (7 km x 7 km). Nur eine sehr geringe Anzahl von Messungen weist Werte über 0,100 µSv/h auf.

Eine begrenzte Anzahl von Messungen einer Dosisleistung von mehr als 0,100 µSv/h wurde aufgezeichnet. Diese Werte wurden nur über dem Gelände des KKW Tihange gemessen, und zwar über einem bestimmten Ort auf dem Gelände, nämlich einem Gebäude, das zu Tihange 2 gehört und in dem radioaktive Abfälle behandelt werden (siehe Abbildung 95: Vergrößerung der Hubschraubermessungen über dem Gelände des KKW Tihange. Weitere Erläuterungen: siehe Text, die Farben und der Maßstab sind so gewählt, dass kleine Unterschiede deutlich sichtbar werden.). Auch an diesem Standort konnte durch die Analyse der Energie der gemessenen Strahlung (Spektroskopie) eindeutig festgestellt werden, dass der gemessene Anstieg von künstlicher Radioaktivität stammt, die mit Aktivitäten auf dem Gelände des KKW Tihange zusammenhängt. Die Erhöhung der Dosisleistung, die beim Überfliegen dieses Gebäudes sichtbar wird, ist jedoch aufgrund der TELERAD-Ringstation, die sich in geringer Entfernung von diesem Gebäude befindet, nicht als deutliche Erhöhung sichtbar. Das bedeutet, dass die Strahlung seitlich sehr gut abgeschirmt ist (für Personen am Boden), aber nach oben hin weniger. Ferner ist festzustellen, dass im größten Teil des Geländes, auch beim Überfliegen der Reaktoren, kein Anstieg gegenüber dem natürlichen Hintergrund messbar ist, die Werte sind im größten Teil des Geländes nicht höher als der Durchschnittswert außerhalb des Geländes.

Zusammen mit den TELERAD-Messungen zeigen diese Hubschraubermessungen, dass Radioaktivität und Strahlung in den verschiedenen Gebäuden und auf dem Gelände des KKW Tihange sehr gut von den Menschen in der Umgebung abgeschirmt sind. Der gemessene Wert ist auch viel kleiner als der Referenzwert von 10 µGy/h, unterhalb dessen die Auswirkungen auf die Umwelt (Fauna und Flora) vernachlässigbar sind¹³³, und liegt auch unter dem in der ICRP-Veröffentlichung 136 angegebenen Bereich von 3-30 µGy/h. Daher gibt es keine schädlichen Auswirkungen für Vögel, die sich auf dem Dach aufhalten könnten.

¹³³J. Garnier-Laplace & R. Gilbin (Eds.), *Derivation of Predicted No Effect Dose Rate values for ecosystems (and their sub-organisational levels) exposed to radioactive substances*, ERICA Deliverable D5, European Commission, 6th Framework, Contract N° FI6RCT-003-508847, 2006



Abbildung 95: Vergrößerung der Hubschraubermessungen über dem Gelände des KKW Tihange. Weitere Erläuterungen: siehe Text, die Farben und der Maßstab sind so gewählt, dass kleine Unterschiede deutlich sichtbar werden.

Atmosphärische Einleitungen

Atmosphärische Einleitungen haben ihren Ursprung in und/oder sind auf die folgenden Prozesse zurückzuführen:

- Gasförmiger Abfall (GW)
 - Die Entgasung aus dem Primärkreislauf wird in Abgasbehältern der Abgasbehandlungsanlage gespeichert, diese werden nach einer Verfallszeit entleert;
- Reaktorgebäude oder ringförmiger Raum (RGI)
 - Entsorgung des zunächst aus dem Reaktorgebäude oder ringförmigen Raum abgeführten Gases durch ein Luftreinigungssystem;
- Intermittierende Entladungen (DIS)
 - Intermittierende, hauptsächlich unfreiwillige oder erzwungene Einleitung, die durch einen nuklearen Belüftungsauslass erfolgt. Es handelt sich um geplante Einleitungen (mit Ausnahme von I-131-Probeeinleitungen). Diese Kategorie wird für Spitzen oberhalb der kontinuierlichen Einleitungen verwendet, deren Ursprung nur schwer oder gar nicht zu bestimmen ist;
- Kontinuierliche Einleitungen
 - Kontinuierliche Einleitungen aus verschiedenen nicht kontrollierbaren Quellen, die durch die nukleare Belüftung auftreten;

- Jod-Tests
 - Einleitungen von I-131 bei Jodtests. Alle Kohlenstofffilter werden periodisch mit radioaktivem Jod, nämlich I-131, getestet.

Tabelle 87 zeigt die Einleitungsgrenzwerte für das gesamte Gelände des KKW Tihange als jährliche Gesamtaktivität (für 12 gleitende Monate) für die verschiedenen Gruppen und/oder einzelnen Radionuklide. Der Betreiber muss der FANK auch jeden Monat eine Übersicht über die Einleitungen vorlegen. Darüber hinaus gibt es für die verschiedenen Blöcke spezifische Betriebsgrenzwerte für die Momentankonzentration der Einleitungen.

Tabelle 87: Atmosphärische Einleitungsgrenzwerte für das gesamte Gelände des KKW Tihange (Betriebsgenehmigung des KKW Tihange).

Art	Einleitungsgrenzwerte technische Spezifikationen
Edelgase	2.220 TBq
I-131	14.8 GBq
Aerosole (Beta-Gamma und Alpha)	111 GBq
Tritium	55,5 TBq

Es sei darauf hingewiesen, dass die Einleitung von Kohlenstoff-14 (^{14}C) und Argon-41 (^{41}Ar) nicht überwacht wird, da sie nur schwer zu messen ist und konservativ anhand der Reaktorleistung bestimmt wird. Obwohl nur Jod-131 überwacht und gemeldet wird, werden andere Jodisotope, insbesondere Jod-133 (^{133}I), aus den Jod-131-Messungen berechnet.

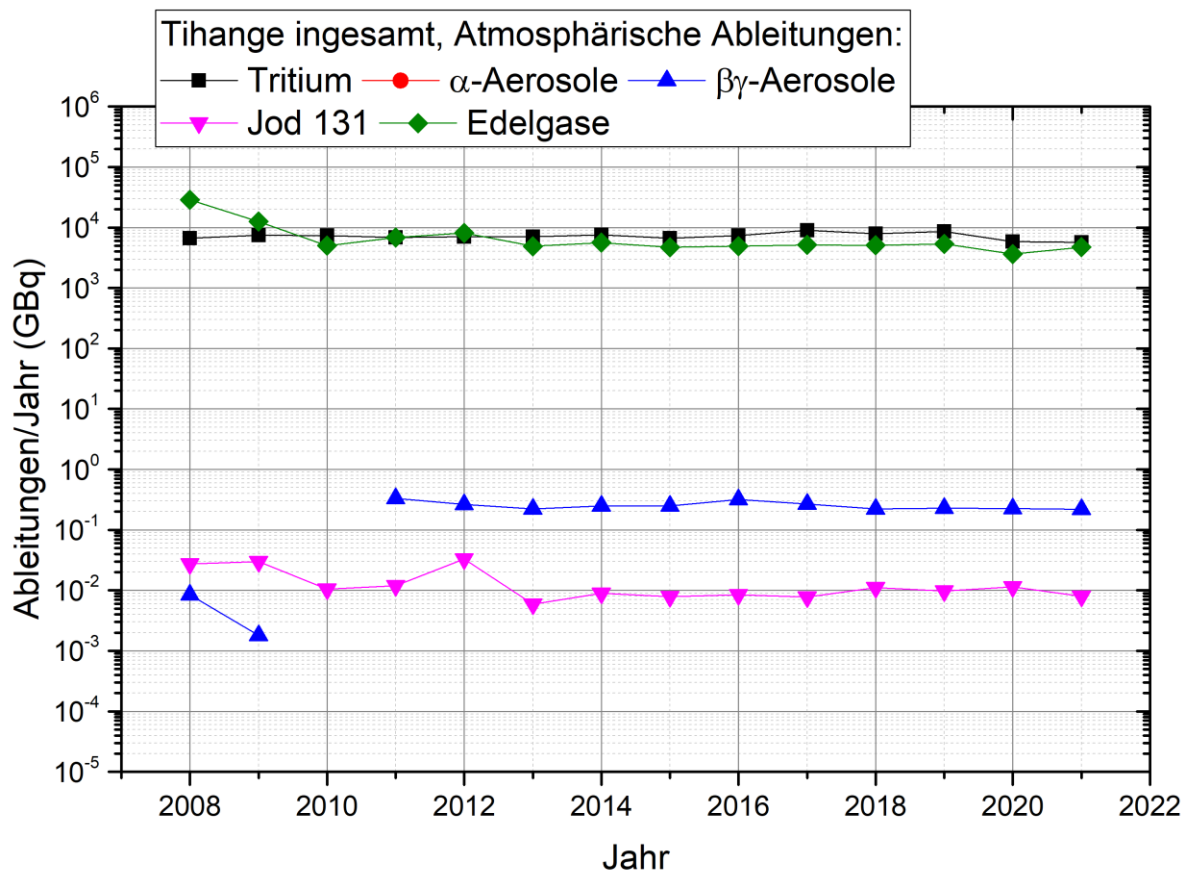


Abbildung 96: Gasförmige Einleitungen pro Jahr für das gesamte Gelände des KKW Tihange¹³⁴.

Die atmosphärischen Einleitungen pro Jahr für die verschiedenen Radionuklidgruppen, wie sie den Behörden gemeldet wurden und auch in der RADD-Datenbank der Europäischen Kommission (<https://europa.eu/radd/>) u.a. für die Jahre 2008-2021 wiedergegeben sind, sind in Abbildung 96 dargestellt. Bei diesen Einleitungen handelt es sich um die atmosphärischen Einleitungen für das gesamte Gelände des KKW Tihange. Sie sind auf einer logarithmischen Skala aufgetragen, da es große Unterschiede in den Einleitungen zwischen den verschiedenen Gruppen von Radionukliden gibt. Die ab 2011 scheinbar erhöhten Werte für Beta-Gamma-Aerosole sind auf eine neue Richtlinie zur Berichterstattung zurückzuführen¹³⁴. Jede abgeleitete Aktivität, die kleiner als die Nachweisgrenze der Messketten ist, wird konservativ mit 25 % der Nachweisgrenze in der Einleitung berechnet. Die Schwankungen (abgesehen von dem Sprung im Jahr 2011 für Beta-Gamma-Aerosole) bei den atmosphärischen Einleitungen pro Jahr sind auf Schwankungen im Betriebsregime der Reaktoren zurückzuführen. Der allgemeine Trend ist, dass die Einleitungen über einen längeren Zeitraum konstant sind.

Diese tatsächlichen atmosphärischen Einleitungswerte können mit den Einleitungsgrenzwerten gemäß der Betriebsgenehmigung des KKW Tihange verglichen werden (siehe Tabelle 87). Die Ergebnisse dieses Vergleichs finden sich in Abbildung 97 als Prozentsatz des Einleitungsgrenzwerts pro Gruppe und zwar für den Zeitraum von 2012-2021. Die tatsächlichen atmosphärischen Einleitungen betragen nur einen Bruchteil der Einleitungsgrenzwerte.

¹³⁴ Alle Informationen zu Einleitungen aus Anlagen der Klasse 1, zu denen auch das KKW Doel gehört, sind auf der FANK-Website zu finden: <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/etablissements-nucleaires-classe-i/surveillance-des-rejets-radioactifs-de-classe-i>

Für die meisten Gruppen liegt die Belastung mit Radionukliden deutlich unter 1 % der Einleitungsgrenzwerte. Bei Tritium sind dies etwa 13 % der Einleitungsgrenzwerte.

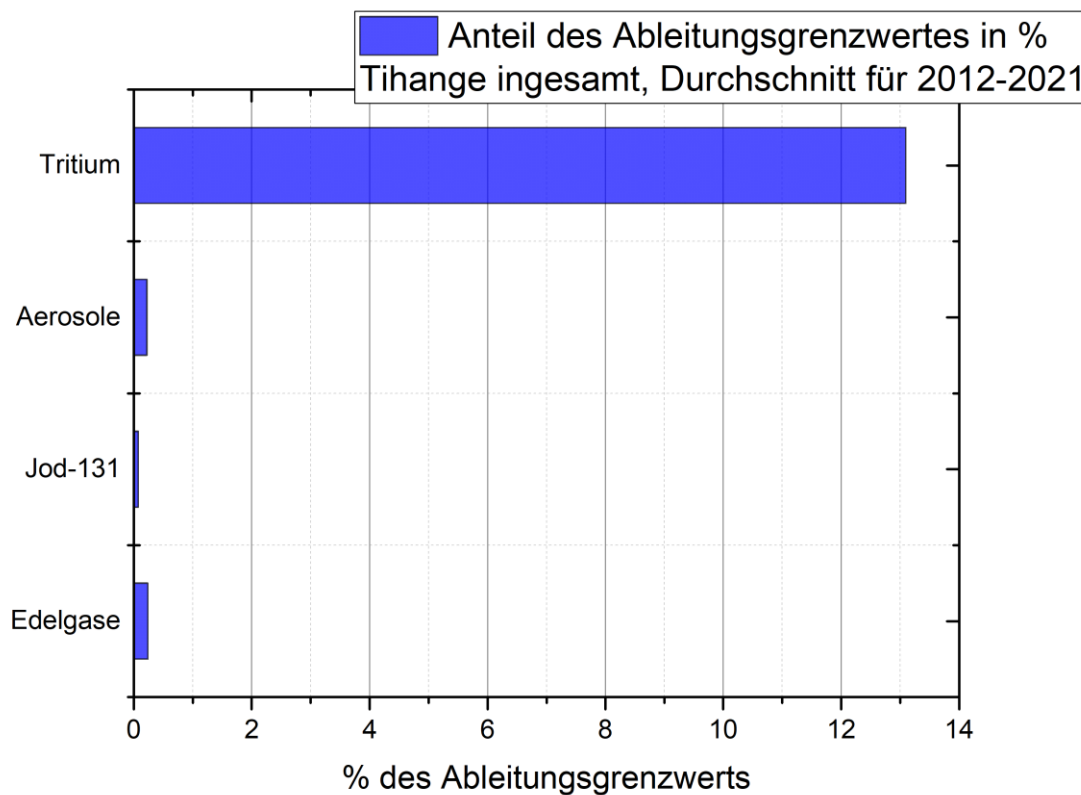


Abbildung 97: Einleitungen in Prozent des Einleitungsgrenzwerts für verschiedene Kategorien gasförmiger Einleitungen für das gesamte Gelände des KKW Tihange, gemittelt über 10 Jahre von 2012-2021.

Die Auswirkungen (Dosisbelastung) der gasförmigen Einleitungen werden im weiteren Verlauf zusammen mit denen der flüssigen Einleitungen analysiert. Abbildung 98 zeigt jedoch die Bedeutung von Kohlenstoff 14 (C-14) für die Dosis in den gesamten atmosphärischen Einleitungen für den Standort des KKW Tihange. Kohlenstoff 14, ebenfalls ein natürliches Radionuklid, macht mehr als 90 % der Dosisbelastung durch atmosphärische Einleitungen aus, und zwar für alle Altersgruppen.

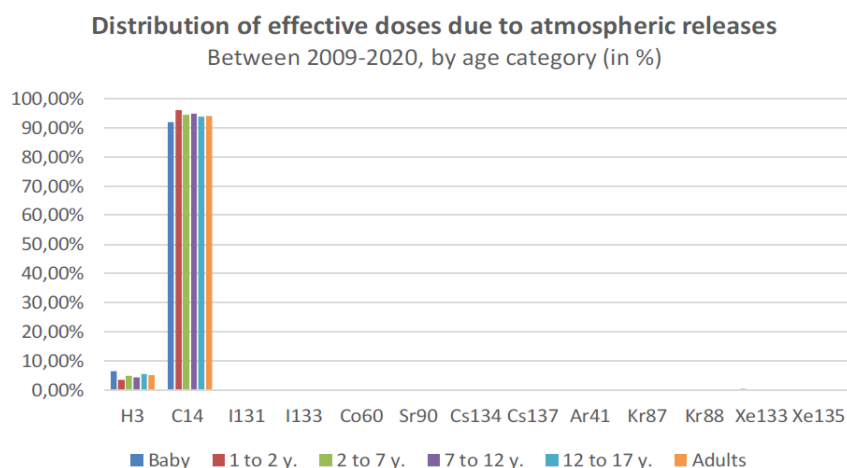


Abbildung 98: Verteilung der effektiven Dosis in Prozent für die Gesamtdosisbelastung durch gasförmige Einleitungen nach Altersgruppen und eingeleiteten Radionukliden für den Zeitraum 2009-2020^{boxxiii}.

Flüssige Einleitungen

Wie bei Doel 4 stammen die flüssigen radioaktiven Einleitungen hauptsächlich aus den Prozesskreisläufen, z. B. den Kreisläufen für die Behandlung des Primärkühlwassers in den Kernkraftwerken, und in geringerem Maße aus allen Arten von Abwässern, die bei der Dekontaminierung von Böden, Material in der nuklearen Zone usw. entstehen.

Die wichtigsten Radionuklide in den flüssigen Einleitungen sind die gleichen wie in Doel, insbesondere Tritium in Form von tritiiertem Wasser, Beta- und Gammastrahler, nämlich ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ^{110m}Ag, sowie Alphastrahler, vorwiegend ²⁴¹Am.

Die möglichen Auswirkungen der Einleitungen auf Mensch und Umwelt werden von der FANK durch eine regelmäßige Entnahme von Wasser-, Sediment-, Wasserpflanzen-, Fisch- und Krebstierproben sowie durch Messung der Radioaktivitätswerte bewertet (Berichte auf <https://fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>). Ergänzend zum FANK-Überwachungsprogramm gibt es seit 2012 auch im Kernkraftwerk Tihange ein begrenztes Überwachungsprogramm, das sich auf Bioindikatoren wie Wasserpflanzen und Moose konzentriert. Auch Boden- und Sedimentproben werden entnommen, da sich in ihnen Radionuklide anreichern können.

Die Einleitungen für das KKW Tihange liegen weit unter den in Tabelle 88 angegebenen Einleitungsgrenzwerten. Im Zeitraum 2014-2021 wurden am Standort weniger als 3 % des jährlichen Grenzwerts für Beta- und Gammastrahler eingeleitet (Abbildung 97). Die Tritumeinleitungen liegen ebenfalls unter dem jährlichen Grenzwert und betrugen im Zeitraum 2014-2021 durchschnittlich 25 % des jährlichen Grenzwertes. Bei den Alphastrahlern lagen die Einleitungen in diesem Zeitraum unter 0,2 % des Dosisgrenzwertes.

Die Einleitungen von Tritium und Beta-Gammastrahlern in die Maas bleiben im Zeitraum 2004-2021 nahezu stabil, während die Einleitungen von Alphastrahlern im Zeitraum 2011-2012 um den Faktor 400 ansteigen, bevor sie sich wieder stabilisieren (Abbildung 96). Die Tritumeinleitungen machen 99,9 % der abgeleiteten Aktivität aus (Tabelle 88) und leisten den Hauptbeitrag zur Dosis (Abbildung 97). Am Standort Tihange sind die primären Flüssigkeitseinleitungen am stärksten radioaktiv. Diese Abwässer werden jedoch mit „kalten“ Abwässern aus technischen Räumen und Gebäuden sowie mit Kondensatwasser aus Kühltürmen verdünnt. Auch wird durch Vorbehandlung im WAB-Gebäude die Radioaktivität reduziert. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse können keine radiologischen Probleme gemeldet werden.

Tabelle 88: Grenzwerte für die Einleitung von flüssigem Abwasser für das gesamte Gelände des KKW Tihange.

Radionuklide Kategorie	
Tritium	147 TBq/Jahr
Beta und Gamma (außer Tritium und gelöste Edelgase)	0,89 TBq/Jahr
Alphastrahler	2,2 GBq/Jahr

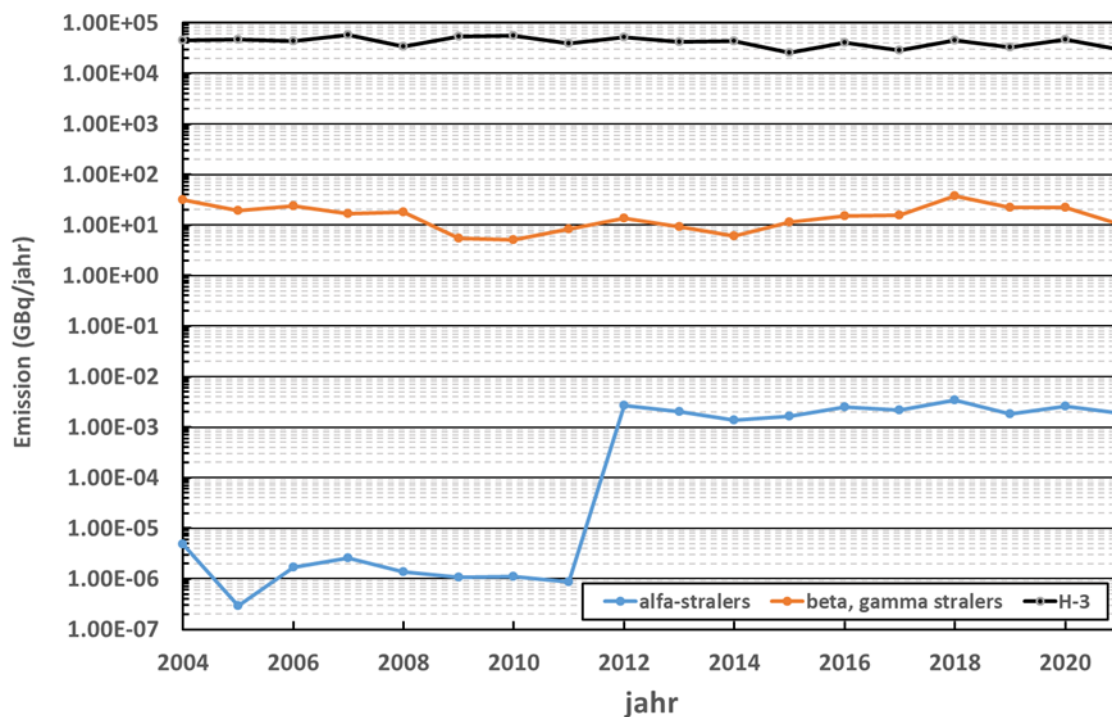


Abbildung 99: Entwicklung der Flüssigkeitseinleitungen aus dem Kernkraftwerk Tihange in die Maas für den Zeitraum 2004-2021.^{bvii}

Für die Berechnung der Dosis für die repräsentative Person aufgrund von Einleitungen in der Maas werden die folgenden Expositionspfade berücksichtigt;

- Interne Exposition durch:
 - Konsum von Flusswasser als Trinkwasser;
 - Verzehr von Fisch.
- Externe Exposition durch Aufenthalt am Ufer, Schifffahrt, Aufenthalt auf dem durch Baggersediment verunreinigten Boden.
- Nutzung des Flusswassers zur Bewässerung von Nahrungspflanzen, Gras und zum Tränken von Vieh.

Die Dosis für die repräsentative Person wurde ebenfalls für die 6 Alterskategorien berechnet, wobei die in der FANK-Richtlinie genannten Verbrauchswerte berücksichtigt wurdenⁱ. Wie bei der Dosisberechnung infolge der atmosphärischen Einleitungen wird von einer kritischen Person ausgegangen, die sich ständig am Ort der maximalen Dosisbelastung aufhält und ihrer Nahrung aus einem Gebiet bezieht, in dem der Eintrag der eingeleiteten Radionuklide maximal ist.

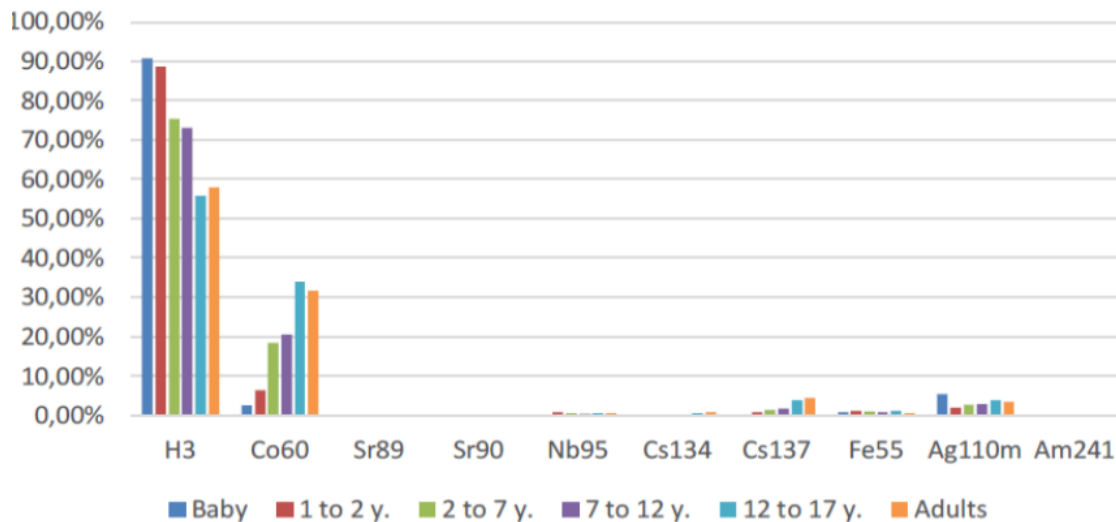


Abbildung 100: Verteilung der effektiven Dosis pro Radionuklid und Altersgruppe aufgrund von Flüssigkeitseinleitungen in die Maas.

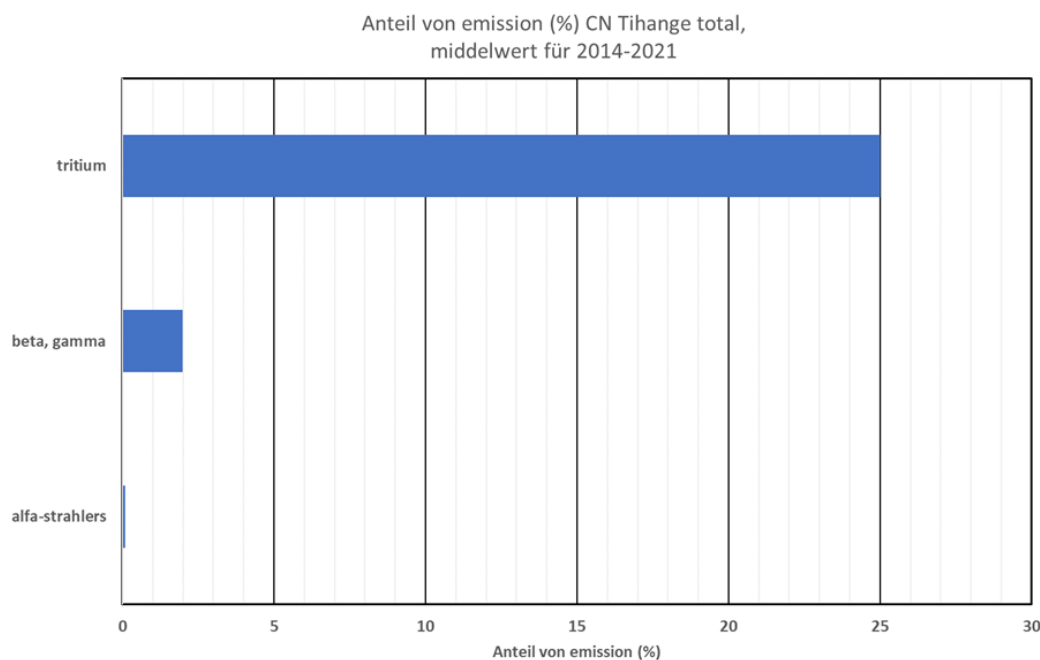


Abbildung 101: Flüssigkeitseinleitungen in % des Einleitungsgrenzwertes für Flüssigkeitseinleitungen in die Maas.

