

NO_x / NO₂-Immissionskataster

Salzachpongau, Salzburg

Auftraggeber

Salzburger Landesregierung

Bericht Nr.

Version

Datum

FVT-094/16/JU/RR V&U
11/31/6300

1.0

27.10.2016

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und Hinzufügen, veröffentlicht werden. Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden, so ist vorher die schriftliche Genehmigung der Verfasser einzuholen.

Versionen

Version	Datum	Bearbeiter	Änderung
0.1	24.10.2016	Reifeltshammer/Uhrner	Erstellung Vorabzug
1.0	26.10.2016	Reifeltshammer/Uhrner	Gebietsnamen auf Salzachpongau geändert, Text/Abb. angepasst

NOx / NO2-Immissionskataster

St. Johann, Salzburg

Freigegeben:	Ao.Univ.-Prof. Dr. Peter Sturm	27.10.2016
Erstellt:	Dr. Ulrich Uhrner / Mag. Raphael Reifeltshammer	26.10.2016
Erstellt:	Dr. Ulrich Uhrner / Mag. Raphael/Reifeltshammer	24.10.2016

Inhalt

1	Zusammenfassung.....	6
2	Aufgabenstellung.....	8
3	Untersuchungsraum und -zeit.....	8
4	Untersuchungsmethodik.....	10
4.1	Methodik Emissionen	10
4.1.1	Linienquellen.....	10
4.1.2	Flächenquellen.....	11
4.1.3	Punktquellen	11
4.1.4	Ganglinien der Emissionen.....	12
4.2	Methodik Immissionen.....	13
4.2.1	Grenzwerte	13
4.2.2	Berechnung der Immissionsbeiträge	14
4.2.3	Eingangsparameter	14
4.2.4	Berechnung der Gesamtbelastungen	15
4.2.5	Zeitliche und räumliche Auflösung.....	15
4.2.6	NO-NO ₂ -Umwandlung	15
4.2.7	Berechnung des maximalen Halbstundemittelwertes von NO ₂	16
5	Beschreibung der Eingangsdaten.....	18
5.1	Meteorologie	18
5.1.1	Standort St. Johann.....	19
5.1.2	Standort Bischofshofen	23
5.1.3	Standort St. Veit.....	26
5.2	Luftgüte.....	29

5.2.1	Messdaten - Passivsammler	29
5.2.2	Vertikale Abhängigkeit der Vorbelastung.....	32
5.3	Emissionen	32
6	Simulationen	38
6.1	Strömungsmodellierung	38
6.2	Jahresmittelwert Stickstoffoxide (NO _x)	43
6.2.1	Simulationsergebnisse	43
6.2.2	Quellgruppenanteile	56
6.3	Jahresmittelwert Stickstoffdioxid (NO ₂).....	65
6.3.1	Simulationsergebnisse	65
6.3.2	Vergleich mit Messdaten	67
6.3.3	Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen	71
6.4	Maximaler Tagesmittelwert an NO _x	72
6.4.1	Simulationsergebnisse	72
6.5	Maximaler Halbstundemittelwert an NO ₂	73
6.5.1	Simulationsergebnisse	73
6.5.2	Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen	75
7	Unsicherheiten bei der Modellierung	76
8	Literaturverzeichnis	78
9	Abbildungsverzeichnis.....	80
10	Tabellenverzeichnis	85
11	Anhang.....	86

1 Zusammenfassung

Inhalt dieser Studie ist die Erstellung eines Immissionskatasters für das Modellgebiet Salzachpongau. Dazu wird das am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik entwickelte Modellsystem GRAMM/GRAL verwendet.

Der Untersuchungsraum beinhaltet die Städte Bischofshofen, St. Johann im Pongau, die Marktgemeinden Schwarzach, St. Veit im Pongau, Werfen und die Gemeinde Werfenweng. Die Windfeldmodellierung und die Ausbreitungsrechnungen wurden für ein Gebiet mit circa 24 km x 32 km Seitenlänge durchgeführt.

Für die Initialisierung der Windfeldmodellierung wurde eine synthetische Zeitreihe verwendet. Die Ergebnisse der synthetischen Windfeldmodellierung wurde anschließend mit der meteorologischen Zeitreihen der Stationen St. Johann, Bischofshofen und St. Veit für den Bezugszeitraum Januar 2012 bis Dezember 2012 abgeglichen. Die Daten des Emissionskatasters Salzburg beziehen sich auf das Referenzjahr 2010. Das verwendete Modellsystem ermöglicht die Integration von Punkt-, Linien-, und Flächenquellen. Insgesamt wurden für 11 verschiedene Quellgruppen die Konzentrationsfelder berechnet. Zur Berechnung der NO₂-Konzentrationen wurde die Umwandlungsfunktion gemäß RVS [1] verwendet.

Die Emissionsdaten wurden vom Amt der Salzburger Landesregierung bereitgestellt. Im Modellgebiet stellt der Verkehr die dominierende NO_x Quelle dar.

Für den Jahresmittelwert an NO₂ ergibt die Simulation eine Unterschätzung um ca. 18 % im Vergleich zu den Messungen im Untersuchungsgebiet. Um eine bestmögliche Übereinstimmung der Simulationswerte mit den Messungen zu erreichen, wurden die modellierten NO_x Zusatzbelastungen mit dem Faktor 1.5 multipliziert.

Auf Basis der Modellierung können die Gebiete mit Grenzwertüberschreitungen ausgewertet werden. Sowohl der Grenzwert für den Jahresmittelwert als auch der Grenzwert für den maximalen Halbstundenmittelwert werden nur entlang der Autobahn und entlang von Hauptverkehrsstraßen überschritten.

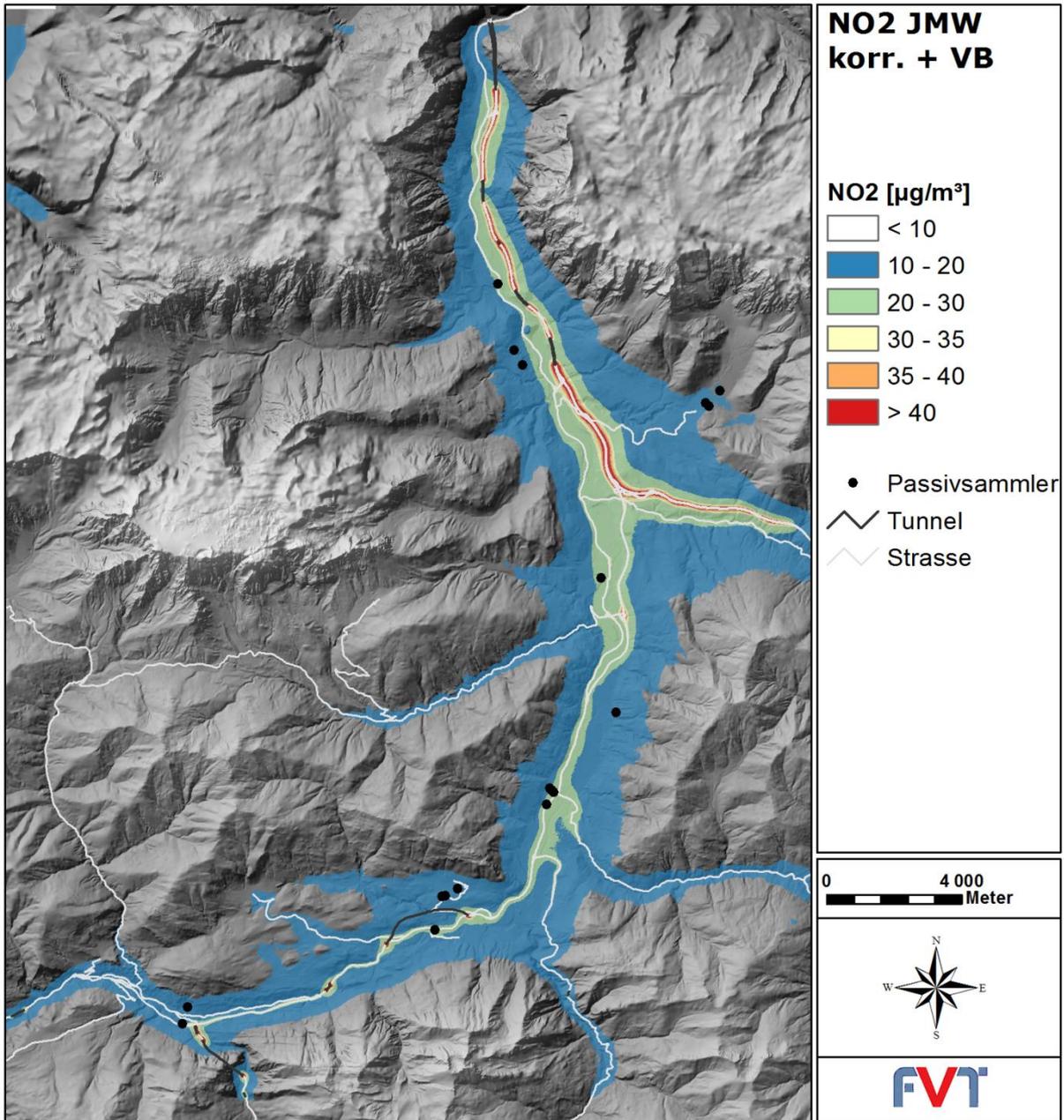


Abbildung 1: Modellerte und mittels Passivsammlermessungen angepasste NO₂-Konzentration im Jahresmittel.

2 Aufgabenstellung

Inhalt dieser Studie ist die Erstellung eines Immissionskatasters für das Modellgebiet Salzachpongau. Dazu wird das am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik entwickelte Modellsystem GRAMM/GRAL verwendet. Dieses setzt sich aus dem prognostischen Windfeldmodell GRAMM (Grazer Mesoskaliges Modell) und dem Lagrange'schen Partikelmodell GRAL (Grazer Lagrange Modell) zusammen. Dieses Modellsystem entspricht dem Stand der Technik und wird den besonderen Ansprüchen bei Simulationen im komplexen Gelände und bei windschwachen Wetterlagen gerecht.

Die meteorologischen Eingangsdaten wurden vom Amt der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt und von der ZAMG Salzburg geprüft. Dabei wurde bei der Wahl des Zeitraumes darauf geachtet, dass ein meteorologisch durchschnittliches Jahr herangezogen worden ist. Auf Basis dieser Messdaten wird das Windfeldmodell validiert.

Für die Validierung der Ausbreitungsrechnungen und Ermittlung der Vorbelastungen werden amtliche Luftgütemessungen des Landes Salzburg herangezogen.

Die verwendeten Emissionsdaten sämtlicher Quellen wurden vom Land Salzburg zur Verfügung gestellt. Das verwendete Modellsystem ermöglicht die Integration von Punkt-, Linien- und Flächenquellen sowie Tunnelportalen.

Anhand des Modellsystems werden flächendeckende Konzentrationsfelder für den nach IG-L begrenzten Luftschadstoff NO_2 berechnet. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf den Jahresmittelwert gelegt. Zuerst werden die Immissionsbelastungen für NO_x inert berechnet und anschließend die Umwandlung von NO zu NO_2 [1] ermittelt. Die Simulationen werden mit einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten durchgeführt. Für das Gebiet beträgt die räumliche Auflösung $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$.

3 Untersuchungsraum und -zeit

Der Untersuchungsraum umfasst das Gebiet um St. Johann. Die Windfeldmodellierung und die Ausbreitungsrechnungen wurden für ein Gebiet mit ca. $24 \text{ km} \times 32 \text{ km}$ Seitenlänge durchgeführt (siehe Abbildung 2)

Für die Windfeldmodellierung wurden meteorologische Eingangsdaten der Station Salzburg St. Johann im Pongau für den Bezugszeitraum 01. Jänner 2012 bis 31. Dezember 2012 verwendet. Ebenso wurden die Windmessungen von Bischofshofen und St. Veit verwendet. Die Daten des Emissionskatasters Salzburg beziehen sich auf das Referenzjahr 2010.

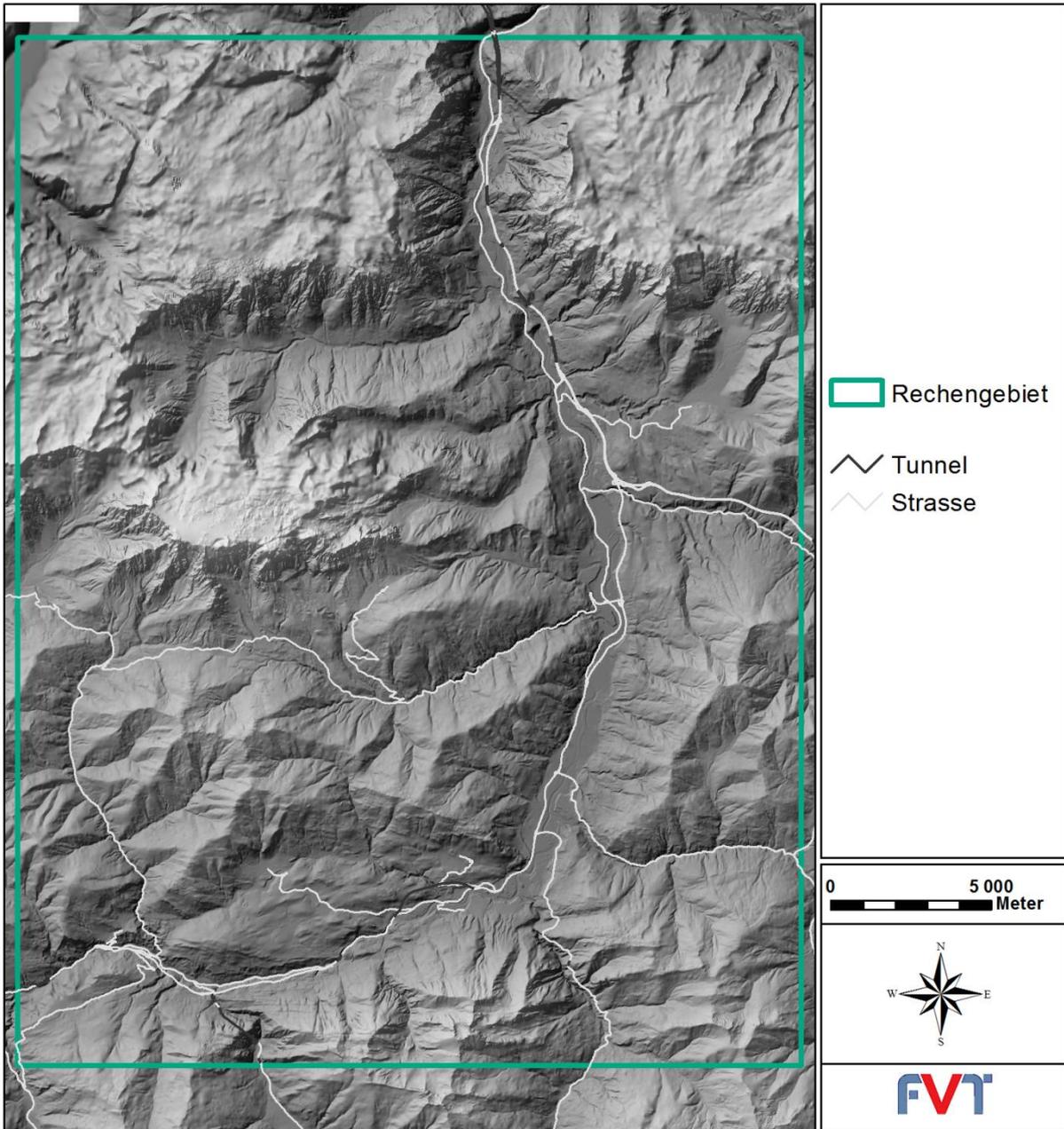


Abbildung 2: Berechnungsgebiet für die Schadstoffausbreitung, ca. 24 km x 32 km.

4 Untersuchungsmethodik

4.1 Methodik Emissionen

Die Verkehrszählungen wurden von der Stadt Salzburg, sämtliche andere Eingangsdaten wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt und umfassen das Gebiet Salzachpongau (ca. 24 km x 32km). Als Basis für die Ausbreitungsrechnungen müssen die verschiedenen Schadstoffemittenten charakterisiert werden. Für das Gebiet werden die unterschiedlichen Quelltypen aus dem Emissionskataster Salzburg erfasst. Dieser unterscheidet folgende Quelltypen:

- Linienquellen: Verkehrsemissionen
- Flächenquellen: Emissionen von Haushalten, Kleinverbraucher, Off-Road, Flächenverkehr und Pistenwalzen
- Punktquellen: Verbrennungsemissionen, die Kaminen zugeordnet werden können

Die Daten der Emissionsquellen wurden von der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht der Emissionsdaten befindet sich in Kapitel 5.3.

4.1.1 Linienquellen

Die Verkehrsemissionen wurden auf Basis der Verkehrsdaten der Stadt Salzburg vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung für 4 Quellgruppen zur Verfügung gestellt:

Quellgruppe 1: PKW, AB

Emissionen von PKWs, Autobahn.

Quellgruppe 2: LKW, AB

Emissionen von LKWs, Autobahn.

Quellgruppe 3: PKW, IO+AO

Emissionen von PKWs, Außerorts und Innerorts.

Quellgruppe 4: LKW, IO+AO

Emissionen von LKWs, Außerorts und Innerorts.

Für die Modellierungen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Straßenbreite wurde vom Auftragsteller zur Verfügung gestellt.
- Emissionen von Tunnelstrecken wurden nur über die dazugehörigen Tunnelportale freigesetzt.
- Bei einem Tunnel, der im Richtungsverkehr geführt wird, werden die gesamten Emissionen des Tunnels über das Ausfahrtsportal emittiert.

4.1.2 Flächenquellen

Die Emissionsdaten der verschiedenen Flächenquellen wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung als Rasterdaten mit unterschiedlichen horizontalen Auflösungen (50 m x 50 m, 100 m x 100 m und 200 m x 200 m) zur Verfügung gestellt:

Quellgruppe 5 – Kleinverbraucher:

kleine stationäre Flächenquellen
Auflösung: 50 m x 50 m und 100 m x 100 m

Quellgruppe 6 – Traktoren

Emissionen aufgrund Traktoren
Auflösung: 100 m x 100 m und 200 m x 200 m

Quellgruppe 7 – Pistenwalzen:

Emissionen aufgrund von Pistenwalzenbetrieb
Auflösung: 50 m x 50 m

Quellgruppe 8 – Flächenverkehr:

Verkehrsemissionen, welche nicht den Linienquellen zugeordnet wurden
Auflösung: 100 m x 100 m

Quellgruppe 9 – Bahn:

Emissionen aufgrund von Eisenbahnen
Auflösung: 50 m x 50 m

Für jede Quellgruppe müssen neben der Quellstärke und den Rasterkoordinaten Freisetzungshöhen definiert werden. Diese können Tabelle 1 entnommen werden.

4.1.3 Punktquellen

Für das Gebiet wurden 9 Kamine als Punktquellen erfasst. Neben den NO_x-Emissionen sind für die Ausbreitungsrechnungen zusätzliche Abluftparameter (Koordinaten, Austrittsgeschwindigkeit, Durchmesser, Austrittstemperatur, Kaminhöhe) notwendig. Sämtliche Eingangsdaten wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt. Die in Summe 9 Kamine wurden in zwei Quellgruppen zusammengefasst.

Quellgruppe 10: Industrie

Aluminiumwerk Lend, Bioenergie Pongau - Bischofshofen, Eisenwerk Sulzau-Werfen, Liebherr, PAM Pongauer Asphaltmischanlage, Salzburger Lieferasphalt

Quellgruppe 11: Heizwerke

Bioenergie Wagrain GmbH, Hackschnitzelwerk Pfarrwerfen, Heizwerk St. Johann Alpendorf, Holzwärme Salzach Pongau Gen.m.b.H., Krankenhaus Schwarzenberg

Tabelle 1: Freisetzungshöhen der Flächenquellen

Quellgruppe	Quellhöhe [m]	z [m]	dz [m]
5 Kleinverbraucher	mittlere Höhe 10 m	10	2
6 Traktoren	mittlere Höhe 2 oder 4 m	2 oder 4	1
7 Pistenwalzen	mittlere Höhe 4 m	4	1
8 Flächenverkehr	mittlere Höhe 2 m	1	2
9 Bahn	mittlere Höhe 4 m	4	1

4.1.4 Ganglinien der Emissionen

Bei der Berechnung der Immissionsbelastungen werden Tages- und Jahrgang der Emissionsquellen berücksichtigt. Die verwendeten Ganglinien werden in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.

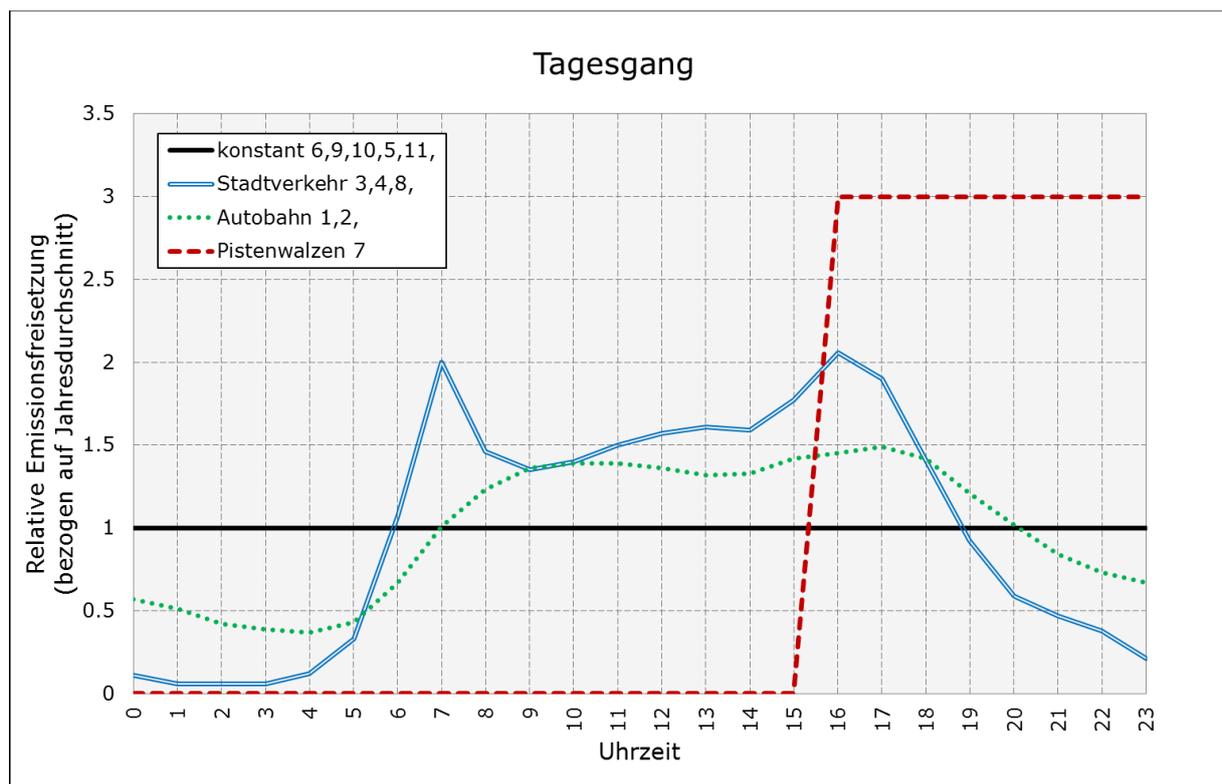


Abbildung 3: Relativer Tagesgang der Emissionsquellen.

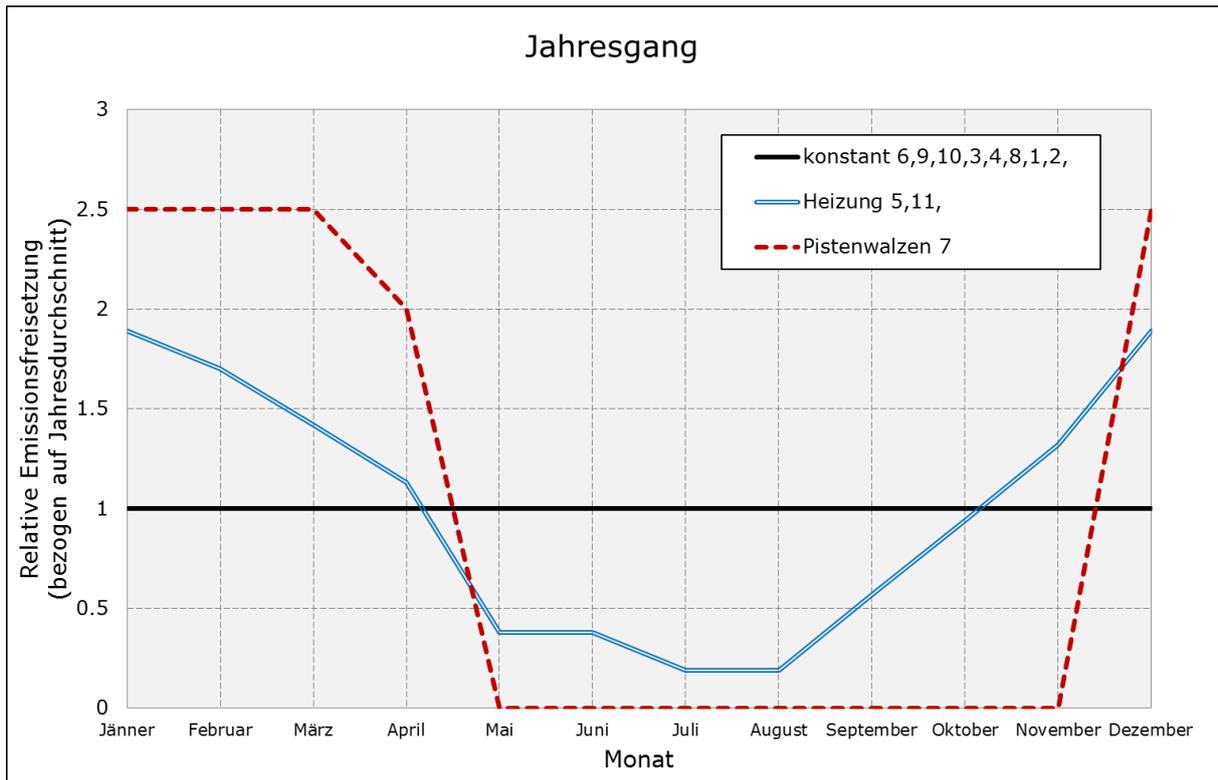


Abbildung 4: Relativer Jahresgang der Emissionsquellen.