Messungen in der Umgebung

Die Umweltmessungen bestehen aus dem von der FANK organisierten Überwachungsprogramm und einem spezifischen Überwachungsprogramm des Betreibers. Darüber hinaus sind auch Ad-hoc-Messungen für die wissenschaftliche Forschung und/oder Übungen zur Notfallvorsorge möglich. Das von der FANK organisierte Überwachungsprogramm für das belgische Gebiet, das für das Gebiet von Doel und Tihange ähnlich ist, wurde bereits im Teil Methodik erörtert. Die Ergebnisse der kontinuierlichen Messungen (TELERAD) und Hubschraubermessungen wurden bereits in der Beschreibung der aktuellen Situation der direkten Strahlenexposition in der Umgebung des KKW Tihange genannt.

Bei den diskontinuierlichen Messungen (Probenahme und Analyse in Laboratorien) in der Umgebung des KKW Tihange werden die Radioaktivitätswerte von Feinstaub in der Luft, Deposition in Depositionsbehältern (trockene und nasse Deposition), Boden und Gras, Wasser und Sedimenten, Wasserpflanzen, Moos und Muscheln in der Nähe des KKW Tihange (flussabwärts) bestimmt. Die Proben werden als Vergleichspunkte flussaufwärts von Tihange in Andenne (und somit nicht von den Einleitungen betroffen) und flussabwärts bei Ampsin und Lixhe (belgisch-niederländische Grenze) genommen. Eine ausführliche Beschreibung dieses Programms (entnommene Proben, Häufigkeit, analysierte Radionuklide usw.) findet sich in den jährlichen Syntheseberichten, die seit 1996 auf der Website der FANK abrufbar sind^{lxv}. Einzelheiten zum Überwachungsprogramm der FANK in Verbindung mit dem KKW Tihange finden sich in Tabelle 89. Die Proben werden flussaufwärts und flussabwärts entnommen. Das Wasser der Maas wird nach Aufbereitung von einem großen Teil der belgischen und niederländischen Bevölkerung als Trinkwasser verwendet, weshalb die Probenahme und Analyse von Radionukliden recht umfangreich sind.

Tabelle 89: Überwachungsprogramm der FANK in der Umgebung des KKW Tihange.

Segment	Art der Messung	Frequenz
Atmosphäre – radioaktive Partikel in der Luft	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb Gesamt-Beta auf Papierfiltern nach 5 Tagen Zerfall	alle 4 Wochen täglich
Atmosphäre – Oberflächenablagerung (trocken und über Niederschlag)	Gammaspektrometrie (unbehandeltes Wasser): ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{131}I Beta insgesamt, Alpha insgesamt, ^3H , ^{90}Sr (gefiltertes Wasser) Beta insgesamt und Alpha insgesamt (Filterniederschlag)	alle 4 Wochen
Boden – Erde und Gras	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th	jährlich
Maas - Wasser	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{141-144}\text{Ce}$, $^{103-106}\text{Ru}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{226}Ra , ^{131}I Beta gesamt, Alpha gesamt, ^3H , ^{40}K , ^{90}Sr	zweiwöchentlich
Maas – Sedimente	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th	alle 4 Wochen
Maas flussabwärts - Wasserpflanzen, Moos, Muscheln (Andenne, Ampsin, Lixhe) –	Gammaspektrometrie: ^7Be , $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{40}K , $^{226-228}\text{Ra}$, ^{228}Th organisch ^3H	vierteljährlich
Abwässer (flüssige Einleitungen) aus der kerntechnischen Anlage	Gammaspektrometrie: ^7Be , ^{51}Cr , ^{55}Fe , ^{95}Nb , ^{95}Zr , $^{101-106}\text{Ru}$, $^{141-144}\text{Ce}$, ^{131}I , ^{113}Sn , $^{123\text{m}}\text{Te}$, $^{124-125}\text{Sb}$, $^{134-137}\text{Cs}$, $^{(57)-58-60}\text{Co}$, ^{54}Mn , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ Betaspektrometrie: ^3H	zweiwöchentlich

Zusätzlich zum Überwachungsprogramm des Gebiets, das von der FANK durchgeführt wird, organisiert der Betreiber des KKW Tihange sein eigenes Überwachungsprogramm, bestehend aus:

- Dosismessungen mithilfe von 18 Thermo-Lumineszenz-Detektoren (TLD), die am Rande des Geländes platziert sind (einer pro 20°-Sektor). Sie geben die integrierte Dosis durch externe Strahlung an;

- Ein Überwachungsprogramm ergänzend zum Programm der FANK, bei dem einmal jährlich Proben genommen und analysiert werden. Für das KKW Tihange läuft dieses Programm seit 2012. Dieses Programm hat eine begrenzte Frequenz in Bezug auf das Probenahmeprogramm, aber der Fokus liegt zum einen ganz auf künstlichen Radionukliden, die möglicherweise mit dem Betrieb des KKW Tihange in Verbindung stehen, und zum anderen werden spezifische Proben untersucht, wie die von Bioindikatoren, d. h. Organismen, die bestimmte Radionuklide besonders konzentrieren und es somit ermöglichen, eventuelle Entwicklungen über die Zeit zu verfolgen. Dieses Programm ist in Tabelle 90 für das Jahr 2021 aufgeführt. Das Programm wurde im Laufe der Jahre durch zusätzliche Standorte und einige zusätzliche Sedimentproben etwas erweitert. Auch an der Einleitungsstelle (O1 auf der Karte unten) werden nun Sedimentproben entnommen.

Tabelle 90: Überwachungsprogramm des Betreibers

Spezifische Probenahme	Ort und Häufigkeit	Spezifikationen der Messung
Bioindikator: Flechte (Moos) Boden Gras	Jährlich an 2 Standorten (S1 und S2) in dominanter Windrichtung und 1 Referenzstandort (Ref T)	Gammaskpektroskopie (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{60}Co , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$), ^3H , ^{14}C (Gras, Moos)
Aquatischer Bioindikator (Moos, Algen)	Jährlich an 2 Standorten S1, S4 (Wassermoos) und S5 (Algen) flussabwärts und 1 Referenzstandort (Ref A) flussaufwärts	Gammaskpektroskopie (^{134}Cs -en ^{137}Cs -, ^{131}I , ^{60}Co , ^{95}Nb -, $^{110\text{m}}\text{Ag}$), ^3H , ^{14}C
Sediment	Zweimal jährlich an 3 Standorten (O1, S1, S5) flussabwärts	Gammaskpektroskopie (^{134}Cs -en ^{137}Cs -, ^{131}I , ^{60}Co , ^{95}Nb -, $^{110\text{m}}\text{Ag}$),

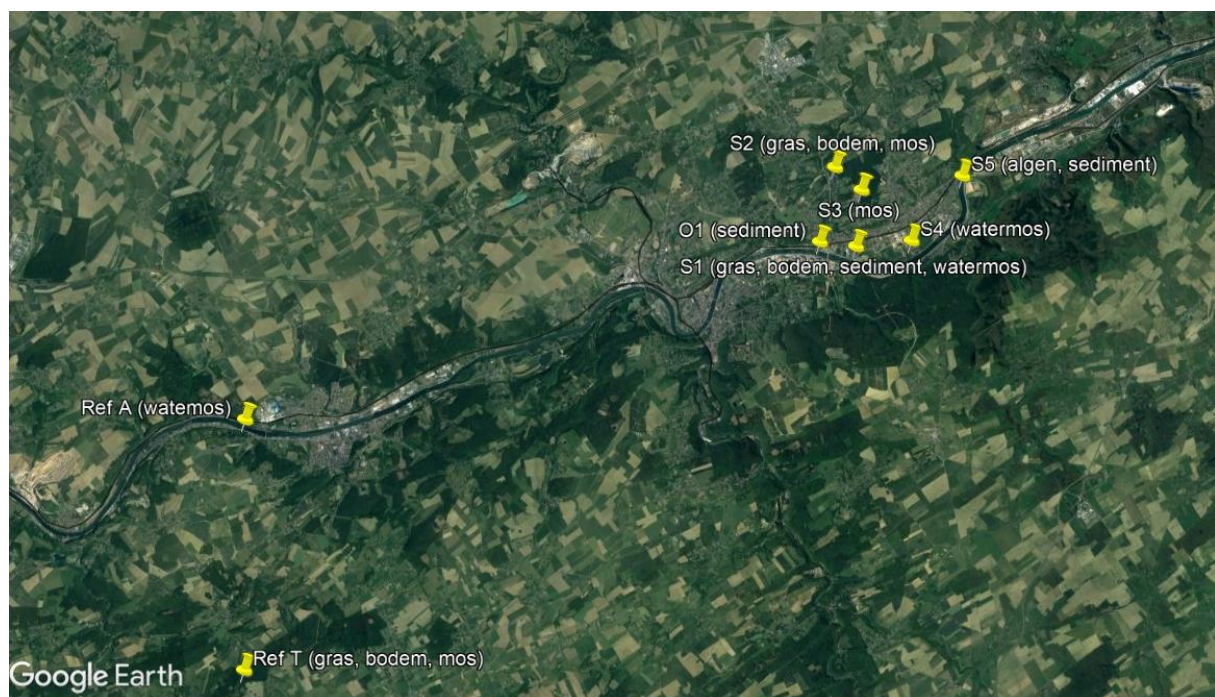


Abbildung 102: Standorte der Probenahmen für das Zusatzprogramm des Betreibers des KKW Tihange (Bezeichnungen siehe Tabelle 90, Hintergrundkarte: Google Earth Map).

Das diskontinuierliche Programm, das durch Probenahme und Laboranalyse eine höhere Empfindlichkeit für die Erkennung von potentiellen künstlichen Radionukliden um das KKW Tihange, wie für Doel hat, zeigt:

- in erster Linie das große Übergewicht der natürlichen Radioaktivität (vorwiegend ^{40}K);
- bezüglich der künstlichen Radioaktivität, dass Spuren von Cs-137 im Boden gemessen werden können (3,8 Bq/kg im Jahr 2021¹³⁵), die fast ausschließlich auf den Unfall von Tschernobyl und auf den Fallout der Atomtests in der Atmosphäre zurückzuführen sind (die in den 1960er Jahren ihren Höhepunkt erreichten). Die im Gebiet von Tihange gemessenen Konzentrationen sind durchschnittlich für die in Belgien. Aufgrund der unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen (Regen) beim Vorbeiziehen der radioaktiven Wolke nach dem Tschernobyl-Unfall können in Belgien räumliche Unterschiede beobachtet werden.
- dass die künstlichen transuranischen Alpha-Strahler (Pu und Am) ihrerseits nicht messbar sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Kernkraftwerk Tihange weder signifikante messbare radiologische Auswirkung auf die Umwelt durch atmosphärische Einleitungen noch signifikante messbare radiologische Auswirkungen auf die Maas hat. Eine Analyse der Messergebnisse in der Umgebung des KKW Tihange ist immer repräsentativ für alle Aktivitäten auf dem Gelände. Die Auswirkungen des Reaktors Tihange 3 werden geringer sein. Dies bedeutet, dass die Schlussfolgerungen für den gesamten Standort insbesondere für den Betrieb von Tihange 3 gelten.

Auswirkungen auf den Menschen

Der aktuelle radiologische Status und die Auswirkungen der Aktivitäten des Geländes des KKW Tihange sind durch die Kombination aus Überwachung der Einleitungen in Verbindung mit Dosiswirkungsberechnungen und der Überwachung der Radioaktivität und Strahlung in der Umgebung des KKW Tihange sehr gut charakterisiert.

Einerseits können wir die radiologischen Auswirkungen der genehmigten Einleitungsgrenzwerte für das KKW Tihange als Ganzes (3 Reaktorblöcke¹³⁶ und die gesamte dazugehörige Infrastruktur) für die gasförmigen und flüssigen Einleitungen betrachten. Die konservativ geschätzte Dosis gemäß der in Abschnitt 2.3.3.3 beschriebenen Methodik ist in Tabelle 91 angegeben. Es handelt sich um die effektive Dosis pro Jahr für eine repräsentative Person nach Altersgruppe. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, dass eine repräsentative Person, die am stärksten exponierte Person ist, eine Person, die sich u. a. ständig (das ganze Jahr über) in der Nähe des Standortes aufhält, an dem die Belastung am höchsten ist, und die nur Lebensmittel verzehrt, die in der Nähe des Kernkraftwerks erzeugt werden. Die maximale effektive Dosis pro Jahr aus gasförmigen und flüssigen Einleitungen, die den Einleitungsgrenzwerten pro Jahr entspricht, beträgt etwa 0,22 mSv für die kritische Person, insbesondere die repräsentative Person der Altersgruppe mit der höchsten Dosis. Dieser Wert gilt für Jugendliche; für alle anderen Altersgruppen wird eine niedrigere wirksame Dosis festgestellt. Dies liegt deutlich unter dem Grenzwert für die effektive Dosis für die Bevölkerung von 1 mSv/Jahr. Es zeigt sich, dass bei den Einleitungsgrenzwerten die effektive Dosis pro Altersgruppe aufgrund von Flüssigkeitseinleitungen besonders stark schwankt, was hauptsächlich mit der Ernährung zusammenhängt.

¹³⁵ Radiologische Überwachung der näheren Umgebung des Kernkraftwerks Tihange. Ergebnisse der Überwachungskampagne 2021. IRE-Bericht, 2021

¹³⁶ Da am Standort des KKW Tihange bis zum 31. Januar 2023 drei Reaktoren in Betrieb waren und uns nur Daten von vor der endgültigen Abschaltung von Tihange 2 vorliegen, betrachten wir hier das KKW Tihange mit drei in Betrieb befindlichen Blöcken.

Tabelle 91: Effektive Dosis pro Jahr für die kritische Person nach Alterskategorie der Person aufgrund von gasförmigen, flüssigen und totalen Einleitungen entsprechend den aktuellen Einleitungsgrenzwerten für den gesamten Standort des KKW Tihange.

Effektive Dosis in mSv/Jahr für die Grenzwerte für gasförmige und flüssige Einleitungen; Standort KKW Tihange für die verschiedenen Alterskategorien, die maximale effektive Gesamtdosis ist fett gedruckt,						
	Baby	1 bis 2 Jahre	2 bis 7 Jahre	7 bis 12 Jahre	Teenager (12-17 Jahre)	Erwachsene (> 17)
Atmosphärisch	0,134	0,185	0,145	0,132	0,143	0,130
Flüssig	0,014	0,017	0,050	0,042	0,077	0,081
Insgesamt	0,148	0,202	0,195	0,174	0,220	0,211

Wie wir bereits beschrieben haben, liegen die tatsächlichen gasförmigen und flüssigen Einleitungen weit unter den Einleitungsgrenzwerten, und die tatsächliche Dosis, die eine kritische Person durch den Betrieb des gesamten KKW Tihange erhält, ist viel geringer. Die effektive Dosis pro Jahr (gemittelt über die Jahre 2012-2021) für eine kritische Person der verschiedenen Alterskategorien für die realen gasförmigen und flüssigen Einleitungen ist in Tabelle 92 zu finden. Die höchste effektive Dosis, die für die realen Einleitungen gefunden wurde, beträgt etwa 0,045 mSv/Jahr, das kritische Individuum ist jetzt im Altersbereich von 1 bis 2 Jahren. Wir sehen, dass die Dosis hauptsächlich auf atmosphärische Einleitungen zurückzuführen ist. Für den Zeitraum 2009 bis 2020 stammt die effektive Gesamtdosis zu mehr als 90 % aus der Einleitung von Kohlenstoff -14.

Tabelle 92: Effektive Dosis KKW Tihange in mSv/Jahr für die realen gasförmigen und flüssigen Einleitungen.

Effektive Dosis KKW Tihange in mSv/Jahr für reale gasförmige und flüssige Einleitungen für den Zeitraum 2009-2020 für die verschiedenen Alterskategorien. Die Gesamtmenge ist ebenfalls angegeben, und die maximal wirksame Dosis ist fett gedruckt.						
	Baby	1 bis 2 Jahre	2 bis 7 Jahre	7 bis 12 Jahre	Teenager	Erwachsene
Atmosphärisch	0,0125	0,0427	0,0283	0,0224	0,0219	0,0209
Flüssig	0,0011	0,0022	0,0017	0,0014	0,0016	0,0016
Insgesamt	0,0136	0,0449	0,0300	0,0238	0,0235	0,0225

Betrachtet man die Entwicklung der effektiven Dosis für die kritische Person aufgrund der gasförmigen und flüssigen Entladungen, wie sie der FANK gemeldet wurde, so stellt man fest, dass sie ziemlich konstant um den oben genannten Wert von 0,045 mSv/a bleibt (Abbildung 103). In den Jahren 2020 und 2021 ist jedoch ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen. Dieser ist darauf zurückzuführen, dass seit 2019 Kohlenstoff-14 direkt mit einem Molekularsieb direkt am Kamin von Tihange 2 gemessen wird, in dem der Kohlenstoff-14 gestuft wird. Die gemessenen Werte sind deutlich niedriger als die durch Berechnungen ermittelten. Für die Analysen ab 2020 wurden daher für Tihange 2 und Tihange 3 (ähnlich wie bei Tihange 2) die gemessenen Werte für Kohlenstoff-14 verwendet, während für Tihange 1 weiterhin die berechneten (und damit höheren) Werte verwendet werden. Durch die Verwendung der tatsächlich gemessenen Werte für Kohlenstoff-14 sind die effektiven Dosen in den Jahren 2020 und 2021 also deutlich niedriger und im Vergleich zur Vergangenheit etwas weniger konservativ. Ab 2019 wurden in Tihange 2 auch Messungen von gasförmigem Tritium durchgeführt. Die Messungen schienen ebenfalls deutlich niedrigere Werte zu ergeben als die zuvor konservativ ermittelten Werte. Für 2020 und 2021 wurden die Ergebnisse dieser Tritiummessungen auch bei der Bestimmung der effektiven Dosis für Tihange 2 und Tihange 3 verwendet, für Tihange 1 wurden wie bei der Analyse für Kohlenstoff 14 konservativ berechnete Werte angenommen. Tritium hat jedoch im Vergleich zu Kohlenstoff 14 einen viel geringeren Einfluss auf die effektive Gesamtdosis.

Die Berechnungen auf der Grundlage von Überwachungseinleitungen zeigen somit eine maximale Auswirkung, d. h. eine effektive Dosisbelastung für die kritische Person von etwa 0,045 mSv/Jahr^{xxxvi}, wenn wir konservativ berechnete Werte für Kohlenstoff-14 berücksichtigen, und eher von etwa oder unter 0,030 mSv/Jahr, wenn wir gemessene Werte für Kohlenstoff-14-Einleitungen für die Blöcke Tihange 2 und Tihange 3 verwenden. Diese konservativ berechnete effektive Dosis für die am stärksten exponierte Person ist mindestens 4,8- bis 7,3-mal (je nach verwendetem Kohlenstoffwert) niedriger als die Dosis gemäß den Einleitungsgrenzwerten für das KKW Tihange und 22- bis 33-mal niedriger als der Dosisgrenzwert für die Öffentlichkeit, der 1 mSv/Jahr beträgt. Dies zeigt auch, dass das Konzept der Dosisoptimierung für die Exposition der Bevölkerung, eine der Säulen des Strahlenschutzes, die in Abschnitt 2.3.2 erörtert wird, beim Betrieb des KKW Tihange angewandt wird.

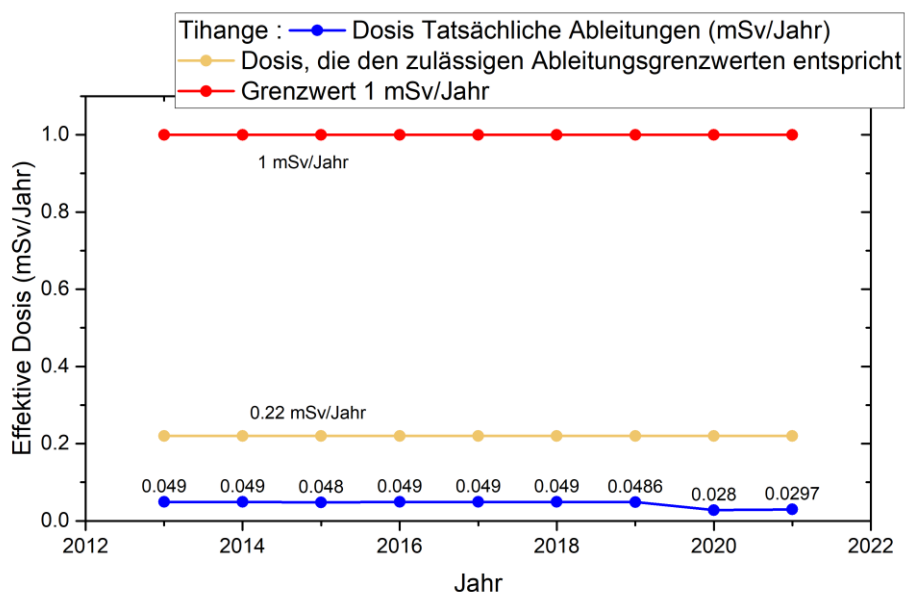


Abbildung 103: Effektive Dosis für das kritischste Individuum in der Umgebung des KKW Tihange, berechnet aus gemeldeten tatsächlichen Einleitungen^{xxxvii}. Zum Vergleich sind der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung und die den Einleitungsgrenzwerten entsprechende Dosis angegeben.

Auch die Überwachung der Umgebung zeigt, dass das KKW Tihange keine messbaren radiologischen Auswirkungen auf seine Umgebung hat. Die Exposition in der Umgebung von Tihange wird daher wie in anderen Teilen des Landes vollständig von der Exposition gegenüber natürlicher Radioaktivität dominiert. Folglich ist auch die Exposition durch radioaktive Einleitungen viel kleiner als die lokalen räumlichen Schwankungen der natürlichen Radioaktivität und Exposition. Der sehr begrenzte Beitrag künstlicher oder vom Menschen verursachter Radioaktivität in der Umgebung des KKW Tihange stammt hauptsächlich aus dem radioaktiven Fallout der oberirdischen Atombombentests (1950-60) und dem Tschernobyl-Unfall (1986).

Auswirkungen auf die biologische Vielfalt (Fauna und Flora)

Von den Radionukliden, insbesondere ^{60}Co , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs die in der zusätzlichen Überwachungskampagne der Electrabel AG berücksichtigt werden, liegen nur die ^{60}Co -, $^{110\text{m}}\text{Ag}$ - und ^{137}Cs -Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze. Die gemessenen Konzentrationen im Flusssediment sind niedrig. Für ^{137}Cs beträgt die Konzentration im Flusssediment 7,4 Bq/kg dw (Trockengewicht) und entspricht damit dem Durchschnittswert des FANK-Überwachungsprogramms von 9,4 Bq/kg dw. Für ^{60}Co bzw. $^{110\text{m}}\text{Ag}$ beträgt die Konzentration im Sediment 18,1 Bq/kg dw und 6,6 Bq/kg dw im Flusssediment im Jahr 2019. Für die Flora (Gräser und Moose) werden zusätzlich die Konzentrationen der Radionuklide ^3H und ^{14}C gemessen. Nur ^{14}C und ^{137}Cs sind in diesen Pflanzen messbar (Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze). Die Konzentrationen in Moosen (Bioindikator) sind höher als die in Gras. Für ^{137}Cs liegt die Höchstkonzentration bei 10,1 Bq/kg dw und für ^{14}C bei

0,82 Bq/kg dw im Jahr 2018. Die ^{137}Cs -Konzentration ist auch in Böden messbar und erreichte im Jahr 2018 einen Höchstwert von 28 Bq/kg dw.

Im Jahr 2013 wurde eine umfassende Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt, um die Auswirkungen von atmosphärischen und flüssigen Einleitungen auf Fauna und Flora zu bewerten. Für den Standort Tihange wurden häufig vorkommende Referenzorganismen ausgewählt und die Auswirkungen der tatsächlichen Einleitungen und der Einleitungsgrenzwerte auf diese Organismen mit Hilfe des ERICA-Bewertungstools berechnet. Es zeigte sich, dass die Dosisleistungswerte selbst bei den Einleitungsgrenzwerten deutlich unter dem Schwellenwert von $10\text{ }\mu\text{Gy/h}$ liegen, unterhalb dessen keine schädlichen Auswirkungen auftreten. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass die derzeitigen Einleitungsgrenzwerte für die untersuchten belgischen Kernkraftwerke nicht zu schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt führen. Auch die Messergebnisse aus dem Überwachungsprogramm der FANK und des Betreibers in der Umgebung des KKW Doel führen zu denselben Schlussfolgerungen.

7.1.2 Auswirkungen, falls Tihange 3 nicht weiterbetrieben wird

Der Block Tihange 3 ist derzeit bis spätestens 1. September 2025 für die industrielle Stromerzeugung zugelassen. Im Falle einer Nichterneuerung (Deaktivierung, endgültige Abschaltung) wird nach dem derzeitigen Zeitplan nur der Block Tihange 1 am Standort des KKW Tihange noch bis spätestens 1. Oktober 2025 (einen Monat später) für die industrielle Stromerzeugung in Betrieb sein. Tihange 2 wurde in der Nacht vom 31. Januar auf den 1. Februar 2023 endgültig abgeschaltet und wird sich somit bereits 2025 für zwei Jahre in der Nachbetriebsphase befinden. Folglich können wir im Falle einer Nichtverlängerung des Betriebs von Tihange 3 die Situation nach 2025 betrachten, wenn sich alle Reaktoren in der Nachbetriebsphase befinden. Die unmittelbar mit dem Betrieb der Reaktoren verbundenen Einleitungen (z. B. die Produktion von Kohlenstoff 14) werden eliminiert, Kohlenstoff 14 trägt auch am meisten zur Dosis der gasförmigen und flüssigen Einleitungen bei. Andererseits werden bestimmte gasförmige und flüssige Einleitungen auch in der Nachbetriebsphase fortbestehen. Über Mengen und Auswirkungen auf die Dosis liegen nur relativ wenig Informationen vor. Einerseits können wir uns ansehen, was theoretisch zu erwarten ist:

- Flüssiges Tritium: Die Tritiumproduktion ist mit der Erzeugung von Kernkraft verbunden, ein theoretischer Rückgang auf praktisch Null ist möglich, aber angesichts der langen Halbwertszeit sind Restmengen möglich;
- Flüssige Beta-Gamma-Radionuklide: Theoretisch kann mit einer Verringerung der Einleitungen gerechnet werden, wobei Resteinleitungen aus den POP verschiedener Anlagen bestehen können;
- Edelgase: Es ist ein theoretischer Rückgang auf praktisch Null zu erwarten, da Edelgase Spaltprodukte sind, die nicht mehr erzeugt werden. Die historischen Daten zeigen einen leichten Rückgang der Edelgasemissionen in den Jahren, in denen weniger Strom produziert wird (MWh-Defizit);
- Jod: Theoretischer Rückgang auf praktisch Null nach dem Produktionsstopp, aber dieser Rückgang wird teilweise durch Jodrückstände im Brennstoffbad ausgeglichen, und es gibt auch die Tests der Filter. Mit anderen Worten: Es ist ein Rückgang zu erwarten;
- Aerosole: Es werden keine eindeutigen Auswirkungen erwartet; auf der Grundlage der in der Vergangenheit gemeldeten Werte ist klar, dass die gemeldeten Werte hauptsächlich auf den Nachweisgrenzen und nicht ausschließlich auf den tatsächlichen Einleitungen beruhen; aufgrund dieser Nachweisgrenzen wird die Größenordnung der Einleitungen gleich bleiben. Ein begrenzter Anstieg in Abhängigkeit von den POP-Aktivitäten kann nicht völlig ausgeschlossen werden;
- Tritium (Gas): Ein Rückgang ist zu erwarten;
- Kohlenstoff-14: abhängig von der Produktion, daher sollte die Produktion von Kohlenstoff-14 praktisch auf Null sinken.

Andererseits können effektive Erfahrungen mit der postoperativen Phase im Ausland berücksichtigt werden (sie sind jedoch eher begrenzt). Ausgehend von den Erfahrungen in Deutschland kann geschätzt werden, dass die Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen infolge der Abschaltung eines Reaktorblocks im ersten Jahr nach der Abschaltung auf 25 % des Niveaus beim Betrieb und in den folgenden Jahren weiter auf etwa 10 % abfällt (Daten liegen bis zu 7 Jahre nach der endgültigen Abschaltung vor). Auf der Grundlage dieser Informationen kann konservativ geschätzt werden, dass die effektive Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen für das gesamte

Gelände des KKW Tihange im Falle einer Nichterneuerung von Tihange 3, d. h. wenn keine Reaktoren mehr in Betrieb sind, auf einen Wert von **unter 0,01 mSv/Jahr** und in den Folgejahren (wir betrachten einen Zeitraum von 10 Jahren) **weiter auf unter 0,005 mSv/Jahr sinken wird.**

7.1.3 Auswirkungen eines Weiterbetriebs von Tihange 3 für 10 Jahre über das Jahr 2025 hinaus (Das Projekt)

Die gasförmigen und flüssigen Einleitungen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Tihange 3 werden während der Erweiterung auf einem ähnlichen Niveau wie heute bleiben, da wir davon ausgehen, dass der Reaktor mit derselben Leistung betrieben wird und dass alle gasförmigen und flüssigen Einleitungen auf dieselbe Weise behandelt werden, wenn Tihange 3 erweitert wird. Eine konservative Schätzung der effektiven Dosis aus dem Betrieb von Tihange 3 ergibt **0,01 mSv/Jahr, und dieser Wert bleibt über die 10 Jahre des erweiterten Betriebs konstant.** Dies ist nach wie vor hauptsächlich auf die gasförmigen Kohlenstoff-14-Einleitungen zurückzuführen, die direkt mit der Reaktorleistung (Tihange 3) zusammenhängen. Für das gesamte Gelände des KKW Tihange müssen wir nun zusätzlich zum Betrieb von Tihange 3 die Einleitungen in der Nachbetriebsphase berücksichtigen, wie wir sie im vorherigen Abschnitt für die Null-Alternative, d. h. die Nichtverlängerung, geschätzt haben. Tabelle 93 fasst die effektive Dosis aus dem Betrieb von Tihange 3 und für den gesamten Standort des KKW Tihange bei Verlängerung sowie im Fall der Nicht-Verlängerung des Betriebs zusammen.

Tabelle 93: Effektive Dosis aus gasförmigen und flüssigen Einleitungen, konservativ geschätzt für kritische Personen bei Normalbetrieb für das Projekt. Die angegebene Spanne der effektiven Dosis für den gesamten Standort ist die zeitliche Entwicklung über einen Zeitraum von 10 Jahren, die auf Erfahrungen aus der Nachbetriebsphase von Reaktoren in Deutschland beruht.

	Konservativ geschätzte effektive Dosis kritischer Personen gasförmige und flüssige Einleitungen
Betrieb Tihange 3	0,010 mSv/Jahr
Gesamtes Gelände des KKW Tihange bei Weiterbetrieb von Tihange 3	0,020-0,015 mSv/Jahr
Gesamtes Gelände des KKW Tihange bei Nicht-Verlängerung des Betriebs von Tihange 3 (alle Reaktoren außer Betrieb)	0,010-0,005 mSv/Jahr*
Unterschied zwischen Projekt und Null-Alternative	0,010 mSv/Jahr voor 10 jaar

*Dieser Dosisbereich ist auch repräsentativ für eine konservative Schätzung der effektiven Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen für den gesamten Standort in der Nachbetriebsphase von Tihange 3 nach 10 Jahren Erweiterung.

Folglich liegt die geschätzte effektive Dosis des Projekts weit unter der derzeitigen Betriebsgenehmigung und auch weit (Faktor 100) unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr. Um diese Dosis zu relativieren, können wir sie mit einer natürlichen Exposition vergleichen. Eine effektive Dosis von 0,01 mSv entspricht der zusätzlichen Dosis, die eine Person durch erhöhte kosmische Strahlung auf einem 5-stündigen Linienflug (in 10 km Höhe) erhält. Folglich ist die effektive Dosis im normalen Betrieb des Projekts eine triviale Auswirkung.

7.2 Unfallbedingte Einleitungen

In Anbetracht der Ähnlichkeit der für Doel 4 und Tihange 3 betrachteten Unfälle wird eine Beschreibung dieser Unfälle und der Methode zur Berechnung der Auswirkungen in Kapitel 2 ausführlich dargestellt. Hier stellen wir die Ergebnisse der Folgenabschätzung vor und diskutieren die Ergebnisse.

7.2.1 Auslegungsstörfall

Die radiologischen Auswirkungen der beiden betrachteten Auslegungsstörfälle, d. h. eines LOCA und einer FHA, wurden auf der Grundlage der allgemeinen Angaben gemäß Artikel 37 des Euratom-Vertrags und der Tihange-3-Sicherheitsaktyr bewertet. Darüber hinaus wurde auch eine Analyse auf der Grundlage einer Tractebel-Studie¹³⁷ gemäß den FANK/Bel-V-Richtlinien 2017 für neue Anlagen der Klasse 1 durchgeführt. Die letztgenannte Analyse ist streng genommen für Tihange 3 nicht anwendbar, da es sich um die Verlängerung der Lebensdauer einer bestehenden Anlage der Klasse 1 handelt. Neben den Folgen der atmosphärischen Einleitungen aufgrund der für Tihange 3 in Betracht gezogenen Unfälle ermöglicht diese Analyse auch eine Bewertung der längerfristigen Folgen für Mensch, Nahrungskette und Umwelt. Wir verwenden auch die Mengen an Radioaktivität, die bei dieser Analyse in die Atmosphäre abgegeben werden, den so genannten Quell-Term, um die Auswirkungen auf die Nachbarländer zu berechnen.

Bei einem LOCA-Unfall wird davon ausgegangen, dass 25 % des nuklearen Jodinventars und 100 % der Edelgase im Reaktorgebäude freigesetzt werden. 91 % des Jods liegen in elementarer (molekularer) Form vor, 5 % in Form von Aerosolen und die restlichen 4 % in elementarer Form. Die Edelgaskonzentration wird durch den radioaktiven Zerfall und die Leckrate des Reaktorgebäudes bestimmt. Die Jodkonzentration wird auch durch den radioaktiven Zerfall und die Leckagerate sowie durch die Sicherheitsinjektion (Berieselung) und die Rezirkulation zur Kühlung bestimmt (siehe Abschnitt 2.3.4.1). Bei diesem Szenario werden begrenzte Mengen von Beta(-Gamma)-Aerosolen eingeleitet. Die Einleitung in die Umwelt wird für 30 Tage berücksichtigt.

Beim **FHA-Unfall** wird davon ausgegangen, dass 30 % der Aktivität von Kr-85 im Zwischenraum zwischen Hülle und abgebrannten Brennelementen und 10 % der anderen Radionuklide aus den Brennelementen freigesetzt werden, wobei 99,75 % des Jods in elementarer Form und 0,25 % in organischer Form vorliegen. Außerdem wird ein Dekontaminationsfaktor von 133 für molekulares Jod und 1 für organisch gebundenes Jod aus dem Spaltstofflagerbecken (Wasser) in das Gebäude berücksichtigt. Für die Einleitung in die Atmosphäre über den Schornstein wird angenommen, dass die Filter mit einem Wirkungsgrad von 90 % für molekulares Jod und 70 % für organisches Jod arbeiten. Es wird von einer Einleitungszeit von 2 Stunden ausgegangen.

Obwohl es sich um sehr ähnliche Reaktoren handelt, gibt es Unterschiede bei der Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt zwischen Doel 4 und Tihange 3. Diese hängen mit Unterschieden in der Konstruktion zusammen. Das Reaktorgebäude von Tihange 3 ist größer, und damit auch die Leckrate der Primärhülle. Es gibt auch Unterschiede in den Einleitungseigenschaften, einschließlich der Schornsteinhöhen für beide Reaktoren.

Die Ergebnisse der beiden Analysen für die Folgen bei den betrachteten Unfällen sind in Tabelle 94 aufgeführt. Beide Analysen zeigen die effektive Dosis aufgrund des Vorbeiziehens der radioaktiven Wolke, einschließlich der damit verbundenen Inhalation von Radioaktivität, und die Schilddrüsen-Äquivalentdosis aufgrund der Inhalation von radioaktivem Jod für die kritische Person.

¹³⁷ CNT3: S2 – Radiological consequences of a Loss Of Coolant Accident and a Fuel Handling Accident, 2020 CNT-KCD/4NT/0029611/000/01 Tractebel Engineering AG.

Tabelle 94: Maximale effektive Dosis und Schilddrüsen-Äquivalentdosis außerhalb der Standortgrenze des KKW Tihange, die sich aus dem Auftreten eines LOCA und einer FHA für Tihange 34 ergeben, im Vergleich zu den in den allgemeinen Angaben nach Artikel 37 des Euratom-Vertrags beschriebenen Dosisgrenzwerten, die Bestandteil der Genehmigung sind, in mSv. Zur Information sind auch die Ergebnisse einer Folgenabschätzung gemäß den Leitlinien für neue Anlagen der Klasse 1 beigefügt.

Sicherheitsdossier Tihange 3			Analyse gemäß den Leitlinien für neue Anlagen der Klasse 1	
	Dosis	Grenzwert	Dosis	Kriterium
Effektive Dosis				
LOCA	5 mSv	5,8 mSv	0,89 mSv	5 mSv
FHA	1,16 mSv	5,8 mSv	0,35 mSv	5 mSv
Schilddrüsen-Äquivalentdosis				
LOCA	4,91 mSv	85,5 mSv	1,45 mSv	10 mSv
FHA	22,5 mSv	85,5 mSv	4,95 mSv	10 mSv

Die obige Tabelle zeigt, dass die **effektiven Dosen und die Schilddrüsen-Äquivalentdosen, die sich aus den beiden Auslegungsstörfällen für Tihange 3 ergeben, innerhalb der festgelegten Grenzwerte liegen**. Die Analyse gemäß den Leitlinien für neue Anlagen der Klasse 1 ergibt niedrigere effektive Dosen und gleichwertige Anforderungen an die Schilddrüsendosen, was darauf zurückzuführen ist, dass für die Schätzung dieser Dosen im Sicherheitsdossier eine konservative Analyse und für neue Anlagen der Klasse 1 eine geringere, aber immer noch konservative Schätzung verwendet wurde. Alle nach den neuen Richtlinien berechneten Dosen für Anlagen der Klasse 1 liegen ebenfalls unter dem dafür festgelegten Dosiskriterium. Diese Angaben dienen nur zu Informationszwecken. Die geschätzten Dosen sind niedriger als die für Doel 4, was zum Teil auf den höheren Schornstein zurückzuführen ist, bei dem die maximale Radionuklidkonzentration in Bodennähe in größerer Entfernung von der Einleitungsstelle liegt. Die Werte in der obigen Tabelle entsprechen also der Analyse für neue Anlagen der Klasse 1 in einer Entfernung von 1000 m, da dort die effektive Dosis der vorbeiziehenden Wolke, einschließlich der Inhalation, höhere Werte ergibt als am Rande des Standorts (200 m). Folglich wären nach der jüngsten Analyse direkte Schutzmaßnahmen wie Schutzmaßnahmen (5 mSv effektive Dosis in 24 Stunden) oder die Einnahme von stabilem Jod (10 mSv Schilddrüsen-Äquivalentdosis für Kinder und schwangere Frauen) nicht erforderlich. Siehe dazu auch Tabelle 16 in Abschnitt 2.3.4.3.

Maßnahmen in der Nahrungskette, wie bei Doel 4, können in beiden Unfallszenarien erforderlich sein, je nach den genauen Umständen des Unfalls. So ergeben sich maximale Konzentrationen von etwa 20.500 Bq/m² I-131 für den LOCA-Unfall und 65.000 Bq/m² I-131 für den FHA-Unfall. Diese liegen deutlich über dem abgeleiteten Wert für Lebensmittel (Milch, Fleisch, Gemüse). Für den LOCA-Unfall werden sogar noch höhere Werte für die Ablagerung von I-133 ermittelt, die jedoch aufgrund der begrenzten Halbwertszeit (20,83 h) nur während des Unfalls und in den Tagen danach signifikant sein können. Auch bei I-131 mit einer Halbwertszeit von 8,02 Tagen wird die Kontamination zeitlich begrenzt sein und sich nicht mehr auf die Ernte des Jahres nach dem Unfall auswirken. Auch das langlebige Cs-137 wird beim LOCA-Unfall in begrenztem Umfang freigesetzt und abgelagert, wobei der geschätzte Höchstwert gemäß dem Unfallszenario bei etwa 23 Bq/m² liegt. Dies liegt deutlich unter dem abgeleiteten Wert für Cs-137 in der Nahrungskette.

Die lebenslange effektive Dosis (Lifetime effektive Dosis) aus der Exposition während des Ereignisses und in den Folgejahren (für 50 Jahre für Erwachsene und bis zu 70 Jahre für Kinder) liegt wiederum höchstens bei einigen mSv und damit deutlich unter dem Grenzwert von 1 Sv.

7.2.2 Auslegungsüberschreitender Unfall

Die radiologischen Auswirkungen des auslegungsüberschreitenden Störfalls für Tihange 3, d. h. eines CSBO, wurden auf der Grundlage der von Tractebel¹³⁸ durchgeführten Analyse gemäß den FANK-/Bel-V-Leitlinien 2017 für neue Anlagen der Klasse 1 bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 95 aufgeführt und beziehen sich auf die effektive Dosis durch die vorbeiziehende radioaktive Wolke, einschließlich der Inhalation und der externen Strahlenexposition durch die Ablagerung von Radioaktivität am Boden, sowie auf die Schilddrüsen-Äquivalentdosis durch Inhalation von radioaktivem Jod, jeweils für die kritische Person.

Tabelle 95: Effektive Dosis und Schilddrüsen-Äquivalentdosis an der Standortgrenze des KKW Tihange aufgrund des Auftretens eines CSBO für Tihange 3 (kritischste Person).

Tihange-3 CSBO		
	Dosis	Genehmigungsgrenze
Effektive Dosis	4,29 mSv	-
Schilddrüsen-Äquivalentdosis	0,033 mSv	-

Die effektive Dosis ergibt sich fast ausschließlich aus der direkten Strahlenexposition durch die vorbeiziehende radioaktive Wolke aufgrund der verschiedenen kontrollierten Entlüftungen. Das Filtersystem (CFVS) gibt hauptsächlich die Edelgase in die Atmosphäre ab, während andere Radionuklidgruppen weitgehend zurückgehalten werden. Die freigesetzte Jodmenge ist begrenzt, sodass nur eine begrenzte Schilddrüsen-Äquivalentdosis anfällt. Die auf dem Boden abgelagerte Radioaktivität ist ebenfalls begrenzt (Edelgase lagern sich nicht ab), so dass der Beitrag zur effektiven Dosis durch die Exposition gegenüber externer Strahlung aus kontaminiertem Boden sehr gering ist. Für Auslegungstörfälle sind in der Genehmigung keine Grenzen festgelegt. Die effektive Dosis und die Schilddrüsen-Äquivalentdosis, die beide für die kritische Person berechnet wurden, liegen unter allen Richtlinien, die im nuklearen Notfallplan (siehe Abschnitt 9.2.1) für sofortige Gegenmaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung wie Schutzräume, Evakuierung oder Verabreichung von stabilem Jod festgelegt sind.

7.2.3 Auswirkung der erwogenen Unfälle auf die biologische Vielfalt

Die in Vandenhove et al, 2013 (siehe KKW Doel) diskutierten Referenzorganismen für Routineeinleitungen wurden auch zur Berechnung der Auswirkungen von Unbeabsichtigten Einleitungen auf die Umwelt aufgrund eines LOCA und eines FHA verwendet.

Die Berechnungen mit dem Umweltrisiko-Tool ERICA zeigen, dass die radiologischen Dosen für Fauna und Flora für den LOCA-Unfall zwischen 0,3 und 8 µGy/h für die maximale Ablagerung der eingeleiteten Radionuklide auf dem Boden liegen, wobei die am stärksten exponierten Organismen (8 µGy/h) die kleinen Säugetiere und das Gras am wenigsten exponiert sind. Die wichtigsten Radionuklide, die sich ablagern, sind kurzlebig. Dies bedeutet, dass die Radioaktivität im Boden und damit die Dosisleistungen, denen Fauna und Flora ausgesetzt sind, rasch abnehmen und keine chronische Exposition vorliegt. Im ersten Monat nach der unfallbedingten Einleitung sinken die mittleren Dosisleistungen auf weniger als 0,3 µGy/h und nach einem Jahr auf weniger als 0,02 µGy/h für die gesamte Fauna und Flora. Daraus folgt, dass es keine nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt geben wird.

Die radiologischen Dosen für Fauna und Flora für den FHA reichen von 0,13 bis 11 µGy/h, wobei die am stärksten exponierten Organismen detritivore wirbellose Gliederfüßer, Ringelwürmer, kleine Säugetiere und Mäuse sind (>7

¹³⁸ DEC B: RC-1.4 - T3 - Radiological consequences off-site – Assessments (DEC/4NT/0606802/140/04), Tractebel Engineering

µGy/h), und bei den übrigen liegt die Dosisleistung unter 6,5 µGy/h. Die externe Dosis dominiert die interne Dosis. Die Dosisleistungen nehmen jedoch schnell ab, da die freigesetzten Jodisotope kurzlebig sind (Halbwertszeiten von 2 Stunden bis 8 Tagen). Im Laufe eines Monats liegt die durchschnittliche Dosisleistung zwischen 0,04 und 3,2 µGy/h, und der Beitrag von ¹³¹I macht mehr als 97 % der Dosisleistung aus; nach einem Jahr sind diese durchschnittlichen Dosisleistungen auf weniger als 0,3 µGy/h gesunken.

Da die Dosisleistungen schnell abnehmen und die Organismen nicht chronisch hohen Dosisleistungen ausgesetzt sind, können wir daraus schließen, dass die Umwelt durch eine solche Expositionssituation nicht geschädigt wird.

Für den CSBO ist aufgrund der eingeleiteten Radionuklide und der Depositionen analog zu den Auslegungstörfällen zu erwarten, dass auch die schädlichen chronischen Auswirkungen auf Flora und Fauna vernachlässigbar sind.

7.2.4 Diskussion unfallbedingter Einleitungen

Erfolgt keine Laufzeitverlängerung, wird Tihange 3 endgültig stillgelegt (DSZ). Um die durch den radioaktiven Zerfall entstehende Wärme abzuführen, müssen die Brennelemente weiterhin gekühlt werden, zunächst mit dem Reaktorkühlkreislauf. Die Reaktoren werden dauerhaft entladen. Die Brennelemente werden in das Brennelementlagerbecken überführt und mit den Kühlkreisläufen dieses Beckens gekühlt. Diese Übergangsphase - die Nachbetriebsphase - bis zum Beginn des Rückbaus wird sowohl bei der Nullvariante (kein Projekt) als auch bei dem Projekt stattfinden. Die Radioaktivität im Kern wird jedoch rasch abnehmen (Zerfall kurzlebiger Radionuklide), sodass weniger Kühlung erforderlich ist, und auch das Inventar an radioaktivem Material, das bei solchen Unfällen freigesetzt werden kann, nimmt mit der Zeit nach der Abschaltung rasch ab, so dass die Auswirkungen eines Unfalls ebenfalls geringer sind. Es ist klar, dass das Risiko (Risiko = Wahrscheinlichkeit x Auswirkung), das bei einer Erweiterung bereits gering ist (wegen der geringen Unfallwahrscheinlichkeit und der begrenzten radiologischen Auswirkungen), bei einer Nicht-Erweiterung noch geringer ist, da zumindest die Auswirkungen geringer sind. Das Projekt birgt daher ein begrenztes Unfallrisiko (sowohl Auslegungs- als auch auslegungsüberschreitender Störfall). Für das gesamte Gelände des KKW Tihange wird das Risiko jedoch ohnehin abnehmen, da nach dem derzeitigen Zeitplan während der Projektlaufzeit (Zeitraum von 10 Jahren nach 2025) nur Tihange 3 für die industrielle Stromerzeugung genutzt werden wird.

7.3 Radioaktive Abfälle aus dem Betrieb

7.3.1 Abfallbehandlung vor Ort

Die Behandlung der flüssigen Abfälle des gesamten Standorts erfolgt in Einheit 2. Nach der Behandlung werden die Abwässer in Lagertanks der Blöcke 2 und 3 bis zur Wiederverwendung oder Einleitung in den Fluss gelagert^{bxxxviii}. Die entsprechenden festen Abfälle (verbrauchte Harze, Verdunstungskonzentrate, Flockungsmittel und Filter aus der Kläranlage) werden ebenfalls in Block 2 behandelt.

Die einzigen festen Abfälle, die in Block 3 anfallen, sind verbrauchtes Harz aus Hilfskreisläufen, Rückstände aus der Magnetfiltration des Dampferzeugerabflusses, Filter aus Hilfskreisläufen und verschiedene feste Abfälle. Diese Abfälle, mit Ausnahme verschiedener fester Abfälle, werden in geeigneten Behältern zum Block 2 transportiert, um dort behandelt zu werden, oder in Block 3 von einem auf die Abfallkonditionierung spezialisierten Unternehmen verarbeitet. Verschiedene feste Abfälle werden im Block Tihange 3 verarbeitet.^{bxxxix}

Nach der Sortierung und Konditionierung in 400-Liter-Fässern werden die schwach- und mittelradioaktiven Abfälle am Standort Tihange zwischengelagert und in regelmäßigen Abständen zu Belgoprocess transportiert.

7.3.2 Mengen schwach- und mittelradioaktiver Abfälle

Die Mengen an schwach- und mittelaktiven Abfällen, die jährlich im Kernkraftwerk Tihange anfallen, sind in der zweiten Spalte der Tabelle 96 aufgeführt. Diese Daten wurden auf der Grundlage der Umwelterklärung des KKW

Tihange zusammengestellt, die jährlich aktualisiert wird^{xc}. Es wird nicht zwischen Abfällen der Kategorie A und der Kategorie B unterschieden. Spalte 3 gibt die Menge des konditionierten Abfalls pro TWh Nettostromerzeugung im KKW Tihange im entsprechenden Jahr an, woraus sich ein langfristiger Durchschnitt von **5,54 m³/TWh an schwach- und mittelaktivem konditioniertem Abfall ergibt**. Unter Berücksichtigung des Anteils des Reaktors Tihange 3 an dieser Stromproduktion ergibt sich ein langfristiger Durchschnitt von **40,5 m³ schwach- und mittelradioaktiver konditionierter Abfälle** pro Jahr für Tihange 3 (Spalte 4). Hier schwankte der tatsächliche Anteil von Tihange 3 an der gesamten Stromerzeugung am Standort im Zeitraum 2011-2020 um 41 %. Dieser Wert ist etwas höher als der auf der Leistung basierende Wert (35 %), da andere Reaktoren (vor allem Tihange 2 im Zeitraum 2014-2015) mehrmals längere Zeit abgeschaltet waren.

Tabelle 96: Jährliches Aufkommen an schwach- und mittelradioaktiven Abfällen am Standort Tihange und speziell für den Reaktorblock Tihange 3. GA: konditionierte Abfälle.

	Volumen (m ³) der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle (GA)	Menge an schwach- und mittelradioaktivem Abfall (GA) pro erzeugtem Nettostrom bei KCT (m ³ /TWh)	Volumen der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle für Tihange 3 (m ³)
2011	121,0	5,24	47,1
2012	95,0	4,69	37,4
2013	97,0	4,87	39,4
2014	100,7	5,58	49,1
2015	98,0	7,18	52,7
2016	96,0	4,97	39,0
2017	110,0	5,64	50,6
2018	92,9	6,06	13,5
2019	75,6	3,68	32,9
2020	100,8	7,46	43,6
Langjähriger Durchschnitt	99	5,54	40,5

7.3.3 Auswirkungen von LTO und Folgen für die Abfallbehandlung

Auf der Grundlage von Tabelle 96 wird erwartet, dass der Aufschub der Abschaltung des Kernreaktors Tihange 3 eine zusätzliche Menge an schwach- und mittelradioaktivem Abfall von etwa **405 m³** für einen Produktionszeitraum von 10 Jahren verursachen wird. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A und nur in geringem Umfang um Abfälle der Kategorie B, zu denen bestimmte Harze und Filter gehören können. Verglichen mit den ~50.000 m³ Abfällen der Kategorie A, die derzeit als Quell-Term in der Sicherheitsakte für die oberflächennahe Endlagerung^{xcii} enthalten sind, stellt dies eine geringfügige Erhöhung dar (<1 %).

Geht man davon aus, dass die Menge der Abfälle der Kategorie B vernachlässigbar ist, entspricht das zusätzliche Abfallvolumen etwa **253 Monolithblöcken** oder **0,27 Modulen** im Endlager für Abfälle der Kategorie A. Die (volumetrische) Kapazität des Endlagers beträgt 34 Module^{xciii} basierend auf:

- Schätzungen aus 2013 für bestehende und künftige Abfallmengen der Kategorie A (d. h. ohne Berücksichtigung einer möglichen LTO der Reaktorblöcke in Doel und Tihange): 28,6 Module;
- eine Reserve von ~20 % (5,4 Module), wovon die Entscheidung, den Betrieb von Tihange 3 zu verlängern (neben anderen bereits getroffenen Entscheidungen), 0,27 Module oder ~5,0 % verbraucht.

Es wird davon ausgegangen, dass diese Abfälle die von NERAS festgelegten Annahmekriterien erfüllen, die unter anderem die Konformitätskriterien aus dem Sicherheitsbericht berücksichtigen. Letztere betreffen radiologische

Kriterien (Spaltstoff- und Kritikalitätskriterien sowie Aktivitätskonzentrationsgrenzen auf Radionuklidebene) und einige physikalisch-chemische Anforderungen. Da es sich um die Erweiterung einer bestehenden Tätigkeit handelt, werden keine (zusätzlichen) Auswirkungen auf die (kurz- und langfristige) Sicherheit der Endlageranlage für Abfälle der Kategorie A erwartet, abgesehen von den Auswirkungen, die ohnehin mit der Errichtung dieser Endlageranlage verbunden sind.