4.2 Methodik Immissionen

4.2.1 Grenzwerte

Als Immissionsgrenzwert der Konzentration zum dauerhaften Schutz der menschlichen Gesundheit in ganz Österreich gelten gemäß IG-L [2] die Werte in nachfolgender Tabelle:

Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte nach IG-L in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Luftschadstoff	HMW	MW8	TMW	JMW
Schwefeldioxid SO ₂	200 ³⁾		120	
Kohlenmonoxid CO		10 000		
Stickstoffdioxid NO ₂	200			30 ¹⁾
Benzol				5
Blei in PM ₁₀				0.5
PM ₁₀			50 ²⁾	40
PM _{2,5}				25 ⁴⁾

¹⁾Seit 01.01. 2010 beträgt die Toleranzmarge $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Jahr 2012 ist eine Evaluierung der Wirkung der Toleranzmarge für die Jahre 2010 und 2011 durchzuführen. Auf Grundlage dieser Evaluierung wird gegebenenfalls der Entfall der Toleranzmarge verordnet.

²⁾Darf seit 01.01.2010 nur mehr 25-mal pro Jahr überschritten werden.

³⁾Drei Halbstundenmittelwerte pro Tag, jedoch maximal 48 Halbstundenmittelwerte pro Kalenderjahr bis zu einer Konzentration von $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gelten nicht als Überschreitung.

⁴⁾gültig seit 01.01.2015.

Tabelle 3: Grenzwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation [3] in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Luftschadstoff	Winter	TMW	Jahresmittelwert
Schwefeldioxid	20	50	20
Stickstoffoxide (als NO_2)		80	30

4.2.2 Berechnung der Immissionsbeiträge

Die Berechnung der Immissionsbelastungen erfolgt mit dem Modellsystem GRAMM/GRAL, wobei die Windfelder mit dem prognostischen Strömungsmodell GRAMM und die Konzentrationsfelder mit dem Partikelmodell GRAL berechnet werden. Eine detaillierte Beschreibung des Modells und Ergebnisse von Validierungsrechnungen können auf der Website des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung heruntergeladen werden [4]. Die verwendeten Eingangsparameter für die vorliegenden Berechnungen werden im Anhang (Kapitel 11) dokumentiert.

4.2.3 Eingangsparameter

Um eine differenzierte Aussage über den Beitrag unterschiedlicher Emittenten zur gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen machen zu können, wurden möglichst viele Quellen im Simulationsmodell als eigene Quellgruppe definiert. Das bedeutet, dass für diese Quellgruppen eigene Konzentrationsfelder für alle klassifizierten Wetterlagen berechnet werden. Tabelle 4 zeigt die 11 verwendeten Quellgruppen.

Tabelle 4: Definition der Quellgruppen

Art	Quelle	Quellgruppe
Punktquellen	Gewerbe & Industrie	10
	Heizwerke	11
Linienquelle	PKW IO und AO	1
	LKW IO und AO	2
	PKW AB	3
	LKW AB	4
Flächenquellen	Kleinverbraucher	5
	Traktoren	6
	Pistenwalzen	7
	Flächenverkehr	8
	Bahn	9

In den Simulationen wurde eine möglichst hohe Partikelanzahl verwendet, damit möglichst stetig verlaufende Konzentrationsfelder berechnet werden. In diesem Fall wurde folgende Partikelanzahl gewählt:

Punktquellen 1000 Partikel/Sekunde
 Flächenquellen 1000 Partikel/Sekunde

Linienquellen 1500 Partikel/Sekunde

Insgesamt ergibt das für alle Emissionen im gesamten Berechnungsgebiet eine Partikelanzahl von 6.3 Millionen pro 30 Minuten.

4.2.4 Berechnung der Gesamtbelastungen

In der Ausbreitungsmodellierung werden nur die Immissionsbeiträge der berücksichtigten Emissionen berechnet. Zur Ermittlung der Gesamtbelastung muss noch die Vorbelastung hinzugezählt werden. Diese wird aus einem Vergleich der gemessenen Gesamtbelastungen und der modellierten Zusatzbelastungen für den Istzustand ermittelt.

4.2.5 Zeitliche und räumliche Auflösung

Das gesamte Rechengebiet besitzt eine Größe von ca. 24 km x 32 km. Die horizontale Auflösung der Konzentrationsfelder beträgt 10 m. Dadurch können hohe Konzentrationsgradienten (beispielsweise neben Straßen) abgebildet werden. Die vertikale Auflösung des Auszählgitters beträgt 2 m. In der Simulation wurde die Schnittebene mit 3 m über Grund festgelegt.

Die zeitliche Auflösung der Simulationen beträgt 30 Minuten. Das Modell berechnet die Konzentrationsfelder für 840 klassifizierte Wetterlagen. Auf Basis dieser Strömungsfelder wird der Konzentrationsverlauf eines Jahres simuliert. Mit Hilfe von Tages- und Jahresgängen kann auch die Variabilität der einzelnen Quellen berücksichtigt werden. Diese Methodik ermöglicht ebenfalls eine Auswertung von maximalen Tages- und Halbstundenmittelwerten sowie von Perzentilen.

4.2.6 NO-NO₂-Umwandlung

Die emittierten Stickstoffoxid-Emissionen (NO_x) bestehen zum überwiegenden Teil aus NO. Nach dem Austritt in die Atmosphäre wird in der Folge NO zu NO₂ oxidiert. Eine detaillierte Berechnung dieses Oxidationsprozesses mittels geeignetem Chemiemodell ist für diese Untersuchung nicht zielführend, da hierfür umfangreiche Eingangsparameter notwendig wären, welche nicht zur Verfügung stehen (z. B. Strahlungsdaten, Temperaturverteilung, Ozongehalt, HC-Gehalt, zeitlich hochauflösende Emissionsverläufe aller Emittenten des Untersuchungsgebiets usw.).

Eine einfache Alternative zur Ermittlung der NO₂-Umwandlung stellt die empirische Konversionsfunktion nach Romberg dar (VDI-Richtlinie 3782 [5]). Dabei werden die emittierten Stickstoffoxide NO_x (Summe aus NO₂ und NO, wobei NO als NO₂ gerechnet wird) zuerst inert betrachtet und die Konzentration berechnet. Auf Basis dieser Konzentrationsverteilung wird dann mit der Beziehung

$$NO_2 = NO_x * \left[\frac{A}{NO_x + B} + C \right] \quad (1)$$

die NO₂-Konzentration ermittelt.

Für Österreich wurden die Parameter A, B und C aus Messdaten der Jahre 2005-2011 in [1] abgeleitet. Zu beachten ist, dass die Umwandlungsrate regional unterschiedlich sein kann. Da jedoch keine Messdaten für den Jahresmittelwert NO_x und NO₂ vorliegen, kann keine Überprüfung der Konversionsfunktionen im Untersuchungsraum durchgeführt werden.

Tabelle 5: Parameter für die NO₂-Umwandlungsfunktion abgeleitet aus österreichischen Datensätzen

Konzentrationsgröße	Funktionsparameter		
	A	B	C
Jahresmittelwert	49	65	0.12
98 Perzentil HMW	65	65	0.12
99.8 Perzentil HMW	70	65	0.12

4.2.7 Berechnung des maximalen Halbstundemittelwertes von NO₂

Die Modellierung von Spitzenbelastungen mit einem Ausbreitungsmodell ist immer mit größeren Unsicherheiten verbunden als die Modellierung von Jahresmittelwerten. Die Ursache liegt darin, dass Spitzenbelastungen per Definition Einzelereignisse und somit statistische Ausreißer sind. Diese können im Falle von NO₂ durch außergewöhnlich hohe Umwandlungsraten von NO zu NO₂, durch hohe Vorbelastungswerte (z.B. Ferntransport) oder außergewöhnlich hohes Verkehrsaufkommen (Stauereignis) verursacht werden. Außerdem basieren Ausbreitungsmodelle immer auf mehreren Turbulenzparametrisierungen, wo statistische Ausreißer, die zu Spitzenbelastungen führen können, nicht berücksichtigt werden. Letztlich können auch Einzelereignisse, welche in der Modellierung nicht berücksichtigt werden können, zu Spitzenbelastungen bei einzelnen Aufpunkten führen (z.B. temporäre Emissionsquellen).

Aus diesen Gründen wird auf eine explizite Modellierung des maximalen Halbstundenmittelwertes verzichtet. Die verwendete Methodik basiert auf der Berechnung der Gesamtbelastung für das 98-Perzentil für NO₂ und in weiterer Folge in einer Korrelation zwischen der Gesamtbelastung für das 98-Perzentil mit der Gesamtbelastung für den maximalen Halbstundenmittelwert [1].

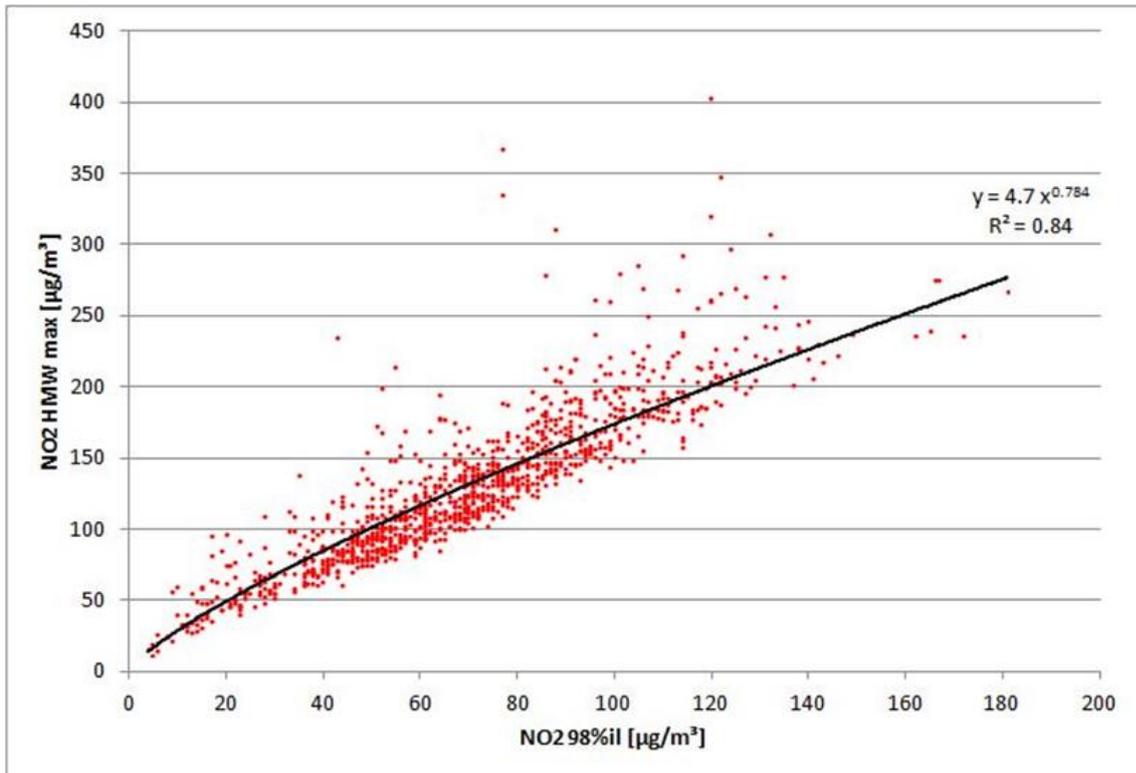


Abbildung 5: Empirischer Zusammenhang zwischen 98 Perzentil NO₂ und dem maximalen Halbstundenmittelwert von NO₂ [1]

5 Beschreibung der Eingangsdaten

Als Grundlagen für die Modellierung des NO_x/NO₂-Immissionskatasters wurden folgende Daten verwendet:

- Digitales Geländemodell von Salzburg
- Meteorologische Daten der ZAMG Salzburg
- Emissionskataster Salzburg
- Luftgütemessungen vom Amt der Salzburger Landesregierung

5.1 Meteorologie

Ausbreitungsmodellierungen im komplexen Gelände stellen eine große Herausforderung hinsichtlich des Modellantriebs, d.h. der meteorologischen Initialisierung und der Randbedingungen dar. Aufgrund der noch zu großen Maschenweiten sowie Rechenzeitbeschränkungen, die die Verwendung von Messstationen im Rahmen der Datenassimilation ausschließt, können Re-Analysen von Wettervorhersagemodellen noch nicht im Rahmen von mikro-skaligen Ausbreitungsrechnungen in komplexen Gelände verwendet werden [6]. Auch die mögliche Kopplung Wettervorhersagemodell Mikroskalenmodell (z.B. WRF-GRAMM) stellt aufgrund der oft wichtigen, fehlenden meteorologischen Informationen zur Charakterisierung der Verhältnisse in Tälern (vor allem lokale Windsysteme und Inversionen) derzeit noch keine anwendbare Alternative dar [7].

Deshalb bietet sich die Möglichkeit an, Windfelder für charakteristische Situationen zu berechnen, z.B. unter Verwendung einer Zeitreihe der meteorologischen Parameter Windgeschwindigkeit, -richtung und Ausbreitungsklasse gemäß ÖNORM M 9440. Sofern die zugrunde liegende Messung die übergeordneten und lokalen Windsysteme (im Wesentlichen Berg-Talwindsysteme) gut erfasst und diese repräsentativ für das Untersuchungsgebiet sind, kann diese Klassifizierung gut zum Antrieb für das Strömungsmodell verwendet werden [6], [7], [8]. Details dieser Methodik wurden in den Projekten PMinter [7] und ALPNAP [8] beschrieben. Bei dieser Vorgehensweise können allerdings nur die Windmessungen einer Messstation verwendet werden.

In dieser Untersuchung stehen Windmessungen von St. Johann im Pongau, Bischofshofen sowie St. Veit zur Verfügung. Daher wurde auf eine neuere Methodik [9] zurückgegriffen. Windfelder wurden für eine synthetische Klassifizierung der relevanten Windgeschwindigkeitsklassen, Windrichtungen (10° Sektoren) und 7 Ausbreitungsklassen im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Danach wurden anhand der klassifizierten Zeitreihen für St. Johann, Bischofshofen und St. Veit in Abhängigkeit der Ausbreitungsklasse, die Strömungsfelder mit der insgesamt besten Übereinstimmung zugeordnet. Dabei wurde die sogenannte „Match-to-Observation“ Funktion [9] verwendet. Die meteorologischen Eingangsdaten wurden vom Amt der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt. Die Ausbreitungsklassenstatistik wurde von der ZAMG Salzburg erstellt. Als Datenbasis dienten SYNOP Beobachtungen aus (3 Stunden) Wolkenuntergrenze & Bedeckungsgrad in St.

Johann (Bundesheer). Wenn diese Observationen nicht verfügbar waren, wurden SYNOP Messungen von Aigen im Ennstal verwendet. Die Ausbreitungsklassen wurden auf die Messzeitreihen von Bischofshofen und St. Veit übertragen. Der Messzeitraum erstreckt sich für alle drei Messstationen von 01.01.2012 bis 31.12.2012.

5.1.1 Standort St. Johann

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ist in Abbildung 6 dargestellt. Windschwache Wetterlagen unter 0.5 m/s kamen häufig, d.h. zu 34 % im Jahr 2012 vor. Auch Windgeschwindigkeiten im Bereich 0.5 m/s bis 1 m/s kommen mit knapp 30 % häufig vor. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit beträgt 1.2 m/s. Die Ausbreitungsbedingungen sind daher als recht ungünstig einzustufen.

Betrachtet man die mittlere Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen, so sind zwei Hauptwindrichtungen (> 10 %) erkennbar (Abbildung 7). Hauptsächlich treten Windrichtungen aus N/NO sowie SSO/SO auf. Dies deutet zum einen auf eine hohe Leitwirkung infolge des Geländes sowie zyklische Windsysteme hin, siehe nachfolgend die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung mit Stabilitätsinformation Abbildung 8 und mittlere Tagesgänge der Windrichtungen Abbildung 9 und Abbildung 10. Mit den stabilen Ausbreitungsklassen 6 und 7 dominieren Wind aus südlichen bis östlichen Richtungen. Mit den instabilen Ausbreitungsklassen 2 und 3 dominieren Windrichtungen aus nördlichen (NW bis NO) Windrichtungen.

Der mittlere Tagesgang der Windrichtungen mit katabatischer Ausprägung ist in Abbildung 9 dargestellt. Windrichtungen aus SSO, SO (Talauswinde) sowie OSO bis NO (Hangabwinde) dominieren nachts. Diese stehen mit schlechteren Ausbreitungsbedingungen in Verbindung, da die thermische Schichtung der Atmosphäre stabiler ist, siehe auch Abbildung 8. Der mittlere Tagesgang der Windrichtungen mit anabatischer Ausprägung ist in Abbildung 10 dargestellt. Windrichtungen aus NW, NNW, vor allem Nord, sowie NNO dominieren zu den Tagstunden und sind dem Talaufwindssystem zuzuordnen.

Abbildung 11 zeigt den Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit. Das Maximum liegt in den Nachmittagsstunden und deutet auf ein starkes am Nachmittag ausgeprägtes Talaufwindssystem mit günstigen Ausbreitungsbedingungen hin, sowie niedrigen Windgeschwindigkeiten um 0.7 m/s während den Nachtstunden und auch noch recht niedrigen Windgeschwindigkeiten (< 1.2 m/s) während den Übergangsphasen und damit verbundenen ungünstigen Ausbreitungsbedingungen.

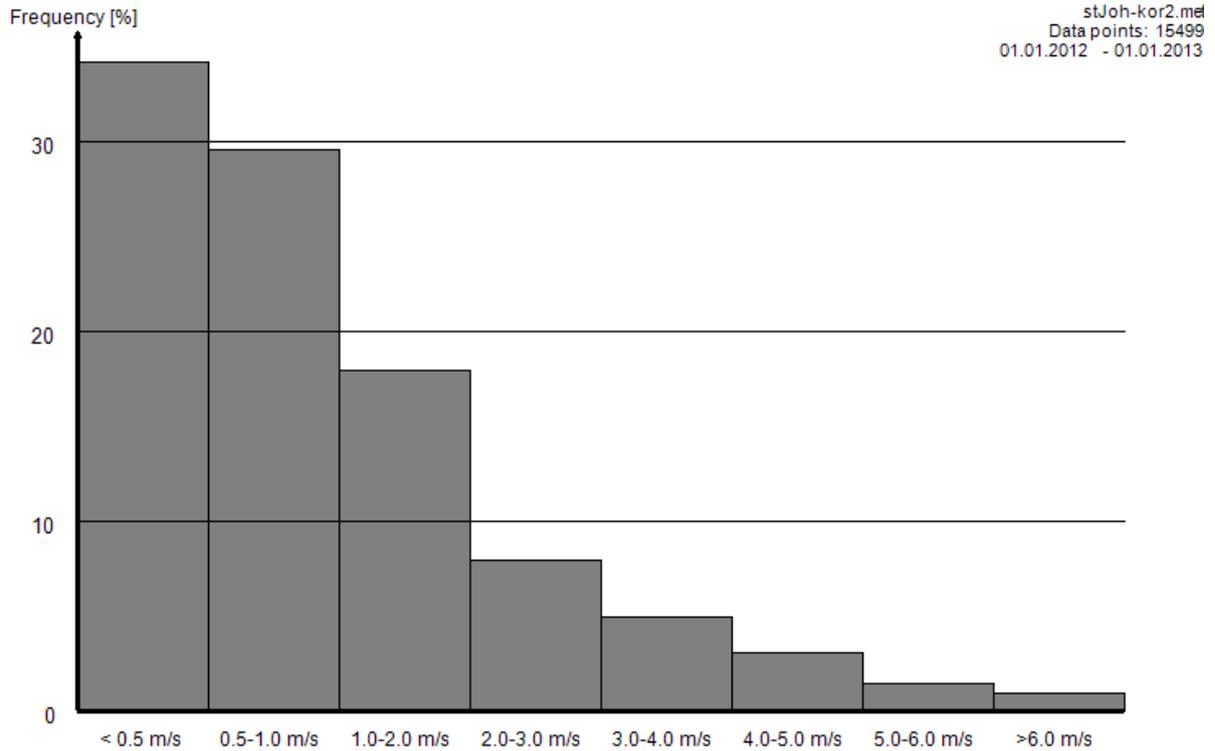


Abbildung 6: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort St. Johann im Pongau.

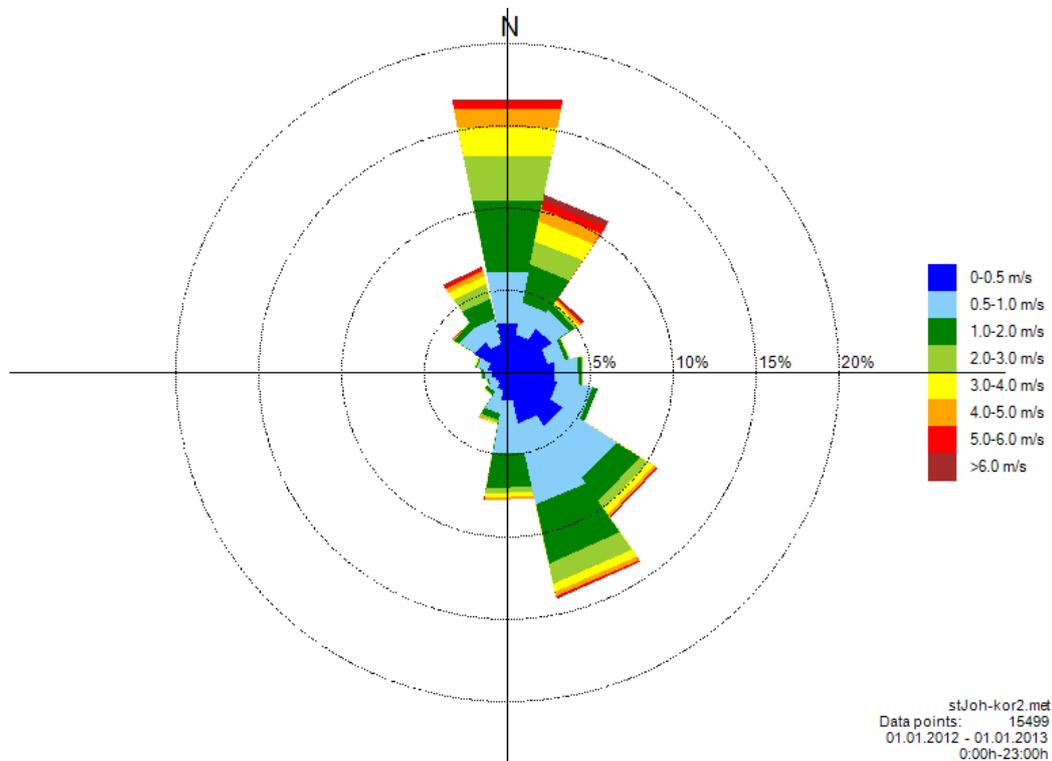


Abbildung 7: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort St. Johann im Pongau.

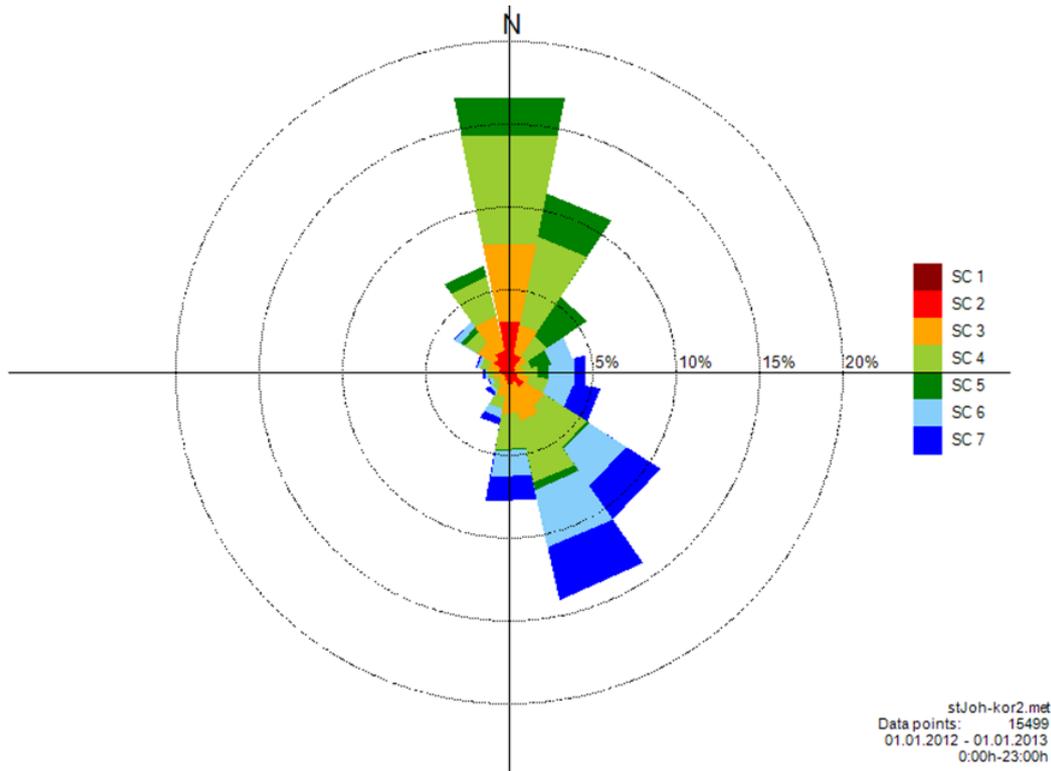


Abbildung 8: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Stabilitätsklasse am Standort St. Johann im Pongau.