7.4 Abgebrannte Brennelemente

Wenn die abgebrannten Brennelemente aus dem Reaktor entnommen werden, nachdem sie sich etwa 54 Monate lang in 18-monatigen Zyklen im Reaktorkern befunden haben, werden sie in einem blockspezifischen Abklingbecken untergetaucht. Durch die Lagerung im Abklingbecken kann der verbrauchte Kernbrennstoff einen Großteil seiner Aktivität verlieren und abkühlen. Diese Brennelemente setzen immer noch Wärmeenergie durch den Zerfall hauptsächlich der Spaltprodukte des Brennstoffs frei; diese Wärmefreisetzung nimmt mit der Zeit ab. Nach einer Abkühlzeit von mindestens 2 Jahren werden die Brennelemente in abgeschirmten und versiegelten Behältern in das Zwischenlagergebäude für abgebrannte Brennelemente (DE-Gebäude) zur Zwischenlagerung in einem der 8 Becken gebracht. Das DE-Gebäude ist ein gemeinsames Gebäude für alle drei Blöcke und befindet sich in der Nähe der Gebäude von Block 3. Wie bereits erwähnt (Abschnitt 2.3.7.3), wird durch das kürzlich genehmigte SF²-Projekt 'zusätzliche Speicherkapazität bereitgestellt. Ausführlichere Informationen über das SF²-Projekt finden Sie im entsprechenden UVP-Bericht. Das neue Lagergebäude soll 2023 in Betrieb genommen werden.

7.4.1 Mengen

Im Gegensatz zu den Umwelterklärungen für das KKW Doel enthalten die Erklärungen für das KKW Tihange keine Angaben über die Anzahl der jährlich pro Block abgegebenen Brennelemente. Nach den von der Electrabel AG im Laufe des Projekts eingeholten Informationen werden pro 18-monatigem Zyklus durchschnittlich 63 Brennelemente entladen. Dies entspricht 42 Elementen bzw. 22,7 tHM spaltbaren Materials pro Jahr.

7.4.2 Auswirkungen von LTO und Folgen für die Abfallbehandlung

Auf der Grundlage der obigen Ausführungen gehen wir daher davon aus, dass beim verlängerten 10-jährigen Betrieb von Tihange 3 etwa 420 zusätzliche abgebrannte Brennelemente anfallen werden. Dies entspricht einem Anstieg von 3,8 % gegenüber dem gesamten belgischen Kernbrennstoffbestand im Falle einer endgültigen Abschaltung. Es handelt sich ebenfalls um UOX-14ft-Brennelemente mit einer anfänglichen U-Masse von 0,541 tHM/Brennelement, die sich in ihren Eigenschaften nicht von den bereits in Tihange 3 produzierten Brennelementen unterscheiden dürften. Die Auswirkungen auf die Abfallentsorgung ähneln denen, die in Abschnitt 4.4.2 erwähnt wurden.

Lagerung

Die vorhandenen und geplanten Lagerkapazitäten dürften die Verarbeitung aller abgebrannten Brennelemente aus den Abklingbecken der drei Blöcke nach deren endgültiger Abschaltung ermöglichen. Durch der Aufschub der Abschaltung von Tihange 3 wird die Netzabschaltung der drei Blöcke weiter gestreut, wo sie sich sonst auf wenige Jahre konzentrieren würde.

Endlagerung

Davon ausgehend, dass die Entsorgung in wenig verfestigtem Ton mit Supercontainern als Primärverpackung erfolgt, würde der oben genannte Mehrverbrauch **105 zusätzlichen Supercontainern** (Typ SC-4) und einer zusätzlich benötigten Stollenlänge von ca. 650 m entsprechen.

7.5 Rückbau

Analog zu Doel 4 (weitere Informationen siehe Abschnitt 4.5) wurden Aktivierungsberechnungen an verschiedenen Stellen im Reaktorbehälter von Tihange 3 unter Verwendung des Aktivierungscode ALEPH2 durchgeführt.

7.5.1 Eingabedaten

Für die Berechnungen werden Daten über *i)* den Neutronenfluss, *ii)* das Neutronenspektrum, *iii)* die Bestrahlungsgeschichte und *iv)* die Materialzusammensetzung benötigt.

- i)* Es wurde ein konstanter energieintegrierter Neutronenfluss von $1,4 \times 10^{11}$ [n/cm²s] verwendet, der auf der maximalen Auslegungsfluenz des Reaktorbehälters von Doel 4 und Tihange 3 basiert und den Durchschnittswerten auf der Ebene der Überwachungskapseln¹³⁹ nach 40 Betriebsjahren entspricht.
- ii)* Da die tatsächlichen Spektren von Doel 4 und Tihange 3 nicht vorliegen, wurde ein typisches normalisiertes Neutronenspektrum für thermische Leichtwasserreaktoren^{xci} verwendet, „PWR-RPV“ in Abbildung 76. Da dieses Spektrum einen signifikanten Beitrag von Spaltneutronen (mit höherer Energie) aufweist, wird angenommen, dass es für das Innere des Reaktorbehälters repräsentativ ist. Um die Empfindlichkeit gegenüber der Form des Spektrums zu bewerten, wurde auch ein anderes Spektrum „BR1 Y3“ betrachtet, das für den Kanal Y3 im BR1-Reaktor des SCK CEN berechnet wurde und für das der Standort eher repräsentativ für die Außenseite des Reaktorbehälters ist.
- iii)* Für die Berechnung der Aktivierung wurde zum einen der tatsächliche Bestrahlungsverlauf von Tihange 3^{xci} mit Daten von 1986 bis 2021 herangezogen. Dieser Verlauf besteht aus abwechselnden Perioden der Bestrahlung (unter der Annahme voller Leistung) und Perioden der Abschaltung, in denen der Zerfall der produzierten Radionuklide stattfinden kann. Auf dieser Grundlage wurde für Tihange 3 ein durchschnittlicher jährlicher Auslastungsgrad von 88 % geschätzt, der für den LTO-Zeitraum extrapoliert wurde. Ab 2022 berücksichtigt das Modell also jährliche Zyklen von 322 Tagen Einstrahlung und 43 Tagen Zerfall. Andererseits wird auch eine kontinuierliche Bestrahlung ohne Abschaltzeiten verwendet, um konservative Schätzungen der Aktivität zu erhalten.
- iv)* Die Materialzusammensetzung beruht auf Daten, die für die Überwachungskapseln^{xci} bereitgestellt und für den Kernmantel, den Übergangsring und die Schweißnaht des Reaktorbehälters von Tihange 3 angegeben wurden. Die chemische Zusammensetzung der wichtigsten Elemente (außer Eisen) ist in Tabelle 97 angegeben.

Tabelle 97: Zusammensetzung der Hauptelemente von Teilen des Reaktorbehälters von Tihange 3 (in Gewichtsprozent).

Block	Material	C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	V
Tihange 3	Kernmantel	0,20	0,006	0,008	0,27	1,39	0,765	-	0,04	0,485	<0,01
	Übergangsring	0,185	0,006	0,006	0,23	1,41	0,765	-	0,04	0,505	<0,01
	Schweißnaht	0,062	0,006	0,015	0,15	1,11	0,8	0,075	0,093	0,480	

7.5.2 Resultate

Abbildung 104 zeigt eine konservative Schätzung der Aktivität in den 3 Materialtypen des Reaktorbehälters von Tihange 3, basierend auf einer kontinuierlichen Bestrahlung für eine Gesamtbetriebsdauer von 60 Jahren. Die höchste Aktivität ist im Bereich des Übergangsrings zu verzeichnen. Daher ist es interessant, die konservative Schätzung für diesen Materialtyp mit realistischeren Schätzungen zu vergleichen, die die Zyklen von Bestrahlung

¹³⁹ Überwachungskapseln (Surveillance Capsules) sind kleine Stahlroben mit der gleichen Materialzusammensetzung wie der Reaktorbehälter, die etwas näher am Kern platziert werden, sodass sie einem etwas höheren Neutronenfluss ausgesetzt sind als der Behälterstahl. Die konservative Analyse dieser Proben gibt Aufschluss über Materialalterungsprozesse.

und Zerfall berücksichtigen. Dies ist in Abbildung 105 dargestellt, ebenso wie ein Kombinationsfall mit Zyklen bis 2021, gefolgt von kontinuierlicher Bestrahlung von 2022 bis 2045.

Aus dieser Abbildung ergibt sich Folgendes:

- Ein Weiterbetrieb auf der Grundlage realistischer Bestrahlungszyklen führt nur zu einem sehr begrenzten Anstieg der Gesamtaktivität: maximal +0,05 % bei einer Verlängerung der Nutzungsdauer von 40 auf 50 Jahre; und
- Die Gesamtaktivität würde bei kontinuierlicher Bestrahlung um 4 % steigen, was keine realistische Annahme ist.

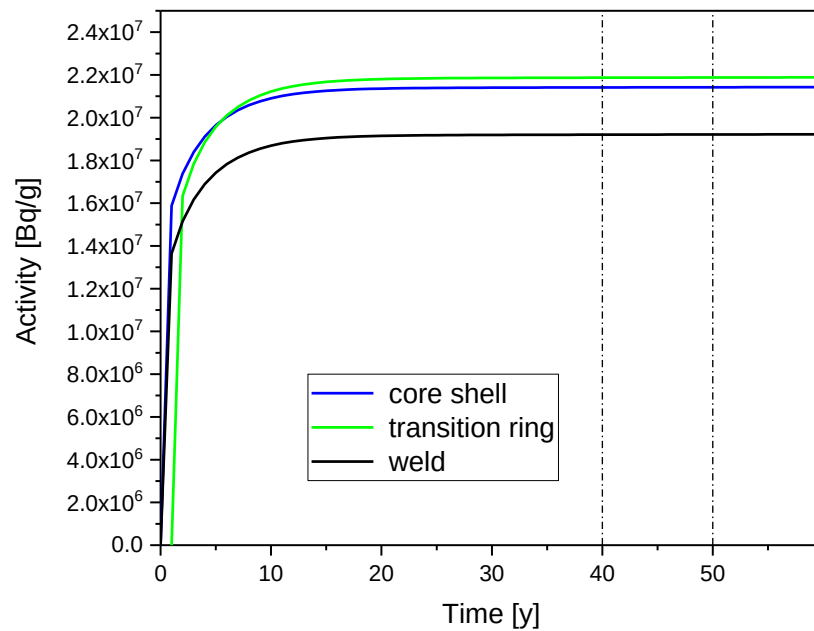


Abbildung 104: Zeitliche Entwicklung der konservativen Schätzungen der Aktivität pro Masse für die 3 Materialtypen des Reaktorbehälters von Tihange 3.

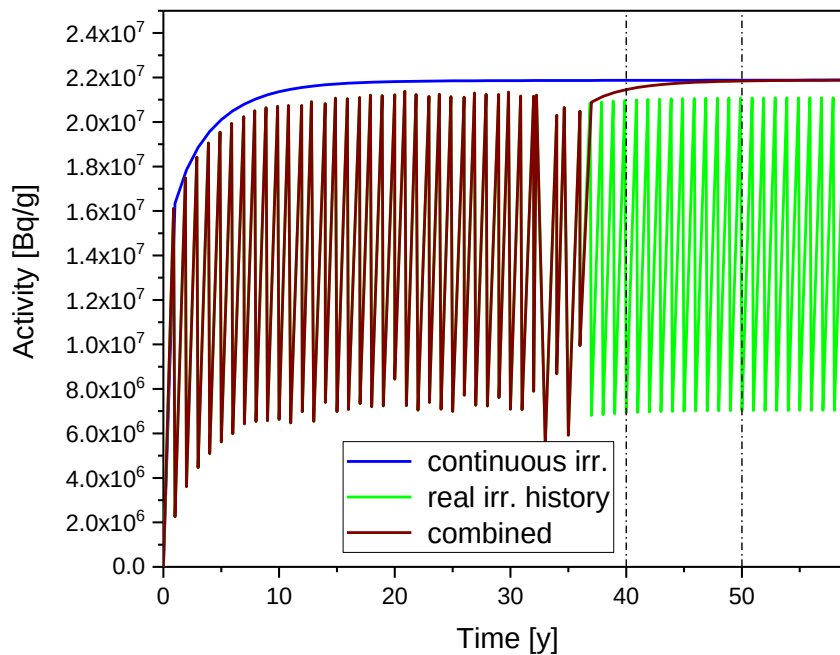


Abbildung 105: Zeitliche Entwicklung der Aktivität pro Masse für den Übergangring des Reaktorbehälters Tihange 3: Vergleich zwischen kontinuierlicher Bestrahlung, realistischer Bestrahlung in Zyklen und einem Kombinationsfall.

Die Entwicklung der wichtigsten Aktivierungsprodukte vor der LTO-Periode und der anschließende Zerfall sind in Abbildung 106 dargestellt. Die höchste Aktivität ist auf das sehr kurzlebige ^{56}Mn ($T_{1/2}=2,58$ Stunden) zurückzuführen, das nach der Unterbrechung rasch verschwindet. Andere Isotope, die einen wichtigen Beitrag leisten, sind ^{55}Fe ($T_{1/2}=2,74$ Jahre) und ^{54}Mn ($T_{1/2}=312$ Tage). Diese bestimmen die Aktivität nach 20 Jahren. Längerfristig wird die Aktivität bestimmt durch ^{63}Ni ($T_{1/2}=101$ Jahre), ^{59}Ni ($T_{1/2}=7,60 \times 10^4$ Jahre), ^{93}Mo ($T_{1/2}=4,00 \times 10^3$ Jahre) und $^{93\text{m}}\text{Nb}$ ($T_{1/2}=16,13$ Jahre).

Bei langlebigen Nukliden wird kein Gleichgewicht erreicht, da ihre Halbwertszeiten länger sind als die Lebensdauer des Reaktors. Die Aktivität dieser Nuklide¹⁴⁰, die für die langfristige Sicherheit wichtig sind, nimmt um 21-25 % zu. Ihr Anteil an der Gesamtaktivität bei der Einstellung ist jedoch begrenzt (<0,25 %).

¹⁴⁰ i.h.b. ^{14}C ($T_{1/2} = 5,7 \times 10^3$ Jahre), ^{36}Cl ($T_{1/2} = 3,01 \times 10^5$ Jahre), ^{41}Ca ($T_{1/2} = 1,03 \times 10^5$ Jahre), ^{59}Ni ($T_{1/2} = 7,60 \times 10^4$ Jahre), ^{63}Ni ($T_{1/2} = 101$ Jahre), ^{93}Zr ($T_{1/2} = 1,61 \times 10^6$ Jahre), ^{94}Nb ($T_{1/2} = 2,00 \times 10^4$ Jahre), ^{93}Mo ($T_{1/2} = 4 \times 10^3$ Jahre), ^{99}Tc ($T_{1/2} = 2,14 \times 10^5$ Jahre).

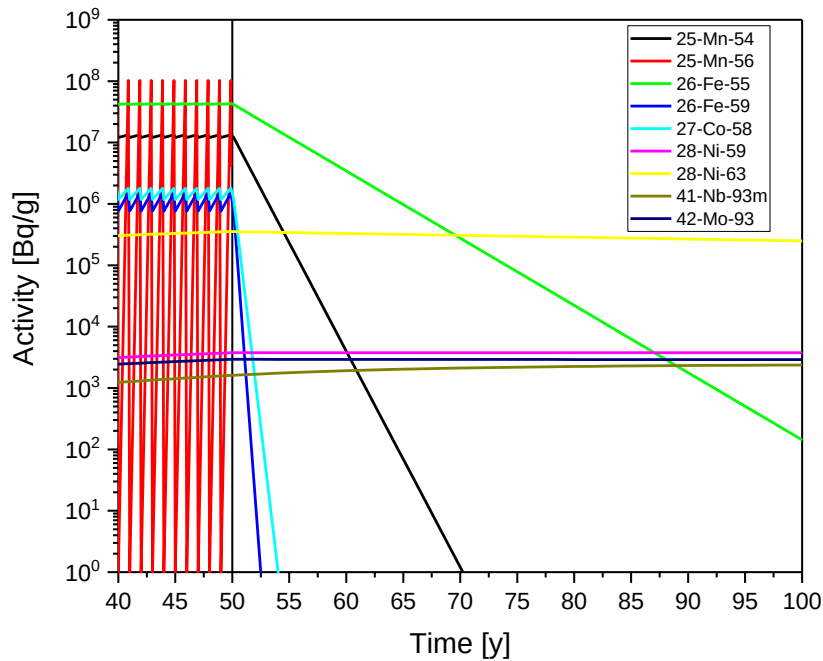


Abbildung 106: Zeitliche Entwicklung der wichtigsten Aktivierungsprodukte während der LTO-Periode und ihr Zerfall in der Zeit nach der Abschaltung.

Der Beitrag der Aktivierungsprodukte wird für die verschiedenen Reaktorbehältertypen in Tabelle 98 verglichen. Wie man sieht, sind diese Beiträge für die verschiedenen Materialzusammensetzungen ähnlich.

Tabelle 98: Die wichtigsten Nuklide (in %), die zur Aktivität in den verschiedenen Teilen des Reaktorbehälters nach 50 Jahren Bestrahlung beitragen.

Nuklide	Kernmantel	Übergangsring	Schweißnaht
⁵⁴ Mn	8,5	8,3	9,5
⁵⁶ Mn	57,7	58,8	52,0
⁵⁵ Fe	28,1	27,5	31,5
⁵⁹ Fe	0,9	0,9	1,0
⁵⁸ Co	1,0	1,0	1,2
⁶³ Ni	0,2	0,2	0,3
Sonstige	3,6	3,3	4,5

Als letzter Teil der Berechnungen wurde die Empfindlichkeit gegenüber der Form des Neutronenspektrums bewertet. Zu diesem Zweck wurden die vorherigen Ergebnisse auf der Basis des DWR-RDB-Spektrums mit den Ergebnissen für das Alternativspektrum BR1 Y3 aus Abbildung 76 verglichen. Die berechnete Aktivitätsentwicklung für beide Spektren ist in Abbildung 107 dargestellt.

Die Anwendung des BR1-Y3-Spektrums führt zu einer Steigerung der Aktivität um fast eine Größenordnung. Dies ist eine Folge des erhöhten Wärmeflusses und damit des Neutroneneinfangs, bei dem ⁵⁶Mn und ⁵⁵Fe entstehen, die am Ende der Bestrahlung am meisten zur Aktivität beitragen. Ihr Anteil steigt im BR1-Y3-Spektrum deutlich auf

59,3 % bzw. 38,2 %. Andererseits fällt der Beitrag von ^{54}Mn unter 1 %, was bedeutet, dass es durch die $^{55}\text{Mn}(n,2n)$ -Reaktion im Bereich der schnellen Energie erzeugt wird.

Es ist anzumerken, dass in beiden Fällen derselbe Wert für den integrierten Neutronenfluss von $1,4 \times 10^{11} \text{ [n/cm}^2\text{s]}$ verwendet wurde, obwohl der thermische Fluss in Wirklichkeit möglicherweise nicht ansteigt, da die Absorptionswahrscheinlichkeit mit der Abbremsung der schnellen Neutronen zunimmt. Die Ergebnisse in diesem Abschnitt bestätigen also nur, dass eine Verlängerung der Bestrahlungszeit in keinem Spektrum zu einer Aktivitätssteigerung führt, da keine langlebigen Nuklide mit Halbwertszeiten von mehr als 10 Jahren in großen Mengen produziert werden.

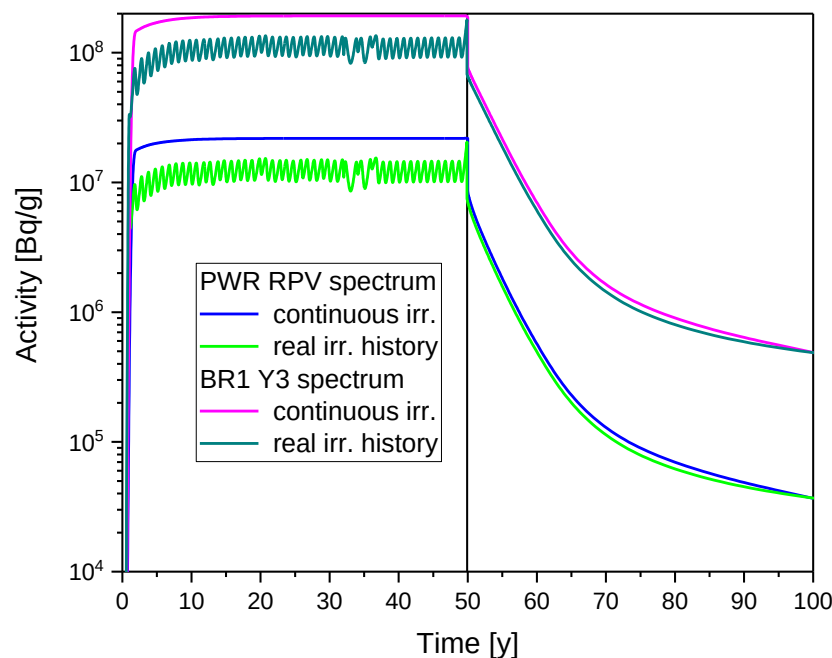


Abbildung 107: Vergleich der berechneten Aktivitäten im Bereich des Übergangsrings mit verschiedenen Neutronenspektren.

7.5.3 Schlussfolgerungen

Aus dieser Modellierung lässt sich schließen, dass eine Verlängerung der Laufzeit um 40-50 Jahre nur geringe oder gar keine Auswirkungen auf die Gesamtradioaktivität haben wird, die durch die Aktivierung der in den Strukturelementen des Reaktors vorhandenen Elemente verursacht wird, da die meisten dieser Aktivierungsisotope nur eine kurze Lebensdauer haben. Allerdings steigt die Zahl der langlebigen Isotope in diesen Strukturelementen erheblich an, was einen Teil des gesamten Neutronenflusses ausmacht, dem diese Elemente während der Verlängerung ihrer Lebensdauer ausgesetzt sein werden. Bei gleichem Regime wie in den letzten 40 Jahren bedeutet dies also einen Anstieg von (maximal) 25 Prozent bei einer Lebensdauer von 50 Jahren.

Die Auswirkung auf die Gesamtabfallmenge der verschiedenen Kategorien (unbedingte Freigabe, bedingte Freigabe, Kategorie A, Kategorie B) ist jedoch derzeit schwer abzuschätzen, da detaillierte Daten über die Menge der Spurenelemente in den Strukturelementen der Kraftwerke fehlen (oder uns nicht bekannt sind). Der Anstieg der meisten langlebigen Isotope um 25 % könnte die Übergangszone von Kategorie A zu Kategorie B verschieben, wodurch sich das Volumen der Abfälle der Kategorie B erhöht. Da der Neutronenfluss in den Randbereichen des Reaktorbehälters im Vergleich zu dem im Zentrum des Reaktorbehälters glatt 10 Größenordnungen kleiner sein kann, wird davon ausgegangen, dass die - eher begrenzte - Aktivitätserhöhung durch den Langzeitbetrieb für die Abgrenzung der Übergangszone wenig oder gar keine Bedeutung hat. Daher werden keine signifikanten Verschiebungen bei den B-Abfallmengen erwartet.

7.6 Grenzüberschreitende Auswirkungen

7.6.1 Normalbetrieb

Das KKW Tihange ist 38 km bzw. 58 km von der niederländischen bzw. deutschen Grenze entfernt. In Anbetracht der vernachlässigbaren und nicht beobachtbaren radiologischen Auswirkungen (Größenordnung 0,044 mSv/Jahr durch gasförmige und flüssige Einleitungen und möglicherweise begrenzte Dosis durch direkte Strahlung, jedoch im Rahmen lokaler Schwankungen der natürlichen Strahlung) beim Betrieb aller Blöcke des KKW Tihange für die am stärksten exponierte Person auf belgischem Hoheitsgebiet direkt außerhalb des Standorts des KKW Tihange und der Tatsache, dass die Auswirkungen nur mit der Entfernung abnehmen (Verdünnung für Einleitungen und inverses Quadratgesetz für jegliche Direktstrahlung, die vom KKW Tihange ausgeht), kann festgestellt werden, dass es beim normalen Betrieb des KKW Tihange keine grenzüberschreitenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt gibt, d. h. auch dann nicht, wenn Tihange 3 um 10 Jahre verlängert wird.

7.6.2 Unfälle

Zur Bewertung der grenzüberschreitenden Auswirkungen unter den beiden übergreifenden Auslegungstörfallszenarien (LOCA und FHA) und dem Szenario des nicht auslegungsbedingten Störfalls (CSBO) verwenden wir die Flexpart-Methode, wie im Abschnitt über die Methodik in Abschnitt 2.3.4 erläutert.

Die in diesen Szenarien angenommenen Einleitungen in die Umgebung sind in Tabelle 99 Tabelle 99: Abgeleitete Aktivität der verschiedenen Gruppen von Radionukliden, die für die Auswirkungen wichtig sind, aufgeführt.

Tabelle 99: Abgeleitete Aktivität der verschiedenen Gruppen von Radionukliden, die für die Auswirkungen wichtig sind.

Tihange 3	Auslegungsbasissszenarien		Auslegungsüberschreitungsszenario
	LOCA	FHA	CSBO
Edelgase	16.1 PBq	8,39 PBq	53.2 PBq
Jod	11,9 TBq (43.6 % I-131)	10,1 TBq (44,1 % I-131)	0.25 TBq (15.7 % I-131)
Aerosole (Cs-137+Cs-134)*	11 GBq	-	0.38 TBq

* Cs-134 gilt nur für CSBO-Unfälle

Angeichts der größeren Entfernung (mehrere Dutzend Kilometer) ist die Verwendung des Flexpart-Modells einem statischen Gaußschen Ausbreitungsmodell vorzuziehen, das sich sehr gut für lokale Auswirkungen eignet (wie es für die Bewertung der maximalen Auswirkungen außerhalb des Standorts verwendet wird).

Die Schätzungen sind ansonsten sehr konservativ:

- So wird für die Flexpart-Berechnungen der Quell-Term für den LOCA (Dauer der Einleitung: 720 Stunden) als 1-stündige Einleitung (abzüglich der Ausbreitung), für die FHA 2 Stunden (was der tatsächlichen Dauer der Einleitung entspricht) und für den CSBO 6 Stunden (Entladungen während mehrerer Entlüftungen und kontinuierliche Einleitung über 10 Tage) betrachtet.
- Es wird davon ausgegangen, dass alles Jod in der elementaren Form (I_2) vorkommt.
- Es werden die maximalen Luftkonzentrationen und Depositionswerte verwendet, die für eine Reihe von Simulationen mit dem Beginn der Einleitung zu jeder Stunde eines vollen Jahres (meteorologische Daten ECMWF 2020 - siehe Methodik) in den betreffenden Ländern für die betrachtete Dauer der Einleitung (6 Stunden oder 2 Stunden, je nach Szenario) und die betrachteten Radionuklidgruppen (sonstige Deposition) ermittelt wurden. Das bedeutet, dass für jedes Land die ungünstigste Wetterbedingung eines ganzen Jahres (das Jahr 2020) zur Schätzung verwendet wird.

Neben den Auswirkungen in den verschiedenen Ländern wurden auch die Höchstwerte auf See ermittelt. Auf der Grundlage dieser Luftkonzentrationen und Depositionen wurden dann die effektive Gesamtdosis und die Schilddrüsen-Äquivalentdosis für die verschiedenen Altersgruppen ermittelt. Das Maximum über alle Altersgruppen hinweg wurde tabellarisch erfasst.

Tabelle 100. Maximale effektive Dosis und Schilddrüsendosis für kritische Personen und Depositionswert für die verschiedenen Unfallszenarien und für verschiedene Nachbarländer (Flexpart-Methode).

Tihange 3	LOCA			FHA			CSBO		
	TED (mSv)	Schild drüsen - dosis (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)	TED (mSv)	Schilddrüse ndosis (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)	TED (mSv)	Schilddrüsendosis (mSv)	Dep. I131 (Bq/m ²)
Niederlande	0,03	0,23	6520	0,02	0,20	5197	0,59	0,002	315
Deutschland	0,02	0,18	5000	0,01	0,14	3886	0,49	0,002	242
Luxemburg	0,01	0,12	2430	0,01	0,08	1964	0,30	0,001	118
Frankreich	0,03	0,28	3660	0,01	0,19	2751	0,64	0,003	177
Vereinigtes Königreich	0,00	0,010	355	0,00	0,01	254	0,05	0,000	16
Meer	0,01	0,05	-	0,00	0,04	-	0,19	0,001	-

Die für Tihange 3 in Betracht gezogenen Unfälle haben besonders geringe Auswirkungen. Die Dosen sind so niedrig, dass keine unmittelbaren Gegenmaßnahmen wie Schutzmaßnahmen oder die Verabreichung von stabilem Jod erforderlich sind. Es ist sehr unwahrscheinlich, aber nicht völlig ausgeschlossen, dass die Ablagerung von Jodisotopen (wie I-131) für einen kurzen Zeitraum Gegenmaßnahmen für die Nahrungskette in den Niederlanden und/oder Deutschland erforderlich machen würde. Die gefundenen Höchstwerte liegen knapp über dem abgeleiteten Wert für die Bodenkontamination. Die Ablagerung von langlebigen Radionukliden ist sehr begrenzt. Folglich bleiben die radiologischen Auswirkungen bei diesen Störfällen sehr gering.

7.7 Minderungsmaßnahmen: Notfallplanung

Dies wird für Doel 4 und Tihange 3 gemeinsam beschrieben: siehe Abschnitt 9.4.1

7.8 Wissenslücken

Dies wird für Doel 4 und Tihange 3 gemeinsam beschrieben: siehe Abschnitt 9.4.2.

7.9 Empfehlungen

Im Zusammenhang mit der Bewertung der radiologischen Auswirkungen möchten wir hiermit einige Empfehlungen für die Durchführung des Projekts geben:

1. Die Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen während des Betriebs von Tihange 3 wird weitgehend durch Kohlenstoff-14 bestimmt, ein Radionuklid, das auch natürlich vorkommt. Die Einleitung ist relativ neu und basiert auf Messungen für Tihange 2 (ähnlicher Reaktor). Dabei wurde festgestellt, dass die tatsächliche Einleitung von Kohlenstoff-14 in Tihange 2 niedriger ist als die konservativ berechneten Werte. In diesem Zusammenhang ist es bei der Verlängerung von Tihange 3 angebracht, die Kohlenstoffemissionen aus Messungen in Tihange 3 zu quantifizieren, um eine möglichst realistische Schätzung der Dosen im Normalbetrieb zu erhalten;
2. Wenn Tihange 3 um 10 Jahre über das Jahr 2025 hinaus weiter betrieben wird, fällt sein Betrieb mit der Nachbetriebsphase und möglicherweise der Rückbauphase der anderen Reaktoren und einer Reihe von Hilfsgebäude auf dem Gelände des KKW Tihange zusammen. Es wird empfohlen, die radiologischen Expositionen, die sich möglicherweise aus dem Rückbau von Doel 4 ergeben, von denen zu unterscheiden, die sich aus der Nutzung zur weiteren Stromerzeugung ergeben, und diese getrennt zu veröffentlichen.

8 Synthese und Entscheidung Standort Tihange - Tihange 3

8.1 Synthese der Auswirkungen

8.1.1 Nichtradiologische Auswirkungen

Wenn Tihange 3 weitere 10 Jahre in Betrieb bleibt, bedeutet dies, dass das (gereinigte) häusliche Abwasser, das aufbereitete industrielle Abwasser und das (erwärmte) Kühlwasser 10 Jahre lang eingeleitet werden. Da die Einleitungsnormen für die verschiedenen Parameter gut eingehalten werden und der berechnete Beitrag zum Konzentrationsanstieg (lokal) begrenzt bis vernachlässigbar ist, gibt es keinen Grund, eine Verschlechterung des ökologischen Zustands der Maas durch die Verlängerung des Betriebs von Tihange 3 um weitere zehn Jahre zu befürchten, sofern der Überwachung und der Umsetzung von Korrekturmaßnahmen innerhalb eines angemessenen Zeitraums weiterhin besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird.

Angesichts der begrenzten Auswirkungen des Kernkraftwerks auf die Wasserqualität und der anhaltenden Bemühungen, die Auswirkungen im Zeitraum 2025-2037 weiter zu reduzieren, kann davon ausgegangen werden, dass das Projekt die Erreichung des guten ökologischen Potenzials von Oberflächengewässern nicht gefährdet. Die künftigen Anstrengungen zur Einhaltung der Einleitungsnormen werden dazu führen, dass die Wasserqualität der Maas nicht beeinträchtigt wird. Es gibt keinen Grund zu befürchten, dass sich der (zugegebenermaßen) unbefriedigende derzeitige Zustand der Maas verschlechtern wird, nachdem Tihange 3 weitere zehn Jahre in Betrieb bleibt. Die Deaktivierung (Referenzszenario) wird natürlich einen positiven Beitrag leisten, aber es ist nicht sicher, ob dies ausreicht, um den unbefriedigenden Zustand der Maas in einen guten Zustand zu verwandeln.

Hinsichtlich des Überschwemmungsrisikos gibt es in der aktuellen Situation keine Probleme und auch kurz- oder mittelfristig sind keine Probleme zu erwarten. Das Kernkraftwerk befindet sich nicht in einem überschwemmungsgefährdeten Gebiet und ist auch ausreichend gegen mögliche zukünftige Überschwemmungsrisiken infolge intensiverer Regenfälle (aufgrund des Klimawandels) geschützt. Es gibt auch keine Hinweise darauf, dass das Kraftwerk ein unerwünschtes Überschwemmungsrisiko stromabwärts verursachen oder aufrechterhalten wird. Daher wird ein längerer Weiterbetrieb von Tihange 3 nicht wesentlich dazu beitragen, das Risiko von Überschwemmungen zu verringern oder herbeizuführen.

Die Entnahme von Wasser aus der Maas und die Einleitung von Kühlwasser wurden als die Vorgänge mit den größten Auswirkungen auf lokale Arten identifiziert. Dennoch können die vom Betreiber auf der Grundlage der Bedingungen der geltenden Umweltgenehmigung ergriffenen Maßnahmen die mit diesen Vorgängen verbundenen Auswirkungen drastisch reduzieren.

In der Region um das Kraftwerk Tihange befinden sich mehrere Naturschutzgebiete. Diese Gebiete werden gesetzlich geschützt, um Erhaltungsziele zu erreichen. Diese Ziele, die in der wallonischen Gesetzgebung verankert sind, dienen unter anderem dem Schutz international geschützter Arten und Lebensräume. Daher ist es wichtig, festzustellen, ob der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 die Verfolgung dieser Erhaltungsziele eventuell behindert.

Es wurde festgestellt, dass das Projekt diese Arten und Lebensräume durch das Abpumpen von Wasser in die Maas, die Einleitung von Kühlwasser und die Veränderung der Wasserqualität der Maas, durch Lärm- und Lichtbelästigung, durch indirekte Auswirkungen des sauren Regens und durch die Tatsache, dass der Standort auf Flächen liegt, die potenziell für Erhaltungszwecke genutzt werden können, beeinträchtigen könnte.

Die verschiedenen Analysen führten zu dem Schluss, dass die Auswirkungen des Projekts auf die aquatische Umwelt angesichts der Maßnahmen, die der Kraftwerksbetreiber freiwillig oder im Rahmen der durch seine Umweltgenehmigung auferlegten Normen ergriffen hat (Kontrolle der Einleitungen, Rückstoßsystem usw.), die Strategien zur Erhaltung dieser Ökosysteme nicht gefährden. Da der Fluss, an dem das Kraftwerk liegt, keinen hohen ökologischen Wert hat (ubiquitäre Arten) und nur einer der drei Reaktoren in den nächsten Jahren weiter betrieben werden soll, wird keine negative Entwicklung der Umwelt erwartet.

Was die Belästigung durch die Anwesenheit von Menschen (Lärm, Beleuchtung usw.) betrifft, so dürfte diese nicht signifikant sein, da das Kraftwerk sich in einer bereits stark urbanisierten Region befindet und der Betreiber auch Maßnahmen zur Verringerung der akustischen Auswirkungen ergriffen hat. Außerdem wurden am Standort Einrichtungen zur Förderung der biologischen Vielfalt installiert.

Zu guter Letzt wird der Beitrag des Weiterbetriebs von Tihange 3 zum sauren Regen nicht signifikant sein. Außerdem hat das Projekt positive Auswirkungen, da die Elektrizität, die der Reaktor erzeugen wird, nicht von Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerken erzeugt werden muss, die wesentlich mehr Verbrennungsgase freisetzen, die für die erhöhte Häufigkeit des sauren Niederschlags verantwortlich sind.

Berücksichtigt man diese Elemente, so ist der Weiterbetrieb des Reaktors Tihange 3 nicht unvereinbar mit den Erhaltungszielen, die in der wallonischen Gesetzgebung festgelegt sind, die wiederum die europäischen Ziele zum Schutz von Arten und Lebensräumen von Interesse umsetzt.

Über den gesamten Zeitraum werden durch die Verschiebung der Abschaltung von Tihange 3 Emissionen in Höhe von ca. 12.417 kt CO₂-Äq vermieden. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von fast 10 % der Emissionen im Sektor „Strom- und Wärmeerzeugung“ in Belgien im Jahr 2021 (12,8 Mt). Die Emissionen, die dem Weiterbetrieb des Blocks Tihange 3 zuzuschreiben sind, belaufen sich auf 16.760 Tonnen CO₂ Äq., was 0,13 % der vermiedenen Emissionen entspricht und im Vergleich zu diesen vernachlässigbar ist. Das Projekt trägt also zur Erreichung dieses Ziels bei und die Bewertung ist positiv.

Im Referenzzeitraum von 10 Jahren wird das Projekt keine zusätzlichen Auswirkungen auf die Widerstandsfähigkeit der Umwelt gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels haben. Die Analyse in dieser UVP zeigt auch deutlich, dass der Standort den Auswirkungen des Klimawandels weit über das hinaus standhält, was im Jahr 2025 zu erwarten ist. Ob Tihange 3 im Referenzzeitraum 2025-2037 in Betrieb ist oder nicht, ändert daran nichts. Die Bewertung ist daher neutral.

Das relevante und vorherrschende Ziel für diesen Themenbereich ist die Gewährleistung der Sicherheit der Bevölkerung. Da das Kraftwerk Tihange ein Seveso-Betrieb ist und daher strengen Vorschriften unterliegt, insbesondere in Bezug auf den Brandschutz, die Vermeidung schwerer Unfälle und damit verbundener Dominoeffekte sowie auf die jährlichen Inspektionen, wird davon ausgegangen, dass die Fortsetzung des Betriebs für einen Zeitraum von zehn Jahren die Erreichung des wichtigsten politischen Ziels dieses Bereichs nicht beeinträchtigt. Es sind auch keine psychosomatischen Auswirkungen zu erwarten. Man kann jedoch von einer positiven Auswirkung auf die Gesundheit sprechen, wenn Tihange 3 länger in Betrieb bleibt, da die Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls und die damit verbundenen potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen deutlich verringert werden.

8.1.2 Radiologische Auswirkungen

Die potenzielle Strahlenexposition während des normalen Betriebs der Anlage hängt für Mensch und Umwelt mit der direkten Strahlung der am Standort vorhandenen Radioaktivität und den gasförmigen und flüssigen Einleitungen zusammen, die bestimmte Konzentrationen von Radioaktivität enthalten.

Messungen des von der FANK betriebenen TELERAD-Netzes zeigen, dass die Dosis durch externe Strahlung in der Umgebung von Tihange KWW deutlich unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr liegt und nicht von lokalen Schwankungen des natürlichen Hintergrunds zu unterscheiden ist.

Messungen, die bei einem Hubschrauberflug über dem KKW Tihange durchgeführt wurden, bestätigen dieses Bild. Über einem der Gebäude, in dem radioaktive Abfälle behandelt und gelagert werden, ist ein Anstieg der Dosisleistung sichtbar, der etwa das Doppelte des Hintergrundwertes beträgt. Allerdings ist die Strahlung seitlich abgeschirmt und daher nur oberhalb des Gebäudes messbar und auch viel kleiner als der Referenzwert von 10 µGy/h, unterhalb dessen die Auswirkungen auf die Umwelt (Fauna und Flora) vernachlässigbar sind (z. B. für Vögel).

Das Kernkraftwerk Tihange hat weder signifikante messbare radiologische Auswirkung auf die Umwelt durch atmosphärische Einleitungen noch signifikante messbare radiologische Auswirkungen auf die Maas. Diese Schlussfolgerung gilt natürlich auch dann, wenn nur der Betrieb von Tihange 3 in Betracht gezogen wird.

Eine Berechnung auf der Grundlage der geltenden Einleitungsgrenzwerte zeigt, dass selbst für die (hypothetische) „am stärksten exponierte Person“ die durch atmosphärische und flüssige Einleitungen verursachte Dosis deutlich unter dem effektiven Dosisgrenzwert für die Bevölkerung von 1 mSv pro Jahr liegt. Da die tatsächlichen Einleitungen in der Praxis nur einen Bruchteil der genehmigten Grenzwerte betragen, ist die tatsächliche Dosis (für den gesamten Standort KKW Tihange) natürlich noch geringer; sie beträgt (höchstens) etwa 4,5 % des Dosisgrenzwertes.

Die Abschaltung von Tihange 3 hat zur Folge, dass die radioaktiven gasförmigen und flüssigen Einleitungen in die Umgebung teilweise entfallen. Die direkt mit dem Betrieb der Reaktoren verbundenen Einleitungen (die auch den Hauptbeitrag zur Dosis aus den gasförmigen und flüssigen Einleitungen leisten) werden eliminiert. Andererseits werden bestimmte gasförmige und flüssige Einleitungen auch in der Nachbetriebsphase fortbestehen.

Auf der Grundlage der Erfahrungen in Deutschland kann konservativ geschätzt werden, dass die effektive Dosis durch gasförmige und flüssige Einleitungen im Falle einer Nichtverlängerung von Tihange 3 (d. h. wenn kein Reaktor mehr am Standort Tihange in Betrieb ist) im ersten Jahr nach der Abschaltung auf ein Niveau unter 0,01 mSv/Jahr und in den Folgejahren weiter auf unter 0,005 mSv/Jahr abnehmen wird.

Wird das Projekt durchgeführt und damit die Lebensdauer von Tihange 3 verlängert, kann davon ausgegangen werden, dass die gasförmigen und flüssigen Einleitungen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Tihange 3 zehn Jahre lang auf demselben Niveau bleiben wie heute, wobei davon ausgegangen wird, dass der Reaktor weiterhin mit derselben Leistung betrieben wird und dass die Behandlung der gasförmigen und flüssigen Einleitungen unverändert bleibt. Eine konservative Schätzung der effektiven Dosis durch den Betrieb nur von Tihange 3 ergibt einen Wert von 0,01 mSv/Jahr, und dieser Wert bleibt über die 10 Jahre des verlängerten Betriebs konstant. Dies liegt weit unter der derzeitigen Betriebsgenehmigung und auch weit (Faktor 100) unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr. Eine effektive Dosis von 0,01 mSv entspricht der zusätzlichen Dosis, die eine Person durch erhöhte kosmische Strahlung auf einem 5-stündigen Linienflug in 10 Kilometer Höhe erhält. Folglich ist die effektive Dosis im normalen Betrieb des Projekts eine triviale Auswirkung.

In der vorliegenden UVP wurden auch die Auswirkungen des Projekts auf die Dosis untersucht, die sich aus zwei Auslegungsstörfällen und aus einem Auslegungsstörfall ergeben würde. Die Analyse auf der Grundlage der Sicherheitsakte von Tihange 3 zeigt, dass die effektiven Dosen und die Schilddrüsen-Äquivalentdosen, die sich aus beiden Auslegungsstörfällen für Tihange 3 ergeben, innerhalb der festgelegten Grenzwerte liegen. Dies gilt auch, wenn die Analyse auf der Grundlage der FANK-Richtlinien für neue Anlagen der Klasse 1 durchgeführt wird. Bei einem Auslegungsstörfall liegt die effektive Dosis in der gleichen Größenordnung wie bei den beiden Auslegungsstörfällen, aber die Schilddrüsen-Äquivalentdosis ist niedriger.

Das Projekt birgt daher ein begrenztes Unfallrisiko (sowohl Auslegungs- als auch auslegungsüberschreitender Störfall). Für den gesamten Standort des KKW Tihange wird das Risiko jedoch abnehmen, da während der 10-jährigen Laufzeitverlängerung nur noch Tihange 3 am Standort betrieben wird.

Es wird erwartet, dass der Aufschub der Abschaltung des Kernreaktors Tihange 3 eine zusätzliche Menge an schwach- und mittlerradioaktivem Abfall von etwa 405 m³ für einen Produktionszeitraum von 10 Jahren verursachen wird. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A und nur in geringem Umfang um Abfälle der Kategorie B. Verglichen mit den ca. 50.000 m³ Abfällen der Kategorie A, die derzeit als Quell-Term in der Sicherheitsakte für die oberflächennahe Endlagerung enthalten sind, stellt dies eine geringfügige Erhöhung dar (<1 %).

Geht man davon aus, dass die zusätzliche Menge der Abfälle der Kategorie B vernachlässigbar ist, entspricht das zusätzliche Abfallvolumen etwa 253 Monolithblöcken oder 0,27 Modulen im Endlager für Abfälle der Kategorie A. Die (volumetrische) Kapazität dieses Endlagers beträgt 34 Module.

Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass die 10-jährige Verlängerung des Betriebs von Tihange 3 eine zusätzliche Menge von etwa 420 abgebrannten Brennelementen erzeugen wird. Dies entspricht einem Anstieg von 3,8 % gegenüber dem gesamten belgischen Kernbrennstoffbestand im Falle einer endgültigen Abschaltung.

Für diese Brennelemente muss eine langfristige Entsorgungslösung gefunden werden, die auf eine geologische Endlagerung hinausläuft, wenn das spaltbare Material als Abfall eingestuft wird. Davon ausgehend, dass die

Entsorgung in wenig verfestigtem Ton mit Supercontainern als Primärverpackung erfolgt, würde der oben genannte Mehrverbrauch 105 zusätzlichen Supercontainern (Typ SC-4) und einer zusätzlich benötigten Stollenlänge von ca. 650 m entsprechen. Eine zusätzliche Menge abgebrannter Brennelemente, die entsorgt werden muss, führt nicht zu einem entsprechenden Anstieg der geschätzten Dosis oder des Risikos.

8.2 Synthese der grenzüberschreitenden Auswirkungen

Das KKW Tihange ist 38 km bzw. 58 km von der niederländischen bzw. deutschen Grenze entfernt.

Die meisten nicht-radiologischen Auswirkungen, die auf den Aufschub der Abschaltung von Tihange 3 zurückzuführen sind, beschränken sich auf die unmittelbare Umgebung des Kernkraftwerks. Sie sind von begrenztem Umfang und haben daher keine grenzüberschreitenden Auswirkungen.

Nur die Einleitung von Kühlwasser, die die Temperatur der Maas beeinflusst, könnte sich längerfristig auswirken. Angesichts der Temperaturdaten der Maas an der letzten Messstation vor den Niederlanden kann der Einfluss der Kühlwassereinleitung jedoch als vernachlässigbar angesehen werden (weniger Überschreitungen von 25°C und keine Überschreitungen von 28°C im Tagesmittel, die in den letzten 3 Jahren verzeichnet wurden).

Es ist zu beachten, dass mehrere grenzüberschreitende Auswirkungen in der Ausgangssituation nicht ausgeschlossen werden können, wenn die Deaktivierung nicht aufgeschoben wird. Ausmaß und Art dieser grenzüberschreitenden Auswirkungen werden weitgehend davon abhängen, wo die (theoretische) Ersatzkapazität vorgesehen ist, welche technischen Merkmale diese Anlagen aufweisen und welche Genehmigungsmerkmale sie haben.

Wie man sieht, haben die gasförmigen und flüssigen radiologischen Einleitungen aus dem Betrieb *aller* Blöcke des KKW Tihange eine vernachlässigbare und nicht wahrnehmbare Auswirkung (Größenordnung 0,044 mSv/Jahr) für die hypothetisch am stärksten exponierte Person, die sich direkt außerhalb des Standorts des KKW Tihange befindet. Die Dosis, die von der direkten Strahlung des Standorts ausgehen könnte, bleibt im Rahmen der natürlichen Schwankungen. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Auswirkung nur mit der Entfernung abnehmen kann (Verdünnung bei Einleitungen und inverses Quadratgesetz bei jeglicher Direktstrahlung), kann gesagt werden, dass bei normalem Betrieb des KKW Tihange, und somit auch bei Verlängerung der Lebensdauer von Tihange 3, keine grenzüberschreitenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu erwarten sind.

Die für die betrachteten Unfälle für Tihange 3 berechneten Dosen für die Nachbarländer sind so niedrig, dass keine unmittelbaren Gegenmaßnahmen wie Schutzmaßnahmen oder die Verabreichung von stabilem Jod erforderlich sind. Es kann nicht völlig ausgeschlossen werden, dass sehr begrenzte und kurzfristige Maßnahmen in Bezug auf die Nahrungskette erforderlich sein könnten. Die Ablagerung langlebiger Radionuklide ist sehr begrenzt, so dass auch die radiologischen Auswirkungen dieser Unfälle begrenzt bleiben.

Teil IV. Synthese und Allgemeines Fazit
Umweltverträglichkeitsprüfung Aufschub der Abschaltung von Doel
4 und Tihange 3

9 Synthese der Auswirkungen des Projekts

9.1 Bewertung der konventionellen Auswirkungen

Die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3 bedeutet, dass für einen zusätzlichen Zeitraum von 10 Jahren (behandeltes) Sanitärabwasser, behandeltes Betriebsabwasser und (erwärmtes) Kühlwasser in die Seeschelde bzw. die Maas eingeleitet werden. Da die Einleitungsnormen an beiden Standorten eingehalten werden und der Beitrag der Einleitungen zur Konzentration der verschiedenen Schadstoffe in den Oberflächengewässern begrenzt ist, wird dies nicht zu einer Verschlechterung des ökologischen Zustands der Seeschelde (Doel) oder der Maas (Tihange) führen, vorausgesetzt, dass der Überwachung und rechtzeitigen Anpassung weiterhin Aufmerksamkeit geschenkt wird. Auch die Erreichung des guten ökologischen Potenzials der beiden Wasserkörper wird durch das Projekt nicht gefährdet.

Im Hinblick auf die biologische Vielfalt wurden für den Standort Doel die Auswirkungen des Projekts auf die Qualität des Oberflächenwassers, die Barrierewirkung, die Mortalität, die Störung, den direkten Flächenverbrauch sowie die Eutrophierung und Säuerung untersucht. Für die Barrierenfunktion und den direkten Flächenverbrauch zeigte sich, dass keine Auswirkungen zu erwarten waren. Für die Mortalität gibt es möglicherweise eine (begrenzte) Auswirkung durch die Kühlwasserzufuhr beeinflusst werden. In Bezug auf die Beeinträchtigungen sind Änderungen nur im Bereich der Lärmbelastigung zu erwarten. Dies ist jedoch nur von begrenzter Bedeutung, da die Störung während der Lebensdauer nur von Doel 4 ausgehen wird. Außerdem handelt es sich um einen bestehenden Lärm, der kontinuierlich und vorhersehbar ist, so dass keine signifikanten Auswirkungen auf benachbarte Arten zu erwarten sind.

Die Auswirkungen des Betriebs von Doel 4 selbst in Form von versauernden und eutrophierenden Ablagerungen sind vernachlässigbar. Außerdem sind andere Faktoren wie die Wasserqualität der Schelde viel entscheidender für den trophischen Zustand an diesem Standort. Positive Auswirkungen auf die Stickstoffablagerungen sind jedoch von den „vermiedenen Emissionen“ zu erwarten, die mit einer 10-jährigen zusätzlichen Stromerzeugung aus Kernkraft verbunden sind.

Die Einleitung von Kühl-, Sanitär- und Industrierwasser führt zu einer Verschlechterung der Wasserqualität, die in Doel jedoch auf den Bereich innerhalb des Wellenbrechers beschränkt ist. Bedeutende Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem der Schelde werden dadurch vermieden. Lokal gibt es keine Hinweise darauf, dass die Auswirkungen einen nachteiligen Effekt für die vorhandenen Organismen haben. Angesichts der Ausweisung der Schelde selbst als Habitat-Richtliniengebiet und der potenziellen Bedeutung dieses Gebiets für die Vögel des Vogelrichtliniengebiets ist dies eine wichtige Schlussfolgerung.

Im Falle von Tihange zeigt die Analyse, dass die Auswirkungen des Projekts auf die aquatische Umwelt nicht so stark sind, dass sie die Strategien zur Erhaltung der umliegenden Ökosysteme in Frage stellen würden, wenn man die vom Betreiber der Anlage ergriffenen Maßnahmen berücksichtigt, unabhängig davon, ob sie in der Umweltgenehmigung vorgesehen sind oder nicht (Einleitungskontrolle, Entsorgungssystem, usw.). Da die Maas in der Nähe des Kraftwerks Tihange keinen hohen ökologischen Wert hat (hauptsächlich ubiquitäre Arten) und nur einer der drei Reaktoren in den nächsten Jahren in Betrieb bleiben soll, wird keine negative Entwicklung der aquatischen Umwelt erwartet.

Beeinträchtigungen der Fauna, die auf die Anwesenheit des Menschen zurückzuführen sind (Lärm, Beleuchtung usw.), werden als nicht signifikant angesehen, da sich die Anlage in einer bereits stark urbanisierten Region befindet und der Betreiber außerdem Maßnahmen zur Verringerung der akustischen Auswirkungen der Anlage ergriffen hat. Außerdem wurden auf dem Gelände Maßnahmen zur Verbesserung der lokalen Artenvielfalt ergriffen.

Der Beitrag der Verlängerung der Lebensdauer von Tihange 3 zu den Säureablagerungen wird nicht signifikant sein. Wie bei Doel 4 kann sogar von einer positiven Auswirkung ausgegangen werden, da der vom Reaktor erzeugte Strom nicht in GuD-Kraftwerken erzeugt werden muss, die wesentlich mehr Rauchgase ausstoßen, die für Säuerung und Stickstoffablagerung verantwortlich sind.

Unter Berücksichtigung aller oben genannten Elemente kann gesagt werden, dass der Betrieb von Tihange 3 während der gesamten Lebensdauer nicht mit den in den wallonischen Rechtsvorschriften festgelegten Erhaltungszielen unvereinbar ist.

Der Betrieb der KKW Doel und Tihange kann ebenfalls Auswirkungen auf die Luftqualität haben. Die wichtigsten Quellen mit potenziellen Auswirkungen sind Dampfkessel und Dieselmotoren, die jedoch nur begrenzte Betriebsstunden pro Jahr haben. Da mit der Schließung der anderen Reaktoren an beiden Standorten weitere Verbrennungsanlagen außer Betrieb genommen werden, werden ihre Auswirkungen weiter abnehmen.