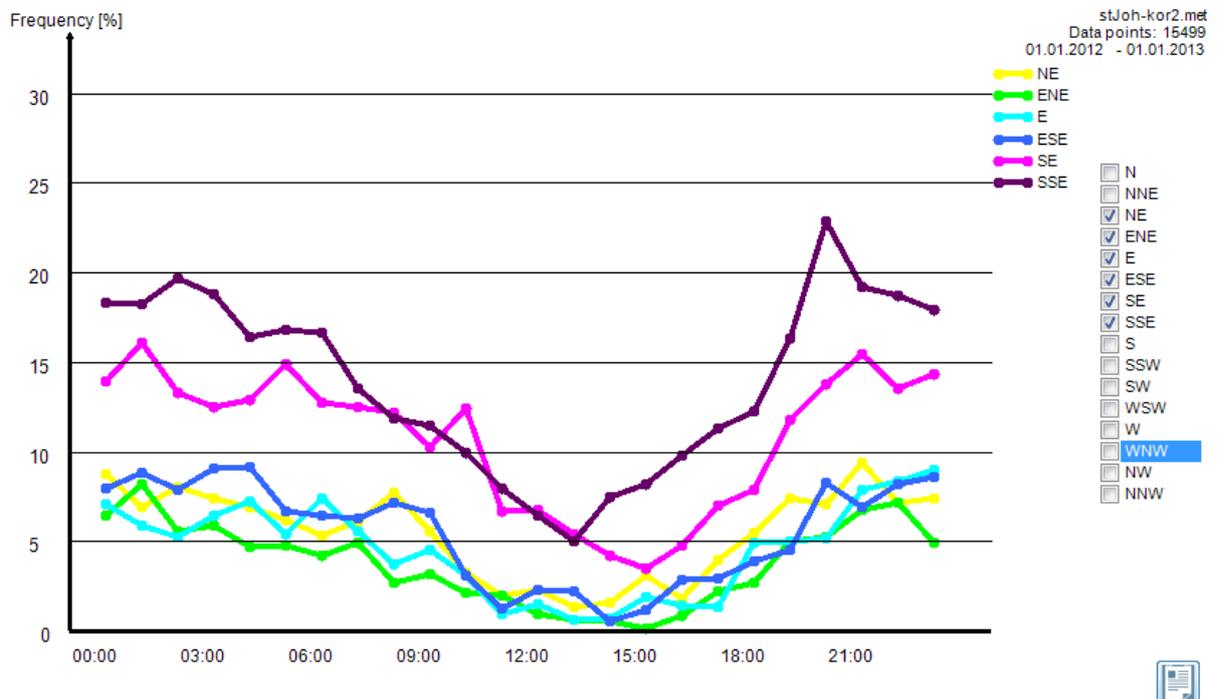


Abbildung 9: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen mit katabatischer Ausprägung am Standort St. Johann im Pongau.

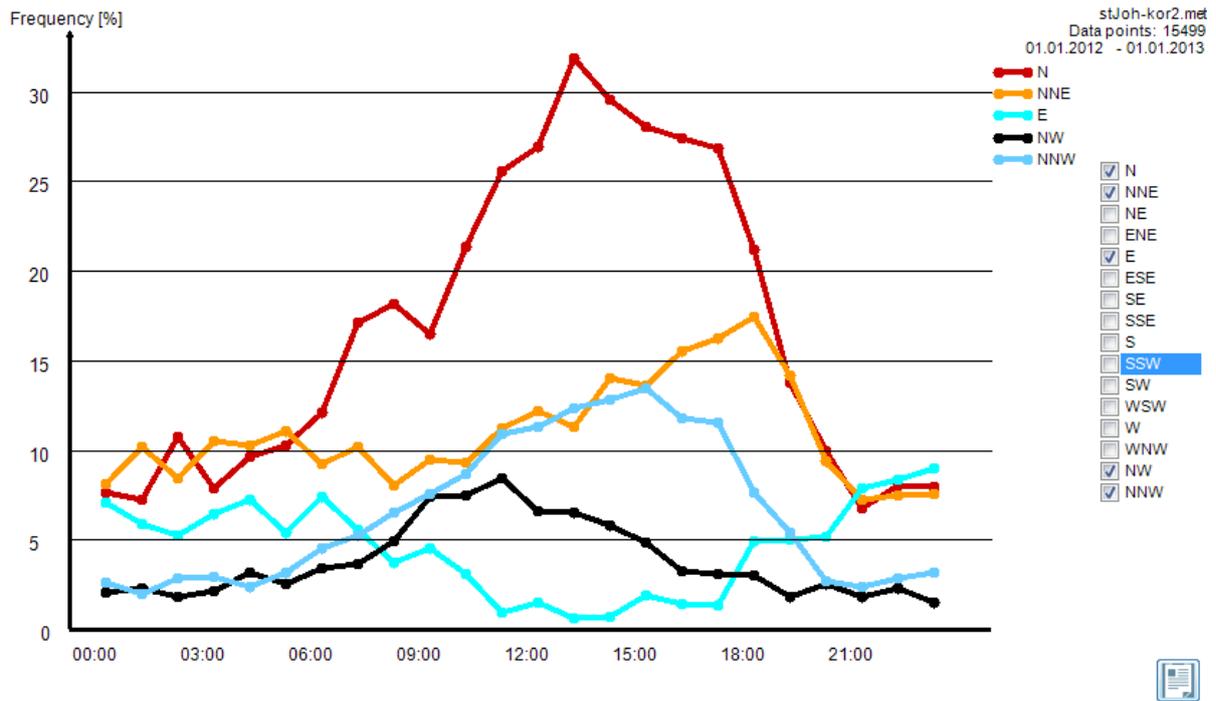


Abbildung 10: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen mit anabatischer Ausprägung am Standort St. Johann im Pongau. NB: E/Ost ist hier falsch zugeordnet.

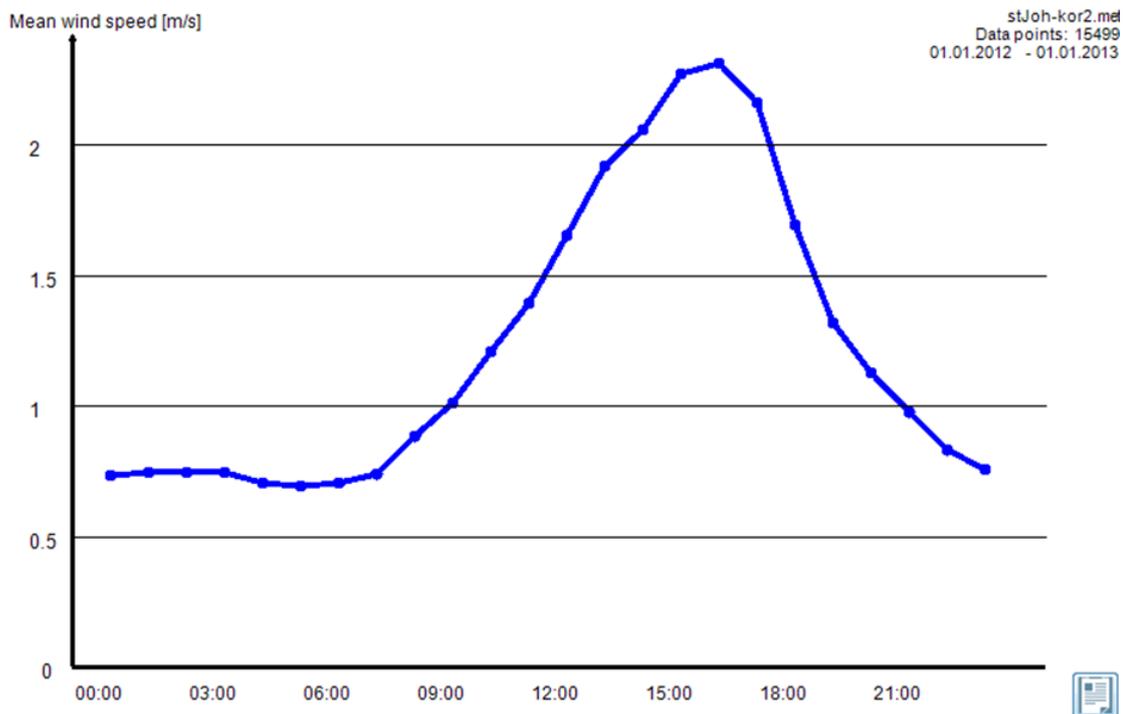


Abbildung 11: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort St. Johann im Pongau.

5.1.2 Standort Bischofshofen

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ist in Abbildung 12 dargestellt. Kalmen (< 0.5 m/s) kommen in knapp unter 14 % des Jahres vor. Niedrige Windgeschwindigkeiten im Bereich 0.5 m/s bis 1 m/s kommen mit 30 % sehr häufig vor. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit betrug 2012 rund 1.5 m/s. Die Ausbreitungsbedingungen sind daher als ungünstig einzustufen.

Betrachtet man die mittlere Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen, so sind zwei Hauptwindrichtungen erkennbar (Abbildung 13). Hauptsächlich treten Windrichtungen aus SSO/SO und N/NNO auf.

Der mittlere Tagesgang der Windrichtungen ist in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt. SO und SSO Winde weisen eine hohe nächtliche Häufigkeit und geringe Häufigkeit in den Nachmittagsstunden auf. Dies deutet auf deutlich ausgeprägte nächtliche Bergwinde hin. N und NNO Winde weisen die höchste Häufigkeit in den Nachmittagsstunden auf. Dies deutet auf ein ausgeprägtes Talaufwindssystem am Standort Bischofshofen hin (Abbildung 15). Im Gegensatz zu St. Johann haben Hangab- und Hangaufwinde eine geringere Bedeutung.

Abbildung 16 zeigt den Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit. Das Maximum mit 2.7 m/s liegt in den Nachmittagsstunden und deutet auf ein starkes am Nachmittag ausgeprägtes Talaufwindssystem mit günstigen Ausbreitungsbedingungen hin, sowie niedrige Windgeschwindigkeiten um 1.2 m/s während den Nachtstunden und auch noch niedrigen Windgeschwindigkeiten (< 1.5 m/s) während den Übergangsphasen und damit verbundenen ungünstigen Ausbreitungsbedingungen.

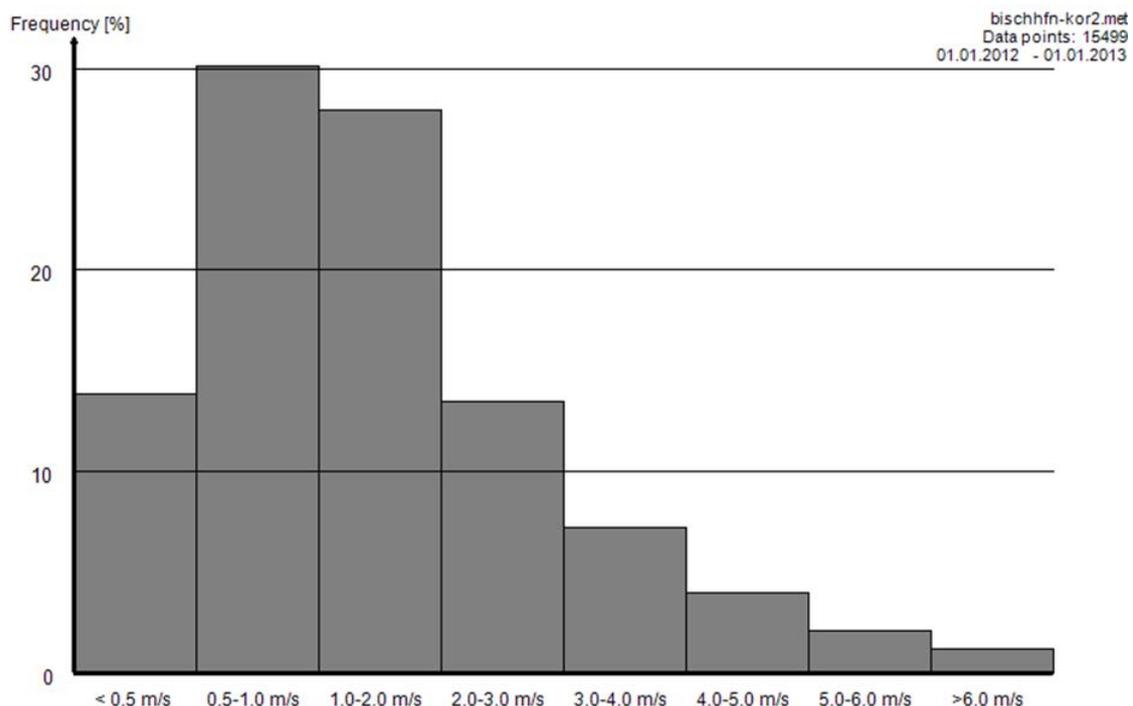


Abbildung 12: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Bischofshofen.

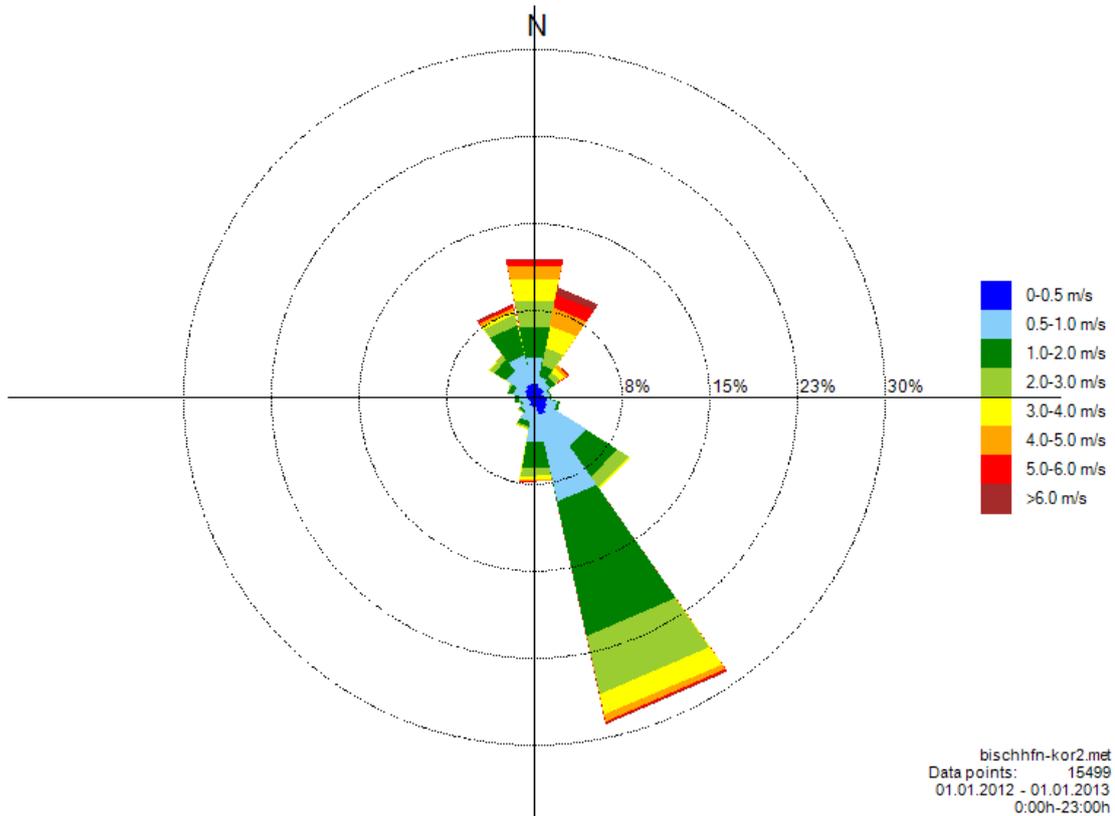


Abbildung 13: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort Bischofshofen.

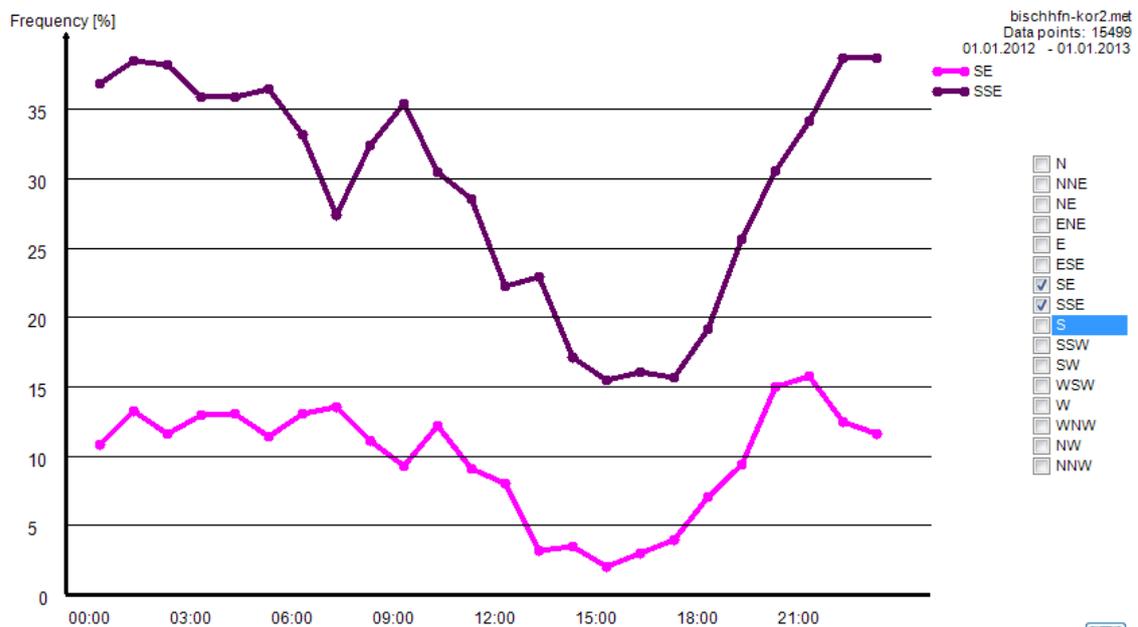


Abbildung 14: Mittlere Häufigkeit der Haupt-Windrichtungen mit katabatischer Ausprägung am Standort Bischofshofen.

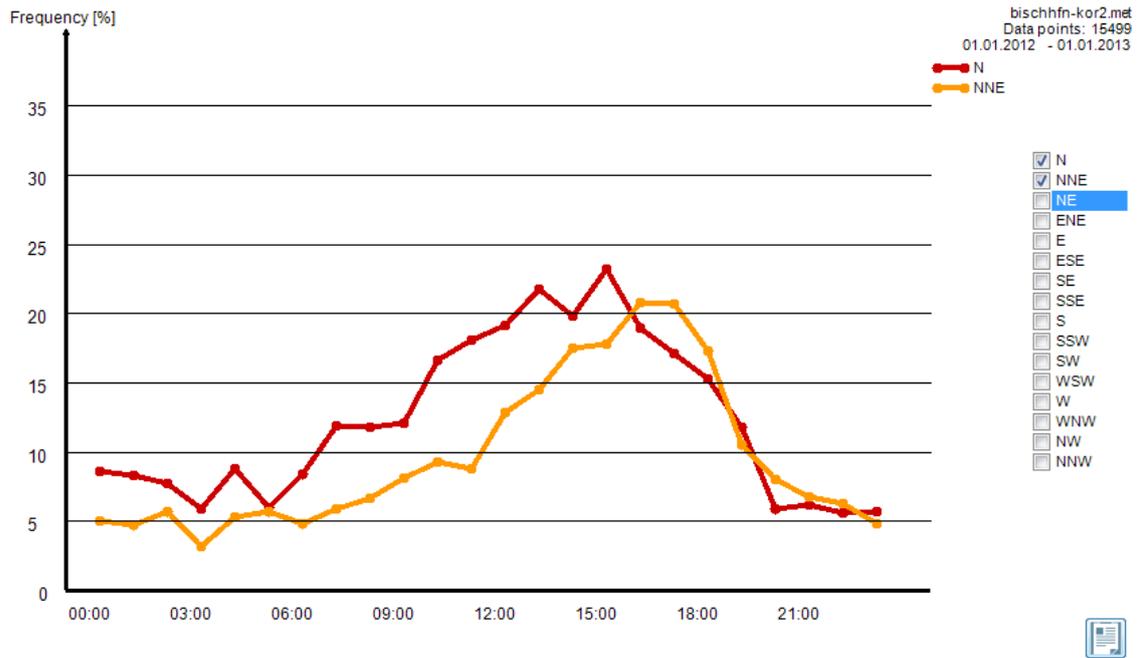


Abbildung 15: Mittlere Häufigkeit der Haupt-Windrichtungen mit anabatischer Ausprägung am Standort Bischofshofen.

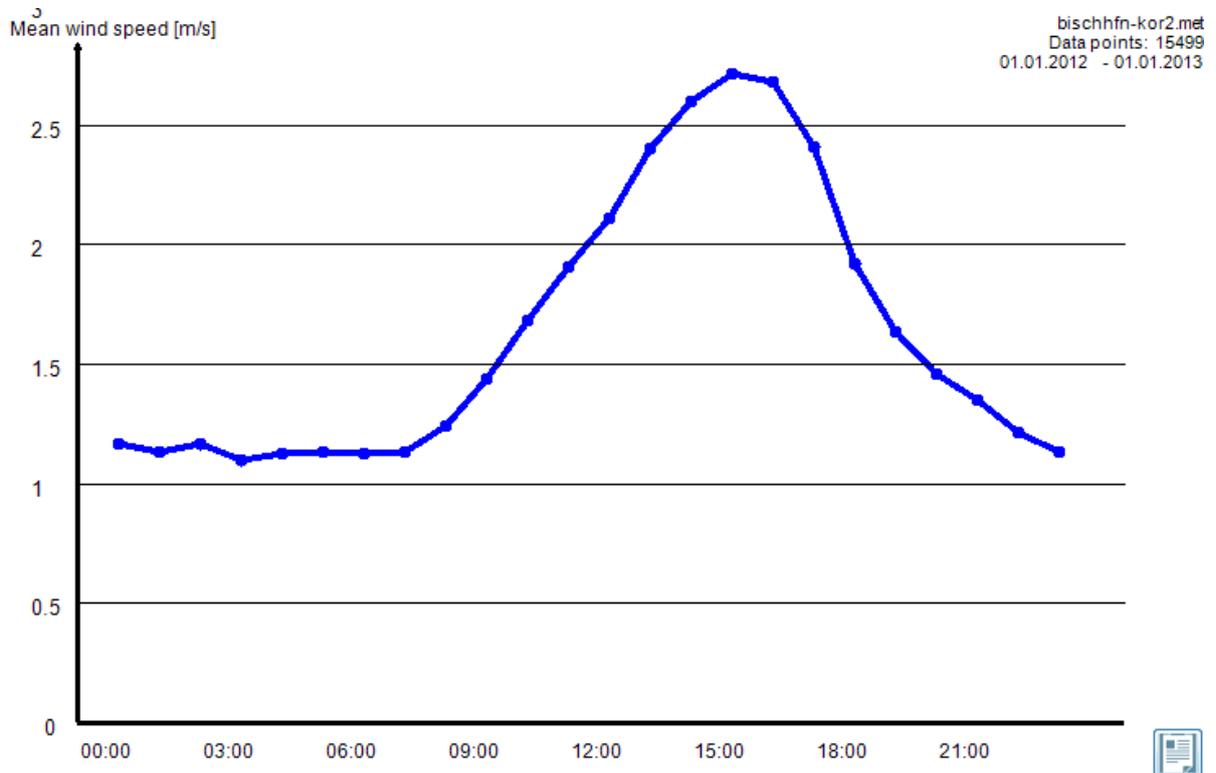


Abbildung 16: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort Bischofshofen.

5.1.3 Standort St. Veit

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ist in Abbildung 17 dargestellt. Die Kalmenhäufigkeit (< 0.5 m/s) beträgt rund 9 % im Jahresmittel 2012. Niedrige Windgeschwindigkeiten im Bereich 0.5 m/s bis 1 m/s kommen mit 42 % sehr häufig vor. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit betrug 2012 rund 1.2 m/s. Die Ausbreitungsbedingungen sind daher als recht ungünstig einzustufen.

Die mittlere Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen (Abbildung 18) zeigt eine hohe Windrichtungs-Variabilität auf. Es dominieren westliche Windrichtungen (von NW über W bis WSW) sowie südöstliche und östliche Winde. Die relative breite Streuung entlang der Hauptachsen deutet auf einen starken Einfluss von Hangwinden hin.

Der mittlere Tagesgang der Windrichtungen ist in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt. Nachts sowie während der Übergangszeiten weisen Winde aus den Richtungen WSW über W bis NNW sowie ONO hohe Häufigkeiten auf und deuten auf Bergwinde sowie Hangwinde hin. Tagsüber dominieren Winde aus SSW über S bis O. Dies deutet auf den Einfluss von Hangwinden sowie Talaufwinden an der Messstation hin.

Abbildung 21 zeigt den Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit. Das Maximum mit 2 m/s liegt in den Nachmittagsstunden und deutet auf ein am Nachmittag vorherrschendes Talaufwind und Hangaufwindssystem hin. In den Nachtstunden und Übergangszeiten dominieren niedrige Windgeschwindigkeiten bis knapp 1 m/s. Dies deutet auch für den Messstandort St. Veit auf ungünstige Ausbreitungsbedingungen hin.