Aus den Berechnungen der Auswirkungen für Doel geht hervor, dass die Auswirkung auf die Luftqualität (weniger als 1 % der verwendeten Grenz- oder Prüfwerte) vernachlässigbar ist. Es besteht also kein Bedarf an Minderungsmaßnahmen.

Wenn die Laufzeit von Doel 4 und Tihange 3 nicht verlängert wird, muss an ihrer Stelle Strom mit (teilweise) fossilen Brennstoffen erzeugt werden. Die dabei entstehenden Emissionen (die bei der Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3 als „vermieden“ angesehen werden können) sind viel höher als die Emissionen, die während des Betriebs von Doel 4 und Tihange 3 entstehen, und die Auswirkungen auf die Luftqualität werden daher größer sein.

Die Treibhausgasemissionen, die dem Betrieb von Doel 4 und Tihange 3 zuzuschreiben sind, summieren sich während des Verlängerungszeitraums auf etwa 31 kt (kumuliert). Die durch eine längere Offenhaltung von Doel 4 und Tihange 3 *vermiedenen* Treibhausgasemissionen liegen in einer anderen Größenordnung. Über den gesamten Zeitraum führt die Verschiebung der Abschaltung beider Reaktoren zu einer Vermeidung von Emissionen in Höhe von etwa 24.830 kt CO₂-Äq. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von fast 20 % der Emissionen im Sektor „Strom- und Wärmeerzeugung“ in Belgien im Jahr 2021 (12,8 Mt). Vergleicht man die Emissionen, die durch den Betrieb von Doel 4 und Tihange 3 im ungefähr gleichen Zeitraum freigesetzt werden (zusammen 31 kt), so stellt man fest, dass die Emissionen beider Reaktoren im Zeitraum der Verlängerung der Lebensdauer nur 0,12 % der im gleichen Zeitraum vermiedenen Emissionen ausmachen.

Weder Doel 4 noch Tihange 3 haben Auswirkungen auf die Widerstandsfähigkeit ihrer Umwelt gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels während des Referenzzeitraums. Innerhalb der zeitlichen Perspektive der Verlängerung der Lebensdauer sind auch beide Standorte selbst nicht anfällig für die Folgen des Klimawandels, und diese Situation ist unabhängig davon, ob die Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 verschoben wird oder nicht.

Das Projekt hat keine nennenswerten Auswirkungen auf die Gesundheit. Legionellen haben aufgrund der getroffenen Maßnahmen und im Fall von Doel auch aufgrund der besonderen Bedingungen (Brackwasserspeisung) in der Vergangenheit nie ein Problem dargestellt, und es gibt keinen Grund zu der Annahme, dass dies während der Laufzeitverlängerung anders sein wird. Was die Risikowahrnehmung in Bezug auf nukleare Unfälle angeht, so kann man sagen, dass es zwar eine solche Risikowahrnehmung gibt, aber kein nachweisbarer Zusammenhang mit psychosomatischen Auswirkungen besteht. Schließlich kann bestätigt werden, dass die Verlängerung der Lebensdauer von Doel 4 und Tihange 3 die Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls deutlich verringert (insbesondere in den ersten Jahren der Verlängerung der Lebensdauer), was sich positiv auf die Vermeidung von Gesundheits- und Sicherheitsrisiken auswirkt, die mit Stromausfällen einhergehen können. Abschließend kann festgestellt werden, dass im Hinblick auf die externe Sicherheit keine nennenswerte Erhöhung des Risikos durch die Verlängerung der Lebensdauer zu erwarten ist.

9.2 Bewertung der radiologischen Aspekte

9.2.1 Auswirkungen auf Mensch und Umwelt im Normalbetrieb

Die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung im Normalbetrieb und die damit verbundenen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ergeben sich zum einen aus der direkten Strahlung der Standorte und den radioaktiven gasförmigen und flüssigen Einleitungen. Die Dosis durch direkte Strahlenexposition an der Grenze zu und außerhalb der Standorte ist sehr gering und nicht nachweisbar. Sie ist nicht von natürlichen Schwankungen der Hintergrundstrahlung zu unterscheiden. Auch die externe Strahlung nimmt mit zunehmender Entfernung deutlich ab (Gesetz des umgekehrten Quadrats).

Bei einer Verlängerung von Doel 4 und Tihange 3 um weitere 10 Jahre über das Jahr 2025 hinaus werden die flüssigen und gasförmigen Einleitungen im Normalbetrieb genauso hoch sein wie beim Betrieb von Doel 4 und Tihange 3 derzeit und in den letzten Jahren. Die gasförmigen und flüssigen Einleitungen sind ein Bruchteil der in den Betriebsgenehmigungen der KKW Doel und Tihange festgelegten Einleitungsgrenzwerte, und die Dosis wird hauptsächlich durch die gasförmigen Einleitungen von Kohlenstoff 14 (C-14) bestimmt. Dieses ebenfalls natürlich vorkommende Radionuklid entsteht beim Reaktorbetrieb durch die bei der Kernspaltung freigesetzten Neutronen.

Die effektive Dosis durch das Projekt (die Verlängerung von Doel 4 und Tihange 3 für einen Zeitraum von 10 Jahren), die durch die gasförmigen und flüssigen Einleitungen verursacht wird, wird auf 0,010 mSv/Jahr für die am stärksten exponierte Person (kritische Person) geschätzt, und zwar für den 10-jährigen Zeitraum des fortgesetzten Betriebs. Dies ist eine triviale Dosis, die weit unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr liegt. Außerdem handelt es sich bei dieser Dosis um eine sehr konservative Schätzung (kritische Person: empfindlichste Altersgruppe, am Ort der maximalen Exposition, Lebensmittel vom Ort mit der höchsten Konzentration von Radionukliden,...).

In Anbetracht der endgültigen Abschaltung der anderen Reaktoren an den beiden Standorten nach dem derzeitigen Zeitplan wird die Exposition aufgrund von Tätigkeiten an den Standorten der KKW Doel und Tihange nach 2025 im Vergleich zu der Situation der letzten Jahre voraussichtlich abnehmen, selbst wenn Doel 4 und Tihange 3 verlängert werden. Die typische effektive Dosis für die kritische Person der gasförmigen und flüssigen Einleitungen wurde für die vergangenen Jahre auf etwa 0,02 mSv/Jahr für das KKW Doel und 0,03-0,05 mSv/Jahr für das KKW Tihange geschätzt, je nach Betrachtungszeitraum und Annahmen. Nach 2025 und mit der Verlängerung von Doel 4 und Tihange 3 wird die effektive Dosis von 0,017-0,013 mSv/Jahr für den gesamten Standort des KKW Doel und von 0,020 bis 0,015 mSv/Jahr für das KKW Tihange während des betrachteten Zeitraums des Projekts abnehmen. Dieser Rückgang ist darauf zurückzuführen, dass nach der Abschaltung von Doel 1, 2 und 3 für das KKW Doel und Tihange 1 und 2 für das KKW Tihange eine Abnahme der Abflüsse in Abhängigkeit von der Zeit erwartet wird. Die Auswirkungen auf die Umwelt sind ebenfalls vernachlässigbar und werden für die gesamten Standorte des KKW Doel und des KKW Tihange weiter abnehmen, auch wenn Doel 4 und Tihange 3 verlängert werden. Durch die Überwachung der gasförmigen und flüssigen Einleitungen und die Überwachung der Umgebung im Rahmen des Überwachungsprogramms und eines vom Betreiber durchgeführten spezifischen Programms werden die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt weiterhin kontinuierlich überwacht. Da Dosen und Auswirkungen auf Mensch und Umwelt an der Standortgrenze trivial sind, gibt es auch keine grenzüberschreitenden Auswirkungen im Normalbetrieb.

Abschließend möchten wir darauf hinweisen, dass während der Laufzeit des Projekts mit dem Rückbau eines oder mehrerer der anderen Reaktoren begonnen werden könnte. Dies könnte sich möglicherweise auf den radiologischen Zustand auswirken, ist aber nicht Gegenstand dieser Umweltverträglichkeitsprüfung. Hierfür ist eine separate Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich.

9.2.2 Auswirkungen auf Mensch und Umwelt im Falle eines Unfalls

Für die beiden Reaktoren Doel 4 und Tihange 3 wurden zwei Auslegungstörfälle untersucht, nämlich der Kühlmittelverluststörfall (Loss Of Coolant Accident - LOCA) und der Brennstoffhandhabungsstörfall (Fuel Handling Accident - FHA), die als übergreifend für diese Art von Störfällen angesehen werden können, und ein Erweiterungsstörfall, ein kompletter Stations-Blackout (Complete Station Blackout - CSBO) mit Kernschmelze, der

dann als repräsentativ für diese Art von Störfällen angesehen werden kann. Die Auswirkungen der beiden Auslegungsstörfälle liegen innerhalb der Grenzen der allgemeinen Angaben nach Artikel 37 des Euratom-Vertrags. Für die Bewertung der Auswirkungen wurden jedoch auch die Bewertungen nach den FANK/Bel-V-Richtlinien für neue Anlagen der Klasse 1 herangezogen. Die Ergebnisse dieser Analyse fallen ebenfalls in den Bereich der allgemeinen Daten gemäß Artikel 37 des Euratom-Vertrags. Streng genommen ist die letztgenannte Einschätzung hier nicht zutreffend, da Doel 4 und Tihange 3 bereits bestehende Anlagen der Klasse 1 sind. Es handelt sich jedoch um die einzige Analyse, die zur Bewertung der Auswirkungen des CSBO-Unfalls verwendet wurde, und diese Analyse gibt auch Aufschluss über ein breiteres Spektrum von Auswirkungen, die mit einem Unfall verbunden sein können, wie z. B. Bodenkontamination, für die Auslegungsstörfälle (LOCA und FHA).

Obwohl die Reaktoren Doel 4 und Tihange 3 vom gleichen Typ und der gleichen Leistung sind, lassen sich bei demselben Unfallszenario unterschiedliche Auswirkungen feststellen. Dies hat mit der genauen Auslegung (Volumen des Reaktorgebäudes, Leckrate nach außen usw.) und den Sicherheitssystemen in Bezug auf die an die Umwelt abgegebenen Mengen an Radioaktivität zu tun, aber auch mit der Höhe der Einleitung (Schornsteinhöhe) bei Unfällen an beiden Standorten. Ferner ist zu beachten, dass sowohl die bei den Unfällen eingeleiteten Mengen an Radioaktivität (unter den betrachteten Szenarien) als auch die Berechnung der Auswirkungen konservativ geschätzt wurden. Das heißt, bei einem echten Unfall, der den betrachteten Szenarien (einschließlich des Betriebs der Sicherheitssysteme) folgt, werden die Auswirkungen immer oder fast immer geringer sein.

Für Tihange 3 gibt es bei den drei betrachteten Unfällen gemäß den Richtlinien für neue Anlagen der Klasse 1 keine Überschreitungen der effektiven Dosis und der Schilddrüsen-Äquivalentdosis während des Unfalls in Bezug auf die spezifischen Referenzwerte für sofortige, dringende Schutzmaßnahmen wie Schutzräume, Evakuierung oder Aufnahme von stabilem Jod (die Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel ist nicht eingeschlossen, da sie leicht vermieden werden kann). Die effektive Dosis ist für den Auslegungsstörfall (CSBO) am höchsten und beträgt 4,29 mSv über die Dauer des Unfalls (5 mSv in 24 Stunden ist der Referenzwert für den Schutz¹⁴¹). Diese Dosis ist vergleichbar mit der Dosis, die ein durchschnittlicher Belgier pro Jahr sowohl durch natürliche Strahlung als auch durch medizinische Diagnoseanwendungen erhält. Die Schilddrüsendosis wurde bei diesem Unfall durch das Containment Filter Venting System (CFVS) begrenzt, das gemäß der Betriebsgenehmigung bei einem solchen Unfall eingesetzt werden sollte. Dieses System filtert das Jod und die vorhandenen Aerosole (einschließlich des langlebigen Cs-137) in erheblichem Maße heraus, so dass die effektive Dosis weitgehend auf die Strahlung der radioaktiven Edelgase in der vorbeiziehenden Wolke zurückzuführen ist. Von den betrachteten Unfällen weist der FHA-Unfall die höchste Schilddrüsendosis auf (4,95 mSv für Tihange in der Altersgruppe von 1-2 Jahren). Sie entsteht durch die Freisetzung von Jodisotopen. Bei diesem Unfall und auch beim LOCA-Unfall besteht die Möglichkeit, dass die Nahrungskette mit radioaktivem Jod kontaminiert wird und Gegenmaßnahmen erforderlich werden. Angesichts der begrenzten Halbwertszeit von Jodisotopen ist die Kontamination zeitlich begrenzt. Die Kontamination mit langlebigen Radionukliden wie Cs-137 ist sehr begrenzt (nur LOCA), so dass bei den Unfallszenarien keine Auswirkungen auf die Nahrungskette zu erwarten sind. Die effektive Lebenszeitdosis (über 50 Jahre für Erwachsene und bis zu 70 Jahre für andere Altersgruppen) aufgrund von Unfällen ist begrenzt und liegt deutlich unter 1 Sv. Die grenzüberschreitenden Auswirkungen aller für Tihange 3 betrachteten Unfälle sind aufgrund der Entfernung zu den Nachbarländern sehr begrenzt. Die Dosen sind begrenzt, und eine radioaktive Jodkontamination ist möglich, wird aber konservativ am Rande der zu treffenden Gegenmaßnahmen geschätzt.

Für die betrachteten Doel-4-Unfälle, die nach der Analyse der neuen Klasse-1-Anlagen Tihange 3 entsprechen, ist die effektive Dosis für den CSBO-Unfall am höchsten und beträgt 8,89 mSv, was somit über dem Referenzwert für die Abschottung (5 mSv in 24 Stunden) liegt, aber immer noch deutlich niedriger ist als der Referenzwert für die Evakuierung (50 mSv in einer Woche). Die Schilddrüsen-Äquivalentdosen sind für den LOCA- und den FHA-Unfall für Doel 4 ähnlich und belaufen sich auf etwa 35 mSv (Alterskategorie 1-2 Jahre alt). Diese Werte liegen über dem

¹⁴¹ Referenzwerte sollten nicht als Grenzwerte betrachtet werden. In einer realen Situation wäre ein Schutz vielleicht zu empfehlen, zum einen wegen der Ungewissheit, die in jeder Unfallsituation besteht, zum anderen aber auch, weil die Verringerung der Exposition (Dosisoptimierung) im Rahmen des Vorsorgeprinzips gegen die nachteiligen Auswirkungen eines Schutzes abgewogen werden kann.

Referenzwert für die Aufnahme von stabilem Jod für Kinder und schwangere Frauen (10 mSv Schilddrüsen-Äquivalentdosis). Auch bei den betrachteten Auslegungstörfällen für Doel 4 werden auf der Grundlage der konservativen Schätzungen der Jodisotopendeposition die abgeleiteten Werte für die Nahrungskette überschritten, so dass Gegenmaßnahmen in der Nahrungskette erforderlich sein können (in der Regel Milch, Blattgemüse und Fleisch). Auch für das CSBO-Unfallszenario für Doel 4 kann nicht ausgeschlossen werden, dass der abgeleitete Wert für die Bodenkonzentration von 4000 Bq/m² überschritten wird und somit Maßnahmen in der Lebensmittelkette erforderlich wären. Bei diesem Unfall ist die Joddeposition jedoch geringer als bei den Auslegungstörfällen (LOCA und FHA). Aufgrund der begrenzten Halbwertszeit der wichtigsten Jodisotope ist diese jedoch bei allen Unfallszenarien wiederum zeitlich begrenzt (Halbwertszeit von 8,02 Tagen für I-131). Die Kontamination durch langlebige Radionuklide wie Cs-137 wird sehr begrenzt sein und in den betrachteten Szenarien keine Gegenmaßnahmen erfordern. Folglich sind ein Jahr nach dem Unfall keine Gegenmaßnahmen mehr zu erwarten. Darüber hinaus liegen die effektiven Lebenszeitdosen auch bei den Doel-4-Unfallszenarien deutlich unter 1 Sv.

Die grenzüberschreitenden Auswirkungen der Unfälle halten sich in Grenzen, da für alle betrachteten Unfallszenarien sowohl für Doel 4 als auch für Tihange 3 keine unmittelbaren Gegenmaßnahmen wie Schutzmaßnahmen, Evakuierung oder die Einnahme von stabilem Jod zum Schutz der Schilddrüse in den Nachbarländern erforderlich sind. Vor allem in den Niederlanden ist angesichts der Nähe von Doel 4 eine Kontamination der Nahrungskette mit Jodisotopen möglich, die Gegenmaßnahmen erforderlich machen könnte. In den anderen Nachbarländern ist dies sowohl für Doel 4 als auch für Tihange 3 sehr unwahrscheinlich, aber auch für einige Länder nicht völlig ausgeschlossen. Allerdings ist die Kontamination mit Jodisotopen aufgrund der begrenzten Halbwertszeit nur von kurzer Dauer. Die Kontamination mit langlebigen Radionukliden wie Cs-137 ist sehr begrenzt und erfordert keine Gegenmaßnahmen. Die Lebenszeitdosis aufgrund der betrachteten Unfallszenarien ist daher in allen Nachbarländern sehr begrenzt.

Was die Auswirkungen auf Fauna und Flora anbelangt, so sind für Doel 4 sehr mäßige bis vernachlässigbare Auswirkungen und für Tihange 3 vernachlässigbare Auswirkungen zu erwarten, wenn man von den Mengen ausgeht, die bei den verschiedenen Unfallszenarien eingeleitet werden, und von den damit verbundenen Ablagerungen. Auch hier handelt es sich um konservative Schätzungen.

Da nach dem derzeitigen Zeitplan Doel 4 und Tihange 3 nach 2025 die einzigen Reaktoren an den jeweiligen Standorten des KKW Doel und des KKW Tihange sein werden, die zur Stromerzeugung betrieben werden, sinkt die Wahrscheinlichkeit eines schweren Unfalls an beiden Standorten. Nach der endgültigen Abschaltung der anderen Reaktoren sinkt die Radioaktivität rasch ab, ein Unfall bleibt möglich (z. B. wegen des Ausfalls der Kühlung), aber die potenziellen radioaktiven Einleitungen und damit die potenziellen Auswirkungen nehmen im Laufe der Zeit rasch ab. Infolgedessen werden auch die Auswirkungen von Multi-Block-Ereignissen an beiden Standorten (Unfälle, an denen mehrere Anlagen beteiligt sind, wie beim Unfall in Fukushima-Dai-ichi) nach 2025 geringer sein. In Anbetracht der räumlichen Entfernung zwischen den Standorten der beiden Reaktoren ist die Wahrscheinlichkeit eines gleichzeitigen Unfalls von Doel 4 und Tihange 3 noch geringer als bei Ereignissen mit mehreren Blöcken am selben Standort.

9.2.3 Auswirkungen auf die Erzeugung von Abfall und abgebrannten Brennelementen

Bei einer Verlängerung des Betriebs der Blöcke Doel 4 und Tihange 3 wird eine zusätzliche Menge schwach- und mittlerradioaktiver Abfälle anfallen, die auf der Grundlage langfristiger Durchschnittswerte für den derzeit prognostizierten 10-jährigen LTO-Zeitraum auf insgesamt 864 m³ geschätzt wird. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A und nur in geringem Umfang um Abfälle der Kategorie B, zu denen bestimmte Harze und Filter gehören können. Verglichen mit den ~50.000 m³ Abfällen der Kategorie A, die derzeit als Quell-Term in der Sicherheitsakte für die oberflächennahe Endlagerung enthalten sind, stellt dies eine geringfügige Erhöhung dar (~1,7 %).

Geht man davon aus, dass die Menge an Abfällen der Kategorie B vernachlässigbar ist, entspricht das zusätzliche Abfallvolumen etwa 2.161 400-Liter-Kolli, die in 540 Endlagerungseinheiten (Monolithen) verpackt werden, die für die oberflächennahe Endlagerung in der zu diesem Zweck geplanten Anlage in Dessel bestimmt sind, für die das

Genehmigungsverfahren läuft. Die (volumetrische) Kapazität der Endlagerung beträgt 34 Module, mit einer ausreichenden Reserve von 20 % bzw. 5,4 Modulen, um Unwägbarkeiten in Bezug auf die künftige Produktion von Abfällen der Kategorie A zu berücksichtigen. Die zusätzlichen Abfälle, die durch die LTO von Doel 4 und Tihange 3 anfallen würden, nehmen davon 0,6 Module ein. Da es sich um die Verlängerung einer bestehenden Aktivität handelt, die Abfallfamilien mit bekannten Eigenschaften erzeugt, werden weder kurz- noch langfristig weitere Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft erwartet.

Die kumulative Anzahl der Brennelemente, die während eines 10-jährigen LTO-Zeitraums in Doel 4 und Tihange 3 verbraucht werden, wurde ebenfalls geschätzt. Für beide Blöcke zusammen wird die LTO zu einem zusätzlichen Verbrauch von etwa 810 Brennelementen (Typ UOX 14ft) führen. Gewichtet mit dem gesamten belgischen Reaktorpark entspricht dies einem Überschuss von 7,3 % bei der Anzahl der Brennelemente bzw. 8,9 % in Tonnen Schwermetall (tHM).

In Anbetracht dieser relativ begrenzten Menge und unter der Annahme, dass sie ähnliche Eigenschaften wie die vorhandenen Brennelemente haben werden, werden keine Auswirkungen auf ihre weitere Bewirtschaftung erwartet. Durch der Aufschub der Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 wird die Netzabschaltung der Blöcke an beiden Standorten weiter gestreut, wo sie sich sonst auf wenige Jahre konzentrieren würde. Mit den im Bau befindlichen SF₂-Lagern in Doel und Tihange wird es genügend Kapazität für eine sichere Lagerung an den Standorten geben, bis eine Entscheidung über die Langzeitverwaltung getroffen wird.

Beim Rückbau fallen große Mengen an Materialströmen an, die größtenteils freigegeben und recycelt werden können. Das Herzstück der Anlage, d. h. der Reaktorbehälter und die inneren Teile, können jedoch als radioaktiver Abfall betrachtet werden. Die Abfallklassifizierung (Kategorie A oder B) basiert auf der Radioaktivitätskonzentration der sicherheitsrelevanten Radionuklide und hängt daher vom Neutronenfluss während des Reaktorbetriebs und der Bestrahlungsdauer ab. Aktivierungsberechnungen der verschiedenen Komponenten des Stahls des Reaktorbehälters ergaben, dass die Gesamtaktivität kaum ansteigt und dass der geringe Anteil langlebiger Isotope (die für die Langzeitverwaltung wichtig sind) um etwa 25 % ansteigt, was proportional zur Dauer der zehnjährigen Betriebsverlängerung ist. Es wird erwartet, dass diese begrenzte Erhöhung der Aktivität durch die LTO nur geringe oder keine Auswirkungen auf die Abgrenzung der Übergangszone zwischen Abfällen der Kategorie A und der Kategorie B haben wird. Daher sind keine nennenswerten Verschiebungen der Abfallmengen zu erwarten.

9.3 Minderungsmaßnahmen und Wissenslücken in Bezug auf die nichtradiologischen Auswirkungen

9.3.1 Minderungsmaßnahmen

In Anbetracht der (sehr) begrenzten nichtradiologischen Auswirkungen des Projekts sind Minderungsmaßnahmen kein Thema. Dennoch können einige Empfehlungen für das Thema Wasser formuliert werden.

Für den Standort Doel gilt Folgendes:

1. Verhinderung der Einleitung von Grund- und Kühlwasser in die Mischwasserkanalisation und Abkopplung von Regenwasser (z. B. bei Neubauten oder Wartungsarbeiten), was zu einer Verdünnung des Abwassers und häufigen Überläufen führt;
2. Eine weitere Optimierung der Abwasseraufbereitung ist angezeigt, um frühere Engpässe (Nitrit, AOX) dauerhaft zu beseitigen und eine einheitlichere Messung einiger anderer Parameter zu ermöglichen, damit die Einhaltung der Einleitungsnormen überprüft werden kann;
3. Künftige Umbauten und Renovierungen sollten so hochwasser- und klimaresistent sein, dass sie die Auswirkungen intensiverer Regenfälle in der Zukunft bewältigen können und keine Überschwemmungen an die Umgebung weitergeben;
4. Das Abschalten von Doel 3 (2022) und Doel 1 und 2 (2025) kann als Gelegenheit genutzt werden, die Wasseraufbereitung und (Regen-)Wasserbewirtschaftung für Doel 4 zu optimieren.

Die folgenden Empfehlungen gelten sowohl für Doel als auch für Tihange:

1. Trennung des Regenwassers vom Sanitärabwasser und Wiederverwendung des Regenwassers als Sanitärwasser, so weit wie möglich Vermeidung des Gebrauchs von Stadtwasser;
2. Entsiegelung (Versickerung), Bau von Gründächern oder Wasserflächen (Pufferung) auf dem Gelände, um den Wärmeinseleffekt zu verringern, (Regen-)Wasser besser zurückzuhalten und zu speichern sowie Austrocknung zu verhindern;
3. Vorausschauende Feinabstimmung der Kühlleistung auf Basis der Überwachung der Temperatur der Seeschelde und der Maas.

9.3.2 Wissenslücken und Überwachung

Beim Thema Wasser gibt es eine Lücke im Verständnis des genauen Anteils der Abwässer von Doel 4 und Tihange 3 und damit des genauen Beitrags des Betriebs von Doel 4 bzw. Tihange 3 zur Restverschmutzung, die in die Schelde und Maas gelangt.

Für das Thema Luft besteht die größte Wissenslücke im Bereich der Emissionen von Verbrennungsanlagen, da nicht für alle Anlagen Messwerte oder Modelleigenschaften bekannt sind. Durch die Verwendung von Emissionsfaktoren aus der Literatur und von Annahmen werden diese Lücken aufgefüllt. Dies führt zu einer erhöhten Unsicherheit bei den Ergebnissen der Auswirkungsberechnungen, aber selbst wenn man dies berücksichtigt, kann man sagen, dass die Auswirkungen vernachlässigbar sind.

Schließlich besteht die Ungewissheit, wie etwaige verlorene Kapazitäten von Doel 4 und Tihange 3 (falls das Projekt nicht durchgeführt wird) ersetzt werden sollen. Dies bedeutet, dass die Auswirkungen auf die Luftqualität und die Stickstoffdepositionen u. a. in der Referenzsituation nicht genau abgeschätzt werden können.

Für Tihange wird vorgeschlagen, den Seveso-Status des Standorts nach Abschaltung von Tihange 1 und 2 zu überprüfen. Auch wenn die Anlage in einem solchen Fall nicht mehr als Seveso-Anlage eingestuft würde, sollte auf die Unfallverhütung geachtet werden, um mögliche Sicherheitsrisiken für die Bevölkerung zu kontrollieren.

9.4 Minderungsmaßnahmen und Wissenslücken in Bezug auf radiologische Auswirkungen

9.4.1 Notfallplanung

9.4.1.1 Ziel und grundlegende Konzepte

Das Ziel der nuklearen Notfallplanung ist es, sicherzustellen, dass innerhalb der Betriebsorganisation und auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene sowie gegebenenfalls auf internationaler Ebene angemessene Kapazitäten vorhanden sind, um auf einen nuklearen Notfall wirksam zu reagieren. Diese Kapazitäten beziehen sich auf einen integriertes Ganzes von Infrastrukturelementen, die Folgendes umfassen: zuständige Behörde und Verantwortlichkeiten, Organisation und Personal, Koordination, Pläne und Verfahren, Instrumente, Ausrüstung und Einrichtungen, Schulungen, Übungen und ein Verwaltungssystem^{xvii}.