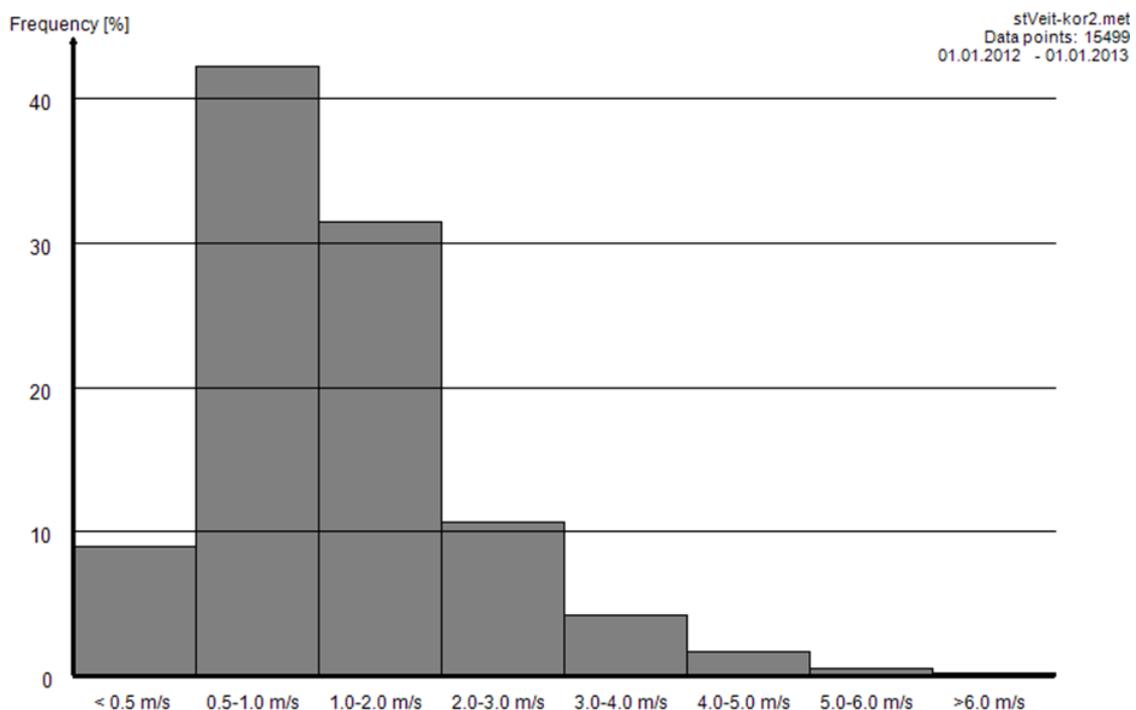


Abbildung 17: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort St. Veit.

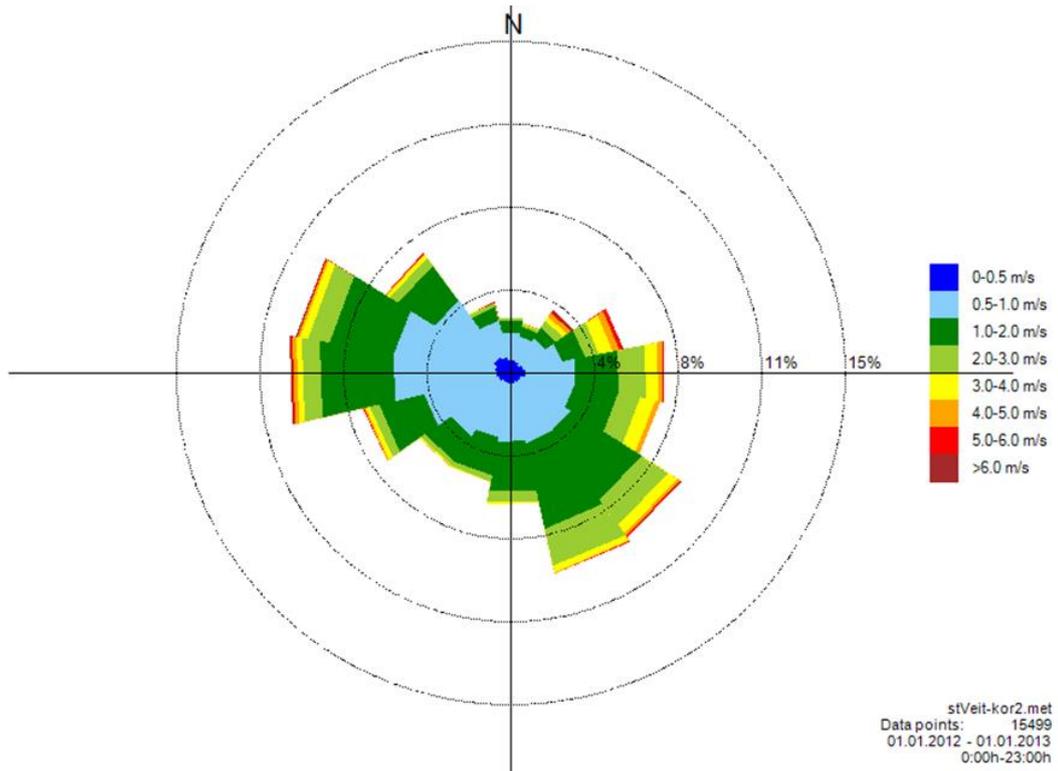


Abbildung 18: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort St. Veit.

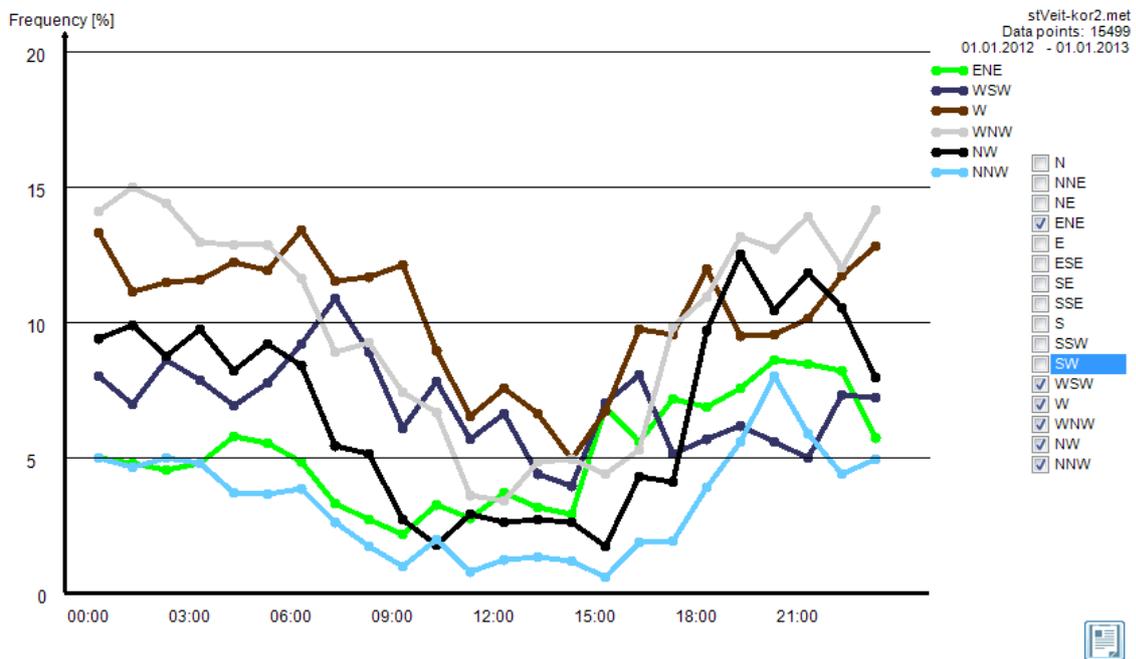


Abbildung 19: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen mit katabatischer Ausprägung am Standort St. Veit.

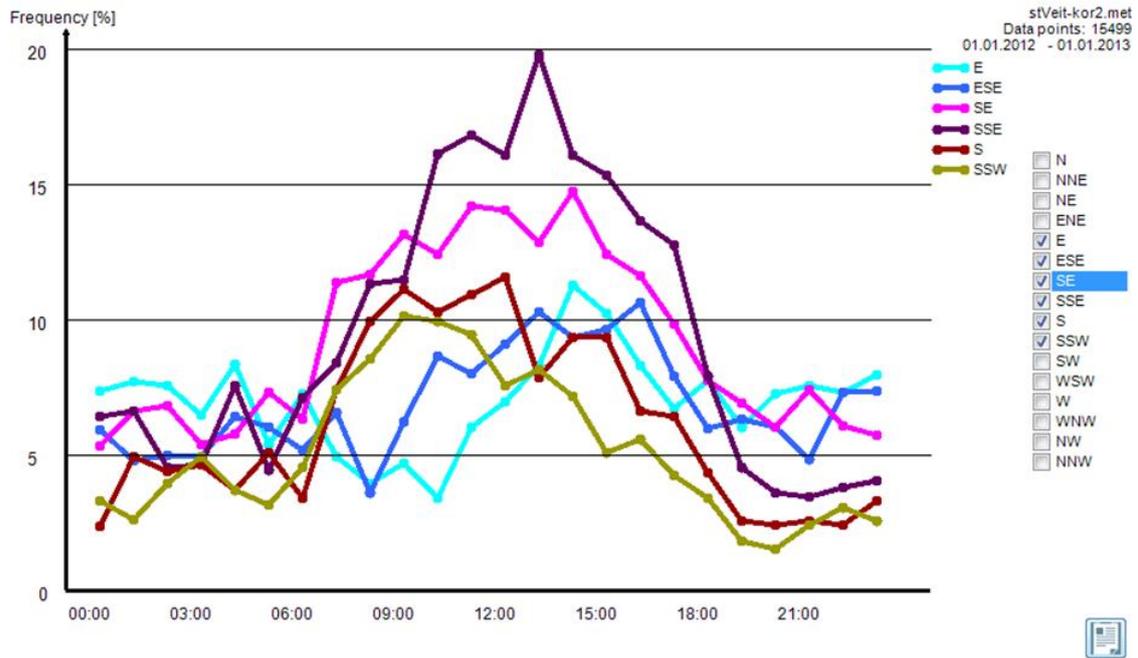


Abbildung 20: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen mit anabatischer Ausprägung am Standort St. Veit.

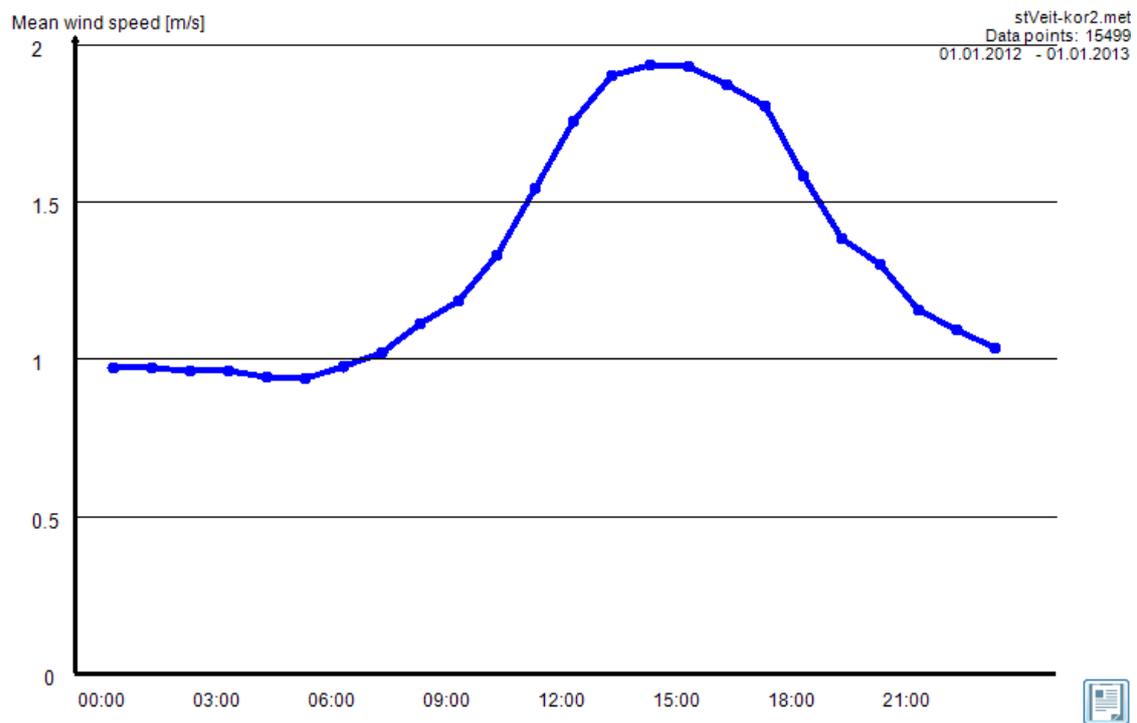


Abbildung 21: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort St. Veit.

5.2 Luftgüte

5.2.1 Messdaten - Passivsammler

Seit dem Jahr 2010 führt das Land Salzburg verstärkt Luftqualitätsmessungen mit Passivsammlern durch. Diese Messdaten werden in weiterer Folge für die Validierung der Simulationsergebnisse herangezogen. Die Daten wurden den Jahresberichten 2010 bis 2014 entnommen [10-14] (Tabelle 6). Die Lage der Passivsammler ist in Abbildung 22 dargestellt.

Tabelle 6: Passivsammlermessungen im Untersuchungsgebiet

Standort	Jahr	Lage	JMW NO ₂ in µg/m ³	Klasse
Bischofshofen Friedhof	2010	Wohngebiet	21.2	I
	2011		21.5	I
	2012		20.5	I
	2013		19.6	I
	2014		17.3	I
Schwarzach Bundesstrasse	2010	Wohngebiet, verkehrsnah	26.3	II
St.Johann Bundesstrasse	2011	Wohngebiet, verkehrsnah	29.5	II
	2012		29.3	II
St.Johann Palfner Dörfel 1	2011	Wohngebiet	23.9	I
	2012	Wohngebiet, verkehrsnah	25.1	I
St.Johann Palfner Dörfel 2	2011	Wohngebiet	22.6	I
	2012	Wohngebiet, verkehrsnah	23.1	I
St.Johann Palfner Dörfel 3	2011	Wohngebiet	24.7	I
	2012	Wohngebiet, verkehrsnah	23.2	I
St.Johann Palfner Dörfel Mitte	2013	Wohngebiet, verkehrsnah	21.5	I
	2014		19.2	I
St.Johann Palfner Dörfel oben	2013	Wohngebiet, verkehrsnah	20.6	I
	2014		18.2	I
St.Johann Palfner Dörfel unten	2013	Wohngebiet, verkehrsnah	25.9	I
	2014		23.3	I
St.Johann Urreiting	2010	regionaler Hintergrund	17.4	I
	2011		16.8	I
	2012	ländlicher Hinergrund	16	I
	2013		16.7	I
2014	regionaler Hintergrund	13.8	I	
St.Veit Kurpark	2010	regionaler Hintergrund	12.1	I
St.Veit Marktplatz	2010	Wohngebiet, verkehrsnah	28.8	II
	2011		29.5	II
	2012		30	II
	2013		27.6	II
	2014		25.7	I
St.Veit Schule	2010	Wohngebiet	17.3	I
	2011		17.7	I

	2012		19.1	
	2013		17.7	
	2014		15.8	
Tenneck Eisenwerk	2010	Industrienah, verkehrsnah	20.8	
	2011	industrienah	21.8	
	2012		20.2	
	2013		19.6	
	2014		17.8	
Werfen Ehrensberger Nord	2012	Gewerbegebiet	11.8	
Werfen Ehrensberger Süd	2012	Gewerbegebiet	14.4	
Werfenweng Gemeindeamt	2012	Wohngebiet	19.3	
	2013		22.1	
	2014		18.1	
Werfenweng Landhaus	2012	Wohngebiet	13.6	
Werfenweng Ruhdorf	2014	Wohngebiet	8.3	
Lend Buchberg	2010	industrienah	15.7	
	2011		19	
	2012		16.4	
	2013		15.6	
	2014		15	

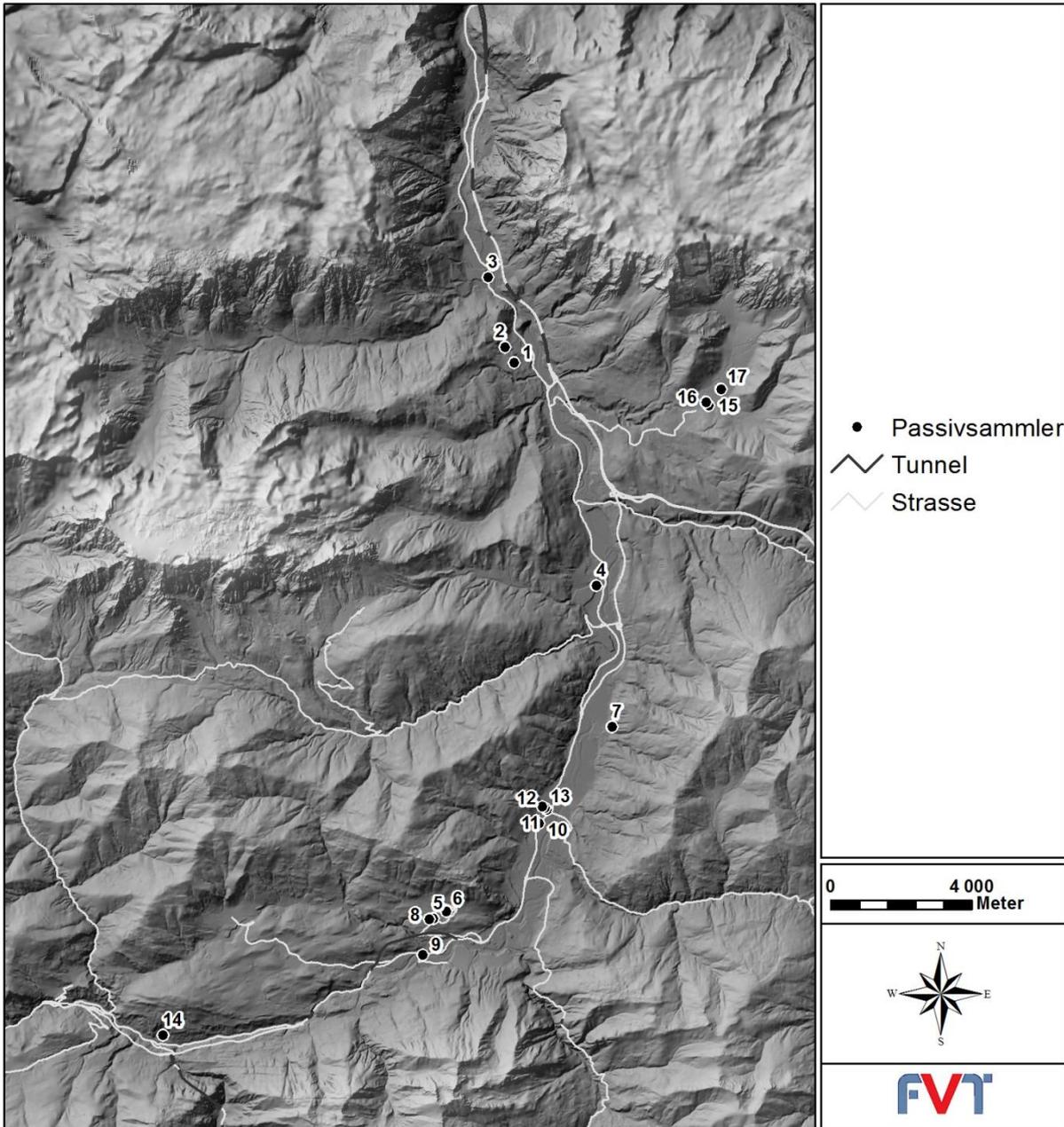


Abbildung 22: Lage der Passivsammler im Gebiet St. Johann

5.2.2 Vertikale Abhängigkeit der Vorbelastung

Zur Beschreibung der Abhängigkeit der Hintergrundbelastung von der Seehöhe wurde ein exponentieller Ansatz nach Seinfeld [15] verwendet. Für den Talboden auf einer Seehöhe von ca. 450 m wurde eine Vorbelastung von 30 µg/m³ für den Jahresmittelwert und 150 µg/m³ für den maximalen Tagesmittelwert angenommen.

5.3 Emissionen

Zur besseren Übersicht werden in diesem Kapitel die Emissionen innerhalb des Berechnungsgebietes dargestellt. In Tabelle 7 sind die Emissionen der Punkt-, Linien- und Flächenemissionen aufgelistet. Die Anteile der unterschiedlichen Quellen an den Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet Salzachpongau werden in Abbildung 23 dargestellt.

Tabelle 7: NO_x-Emissionen im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2010

	Quellgruppe	Beschreibung	NO _x [t/a]
Punkte	10	Gewerbe & Industrie	24
	11	Heizwerke	26
Linien	1	PKW, AB	343
	2	LKW, AB	499
	3	PKW, IO+AO	233
	4	LKW, IO+AO	227
Flächen	5	Kleinverbraucher	80
	6	Traktoren	61
	7	Pistenwalzen	16
	8	Flächenverkehr	47
	9	Bahn	3

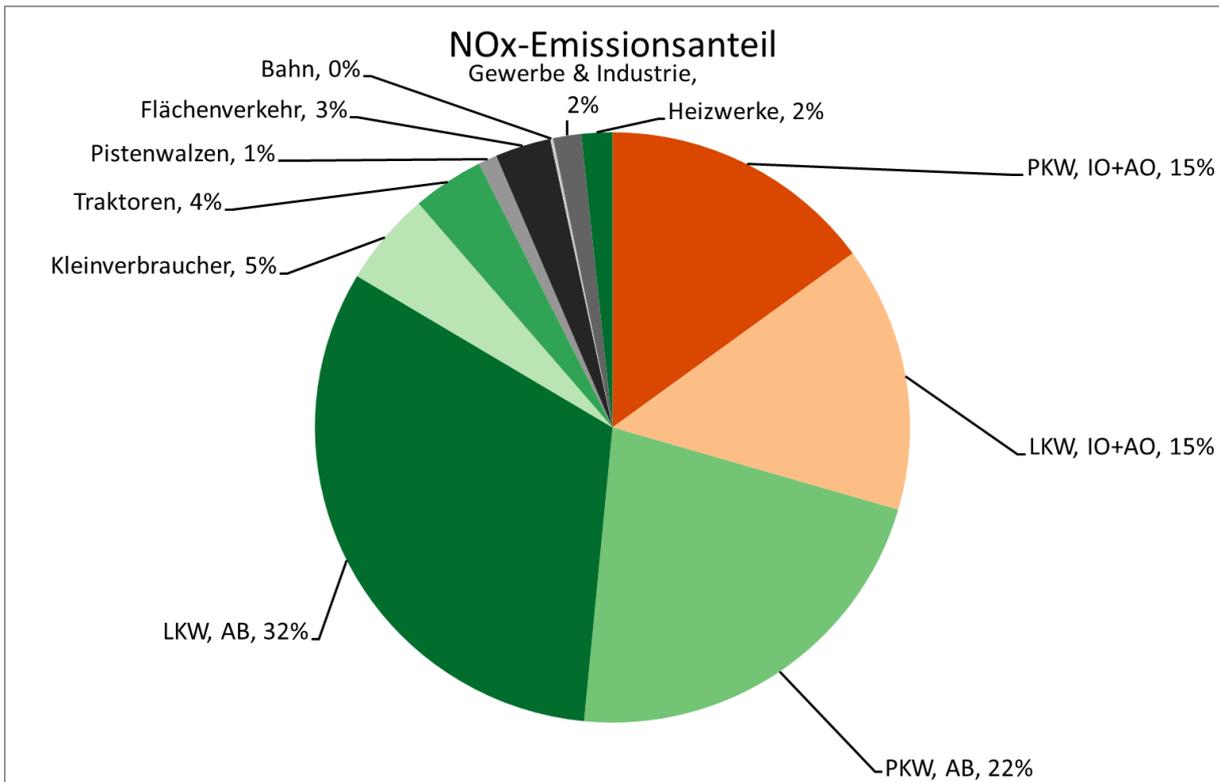


Abbildung 23: Anteil der Quellgruppen an den NO_x-Emissionen im Untersuchungsgebiet

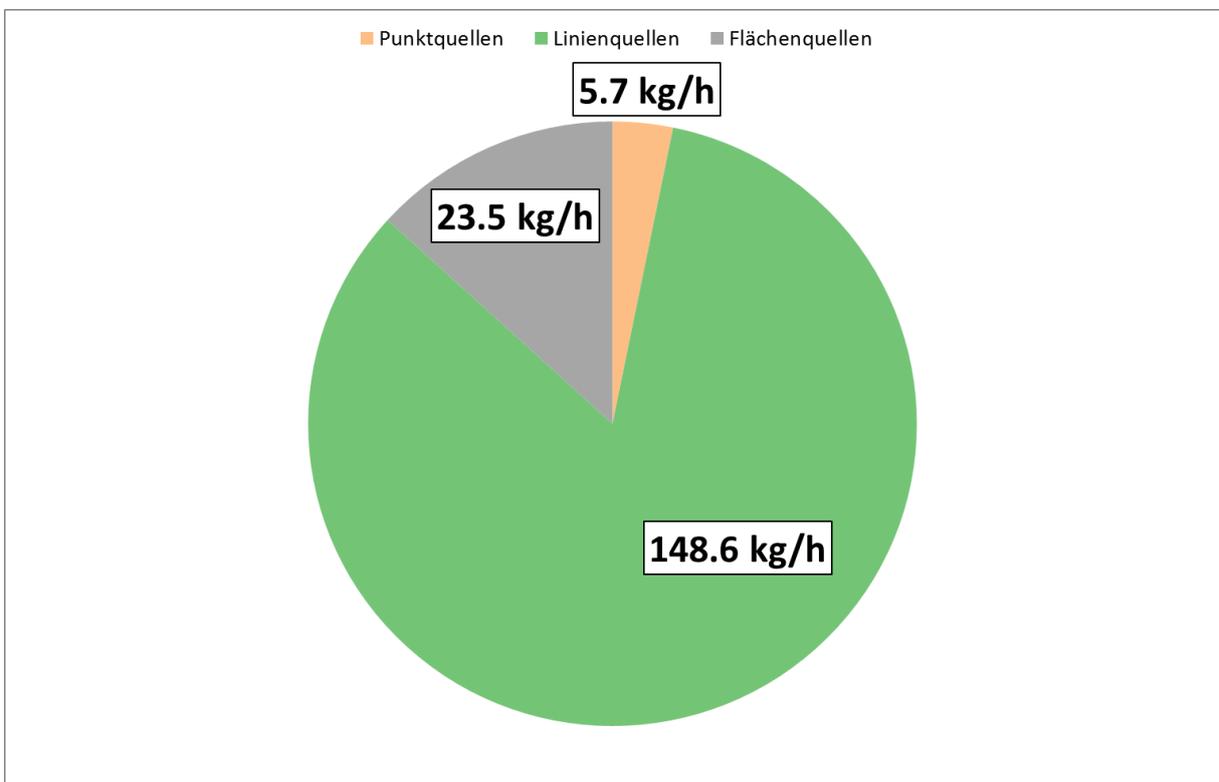


Abbildung 24: Anteil der Quellkategorien an den NO_x-Emissionen im Untersuchungsgebiet

Der größte Emittent im Gebiet Salzachpongau ist der Verkehr. Rund 84 % der gesamten NO_x-Emissionen werden ihm zugeschrieben. Die übrigen Emissionen stammen zu 3 % von Gewerbe- und Industrieanlagen und Heizwerken. Die restlichen 13 % entfallen auf Kleinverbraucher, Traktoren, Pistenwalzen und Flächenverkehr.