Bei einem nuklearen oder radiologischen Notfall sind die Ziele:

- d) die Kontrolle über die Situation zurückzugewinnen und die Folgen zu begrenzen;
- e) Leben zu retten;
- f) schwerwiegende deterministische Effekte zu verhindern oder zu minimieren;
- g) Erste Hilfe zu leisten, kritische medizinische Behandlungen durchzuführen und die Behandlung von Strahlenschäden zu verwalten;
- h) das Risiko von stochastischen Effekten zu reduzieren;
- i) die Öffentlichkeit zu informieren und das öffentliche Vertrauen zu erhalten;
- j) nichtradiologische Auswirkungen weitestgehend zu minimieren;
- k) Eigentümer und die Umwelt so weit wie möglich zu schützen;
- l) sich so weit wie möglich auf die Wiederaufnahme der normalen sozialen und wirtschaftlichen Tätigkeit vorzubereiten.

Rechtlicher Rahmen

Europäische und internationale Richtlinien

Tabelle 101 zeigt die wichtigsten europäischen und internationalen Richtlinien in Bezug auf die nukleare Notfallplanung.

Tabelle 101: Relevante europäische und internationale Richtlinien in Bezug auf die nukleare Notfallplanung.

Europäische und internationale Richtlinie	Relevante Inhalte der nuklearen Notfallplanung
2013/59/Euratom ^{xvii}	Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten, ein Notfallmanagementsystem einzurichten, das Notfallpläne für die verschiedenen Arten von nuklearen und radiologischen Notfällen, die festgestellt werden können, vorsieht. Die Richtlinie 2013/59/Euratom vom 5. Dezember 2013 wird teilweise im Königlichen Erlass vom 1. März 2018 zur Festlegung des Noteinsatzplans für nukleare und radiologische Risiken für das belgische Staatsgebiet umgesetzt (siehe Tabelle 102).
IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1 ^{xviii}	Diese Richtlinien beschreiben angemessene Reaktionen auf eine Reihe von nuklearen oder radiologischen Notfällen.
IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7 ^{xviii}	Diese Publikation legt die Anforderungen für ein angemessenes Niveau der Bereitschaft für einen nuklearen oder radiologischen Notfall fest. Die Anwendung dieser Anforderungen soll die Folgen eines nuklearen oder radiologischen Notfalls abmildern, sollte dieser trotz aller Bemühungen zur Vermeidung eintreten.
ICRP Publication 63 ^{xcix}	Diese Publikation gibt quantitative Leitlinien für die Interventionsstufen. Diese Leitlinien betreffen die sehr kurzfristige Einführung von Schutzmaßnahmen und deren Fortführung über einen längeren Zeitraum.
ICRP Publication 109 ^c	Dieser Bericht enthält Leitlinien für die Vorbereitung auf und die Reaktion auf alle Situationen, in denen eine Strahlenexposition in nuklearen oder radiologischen Notfällen auftritt.
WENRA Safety Reference Level for Existing Reactors 2020 ^{ci}	Dieser Bericht enthält Richtlinien für ein harmonisiertes Konzept für die nukleare Sicherheit in den Mitgliedstaaten.

Belgische Gesetzgebung

Im Folgenden wird ein Überblick über die belgische Gesetzgebung gegeben, die für die nukleare Notfallplanung relevant ist (Tabelle 102).

Tabelle 102: Für die nukleare Notfallplanung relevante Belgische Gesetzgebung.

Art	Inhalt
Gesetz vom 15. April 1994 über den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und über die FANK. ^{cii}	Dieses Gesetz enthält Bestimmungen für den zielgerichteten Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen. Das Gesetz sieht auch die Einrichtung einer öffentlichen Einrichtung mit Rechtspersönlichkeit vor: die „Föderalagentur für Nuklearkontrolle“, abgekürzt FANK, die die Einhaltung dieses Gesetzes und seiner Ausführungserlasse sicherstellen soll.
AOSIS (20.07.2001) ^{ciii}	Diese Vorschriften gelten für alle Tätigkeiten, die eine Gefährdung durch ionisierende Strahlung, die entweder von einer künstlichen oder einer natürlichen Strahlenquelle ausgeht, mit sich bringen können, wenn natürliche Radionuklide im Hinblick auf ihre radioaktiven Eigenschaften, ihre Spaltbarkeit oder ihre Züchtungseigenschaften verarbeitet werden oder wurden. Dieser Königliche Erlass legt die grundlegenden Normen für den Schutz vor der Exposition gegenüber ionisierender Strahlung fest.
Ministerielles Rundschreiben NPU-1 bezüglich der Notfall- und Interventionspläne (26.10.2006) ^{civ}	Dieses Rundschreiben erläutert die Bestimmungen und Grundsätze, die im Königlichen Erlass vom 16. Februar bezüglich der Notfall- und Interventionspläne enthalten sind.
K. E. zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen (30.11.2011) ^{cv}	Dieser Erlass ist an die Betreiber von kerntechnischen Anlagen der Klasse 1 und insbesondere von Kernreaktoren zur Stromerzeugung gerichtet. Er erlässt eine Reihe von Sicherheitsvorschriften, die der Betreiber anwenden muss.
K. E. zur Abänderung der AOSIS (20.07.2020) ^{cvi}	Dieser K. E. ändert verschiedene Bestimmungen der AOSIS, im Hinblick auf eine teilweise Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM. Außerdem werden einige zusätzliche Bestimmungen eingefügt.
K. E. zur Festlegung des Noteinsatzplans für nukleare und radiologische Risiken für das belgische Staatsgebiet, B. S. 6. März 2018) ^{cvi}	Dieser K. E. legt den nuklearen und radiologischen Notfallplan für das belgische Staatsgebiet fest. Dieser Plan soll die Koordinierung von Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt im Falle einer das belgische Staatsgebiet direkt oder indirekt bedrohenden radiologischen Notfallsituation sicherstellen. Der Plan definiert die durchzuführenden Aufgaben und die Zuständigkeiten aller beteiligten Parteien. Belgien verfügt seit 1991 über einen nationalen nuklearen und radiologischen Notfallplan. Seitdem wurden viele Aktualisierungen vorgenommen. Nach Rücksprache mit allen beteiligten (inter-)nationalen Partnern wurde der nukleare und radiologische Notfallplan für das belgische Staatsgebiet 2018 aktualisiert.

9.4.1.2 Interne und externe Notfallpläne für kerntechnische Anlagen des KKW Doel und des KKW Tihange

Der Notfallplan jeder belgischen kerntechnischen Anlage wird systematisch im Sicherheitsbericht beschrieben und durch die Erteilung der Genehmigung genehmigt. Darüber hinaus enthält der „interne“ Notfallplan Anweisungen für alle Akteure.

Im Falle eines Unfalls in einem Kernkraftwerksblock im KKW Doel oder im KKW Tihange wird der Betriebsraum im betreffenden Kraftwerk (d. h. das technische Zentrum vor Ort) aktiviert und verwaltet alle technischen Probleme, um den Unfall zu kontrollieren und seine Folgen zu begrenzen. Auf Standortebene verwaltet die Notfallplanzentrale (NPK - Doel/Tihange) die Umweltauswirkungen und steht in Verbindung mit dem CGCCR^{cvi}.

9.4.1.3 Harmonisierung zwischen Nachbarländern für KKW Doel und KKW Tihange

Es ist wünschenswert, dass die Länder ihr Vorgehen bei einem grenzüberschreitenden nuklearen Unfall im Vorfeld koordinieren^{cix}. Dadurch wird verhindert, dass sich die Maßnahmen auf der einen Seite der Grenze wesentlich von denen auf der anderen Seite der Grenze unterscheiden. In diesem Zusammenhang fördert der europäische Zusammenschluss HERCA-WENRA^{cx} die Harmonisierung in den Grenzgebieten in der Umgebung von Kernkraftwerken. Harmonisierung bedeutet in diesem Ansatz, dass das Nachbarland keine Maßnahmen ergreift, die im Widerspruch zu denen des Ursprungslandes stehen oder über diese hinausgehen.

Die Niederlande, Frankreich, Belgien und Deutschland haben Strategien formuliert, um ähnliche Schutzmaßnahmen für den Fall eines nuklearen Unfalls vorzubereiten (siehe Tabelle 103).

Tabelle 103: Interventionsrichtwerte (IRW) und Vorbereitungs- bzw. Notfallplanungszonen (Kreisradius in km) (NPZ), die von Belgien, den Niederlanden, Deutschland und Frankreich um die Kernkraftwerke Doel und Tihange für sofortige Schutzmaßnahmen im Falle eines nuklearen Notfalls eingerichtet wurden).

	Politik in Belgien		Politik in den Niederlanden		Politik in Deutschland		Politik in Frankreich	
	IRW	NPZ	IRW	NPZ	IRW	NPZ	IRW	NPZ
Reflexzone	-	3,5 km ⁽¹⁴²⁾	-	-	-	5 km ⁽¹⁴³⁾	-	2 km ⁽¹⁴²⁾
Evakuierung	50 mSv ⁽¹⁴⁴⁾	10 km	100 mSv	10 km	100 mSv ⁽¹⁴⁴⁾	10 km	50 mSv	(5 km ⁽¹⁴⁵⁾)
Aufenthalt in geschlossenen Räumen	5 mSv ⁽¹⁴⁶⁾	20 km	10 mSv	20 km	10 mSv ⁽¹⁴⁴⁾	100 km	10 mSv	10 km (→ 20 km ⁽¹⁴⁵⁾)
Jodprophylaxe								
- ≤40 Jahre ⁽¹⁴⁷⁾	50 mSv ⁽¹⁴⁸⁾	20 → 100 km ⁽¹⁴⁹⁾	100 mSv	20 km	250 mSv ⁽¹⁵⁰⁾	100 km	50 mSv	-
- ≤18-Jährige und schwangere Frauen	10 mSv ⁽¹⁴⁸⁾	20 → 100 km ⁽¹⁴⁹⁾	50 mSv	100 km	50 mSv ⁽¹⁵⁰⁾	Deutschland	50 mSv	-

Bron: <https://www.herca.org/download/4719/>, <https://www.herca.org/download/4735/>, <https://www.herca.org/download/4720/> en <https://www.herca.org/download/4712/>

9.4.1.4 Organisation von Notfallplanübungen für das KKW Doel und das KKW Tihange

Die Kernkraftwerke Doel und Tihange halten mehrmals im Jahr interne Übungen ab. Darüber hinaus sieht der nukleare und radiologische Notfallplan für das belgische Staatsgebiet vor, dass für die Kernkraftwerke Doel und Tihange eine jährliche Notfallplanübung durch das Krisenzentrum organisiert wird. Alle 3 Jahre muss für einen kerntechnischen Standort eine groß angelegte Übung organisiert werden, an der grundsätzlich alle Disziplinen beteiligt sind. Es gibt 2 Arten von Übungen^{cx}:

¹⁴² Sofortige Zuflucht bei General Emergency – reflex mode.

¹⁴³ Sofortige Evakuierung bei General Emergency – reflex mode.

¹⁴⁴ Integrierte effektive Gesamtdosis über 7 Tage (Inhalation und externe Bestrahlung).

¹⁴⁵ In Vorbereitung

¹⁴⁶ Integrierte effektive Gesamtdosis über 24 Stunden (Inhalation und externe Bestrahlung).

¹⁴⁷ 45 Jahre für Deutschland.

¹⁴⁸ Integrierte Schilddrüsen-Äquivalentdosis insgesamt (Inhalation).

¹⁴⁹ Erweiterungszone.

¹⁵⁰ Gesamte integrierte Schilddrüsendosis über 7 Tage (Inhalation).

- theoretische Übungen: Die verschiedenen Akteure sitzen gemeinsam am Tisch und diskutieren, wie sie in der Realität handeln würden;
- Feldübungen: Die Übung wird am Ort der (simulierten) Notfallsituation inszeniert. Im Prinzip gibt es einen realen Einsatz von Truppen und Ressourcen an diesem Ort, aber es sind verschiedene Modalitäten möglich.

Entsprechend den verfolgten Zielen bezieht das Krisenzentrum die verschiedenen Disziplinen (Feuerwehr, medizinischer Rettungsdienst, Polizei, Katastrophenschutz, Messteams usw.) in diese Übungen ein.

Tabelle 104 und Tabelle 105 zeigen die Übungen für das KKW Doel und das KKW Tihange in den letzten 10 Jahren. Für Doel 4 fanden zweimal und für Tihange 3 fünfmal Übungen statt.

Tabelle 104: Übungen für das KKW Doel in den letzten 10 Jahren (Quelle: NCCN).

Übung	Datum	Installation	Umfang der Übung
Übung KKW Doel 2012	29. März 2012	Doel 2	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2013	22. Oktober 2013	Doel 3	Methodisch angeleitete Übung mit Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2014	14. Oktober 2014	Doel 2	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2015	26. März 2015	Doel 4	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2016	15. März 2016	Doel 1	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel (DoelEx) 2017	21. November 2017	Doel 3	Methodisch angeleitete Übung mit Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2018	8. Mai 2018	Doel 4	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2019	21. März 2019	Doel 2	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2020	14. September 2020	Doel 1	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2021	19. Oktober 2021	Doel 2	Methodisch angeleitete Übung <u>ohne</u> Einsatz vor Ort.
Übung KKW Doel 2022	17. Mai 2022	Doel 3	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.

Tabelle 105: Übungen für das KKW Tihange in den letzten 10 Jahren (Quelle: NCCN).

Übung	Datum	Installation	Umfang der Übung
Großübungsprojekt Standort Electrabel AG Tihange (Projet d'Exercice Grande Ampleur Site Electrabel SA Tihange - PEGASE) 2012	20. und 21. November 2012	Tihange 3	Methodisch angeleitete Übung mit Einsatz vor Ort.
Übung Tihange 2013	5. Dezember 2013	Tihange 1	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung Tihange 2014	26. Mai 2014	Tihange 3	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung Tihange 2015	26. November 2015	Tihange 1	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung Tihange 2016	29. November 2016	Tihange 3	Methodisch angeleitete Übung mit <u>CELMES</u>-Einsatz vor Ort.
Übung Tihange 2017	24. November 2017	Tihange 1	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung Tihange 2018	30. November 2018	Tihange 3	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung Tihange 2019	16. Mai 2019	Tihange 2	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung Tihange (TihEx) 2020 Phase 1*	17. März 2021	Tihange 3	Methodisch angeleitete Übung mit Einsatz vor Ort.
Übung Tihange (TihEx) 2020 Phase 2*	29. Juni 2021		
Übung Tihange (TihEx) 2022	28. November 2022	Tihange 2	Übung von begrenztem Umfang ohne Einsatz vor Ort.
Übung Celmes 2022	25. und 26. November 2022	Tihange?	Methodisch angeleitete Übung mit Einsatz vor Ort.

9.4.2 Wissenslücken

Bei der Berechnung der radiologischen Auswirkungen von Einleitungen können verschiedene Unsicherheiten eine Rolle spielen, wie z. B. die Menge und die Eigenschaften der eingeleiteten Radionuklide (der sogenannte Quell-Term), die meteorologischen Bedingungen und der Aufenthaltsort und das Alter von Menschen und deren Lebensgewohnheiten (z. B. Ernährung). Für die Berechnungen der Auswirkungen bei Normalbetrieb sind die Einleitungen bekannt und die meteorologischen Bedingungen werden für ein volles (Referenz-)Jahr berücksichtigt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die am stärksten exponierte Person sehr konservative Lebensgewohnheiten in Bezug auf die radiologische Auswirkung hat. Dies führt zu einer konservativen Schätzung der radiologischen Auswirkungen. Auch für Unfallszenarien werden konservative Annahmen getroffen, aber die tatsächliche Exposition während eines Unfalls hängt von den genauen Mengen der eingeleiteten Radionuklide, den genauen meteorologischen Bedingungen (z. B. örtliche Schauer) sowie dem Aufenthaltsort und den Gewohnheiten der Menschen ab. Dies könnte bei einem Unfall durch Gegenmaßnahmen wie Schutzmaßnahmen, Einnahme von stabilem Jod und Evakuierung ergänzt werden. Ungeachtet der oben beschriebenen Unsicherheiten sind die Dosen, denen man bei Normalbetrieb ausgesetzt ist, extrem niedrig (weitaus weniger als 1 mSv/Jahr), aber auch in Unfallsituationen wird in den meisten Fällen die aufgenommene Dosis für alle oder die meisten der exponierten Bevölkerung begrenzt sein (siehe Abschnitt 9.2.2). Die Dosen liegen daher weit unter den Dosen für das Auftreten deterministischer Wirkungen (deterministische Wirkungen müssen jederzeit, auch bei Unfällen, vermieden werden:

siehe Abschnitt 2.3.2 und Abschnitt 9.4.1) [en], aber auch fast immer weit unter den effektiven Dosen, wenn epidemiologische Studien stochastische Wirkungen der Strahlung nachweisen können (Auftreten von Krebs und genetischen Wirkungen: siehe Abschnitt 2.3.2) [Verweis auf Abschnitt Grundlegende Konzepte des Strahlenschutzes bei der Bewertung]. Dies liegt daran, dass, zusätzlich zu einem hohen spontanen Auftreten der gleichen Effekte, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieser Effekte bei solch niedrigen Dosen sehr gering ist. Obwohl wir aus dem Vorsorgeprinzip heraus die Möglichkeit stochastischer Effekte mit jeder zusätzlichen Exposition (Dosis), und sei sie noch so gering, verbinden, können wir dieses Auftreten nicht mit Sicherheit bestätigen, wir wissen nur sicher, dass die Wahrscheinlichkeit dieses Auftretens sehr gering oder sogar nonexistent ist ($< 0,57\%$ bei 100 mSv effektiver Dosis: siehe Abschnitt 2.3.2).

10 Allgemeines Fazit

Der Aufschub der Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 kann dazu führen, dass eine Reihe von Umweltauswirkungen für einen Zeitraum von 10 Jahren aufrechterhalten werden. In der Umweltverträglichkeitsprüfung wurde für die Rezeptorgruppen „Mensch“ und „biologische Vielfalt“ untersucht, ob diese (radiologischen und nichtradiologischen) Auswirkungen als signifikant angesehen werden können. Eine Wirkungsanalyse wurde auch für eine Reihe anderer Themen durchgeführt, für die politische Ziele existieren, die durch das Projekt beeinflusst werden können oder die die Auswirkungen auf Mensch und biologische Vielfalt bestimmen. Darüber hinaus wurden auch die „vermiedenen Effekte“ des Projekts in Bezug auf Treibhausgasemissionen und Stickstoffoxide sowie deren Auswirkungen auf die Themen Gesundheit und Klima untersucht. Auch die (vermiedenen) gesundheitlichen Auswirkungen, die auf die (vermiedene) Versorgungsunsicherheit zurückzuführen sind, wurden erörtert.

Die Analyse zeigt, dass die Auswirkungen auf das Gewässersystem nicht so beschaffen sind, dass sie einen Effekt auf den ökologischen Zustand der Seeschelde oder der Maas haben oder dass sie die Erreichung des guten ökologischen Potenzials dieser Wasserkörper zu gefährden. In beiden Fällen ist der Beitrag der Einleitungen zur Qualität der Wasserkörper vernachlässigbar. Für Doel ergeben sich nur Auswirkungen auf die Wasserqualität in der Zone innerhalb des Wellenbrechers; für die Ziele des Wasserkörpers Zeeschelde IV ergeben sich keine Konsequenzen. Für den Standort Doel wird in der Umweltverträglichkeitsprüfung die Lösung von Problemen gefordert, die sich aus dem derzeitigen Betrieb ergeben, wie z. B. häufige Überläufe und der Zustand des Abwassersystems. Für das Thema Wasser können für den Standort Doel auch (begrenzte) grenzüberschreitende Auswirkungen auftreten. Ausgehend von der Überwachung der Temperatur der Schelde in der Nähe der niederländischen Grenze (ca. 3,4 km von der Einleitungsstelle entfernt) können die Auswirkungen der Kühlwassereinleitung höchstens als begrenzt negativ angesehen werden, d. h. der Temperaturanstieg aufgrund der Einleitung wird weniger als $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ betragen. Dieser Temperaturanstieg wird flussabwärts auf niederländischem Staatsgebiet langsam weiter abnehmen.

Im Hinblick auf die biologische Vielfalt wurden für den Standort Doel die Auswirkungen des Projekts auf die Qualität des Oberflächenwassers, die Barrierewirkung, die Mortalität, die Störung, den direkten Flächenverbrauch sowie die Eutrophierung und Säuerung untersucht. Für die Barrierenfunktion und den direkten Flächenverbrauch zeigte sich, dass keine Auswirkungen zu erwarten waren. Für die Mortalität gibt es möglicherweise eine (begrenzte) Auswirkung durch die Kühlwasserzufuhr beeinflusst werden. Was die Störung anbelangt, so ist nur die Lärmbelastigung potenziell relevant, aber es werden keine signifikanten Auswirkungen auf benachbarte Arten erwartet. Auch für Tihange kann festgestellt werden, dass die Beeinträchtigung der Fauna durch Lärm und Beleuchtung nicht signifikant ist, da sich die Anlage in einer bereits stark urbanisierten Region befindet und der Betreiber außerdem Maßnahmen zur Verringerung der akustischen Auswirkungen der Anlage ergriffen hat.

Die negativen Auswirkungen des Betriebs von Doel 4 und Tihange 3 selbst in Form von versauernden und eutrophierenden Ablagerungen sind vernachlässigbar. Im Bereich der Stickstoffablagerungen können sogar eher positive Auswirkungen infolge der „vermiedenen Emissionen“ erwartet werden, die mit einer 10-jährigen zusätzlichen Stromerzeugung aus Kernkraft verbunden sind. Der Grund dafür ist, dass der von den beiden Reaktoren erzeugte Strom nicht in GuD-Kraftwerken erzeugt werden muss, die zu einer erheblich stärkeren Versauerung und Stickstoffablagerung führen würden.

Die Einleitung von Kühl-, Brauch- und Industrierwasser hat weder auf der Ebene der Schelde noch lokal ökologische Auswirkungen. Angesichts der Ausweisung der Schelde als Habitat-Richtliniengebiet und der potenziellen Bedeutung dieses Gebiets für die Vögel des nahegelegenen Vogelrichtliniengebiets ist dies eine wichtige Schlussfolgerung. Auch für Tihange zeigt die Analyse, dass die Auswirkungen des Projekts auf die aquatische Umwelt nicht so stark sind, dass sie die Erhaltungsziele für die entsprechenden Ökosysteme gefährden würden, wenn man die vom Betreiber der Anlage getroffenen Maßnahmen berücksichtigt.

Das Projekt verursacht keine vermeidbaren und irreparablen Schäden an der Natur und hat keine erheblichen Auswirkungen auf den Erhaltungszustand von Lebensräumen und Arten in besonderen Schutzgebieten in der Nähe der Standorte Doel und Tihange. Die Auswirkung der vermiedenen Emissionen auf die Erhaltungsziele von Natura-2000-Gebieten in anderen Teilen Belgiens ist wahrscheinlich positiv, aber deren Bedeutung ist schwer abzuschätzen.

Die gemessenen Strahlungswerte in der Umgebung von Doel und Tihange bleiben unter den Schwellenwerten für schädliche Auswirkungen auf Fauna und Flora. Die berechnete Dosisleistung für Einleitungen in Luft und Wasser liegt ebenfalls deutlich unter diesem Schwellenwert. Daraus lässt sich schließen, dass die derzeitigen Einleitungsgrenzwerte für die betrachteten belgischen Kernkraftwerke nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Fauna und Flora führen, was für Doel auch durch die Messergebnisse des Überwachungsprogramms der FANK und des Betreibers bestätigt wird. Wenn nur noch Doel 4 bzw. Tihange 3 in Betrieb sind, werden die radiologischen Auswirkungen auf die natürlichen Werte natürlich noch geringer sein. Es ist daher klar, dass die radiologischen Auswirkungen eines längeren Betriebs beider Anlagen die Erhaltungsziele für die jeweiligen besonderen Schutzgebiete nicht beeinträchtigen würden.

Was die Auswirkungen im Falle eines Unfalls betrifft, so kann man sagen (und zwar unter konservativen Annahmen), dass die Auswirkungen auf Fauna und Flora aufgrund der eingeleiteten Mengen und der damit verbundenen Ablagerungen in der Umgebung von Doel 4 sehr mäßig bis vernachlässigbar sind und in der Umgebung von Tihange 3 vernachlässigbar.

Der Betrieb der von Doel 4 und Tihange 3 kann auch Auswirkungen auf die Luftqualität haben. Die wichtigsten Quellen mit potenziellen Auswirkungen sind Dampfkessel und Dieselmotoren, die jedoch nur begrenzte Betriebsstunden pro Jahr haben. Da mit der Schließung der anderen Reaktoren an beiden Standorten weitere Verbrennungsanlagen außer Betrieb genommen werden, werden ihre Auswirkungen weiter abnehmen. Aus den Berechnungen der Auswirkungen für Doel geht hervor, dass die Auswirkung auf die Luftqualität (weniger als 1 % der verwendeten Grenz- oder Prüfwerte) vernachlässigbar ist.

Wenn die Laufzeit von Doel 4 und Tihange 3 nicht verlängert wird, muss an ihrer Stelle Strom mit (teilweise) fossilen Brennstoffen erzeugt werden. Die dabei entstehenden Emissionen (die bei Laufzeitverlängerung von Doel 4 und Tihange 3 als „vermieden“ angesehen werden können) sind viel höher als die Emissionen, die während des Betriebs von Doel 4 und Tihange 3 entstehen, und die Auswirkungen auf die Luftqualität werden daher größer sein.

Die Treibhausgasemissionen, die dem Betrieb von Doel 4 und Tihange 3 während der gesamten Laufzeitverlängerung zuzuschreiben sind, machen nur einen Bruchteil der vermiedenen Treibhausgasemissionen während desselben Zeitraums aus. Die jährlich vermiedenen Emissionen bei einer längeren Betriebsdauer von Doel 4 und Tihange 3 entsprechen fast 20 % der Emissionen des Sektors „Strom- und Wärmeerzeugung“ in Belgien im Jahr 2021 (12,8 Mio. Tonnen).

Weder Doel 4 noch Tihange 3 haben Auswirkungen auf die Widerstandsfähigkeit ihrer Umwelt gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels während des Referenzzeitraums. Innerhalb der zeitlichen Perspektive der Verlängerung der Laufzeit sind auch beide Standorte selbst nicht anfällig für die Folgen des Klimawandels, und diese Situation ist unabhängig davon, ob die Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 verschoben wird oder nicht.

Im Bereich Gesundheit kann über den Zeitraum, in dem Doel 4 und Tihange 3 länger geöffnet bleiben, durch die Vermeidung einer Menge an NO_x-Emissionen eine sehr bescheidene positive Auswirkung erwartet werden. Es wurde kein nachweisbarer Zusammenhang zwischen der Risikowahrnehmung im Zusammenhang mit nuklearen Unfällen und dem Auftreten von psychosomatischen Auswirkungen in der Bevölkerung festgestellt. Die Laufzeitverlängerung von Doel 4 und Tihange 3 verringert die Wahrscheinlichkeit eines Stromausfalls erheblich und

wirkt sich somit positiv auf die Vermeidung von Gesundheits- und Sicherheitsschäden aus, die mit Stromausfällen einhergehen können. Was die externe Sicherheit betrifft, so wird durch die Verlängerung der Laufzeit keine wesentliche Erhöhung des Risikos erwartet.