Die Linienquellen haben aufgrund der geringen Quellhöhe den höchsten Einfluss auf die bodennahen Immissionsbelastungen.

In den folgenden Abbildungen wird die räumliche Verteilung der Punkt-, Linien-, und Flächenquellen innerhalb des Untersuchungsgebietes dargestellt. Insgesamt gibt es im Untersuchungsgebiet 13 Punktquellen die in zwei Quellgruppen aufgeteilt worden sind. Bei den Industriequellen liegt die maximale Quellhöhe bei 46 m (Aluminiumwerk Lend), bei den Heizwerken bei 14 m. Bis auf eine Punktquelle emittieren alle Quellen weniger als 1 kg/h. Die höchste Punktemission beträgt 1.2 kg/h.

Bei den Linienquellen weisen die Autobahnen (A10) aufgrund der großen Verkehrsbelastung die größten Quellstärken auf.

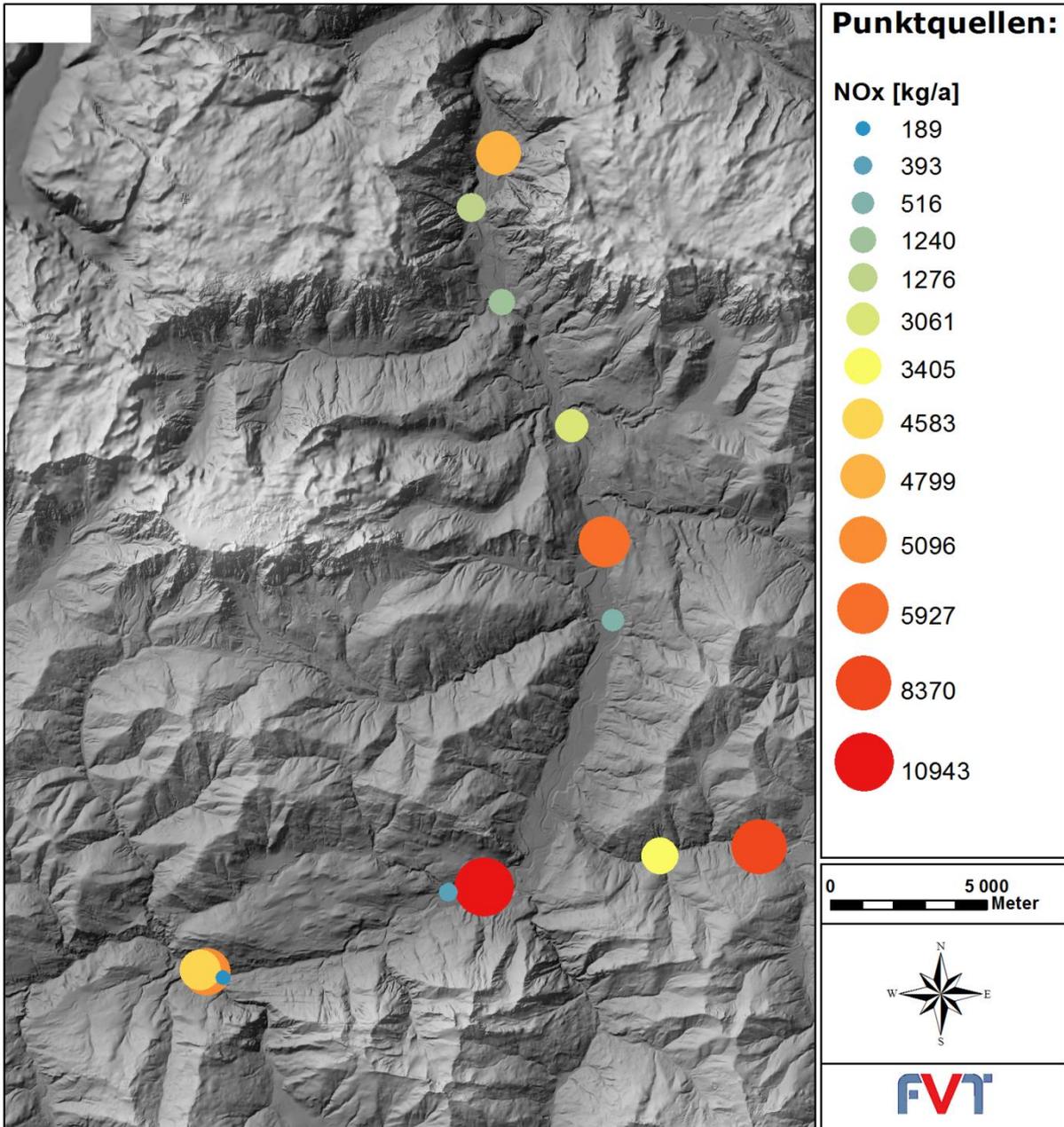


Abbildung 25: NO_x-Punktquellen im Untersuchungsgebiet

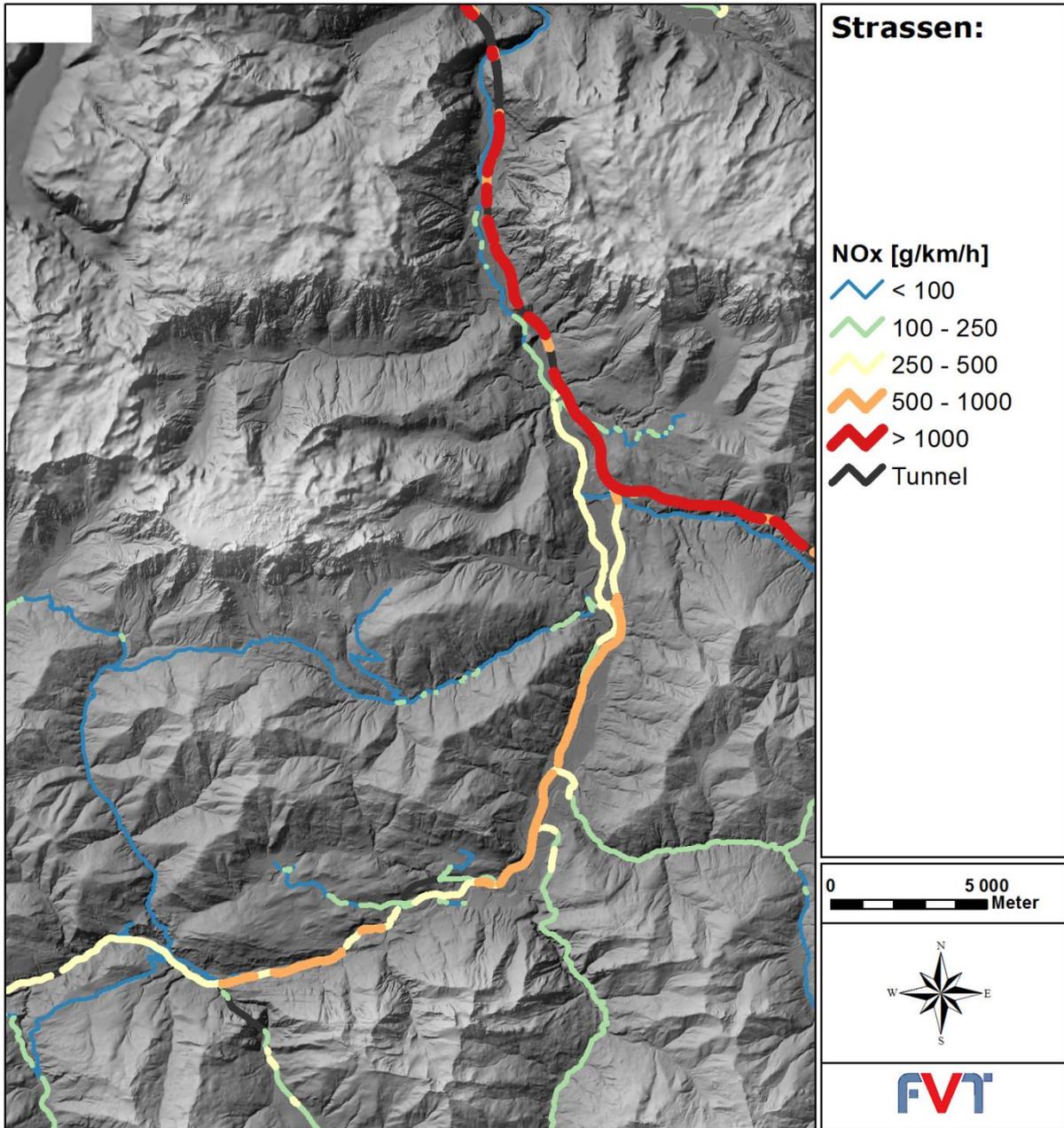


Abbildung 26: NO_x-Linienquellen Im Untersuchungsgebiet

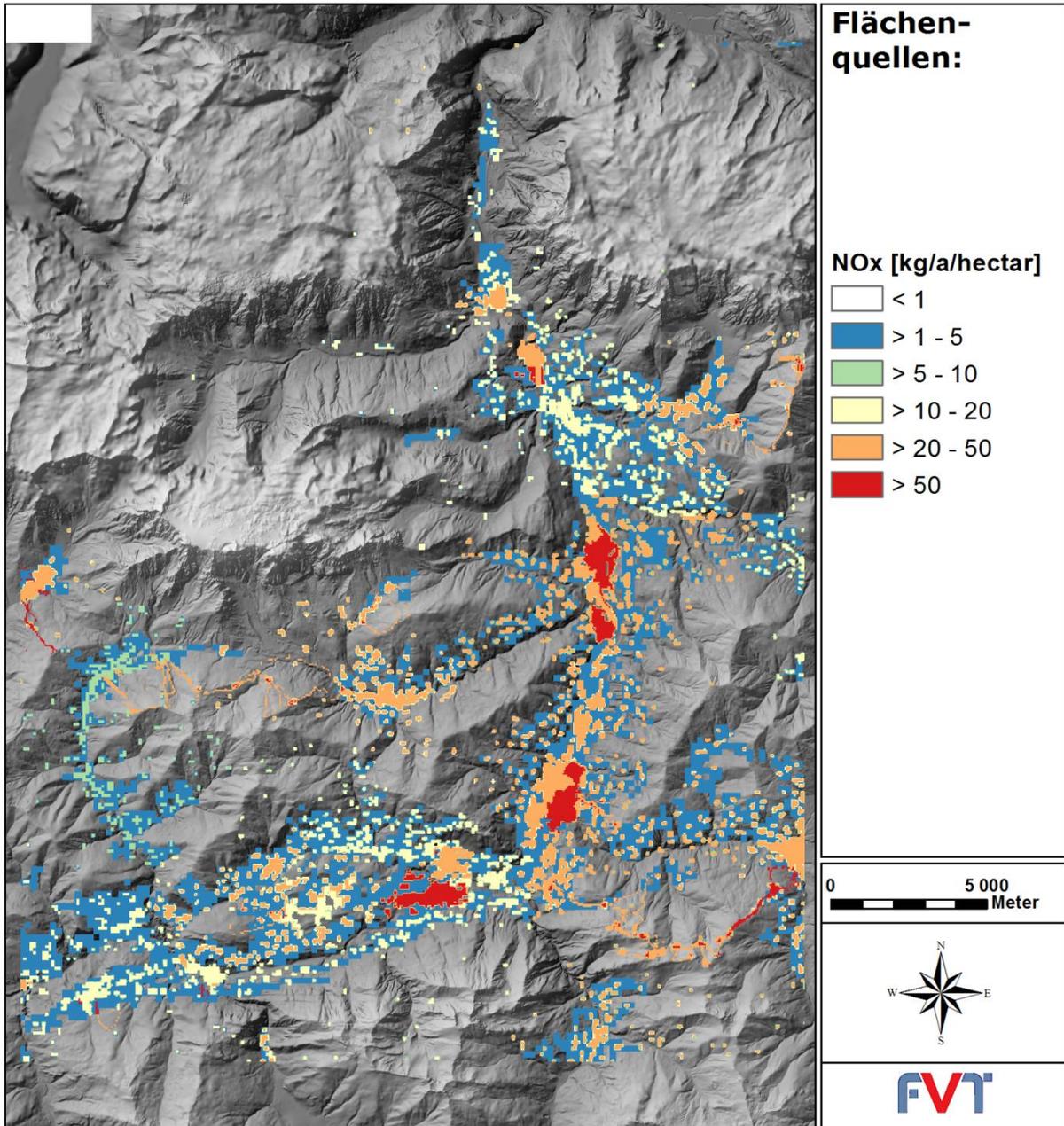


Abbildung 27: NO_x-Flächenquellen im Untersuchungsgebiet

6 Simulationen

6.1 Strömungsmodellierung

Die Modellierung der Strömungsfelder wurde mit dem Modell GRAMM (Version gramm220615_Inx) mit einer horizontalen Auflösung von 250 m x 250 m durchgeführt. Für die Validierung der Strömungsfelder werden die Modellergebnisse mit den Messdaten der Stationen St. Johann im Pongau, Bischofshofen und St. Veit verglichen.

Die Hauptwindrichtungen stimmen bei der Station St. Johann im Pongau auf dem Niveau 18 m gut überein (Abbildung 28). Bei den nördlichen Winden wird die Strömung in der Simulation zu stark auf NNO kanalisiert, bei den südlichen Winden ist eine Tendenz zur Drehung um einen Sektor im Uhrzeigersinn feststellbar. Die Windgeschwindigkeitsklassen stimmen sehr gut am Standort St. Johann im Pongau überein (Abbildung 29).

Die Hauptwindrichtungen stimmen bei der Station Bischofshofen recht gut überein. Allerdings werden nördliche Winde zu stark als Nordwinde (kanalisiert) wiedergegeben (Abbildung 30). Bei den Windgeschwindigkeitsklassen werden Kalmen deutlich überschätzt, Windgeschwindigkeiten im Bereich 0.5 m/s bis 1 m/s werden hingegen (nahezu kompensierend) unterschätzt (Abbildung 31). Insgesamt ergibt sich für Bischofshofen eine noch gute Repräsentation der simulierten Windgeschwindigkeiten.

Die simulierten Windrichtungen für St. Veit können die Variabilität der Messung nur ausreichend wiedergeben. Vor allem NO und ONO Winde werden bei der Simulation unterschätzt, dafür Ostwinde überrepräsentiert (Abbildung 32). Kalmen werden deutlich überschätzt, Windgeschwindigkeiten im Bereich 0.5 m/s bis 1 m/s werden etwas unterschätzt (Abbildung 33). Die weiteren Klassen sind gut wiedergegeben.

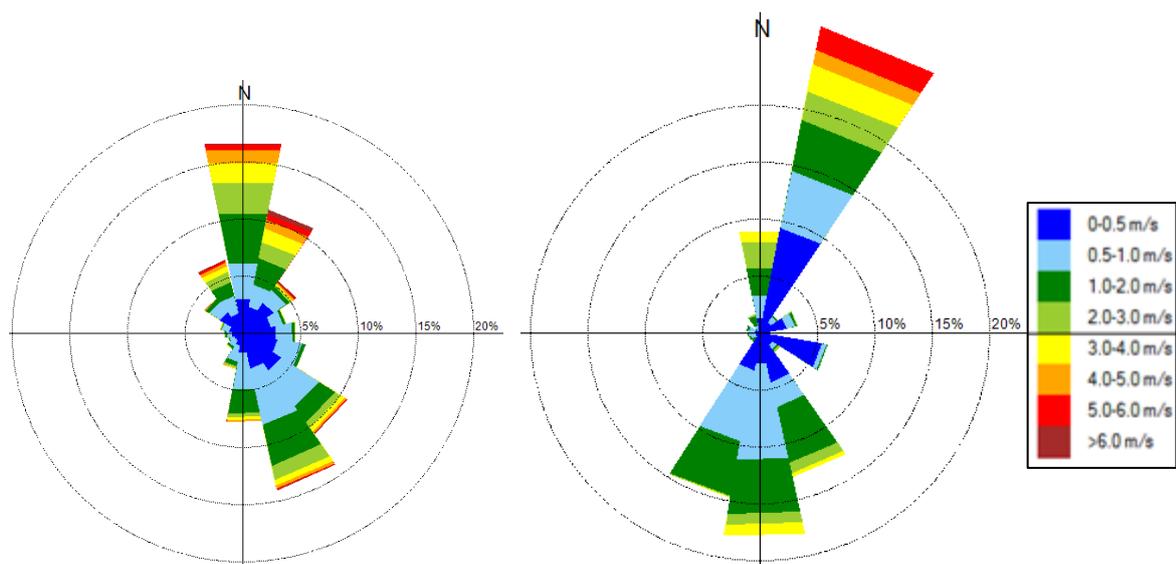


Abbildung 28: Vergleich der Windrosen für St. Johann im Pongau, Messung (18 m) rechts.

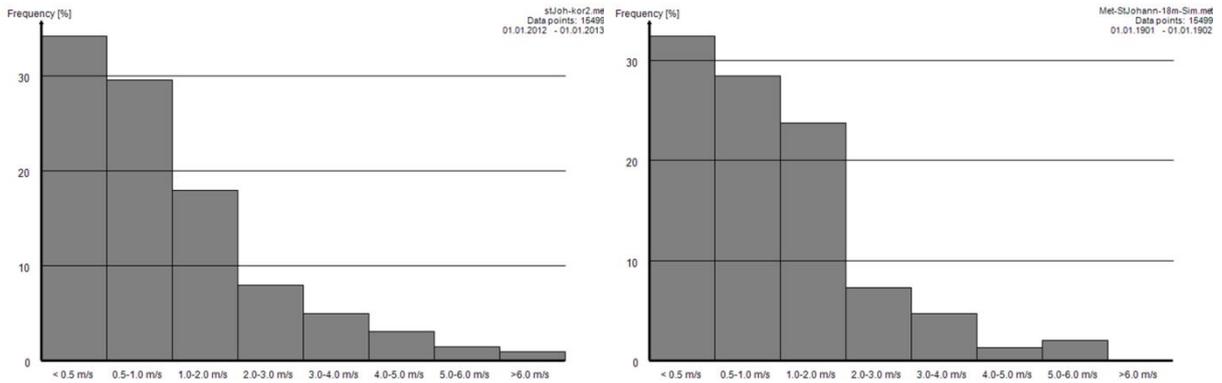


Abbildung 29: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen an der Station St. Johann im Pongau Messung (links) gegen Simulation (rechts).

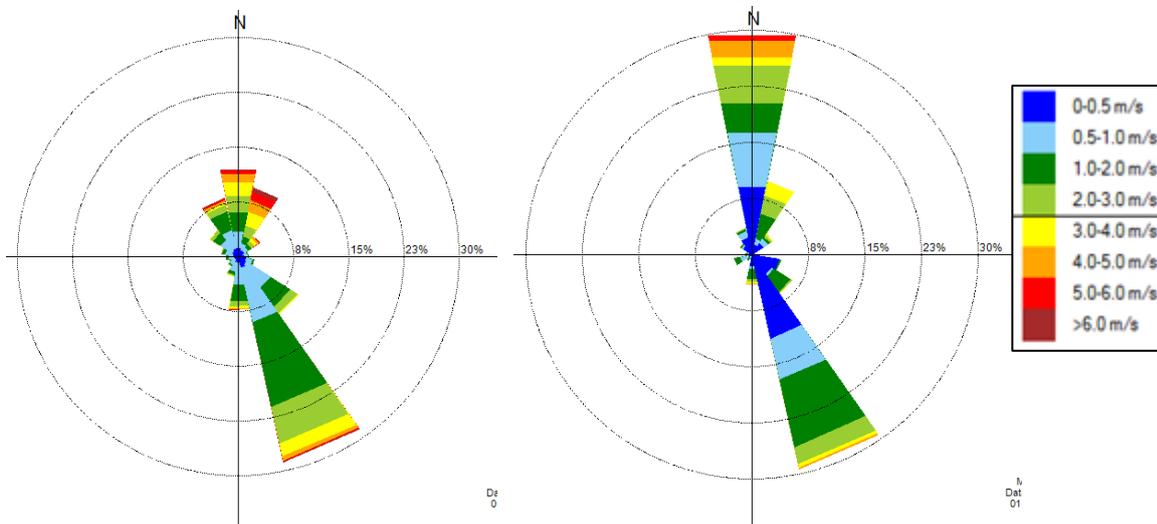


Abbildung 30: Vergleich der Windrosen für Bischofshofen, Messung links, Simulation rechts.

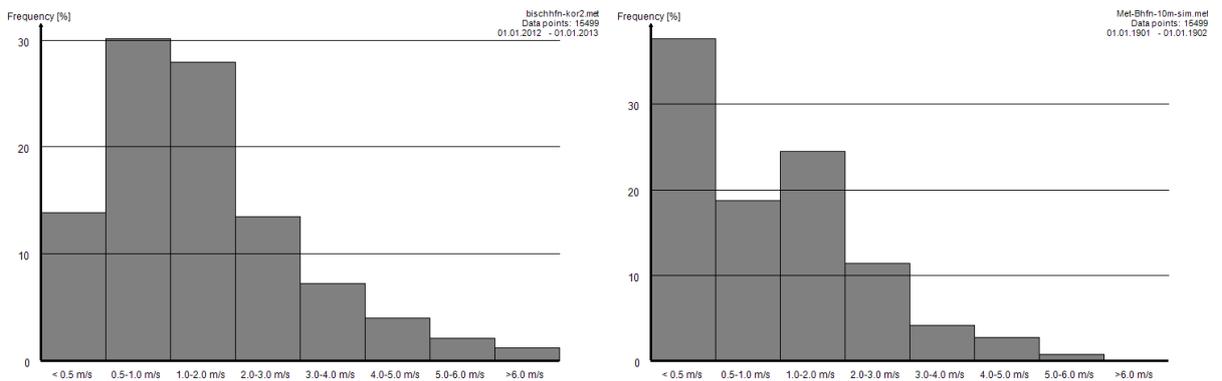


Abbildung 31: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen an der Station Bischofshofen im Pongau Messung (links) gegen Simulation (rechts).

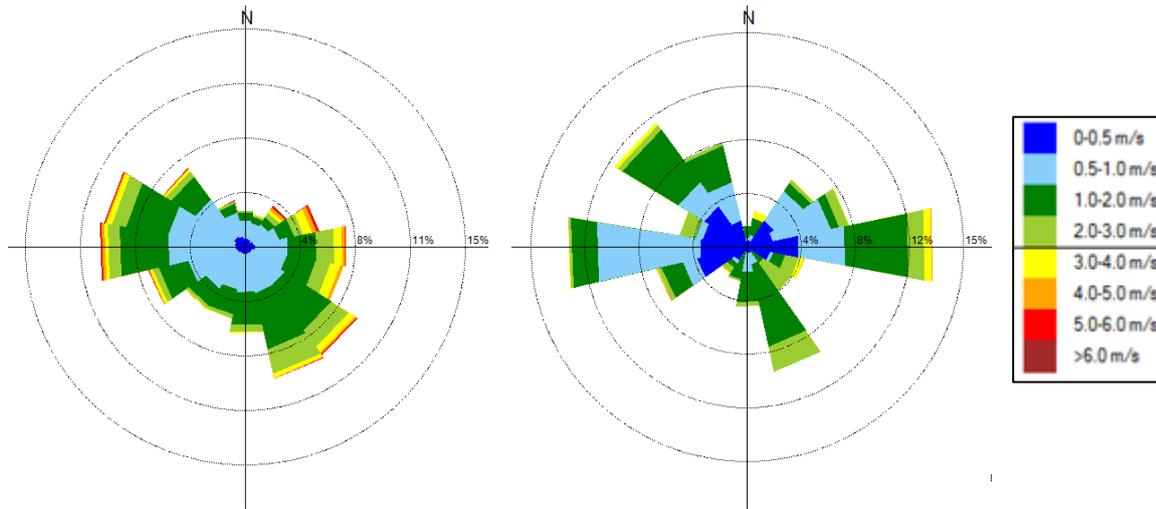


Abbildung 32: Vergleich der Windrosen für St. Veit, Messung links, Simulation rechts.

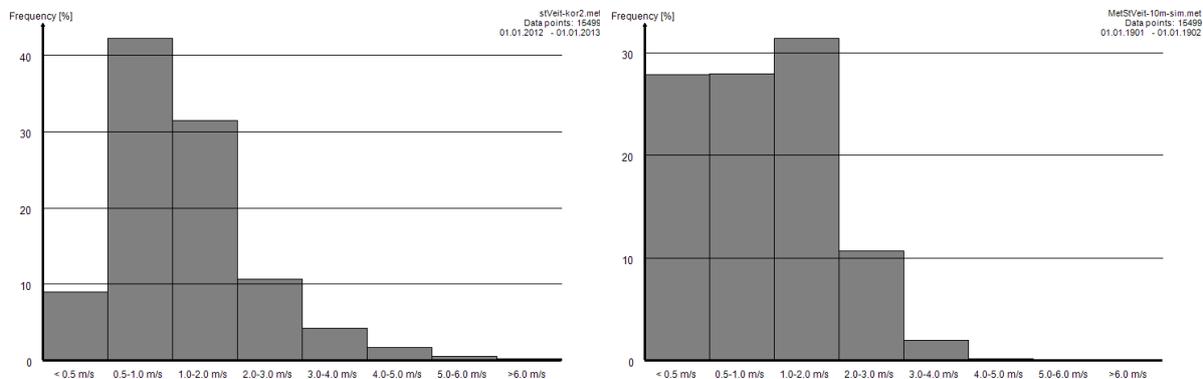


Abbildung 33: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen an der Station St. Veit Messung (links) gegen Simulation (rechts).

Insgesamt gesehen ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Simulationen gegenüber den Messungen. Die im Vergleich zu St. Johann und Bischofshofen schlechteren Simulationsergebnisse sind auch auf den angewandten niedrigeren Wichtungsfaktor für St. Veit (0.7) im Vergleich zu St. Johann (1.0) und Bischofshofen (0.9) beim Match-to-Observation Algorithmus zurückzuführen.

Probleme bei den Windfeld Berechnungen im Zusammenhang mit den vorgegebenen Schichtungen und dem Match-to-Observation Algorithmus konnten beseitigt werden. Nachfolgend sollen noch Beispiele für Windfelder bei stabilen, neutralen und labilen Verhältnissen gezeigt werden.

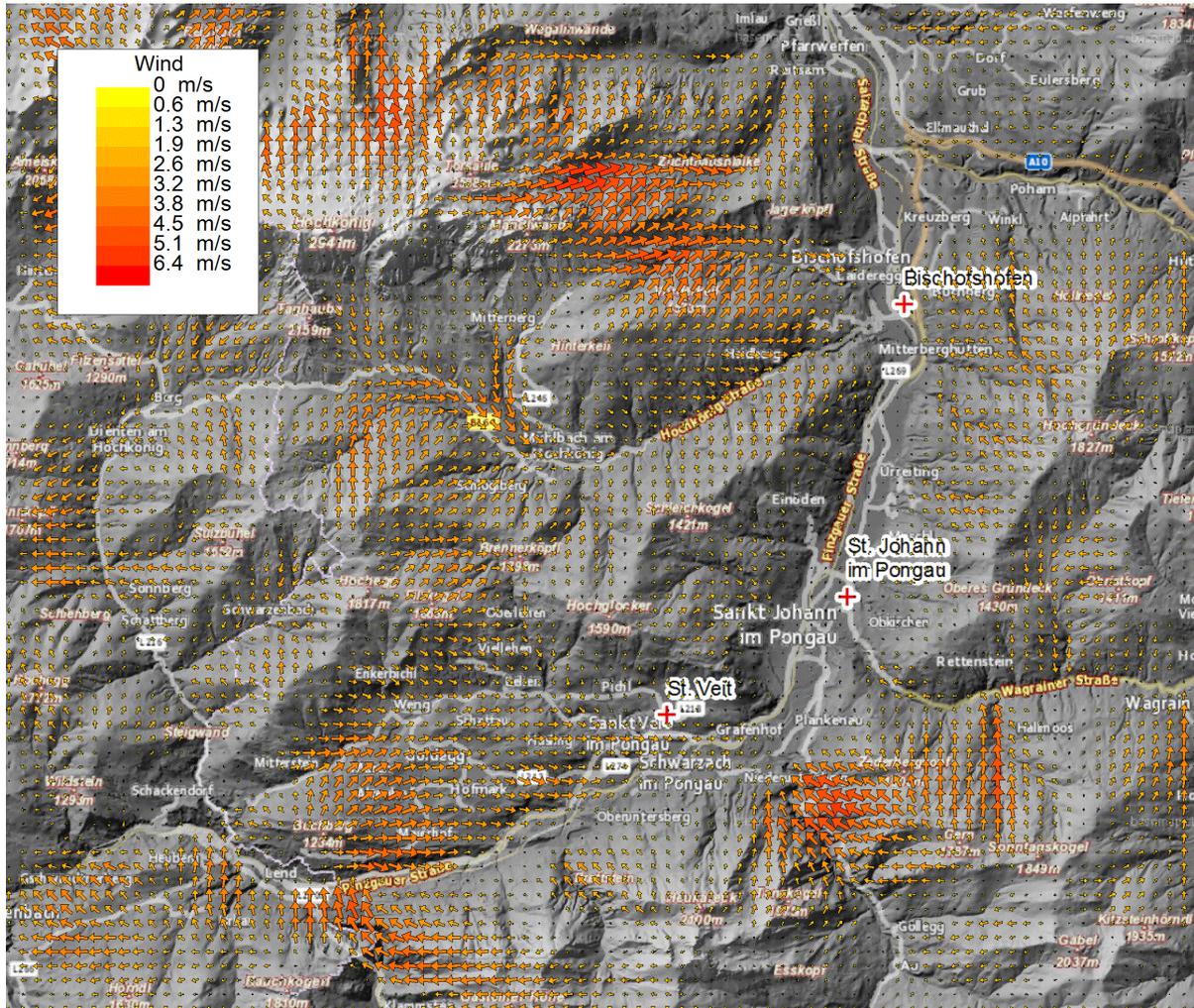


Abbildung 34: Exemplarisches Strömungsfeld für stabile Schichtungsverhältnisse (AKLA 7), initialisiert mit Wind aus 185° und 0.75 m/s.

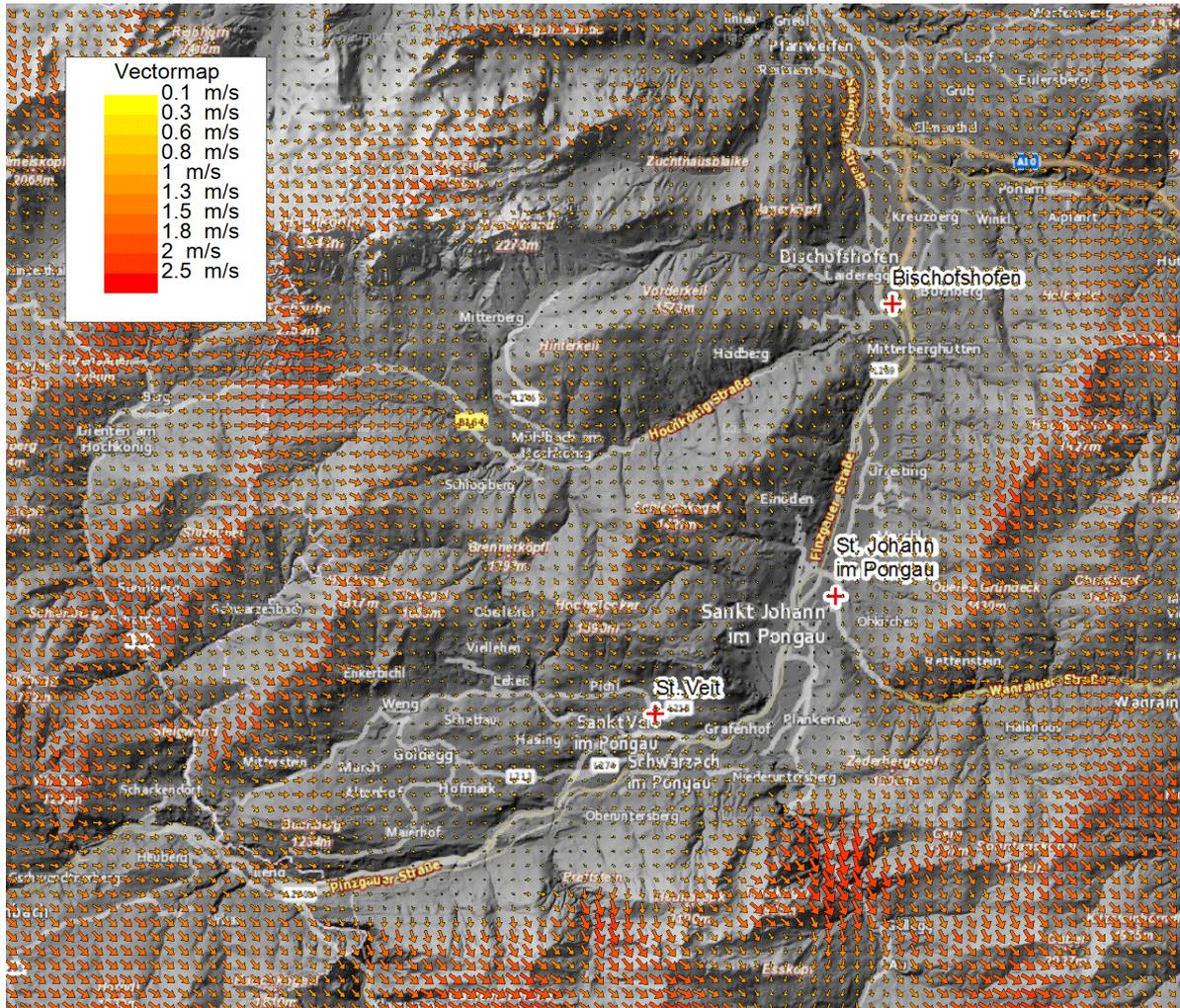


Abbildung 35: Exemplarisches Strömungsfeld für neutrale Schichtungsverhältnisse (AKLA 4), initialisiert mit Wind aus 315° und 1.5 m/s.

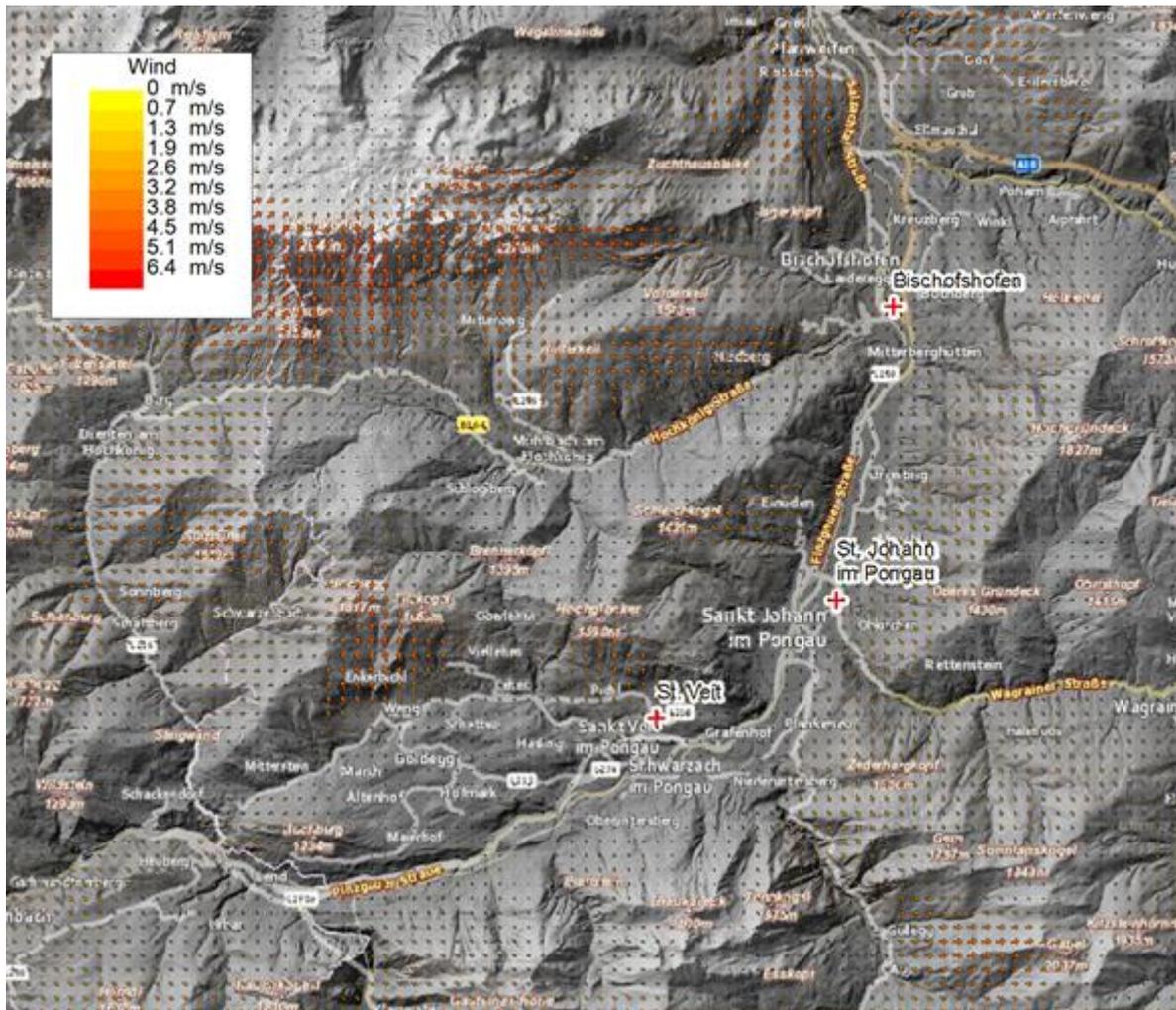


Abbildung 36: Exemplarisches Strömungsfeld für instabile Schichtungsverhältnisse (AKLA 2), initialisiert mit Wind aus 345° und 2.5 m/s.

6.2 Jahresmittelwert Stickstoffoxide (NO_x)

6.2.1 Simulationsergebnisse

In den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Modellierung der bodennahen jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentrationen für die verschiedenen Quellgruppen dargestellt.

Die Kaminemissionen der Punktquellen verursachen in begrenzten Gebieten maximale Immissionsbelastungen von rund 4 µg/m³. Der Einfluss auf das restliche Untersuchungsgebiet ist mit weniger 1 µg/m³ jedoch gering.

Die berechneten Immissionsbelastungen durch den Flächenverkehr erreichen im Gebiet von Schwarzach im Pongau maximal 4 µg/m³. Im Bereich anderer Ortschaften werden Werte bis zu 2 µg/m³ erreicht. Im restlichen Gebiet trägt diese Quellgruppe praktisch nichts zur Gesamtbelastung bei.

Bei der Quellgruppe Kleinverbraucher und Haushalte treten die höchsten Konzentrationen im Ortsgebiet von St. Johann sowie im Ortsgebiet von Bischofshofen auf und betragen maximal $4\text{--}6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Bei der Quellgruppe Traktoren liegen die Konzentrationen im Raum St. Veit und Bischofshofen vereinzelt zwischen 2 und $4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im übrigen Gebiet liegen die Konzentrationen darunter.

Der Beitrag der Quellgruppe Pistenwalzen kann lokal bis zu $6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreichen. Im restlichen Untersuchungsgebiet ist der Beitrag jedoch kleiner als $1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Quellgruppe Bahn erreicht im Bereich des Bahnhofsgeländes in Bischofshofen bis zu $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im restlichen Untersuchungsgebiet trägt diese Quellgruppe praktisch nichts zur Gesamtbelastung bei.

Die Immissionsbeiträge durch den PKW-Verkehr zeigen typischerweise einen starken Konzentrationsgradienten in Abhängigkeit von der Entfernung zu verkehrsbelasteten Straßen. Entlang der Autobahn erreichen die Belastungen über $30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, entlang von Hauptverkehrsstraßen über $20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Immissionsbelastungen durch den LKW Verkehr zeigen ein ähnliches Bild. Sehr hohe Belastungen treten wieder entlang der Autobahn und von Hauptverkehrsstraßen auf.

Die gesamte modellierte jahresdurchschnittliche Belastung wird in Abbildung 47 dargestellt.

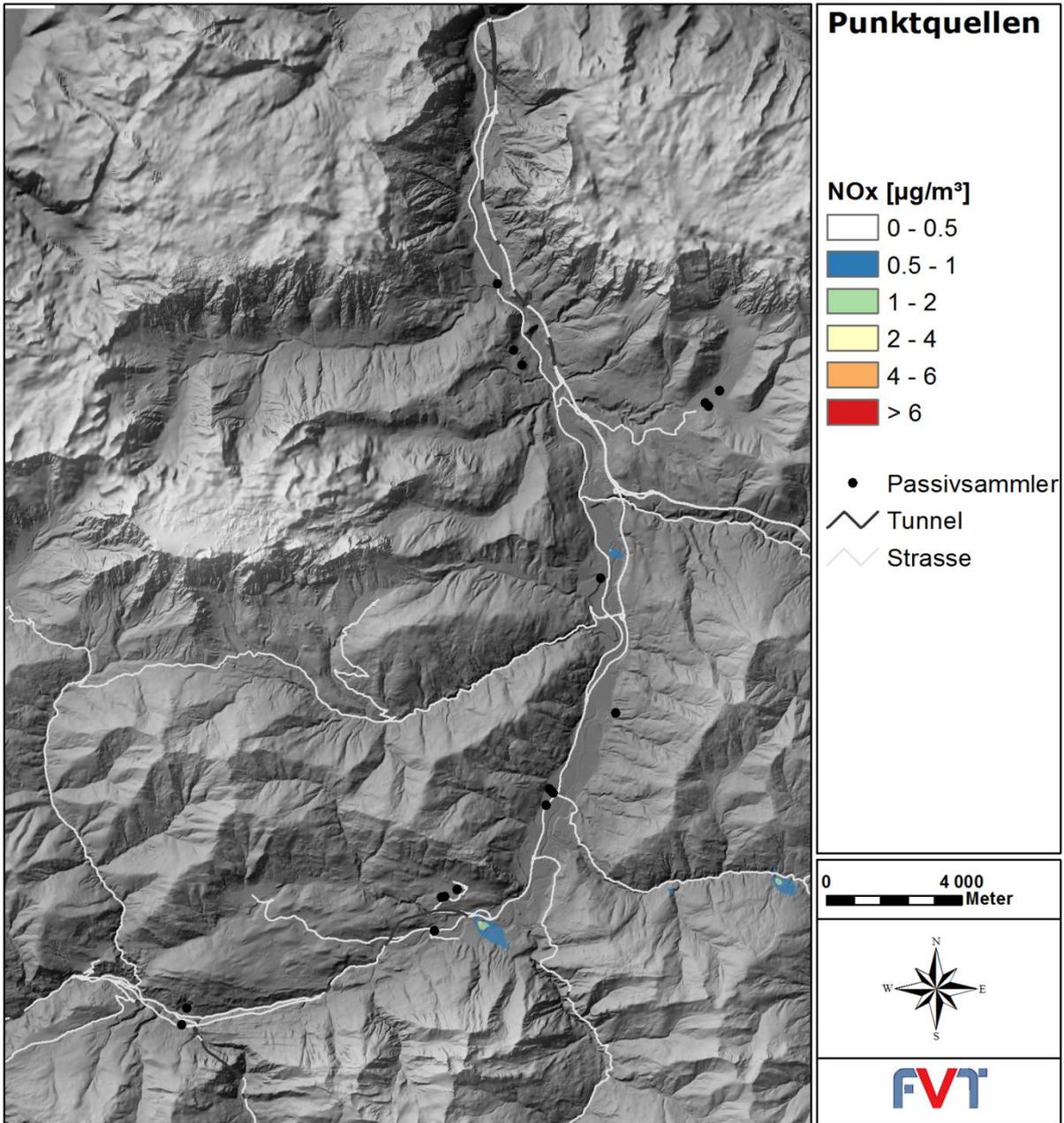


Abbildung 37: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Punktquellen.

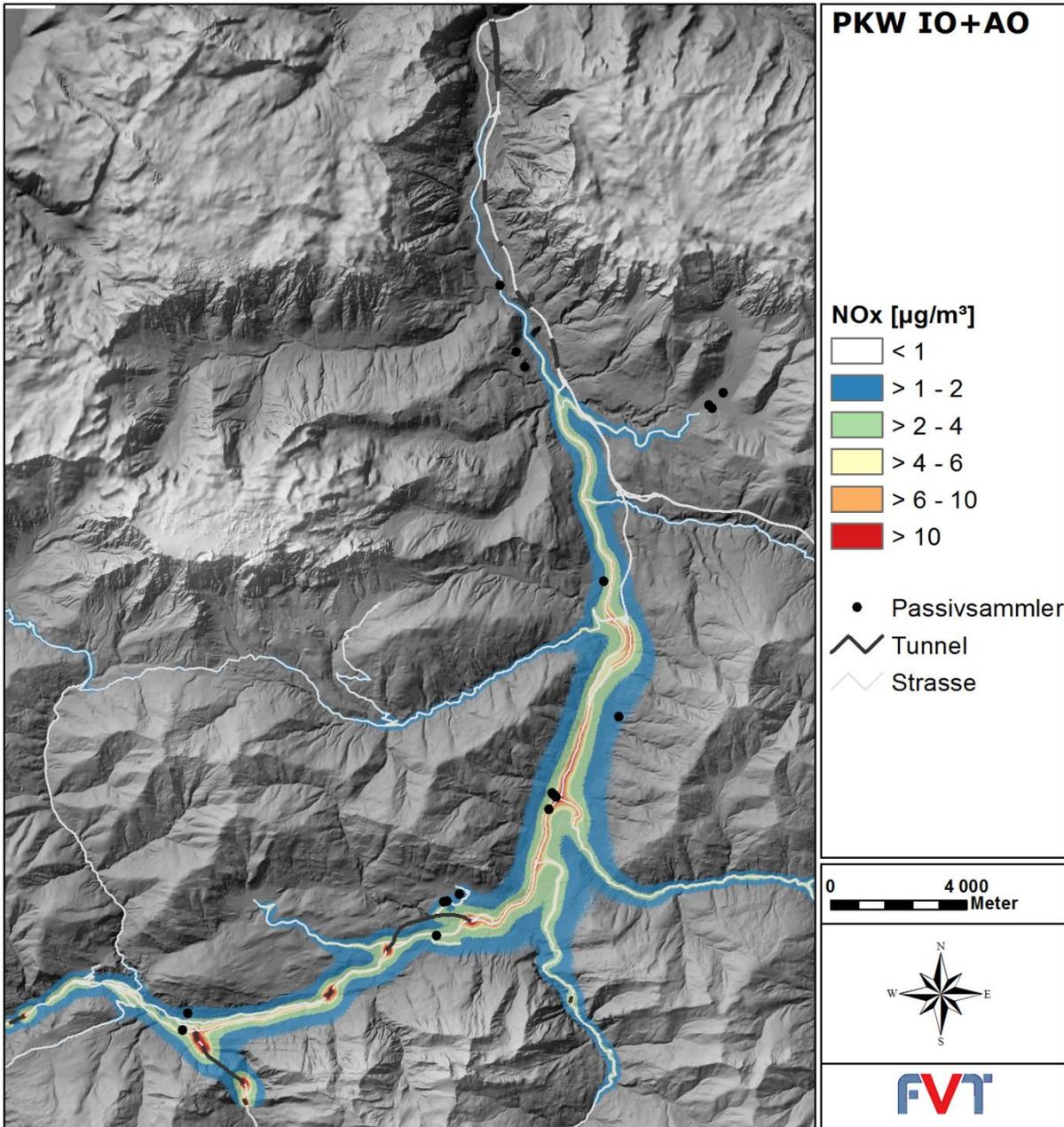


Abbildung 38: Modellierete NO_x-Konzentration im Jahresmittel – PKW, Innerorts und Außerorts.