Die effektive Dosis aufgrund der gasförmigen und flüssigen Einleitungen im Zusammenhang mit der Verlängerung der Laufzeit von Doel 4 und Tihange 3 wird auf 0,010 mSv/Jahr für die am stärksten exponierte Person (kritische Person) geschätzt, und zwar für den 10-jährigen Zeitraum des fortgesetzten Betriebs. Dies ist eine triviale Dosis, die weit unter dem gesetzlichen Grenzwert von 1 mSv/Jahr liegt. Außerdem ist diese Dosis eine sehr konservative Schätzung. In Anbetracht der endgültigen Abschaltung der anderen Reaktoren an den beiden Standorten nach dem derzeitigen Zeitplan wird die Exposition aufgrund von Tätigkeiten an den Standorten der KKW Doel und Tihange nach 2025 im Vergleich zu der Situation der letzten Jahre voraussichtlich abnehmen, selbst wenn Doel 4 und Tihange 3 verlängert werden. Die typische effektive Dosis der gasförmigen und flüssigen Einleitungen für die kritische Person wurde auf etwa 0,02 mSv/Jahr für das KKW Doel und 0,03-0,05 mSv/Jahr für das KKW Tihange für die letzten Jahre und für den gesamten Standort geschätzt, je nach Betrachtungszeitraum und Annahmen. Nach 2025 und bei Verlängerung der Laufzeit von Doel 4 und Tihange 3 wird die effektive Dosis auf 0,017-0,013 mSv/Jahr für das gesamte Gelände des KKW Doel und auf 0,020-0,015 mSv/Jahr für das KKW Tihange während des betrachteten Projektzeitraums sinken.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Verlängerung der Laufzeit von Doel 4 und Tihange 3 im Normalbetrieb keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit hat, weder durch radiologische noch durch nichtradiologische Wirkungen. Im Gegenteil, die vermiedenen Stickoxidemissionen und die geringere Wahrscheinlichkeit von Stromausfällen können sich positiv auf die Gesundheit auswirken.

In der Umweltverträglichkeitsprüfung wurden auch die Auswirkungen des Projekts auf die Dosis untersucht, die sich aus zwei Auslegungsstörfällen und einem auslegungsüberschreitenden Unfall ergeben würde. Die Analyse auf der Grundlage der Sicherheitsakte von Doel 4 zeigt, dass die effektiven Dosen und die Schilddrüsen-Äquivalentdosen, die sich aus beiden Auslegungsstörfällen für Doel 4 ergeben, innerhalb der festgelegten Grenzwerte liegen. Wird die Analyse auf der Grundlage der FANK-Richtlinien für neue Anlagen der Klasse 1 durchgeführt, wird das Kriterium für die Schilddrüsen-Äquivalentdosis tatsächlich überschritten, so dass in einem solchen Fall die Einnahme von stabilem Jod zum Schutz der Schilddrüse empfohlen wird. Bei einem Auslegungsstörfall liegt die effektive Dosis in der gleichen Größenordnung wie bei den beiden Auslegungsstörfällen, aber die Schilddrüsen-Äquivalentdosis ist niedriger. Bei allen drei Unfallszenarien könnte es auch zu einer Kontamination der Nahrungskette kommen, die typischerweise die Aktivitätswerte in Milch, Blattgemüse und Fleisch mit radioaktiven Jodisotopen übersteigt. Angesichts der relativ kurzen Halbwertszeit dieser Isotope (8,02 Tage für I-131) wäre diese Kontamination zeitlich begrenzt.

Die Analyse auf der Grundlage der Sicherheitsakte von Tihange 3 zeigt, dass die effektiven Dosen und die Schilddrüsen-Äquivalentdosen, die sich aus beiden Auslegungsstörfällen für Tihange 3 ergeben, innerhalb der festgelegten Grenzwerte liegen. Dies gilt auch, wenn die Analyse auf der Grundlage der FANK-Richtlinien für neue Anlagen der Klasse 1 durchgeführt wird. Bei einem Auslegungsstörfall liegt die effektive Dosis in der gleichen Größenordnung wie bei den beiden Auslegungsstörfällen, aber die Schilddrüsen-Äquivalentdosis ist niedriger.

Das Projekt birgt daher ein begrenztes Unfallrisiko (sowohl Auslegungs- als auch auslegungsüberschreitender Störfall). Für den gesamten Standort des KKW Tihange wird das Risiko jedoch abnehmen, da während der 10-jährigen Laufzeitverlängerung nur noch Tihange 3 am Standort betrieben wird.

Die grenzüberschreitenden Auswirkungen der Unfälle bleiben beschränkt, da für alle betrachteten Unfallszenarien sowohl für Doel 4 als auch für Tihange 3 keine unmittelbaren Gegenmaßnahmen wie Schutzmaßnahmen, Evakuierung oder die Einnahme von stabilem Jod zum Schutz der Schilddrüse in den Nachbarländern erforderlich sind. Vor allem in den Niederlanden ist angesichts der Nähe von Doel 4 eine Kontamination der Nahrungskette mit Jodisotopen möglich, die Gegenmaßnahmen erforderlich machen könnte. In den anderen Nachbarländern ist dies sowohl für Doel 4 als auch für Tihange 3 sehr unwahrscheinlich, für einige Länder aber auch nicht völlig ausgeschlossen. Die Kontamination mit Jodisotopen ist jedoch aufgrund ihrer begrenzten Halbwertszeit nur von kurzer Dauer. Die Kontamination mit langlebigen Radionukliden wie Cs-137 ist begrenzt und erfordert keine

Gegenmaßnahmen. Die Lebenszeitdosis infolge der betrachteten Unfallszenarien ist daher in allen Nachbarländern sehr begrenzt.

Da nach dem derzeitigen Zeitplan Doel 4 und Tihange 3 nach 2025 die einzigen Reaktoren an den jeweiligen Standorten des KKW Doel und des KKW Tihange sein werden, die zur Stromerzeugung betrieben werden, sinkt die Wahrscheinlichkeit eines schweren Unfalls an beiden Standorten.

Bei einer Verlängerung des Betriebs der Blöcke Doel 4 und Tihange 3 wird eine zusätzliche Menge schwach- und mittelfradioaktiver Abfälle anfallen, die auf der Grundlage langfristiger Durchschnittswerte für den derzeit prognostizierten 10-jährigen LTO-Zeitraum auf insgesamt 864 m³ geschätzt wird. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Abfälle der Kategorie A und nur in geringem Umfang um Abfälle der Kategorie B. Verglichen mit den ~50.000 m³ Abfällen der Kategorie A, die derzeit als Quell-Term in der Sicherheitsakte für die oberflächennahe Endlagerung enthalten sind, stellt dies eine geringfügige Erhöhung dar (~1,7 %).

Geht man davon aus, dass die Menge an Abfällen der Kategorie B vernachlässigbar ist, entspricht das zusätzliche Abfallvolumen etwa 2.161 400-Liter-Fässern, die in 540 Endlagerungseinheiten (Monolithen) verpackt werden, die für die oberflächennahe Endlagerung in der zu diesem Zweck geplanten Anlage in Dessel bestimmt sind. Die (volumetrische) Kapazität der Endlagerung beträgt 34 Module, mit einer ausreichenden Reserve von 20 % bzw. 5,4 Modulen, um Unwägbarkeiten in Bezug auf die künftige Produktion von Abfällen der Kategorie A zu berücksichtigen. Die zusätzlichen Abfälle, die durch die LTO von Doel 4 und Tihange 3 anfallen würden, nehmen davon 0,6 Module ein. Da es sich um die Verlängerung einer bestehenden Aktivität handelt, die Abfallfamilien mit bekannten Eigenschaften erzeugt, werden weder kurz- noch langfristig weitere Auswirkungen auf die Abfallwirtschaft erwartet.

Die kumulative Anzahl der Brennelemente, die während eines 10-jährigen LTO-Zeitraums in Doel 4 und Tihange 3 verbraucht werden, wurde ebenfalls geschätzt. Für beide Blöcke zusammen wird die LTO zu einem zusätzlichen Verbrauch von etwa 810 Brennelementen (Typ UOX 14ft) führen. Gewichtet mit dem gesamten belgischen Reaktorpark entspricht dies einem Überschuss von 7,3 % bei der Anzahl der Brennelemente bzw. 8,9 % in Tonnen Schwermetall (tHM).

In Anbetracht dieser relativ begrenzten Menge und unter der Annahme, dass sie ähnliche Eigenschaften wie die vorhandenen Brennelemente haben werden, werden keine Auswirkungen auf ihre weitere Bewirtschaftung erwartet. Durch den Aufschub der Abschaltung von Doel 4 und Tihange 3 wird die Netzabschaltung der Blöcke an beiden Standorten weiter gestreckt, wo sie sich sonst auf wenige Jahre konzentrieren würde. Mit den im Bau befindlichen und genehmigten SF2-Lagern (Spent Fuel Storage Facility) in Doel und Tihange wird es genügend Kapazität für die Lagerung an den Standorten geben, bis eine Entscheidung über die Langzeitverwaltung getroffen wird.

Bibliographie

ⁱ <https://fanc.fgov.be/nl/nieuws/openbaar-onderzoek-voor-vergunning-nieuwe-installatie-doel>.

ⁱⁱ Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen.

ⁱⁱⁱ National final report on the stress tests of Belgian nuclear power plants, FANK, September 2020 (<https://fanc.fgov.be/nl/system/files/best-2020.pdf>)

^{iv} Strategic Environmental Assessment for Nuclear Power Programmes: Guidelines. IAEA Nuclear Energy Series N° NG-T-3.17. International Atomic Energy Agency, 2018.

^v Königlicher Erlass vom 19. August 2020 zur Änderung des königlichen Erlasses vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und zur teilweisen Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Bestrahlung gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom und der Lagerung radioaktiver Stoffe außerhalb von Gebäuden – <https://fanc.fgov.be/de/system/files/20200819-publication-kb-bss.pdf> (auf Französisch und Niederländisch).

- ^{vi} Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Strahlenbelastung in Belgien: Methodik und Entwicklung, FANK, 2018 - https://afcn.fgov.be/fr/system/files/2018_nota_popdose_methodologie_fr.pdf.
- ^{vii} ICRP (2007) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 S. 2-4.
- ^{viii} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen, Art. 20, 3 – 5.
- ^{ix} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen, Art. 20, 3 – 5.
- ^x Schwibach, J, Riedel, H., Bretschneider, J., Investigations into the emission of carbon-14 compounds from nuclear facilities, November 1978, Commission of the European Communities - <http://aei.pitt.edu/49706/1/B0038.pdf>
- ^{xi} EPRI (Electric Power Research Institute). Estimation of Carbon-14 in Nuclear Power Plant Gaseous Effluents; 2010. - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK201991/>.
- ^{xii} IAEA (1992) Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards - Technical Reports Series No. 332.
- ^{xiii} UNSCEAR (1996) Sources and effects of ionizing radiation - Report to the General Assembly, with scientific annex. Fifty-first Session, Supplement No. 46. New York: United Nations. A/51/46, UN sales publication E.96.IX.3.
- ^{xiv} UNSCEAR (2008) Effects of ionizing radiation on non-human biota. Fifty-sixth session, Vienna, 10-18 July 2008. New York: United Nations, A/AC.82/R.672.
- ^{xv} ICRP (2008) Environmental Protection: the concept and use of reference animals and plants (Publication 108). Ann. ICRP. Vol. 38, S. 4-6.
- ^{xvi} Garnier-Laplace, J. und Gilbin, R. (Hrsg.) (2006) Derivation of predicted-no-effects-dose-rate values for ecosystems (and their sub-organisational levels) exposed to radioactive substances. ERICA (contract number: FI6R-CT-2004-508847).
- ^{xvii} Garnier-Laplace, J. et al. (2006) First derivation of predicted-no-effect values for fresh water and terrestrial ecosystems exposed to radioactive substances. Environmental Science and Technology. Vol. 40, S. 6498-6505.
- ^{xviii} Andersson, P. et al. (2008) Numerical benchmarks for protecting biota against radiation in the environment: proposed levels and underlying reasoning - Deliverable 5B (draft) of the EC EURATOM PROTECT project (contract number: 036425 (FI6R)). 352 5249-506-068 | SEA Afvalplan NIRAS.
- ^{xix} European Chemicals Bureau (2003) Technical Guidance Document in Support of the Commission Directive 93/67/EEC, Commission Regulation (EC) No. 1488/94, Directive 98/8/EC. Part II. Luxemburg: Office for Official Publication of the European Communities. EUR 20418 EN/2.
- ^{xx} Brown, J. E. et al. (2004) Radiation doses to aquatic organisms from natural radionuclides. Journal of Radiological Protection. Vol. 24, S. A63-A77.
- ^{xxi} Beresford, N. A. et al. Background exposure rates of terrestrial wildlife in England and Wales. Journal of Environmental Radioactivity. Vol. 99(9), S. 1430-1439.
- ^{xxii} FANK-Website, abgerufen am 31.01.2023.
- ^{xxiii} IAEA Safety Standards Series (2012) Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1.
- ^{xxiv} IAEA Safety Standards Series (2017) Safety of Nuclear Power Plants: Design, SSR-2/1 (Rev. 1).
- ^{xxv} IAEA Safety Standards, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants (2010) Specific Safety Guide, SSG-2.
- ^{xxvi} IAEA Safety Standards, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants (2019) Specific Safety Guide, SSG-2 (Rev. 1).
- ^{xxvii} Euratom-Vertrag, konsolidierte Fassung des Vertrags zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (2012).
- ^{xxviii} Richtlinie 2014/87/Euratom zur Änderung der Richtlinie 2009/71/Euratom über einen Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen (2014).
- ^{xxix} Report WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, WENRA RHWG (2014).
- ^{xxx} Königlicher Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen, 01.03.2012.
- ^{xxxi} Malcolm J. (2018) Nuclear Engineering Chapter 8 – Elementary Reactor Principles.
- ^{xxxii} IAEA-Website, Power Reactor Information System (PRIS), abgerufen am 31.01.2023.
- ^{xxxiii} IAEA Power Reactor Information System - <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>.
- ^{xxxiv} IAEA-Website, International Nuclear and Radiological Event Scale (INES), abgerufen am 31.01.2023.
- ^{xxxv} Battist, L. & Peterson, H. T. (1980) Radiological Consequences of the Three Mile Island Accident, International Congress of the International Radiation Protection Association, Jerusalem, Israel, pp. 2263-2270.
- ^{xxxvi} NSAC (1980) Analysis of the Three Mile Island – Unit 2 Accident, NSAC-80-1.
- ^{xxxvii} Corey, G.R. (1979) A brief review of the accident at Three Mile Island, IAEA Bulletin, Vol. 21(5), S. 54-59.
- ^{xxxviii} Auslegung Kernkraftwerk Doel – Zwei Blöcke von 390 MWe – Allgemeine Informationen im Zusammenhang mit Art. 37 der RÖMISCHEN VERTRÄGE (1972).
- ^{xxxix} 10010172197 - Traite EURATOM art 37 CNT2 et CNT3.pdf
- ^{xl} FANK (2017) Class I Guidance – Guideline – Safety demonstration of new class I nuclear installations – Approach to Defence-in-Depth, radiological safety objectives and application of a graded approach to external hazards, FANK 2013-05-15-NH-5-4-3.
- ^{xli} Bel V (2017) Safety Guidance – Guidance on the application of conservative and less conservative approaches for the analysis of radiological consequences.
- ^{xlii} <https://fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>.
- ^{xliii} Königreich Belgien, Artikel 179 Absatz 5 des Gesetzes vom 8. August 1980 über die Haushaltsvorschläge 1979-1980, Belgisches Staatsblatt 15.08.1980 in geänderter Fassung.
- ^{xliv} Königreich Belgien, 30. März 1981. Königlicher Erlass zur Festlegung der Aufgaben und der Arbeitsweise der öffentlichen Einrichtung für die Entsorgung radioaktiver Abfälle und Spaltmaterialien, Belgisches Staatsblatt 05.05.1981.

- xliv Königreich Belgien, Artikel 2 des Gesetzes vom 15. April 1994 Gesetz über den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und über die Föderale Nuklearkontrollbehörde.
- xlvi <http://www.jurion.fanc.fgov.be/jurdb-consult/consultatieLink?wettekstId=27752>.
- xlvi <https://www.belgoproces.be/verwerken-en-conditioneren-van-alle-types-van-radioactief-afval/>
- xlvi FÖD Wirtschaft, „Informations générales sur le cycle du combustible nucléaire belge 1e partie“ 2017. <https://economie.fgov.be/fr/publications/etude-combustible-nucleaire>
- xlvi <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/vergunningdossiers/afgeleverde-vergunningen/doel-spent-fuel-storage-facility-project-sf2>
- i <https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/vergunningdossiers/afgeleverde-vergunningen/tihange-spent-fuel-storage-facility-project>
- ii Vinçotte sa und SCK CEN, Projekt-UVF - ELECTRABEL Kernkraftwerk Doel - SF²-Projekt in Beveren. Referenz Vinçotte OPSAN-20-60600924-02-01, 25. September 2020.
- iii Vinçotte sa und SCK CEN, UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG DES SF²-PROJEKTS. SPENT FUEL STORAGE FACILITY – Kernkraftwerk TIHANGE. Referenz Vinçotte EOPSAS-18-60684759-01-01, 3. Mai 2018.
- iii ENGIE Electrabel. Umwelterklärung Tihange. <https://nuclear.engie-electrabel.be/de/powerplant/la-centrale-nucleaire-de-tihange/declaration-environnementale>
- liv Ministerrat, Sitzung vom 16. Januar 1998, Langfristige Entsorgung von schwach radioaktiven Abfällen.
- lv Ministerrat, Sitzung vom 23. Juni 2006, Entsorgung von radioaktiven Abfällen (Kategorie A).
- lvi NERAS, Kapitel 7 des Sicherheitsberichts für die Oberflächenlagerung für Abfälle der Kategorie A in Dessel: Planung und Bau der Lagerungskolli, NIROND-TR 2011-07 Version 3, 30. Januar 2019
- lvii NERAS, Zusammenfassung des Sicherheitsberichts für die Oberflächenlagerung für Abfälle der Kategorie A in Dessel, NIROND-TR 2019-12, 20. August 2019
- lviii https://www.NIRAS.be/sites/default/files/2020-04/Ontwerpplan_NL_def.pdf.
- lix NERAS, Design and Construction of the Supercontainer for Category C waste, NIROND-TR 2017-11E V3, Brussels, Belgium, (2019).
- lx NERAS, Design and Construction of the Monolith B for Category B wastes, NIROND-TR 2017-10E V3, Brussels, Belgium, (2019).
- lxi VNSC (2019) Systeemanalyse natuur Schelde-estuarium. Gezamenlijk feitenonderzoek van stakeholders, deskundigen en de Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie, 62 S.
- lxii Arcadis (2012). Bericht über 5 Überwachungskampagnen (Zeitraum Juni 2011 – März 2012) zum Temperatureinfluss des Kühlwassers des Kernkraftwerks Doel auf die Schelde.
- lxiii Königlicher Erlass zur Genehmigung des Betriebs des Kernkraftwerks Doel, FANK Nr. ANPP-0301714
- lxiv Regelmäßige Berichterstattung an FANK und Bel V über radioaktive flüssige und gasförmige Einleitungen. FANK-Richtlinie „010-106“: <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2020-05-12-010-106-nl.pdf>.
- lxv PSR3 D3 - SF14-2-2: Radiological impact to the public (PSR3/4NT/0785907/000/02), Tractebel Engineering AG, 2022
- lxvi KCD4 - SF14-8 - Actualisation of impact study radiological consequences, state of the art modelling (DOS34/4NT/0504460/000/02), Tractebel Engineering AG, 2017
- lxvii Abbildung abgeleitet von Daten auf der Website RADD (European Commission RAdioactive Discharge Database for collecting, storing, exchanging and dissemination of information on radioactive discharges (<https://europa.eu/radd/nucleideDischargeOverview.dox?action=submit&pageID=NucleideDischargeOverview&sessionId=z1Jr5jOaKbJgqCOTImhu5eqMBSenTgjl710889633!1608128017306&redirectAction=null>))
- lxviii <https://www.fanc.fgov.be/nl/publicaties/verslagen-van-het-radiologisch-toezicht-belgie>.
- lxix <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, Informationsakte 2013 bis 2021, abgerufen am 31.01.2023.
- lxx <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, Informationsakte 2013 bis 2021, abgerufen am 31.01.2023.
- lxxi <https://nuclear.engie-electrabel.be/de/powerplant/de-kerncentrale-van-doel/milieuverklaring>.
- lxxii NERAS, Kapitel 6 Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel: Afval, NIROND-TR 2011-06 Versie 3“, 30. Januar 2019.
- lxxiii NERAS, Kapitel 6 Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel: Afval, NIROND-TR 2011-06 Versie 3“, 30. Januar 2019.
- lxxiv IAEA (2003) Spent fuel performance assessment and research. Final report of a coordinated research project on spent fuel performance assessment and research (SPAR), IAEA-TECDOC-1343, [pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1343_web.pdf](pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1343_web.pdf).
- lxxv <https://nuclear.engie-electrabel.be/de/nuklearenergie/kernfrage-ueber-kernkraftwerke/was-passiert-mit-dem-atommuell>
- lxxvi International Atomic Energy Agency – Internationale Atomenergiebehörde Methoden zur Bewertung des Begriffs der induzierten Aktivierungsquelle zur Verwendung bei Abschaltungsanwendungen. IAEA safety reports series No.95, Vienna, 2019.
- lxxvii A. Stankovskiy und G. Van den Eynde, „Advanced Method for Calculations of Core Burn-Up, Activation of Structural Materials, and Spallation Products Accumulation in Accelerator-Driven Systems,“ Science and Technology of Nuclear Installations, vol. 2012, p. 545103, 2012.
- lxxviii UKAEA, „Reference input spectra,“ 2018. [Online]. Available: https://fispect.ukaea.uk/wiki/Reference_input_spectra.
- lxxix World Nuclear Association, 2022. [Online]. Verfügbar: <https://www.world-nuclear.org/reactor/default.aspx/DOEL-4>.
- lxxx SCK CEN, „Chemical composition Belgian surveillance materials_Doel IV_Tihange III.xlsx,“ SCK CEN/52958010, 2023.
- lxxxi Evans J.C., Lepel E.L., Sanders R.W., Wilkerson C.L., Silker W., Thomas C.W., Abel K.H., Robertson D.R. (1984) “NUREG/CR-3474 Long-lived activation products in reactor materials”, Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA 99352.
- lxxxii Regelmäßige Berichterstattung an FANK und Bel V über radioaktive flüssige und gasförmige Einleitungen. FANK-Richtlinie „010-106“: <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2020-05-12-010-106-nl.pdf>.
- lxxxiii PSR3 T2/TEF: SF14-2: Radiological impact to the public (PSR3/4NT/0791625/000/01), Tractebel Engineering AG, 2022

- ^{lxxxiv} <https://fanc.fgov.be/de/veroeffentlichungen/radiologische-ueberwachungsberichte-fuer-belgien>.
- ^{lxxxv} Radiologische Überwachung in Belgien – Zusammenfassender Bericht 2019, FANK, <https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-annual-report-srt-nl.pdf>.
- ^{lxxxvi} <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, Informationsakte 2013 bis 2021, abgerufen am 31.01.2023.
- ^{lxxxvii} <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/nucleaire-inrichtingen-klasse-i/toezicht-van-radioactieve-lozingen-van-klasse-i>, Informationsakte 2013 bis 2021, abgerufen am 31.01.2023.
- ^{lxxxviii} Kingdom of Belgium Federal Agency for Nuclear Control. Eighth meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety. National report (report produced by the Federal Agency for Nuclear Control on behalf of Belgium). August 2019.
- ^{lxxxix} Projekt der Blöcke 2 und 3 des Kernkraftwerks Tihange. Nettoelektrizitätsleistung von 900 bzw. 1000 MW. ALLGEMEINE DATEN IM SINNE VON ARTIKEL 37 DES EURATOM-VERTRAGS. Juli 1981.
- ^{xc} <https://nuclear.engie-electrabel.be/de/powerplant/la-centrale-nucleaire-de-tihange/declaration-environnementale>
- ^{xc i} NERAS, Kapitel 6 Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel: Afval, NIROND-TR 2011-06 Versie 3", 30. Januar 2019.
- ^{xc ii} NERAS, Kapitel 6 Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel: Afval, NIROND-TR 2011-06 Versie 3", 30. Januar 2019.
- ^{xc iii} UKAEA, „Reference input spectra," 2018. [Online]. Available: https://fispact.ukaea.uk/wiki/Reference_input_spectra.
- ^{xc iv} World Nuclear Association, 2022. [Online]. Available: <https://www.world-nuclear.org/reactor/default.aspx/TIHANGE-3>.
- ^{xc v} SCK CEN, „Chemical composition Belgian surveillance materials_Doel IV_Tihange III.xlsx," SCK CEN/52958010, 2023.
- ^{xc vi} Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (2015) IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7, IAEA, Vienna.
- ^{xc vii} Richtlinie 2013/59/Euratom zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom.
- ^{xc viii} Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency (2007) IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna.
- ^{xc ix} Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency (1991) ICRP Publication 63. Pergamon Press.
- ^c ICRP (2009) Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. Publication 109. Pergamon Press.
- ^{ci} WENRA (2021) Safety Reference Level for Existing Reactors 2020 - Published by Reactor Harmonisation Working Group (RHWG) https://www.wenra.eu/sites/default/files/publications/wenra_safety_reference_level_for_existing_reactors_2020.pdf
- ^{cii} Gesetz vom 15. April 1994 über den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und über die Föderale Nuklearkontrollbehörde.
- ^{ciii} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen.
- ^{civ} Ministerielles Rundschreiben NPU-1 vom 26. Oktober 2006 bezüglich der Notfall- und Interventionspläne.
- ^{cv} Königlicher Erlass vom 30. November 2011 zur Festlegung von Sicherheitsvorschriften für kerntechnische Anlagen.
- ^{cvi} Königlicher Erlass vom 20. Juli 2020 zur Änderung des königlichen Erlasses vom 20. Juli 2001 zur Festlegung einer allgemeinen Ordnung über den Schutz der Bevölkerung, der Arbeitnehmer und der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen und zur teilweisen Umsetzung der Richtlinie 2013/59/EURATOM vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom und der Lagerung radioaktiver Stoffe außerhalb von Gebäuden.
- ^{cvii} Königlicher Erlass vom 1. März 2018 zur Festlegung des Noteinsatzplans für nukleare und radiologische Risiken für das belgische Staatsgebiet.
- ^{cviii} FANK (2017) Sixth meeting of the Contracting Parties to the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. National report.
- ^{cix} Onderzoekraad voor Veiligheid. Samenwerken aan nucleaire veiligheid. Een onderzoek naar de samenwerking tussen Nederland, België en Duitsland inzake de kerncentrales in de grensgebieden. Den Haag, Januar 2018.
- ^{cx} HERCA-WENRA (2014) Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident.
- ^{cx i} <https://crisiscentrum.be/nl/inhoud/oefeningen/>.