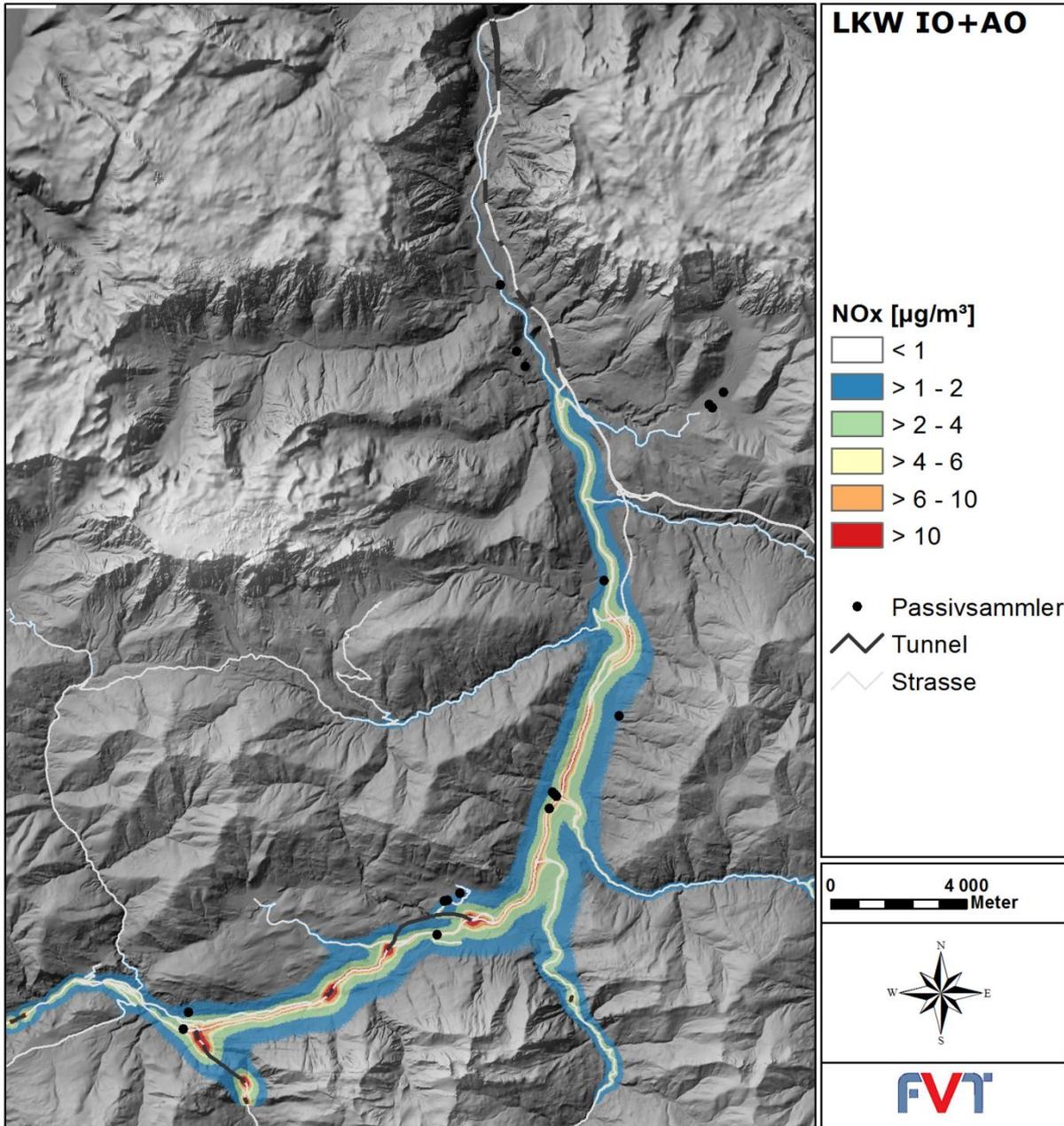


Abbildung 39: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - LKW, Innerorts und Außerorts.

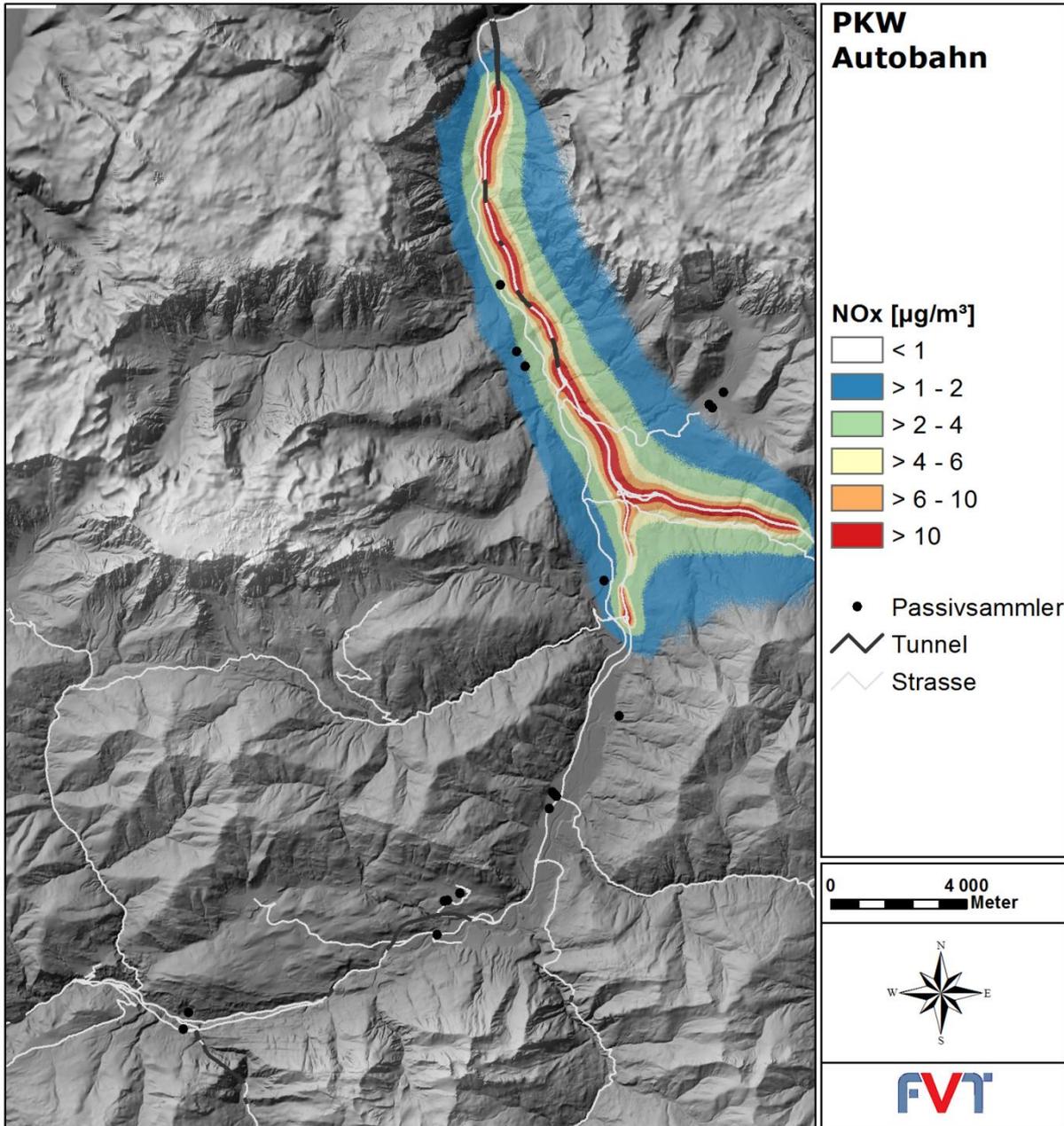


Abbildung 40: Modellierete NO_x-Konzentration im Jahresmittel - PKW, Autobahn.

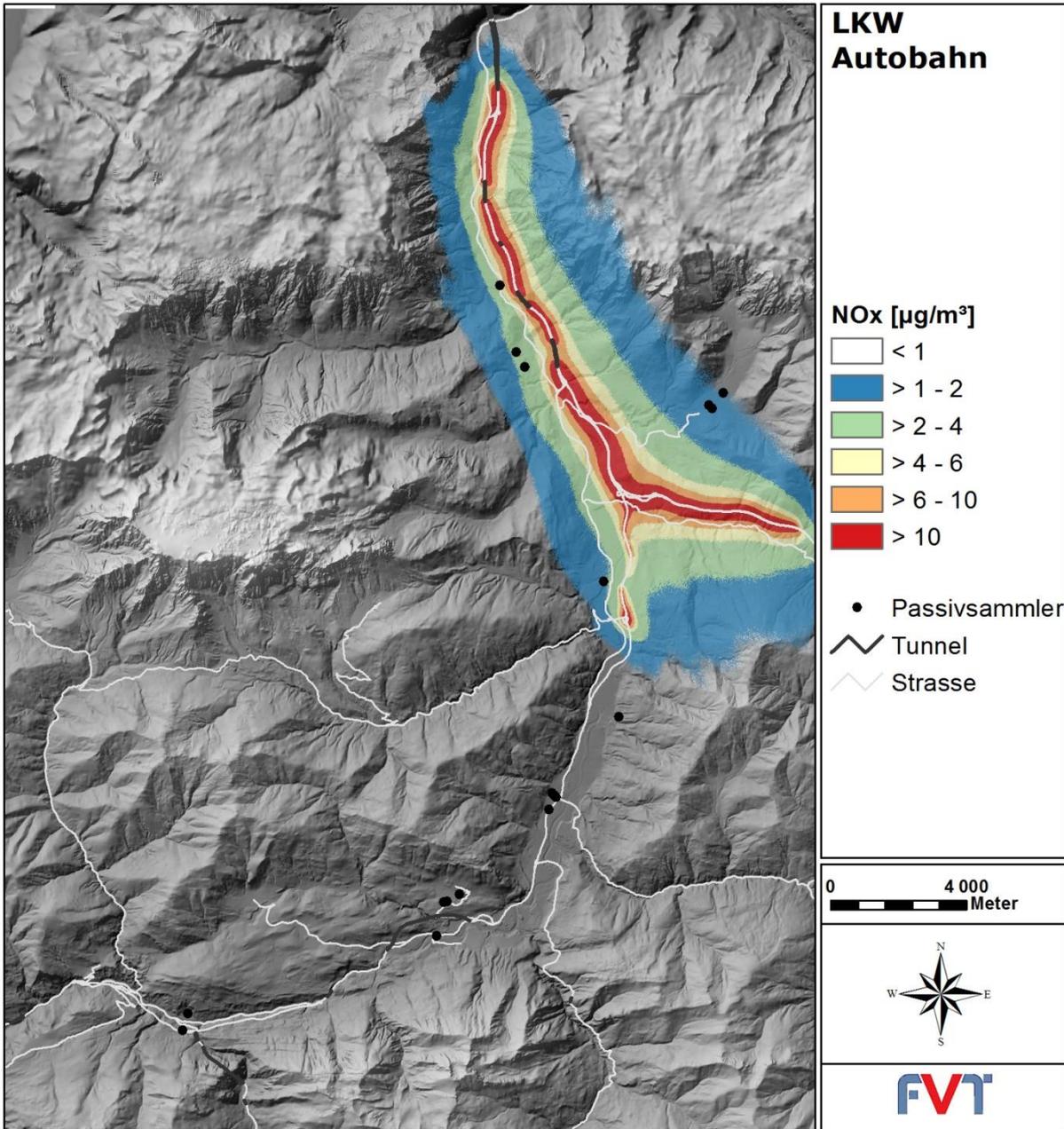


Abbildung 41: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - LKW, Autobahn.

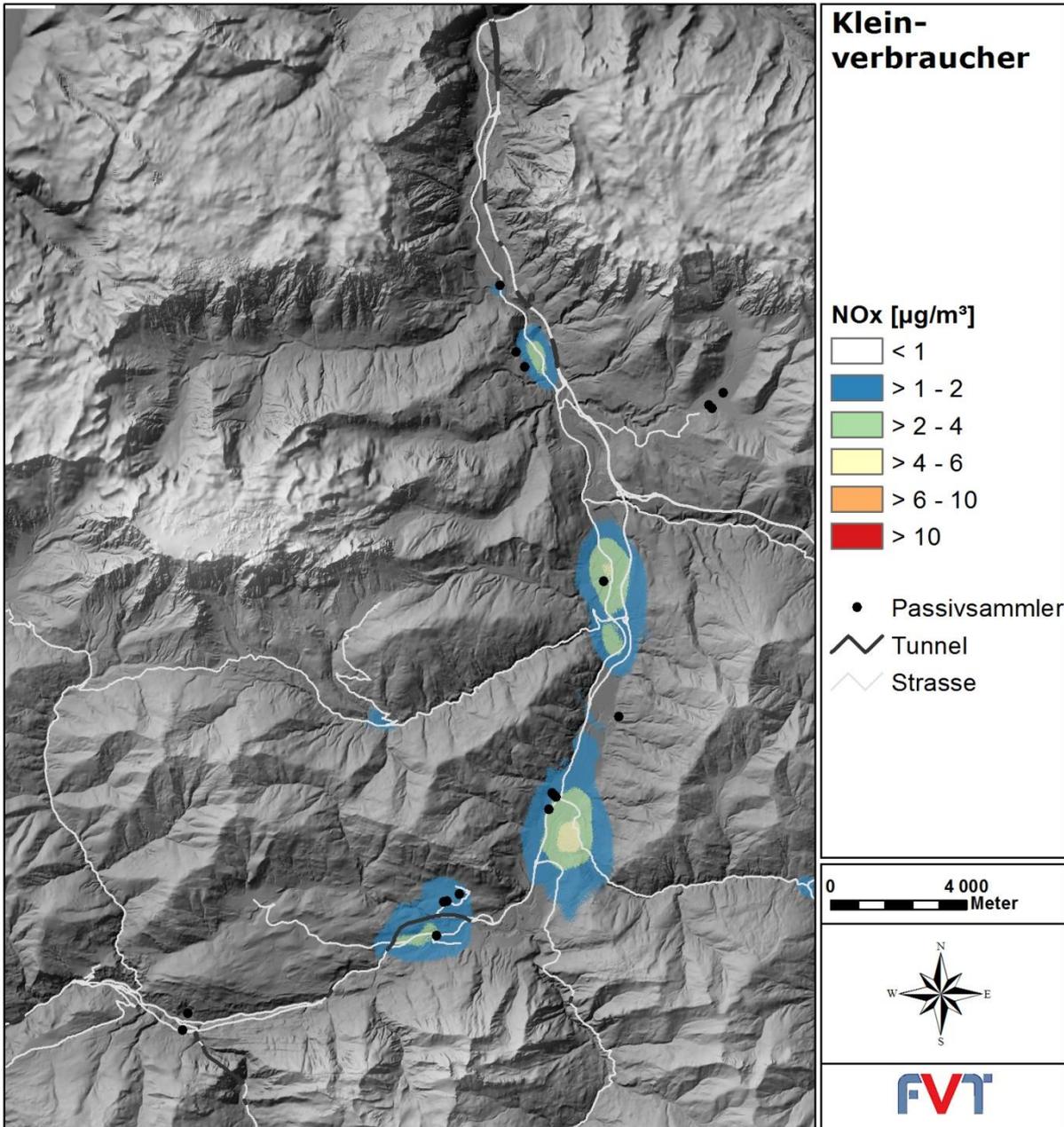


Abbildung 42: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Kleinverbraucher & Haushalte.

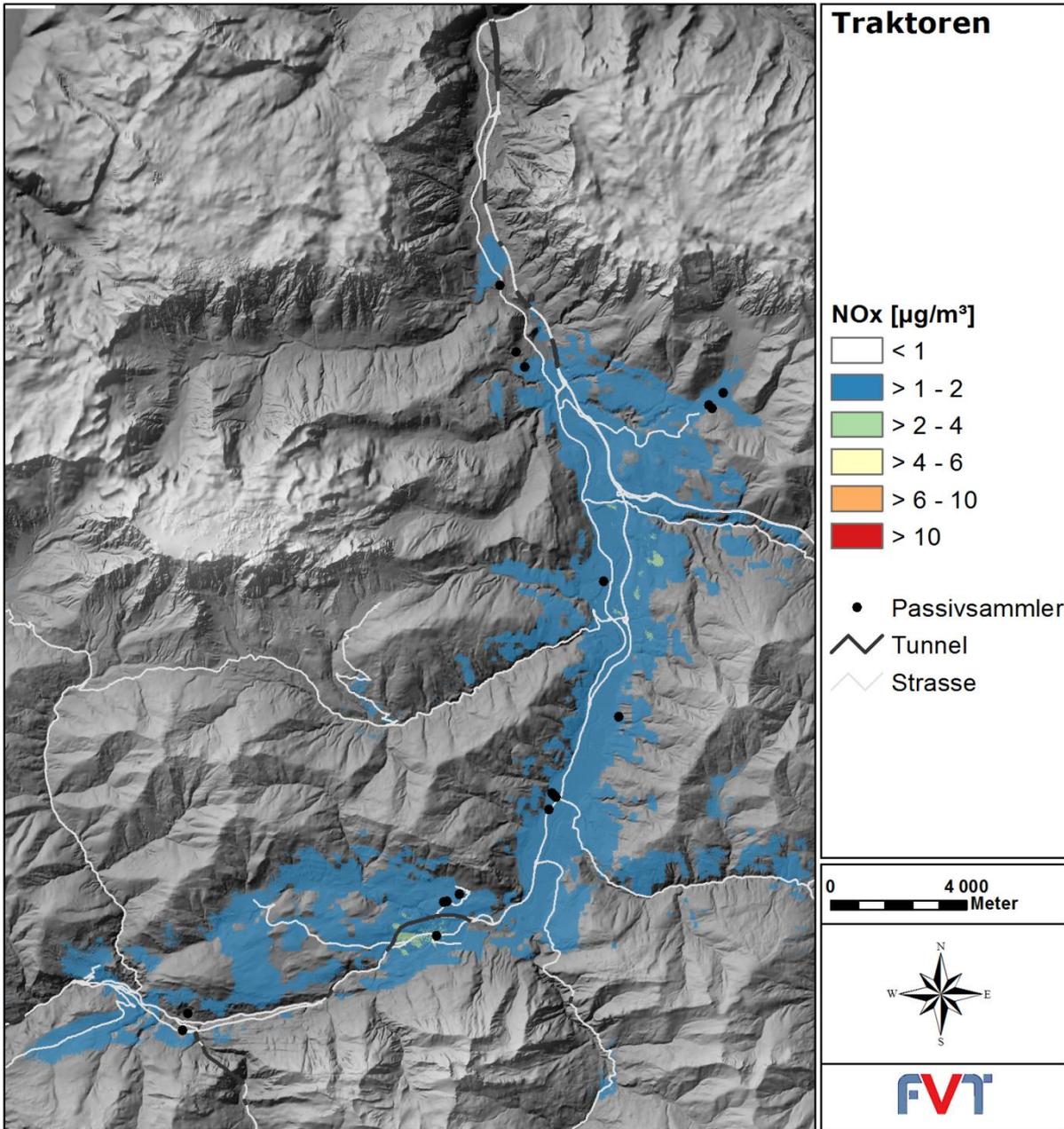


Abbildung 43: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Traktoren.

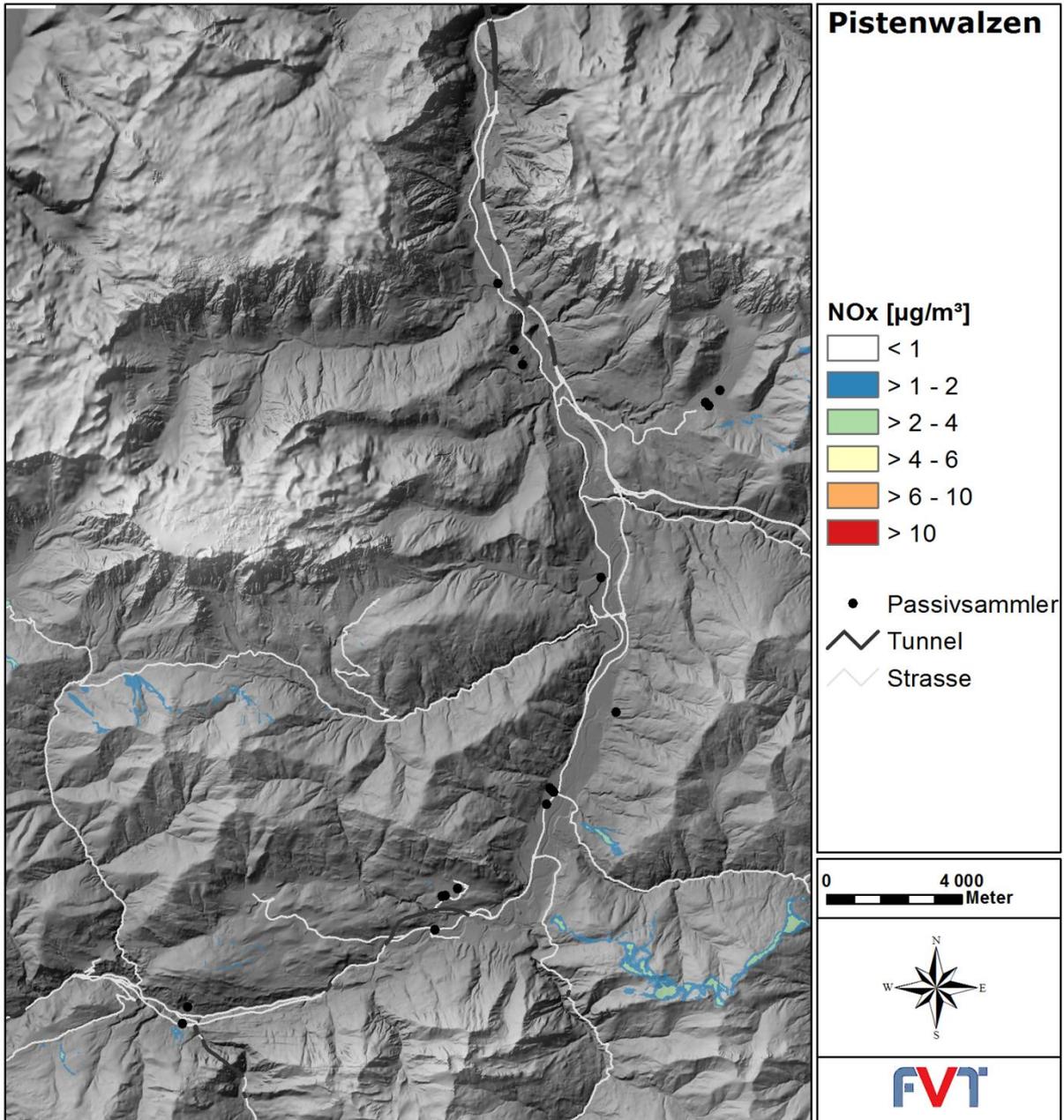


Abbildung 44: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Pistenwalzen.

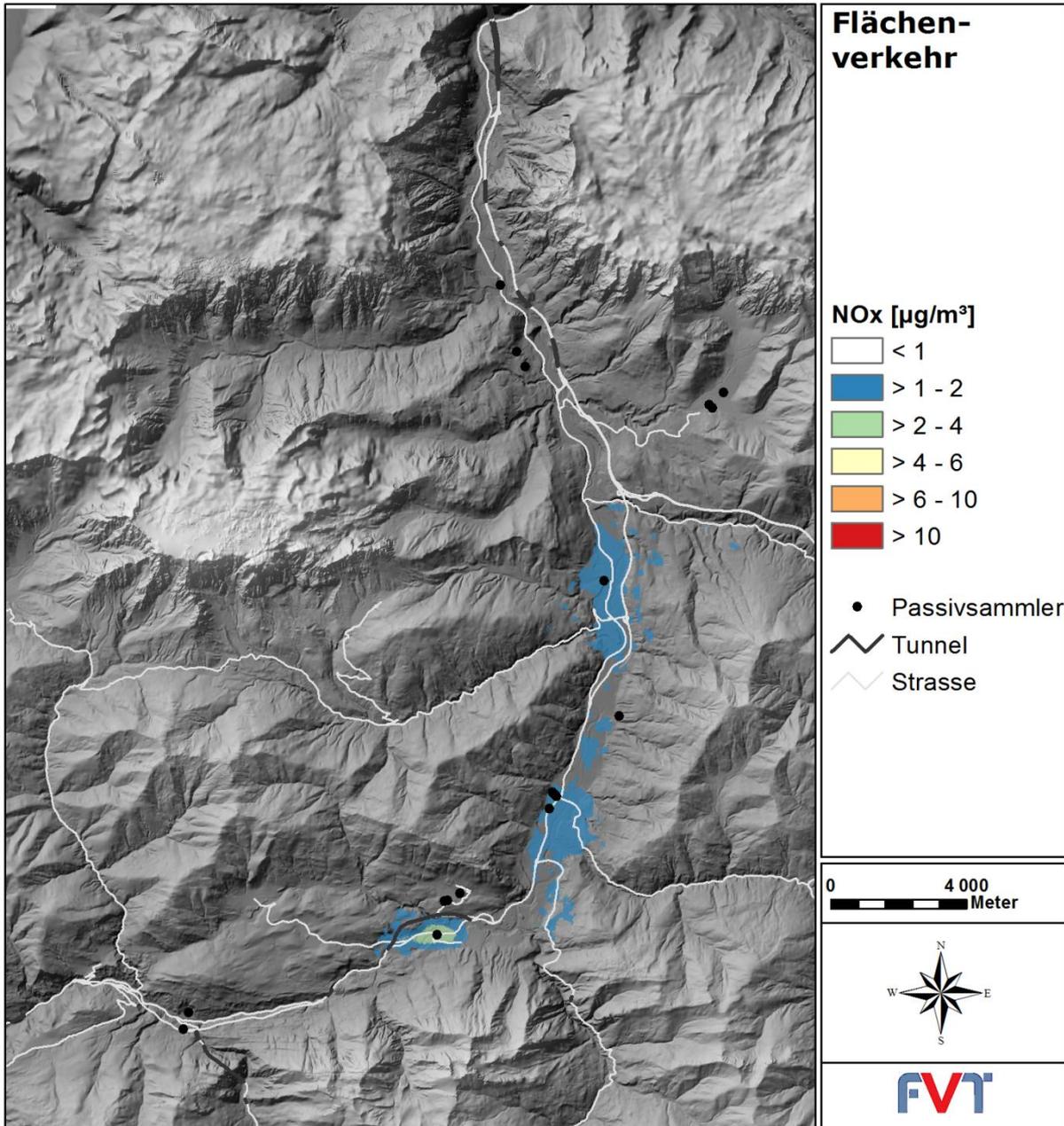


Abbildung 45: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Flächenverkehr.

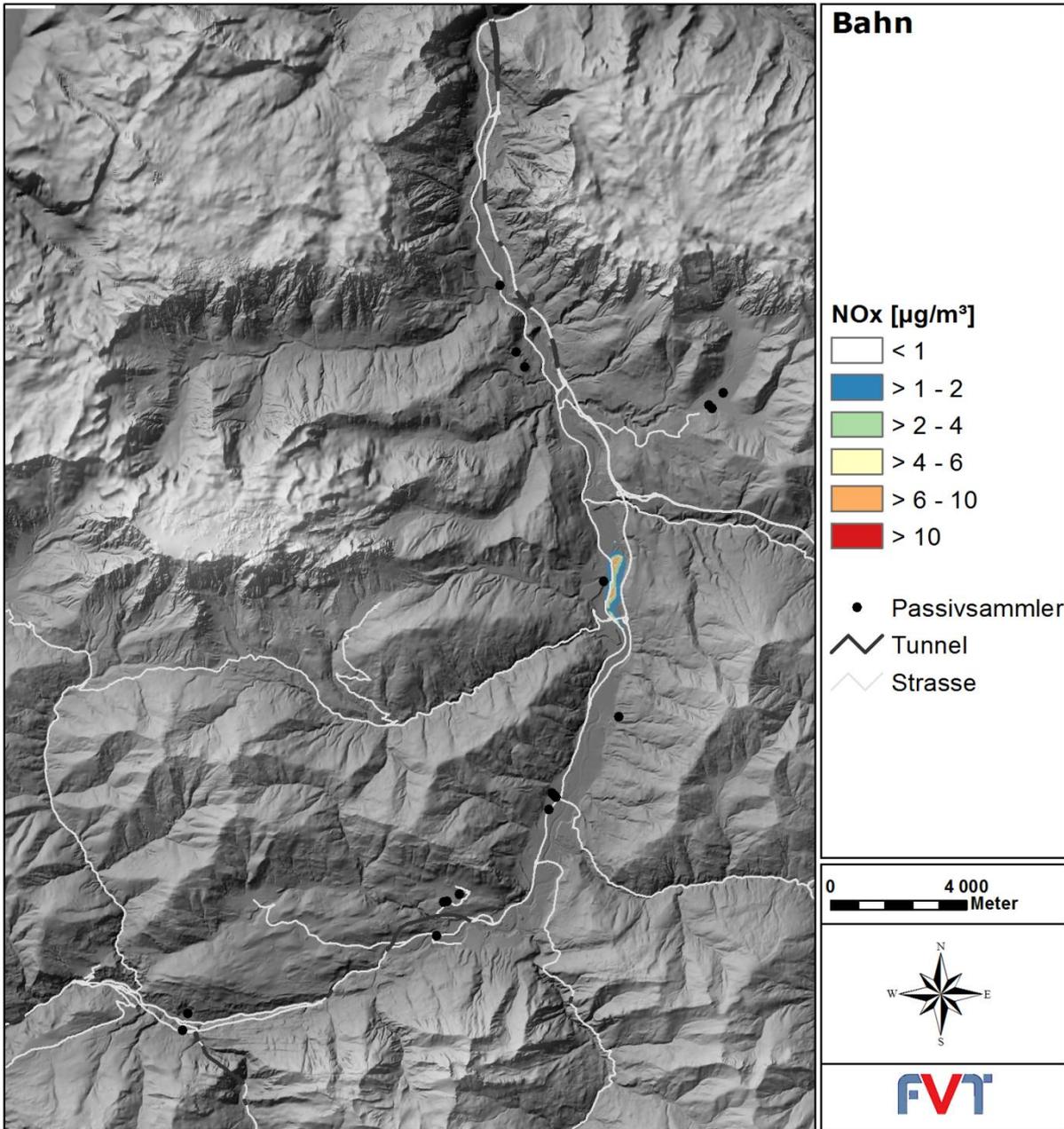


Abbildung 46: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Bahn.

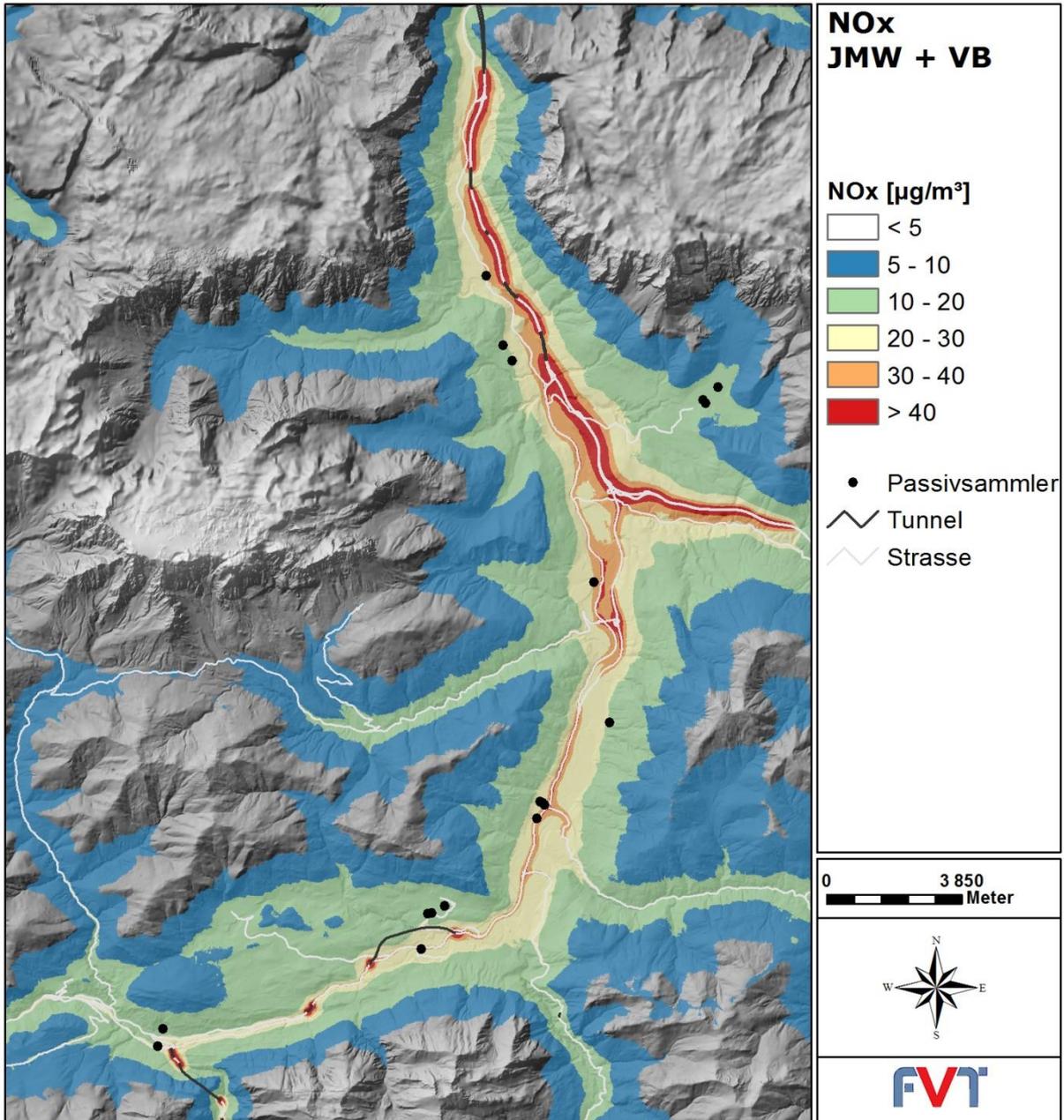


Abbildung 47: Modellierete NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung.

6.2.2 Quellgruppenanteile

Die modellierten Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen für den Jahresmittelwert an NO_x sind in Abbildung 48 dargestellt. Bei den meisten Stationen ist der Verkehr die dominierende Quelle.

In Abbildung 49 bis Abbildung 65 werden die Quellgruppenanteile an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration für die Messstationen innerhalb des Untersuchungsgebietes ausgewertet.

Der Verkehrsanteil liegt zwischen 20 % und 39 %, der Beitrag der Flächenquellen zwischen 10 % und 29 % und der Beitrag der Punktquellen variiert zwischen 0 % und 1 %.

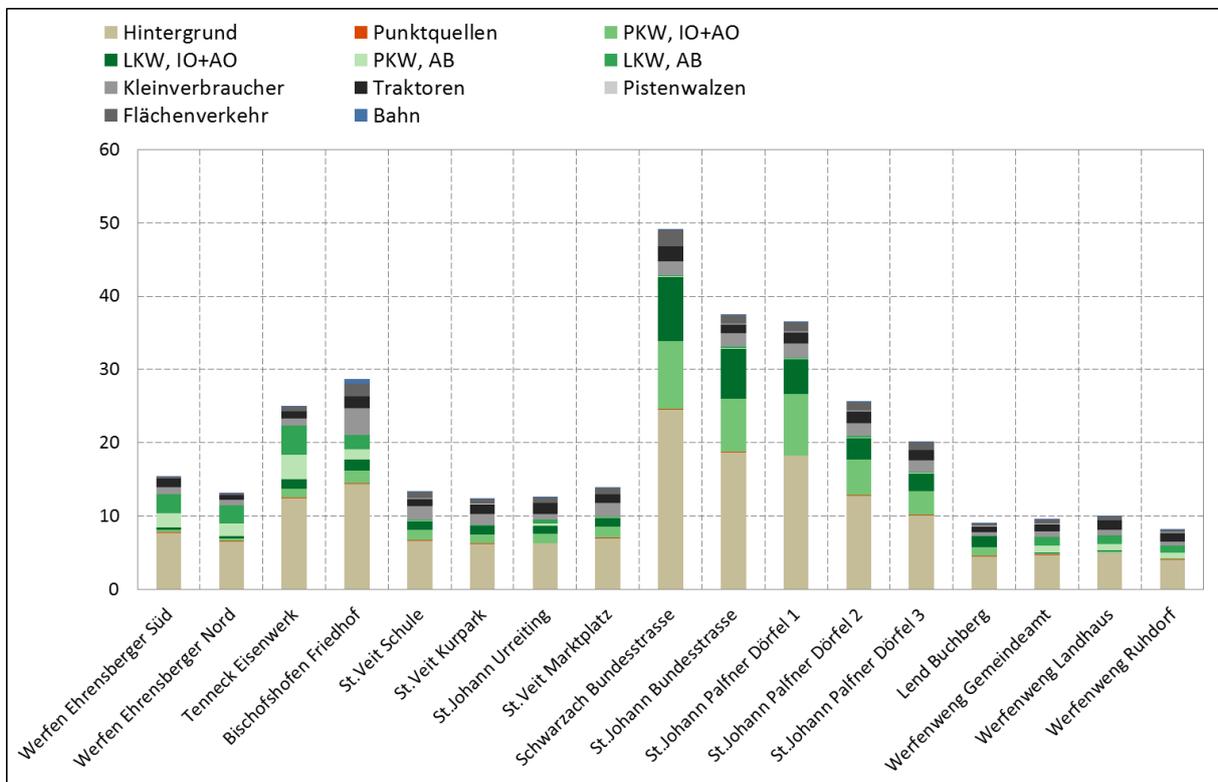


Abbildung 48: Modellierte Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen - JMW NO_x.

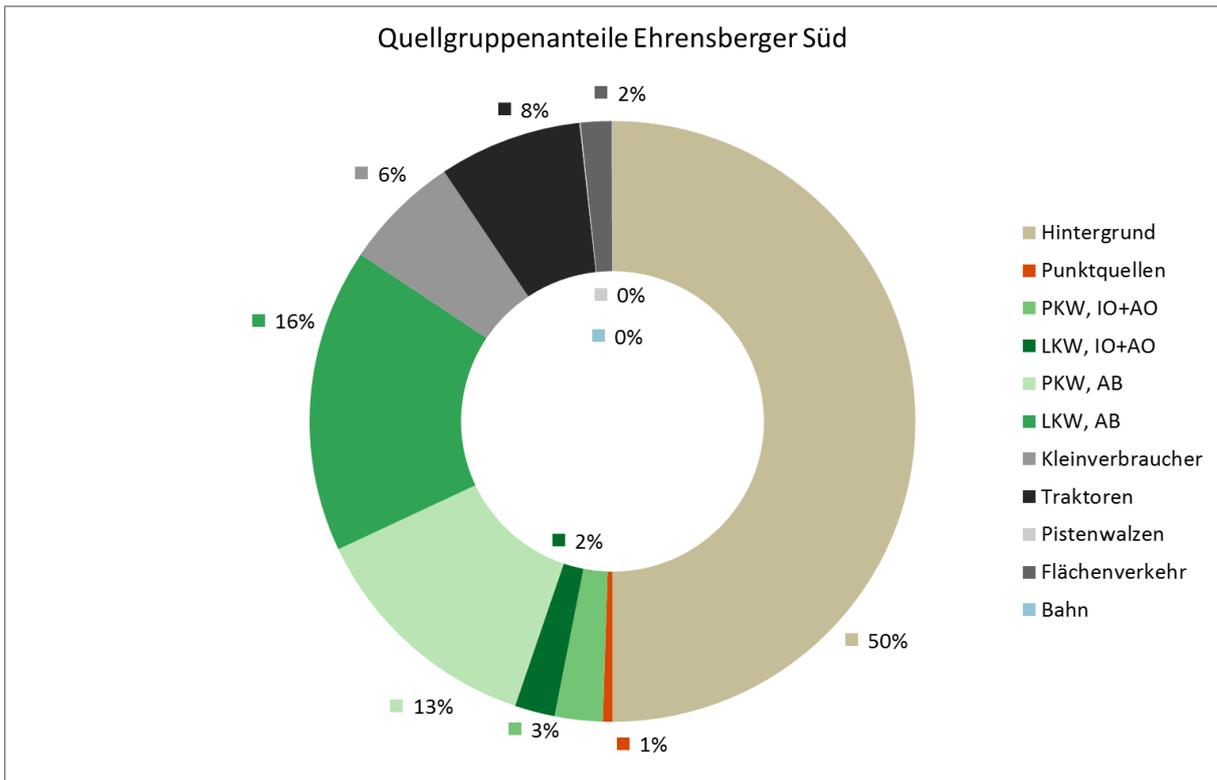


Abbildung 49: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Ehrensberger Süd.

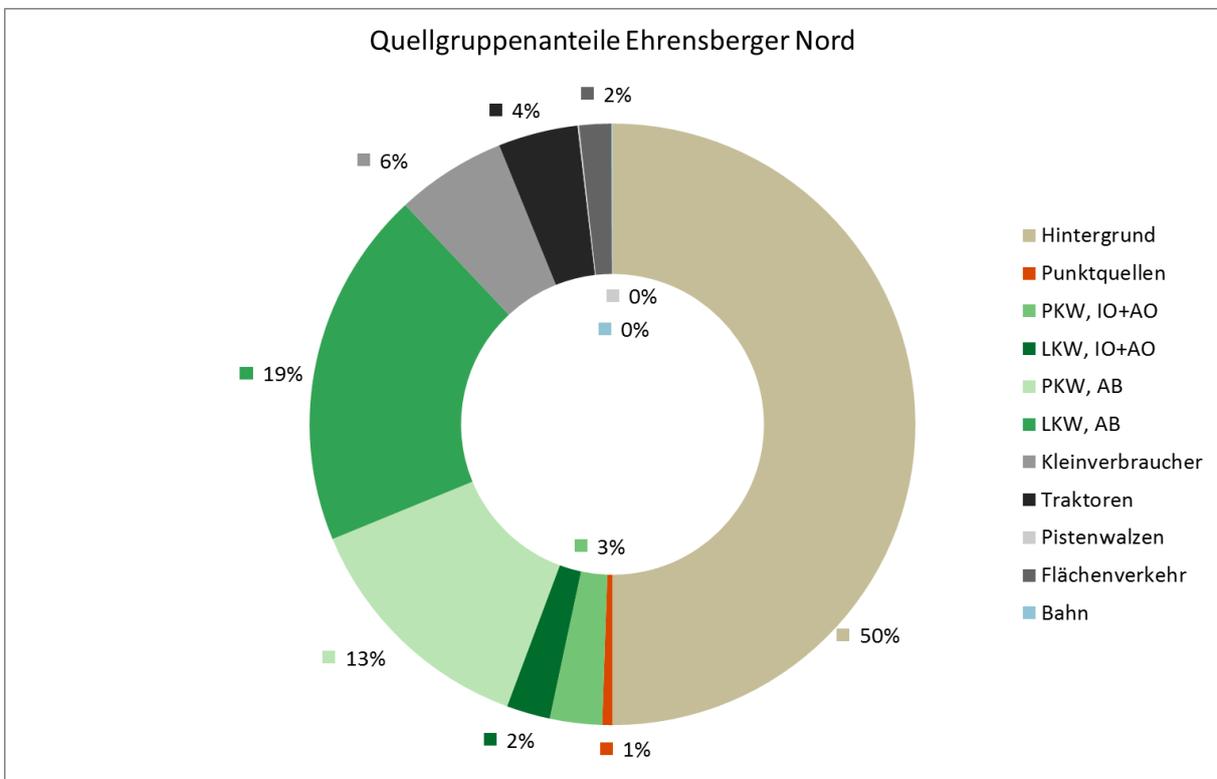


Abbildung 50: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Ehrensberger Nord.

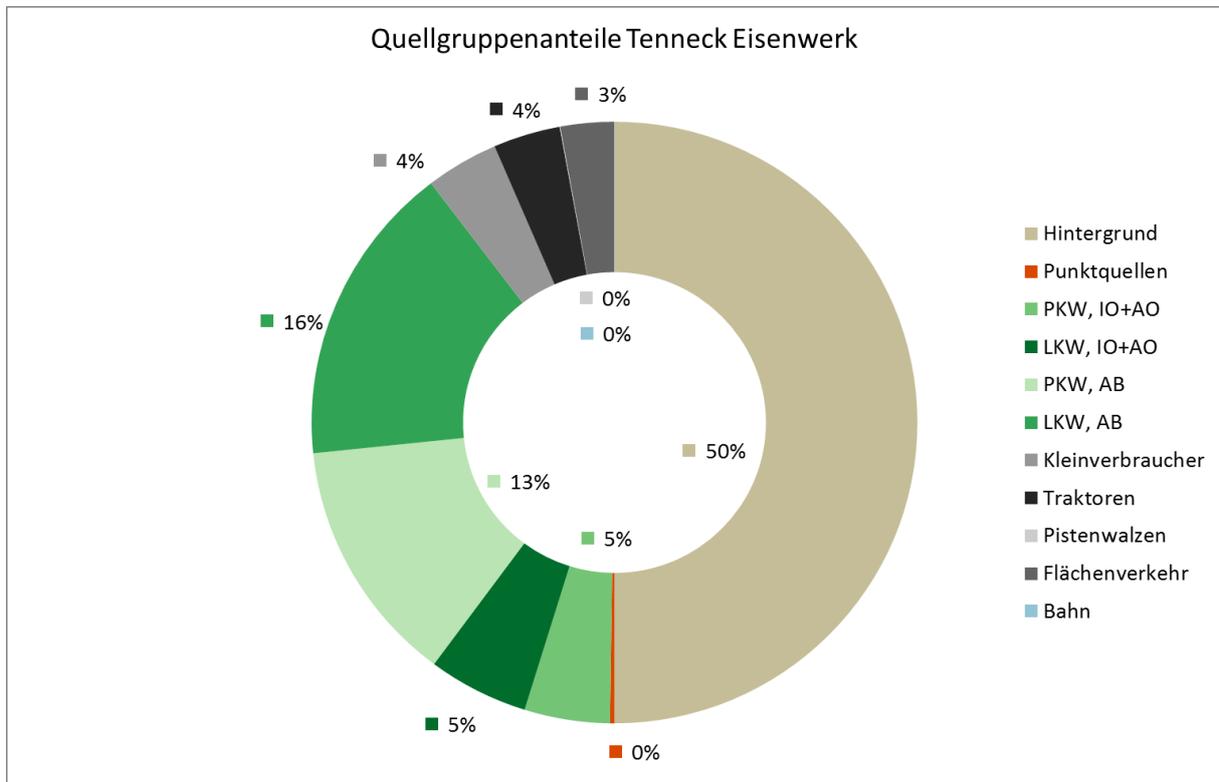


Abbildung 51: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Tenneck Eisenwerk.

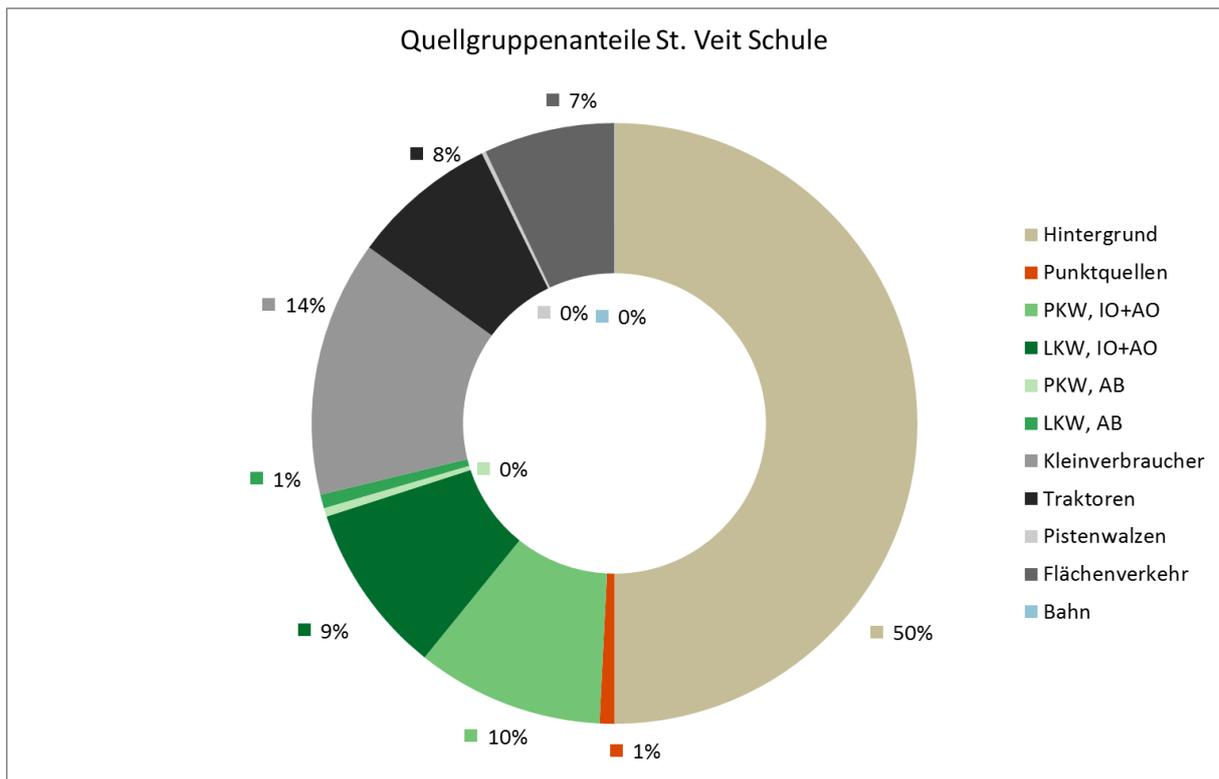


Abbildung 52: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – St. Veit Schule.

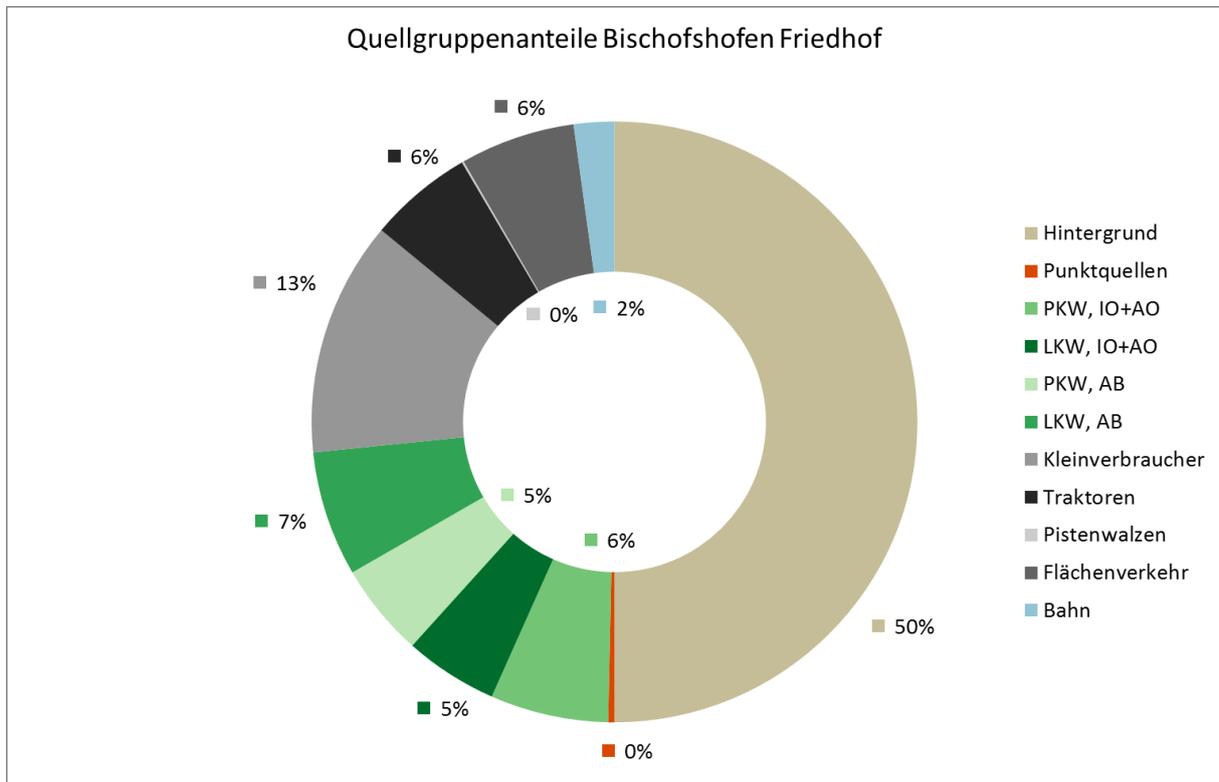


Abbildung 53: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Bischofshofen Friedhof.

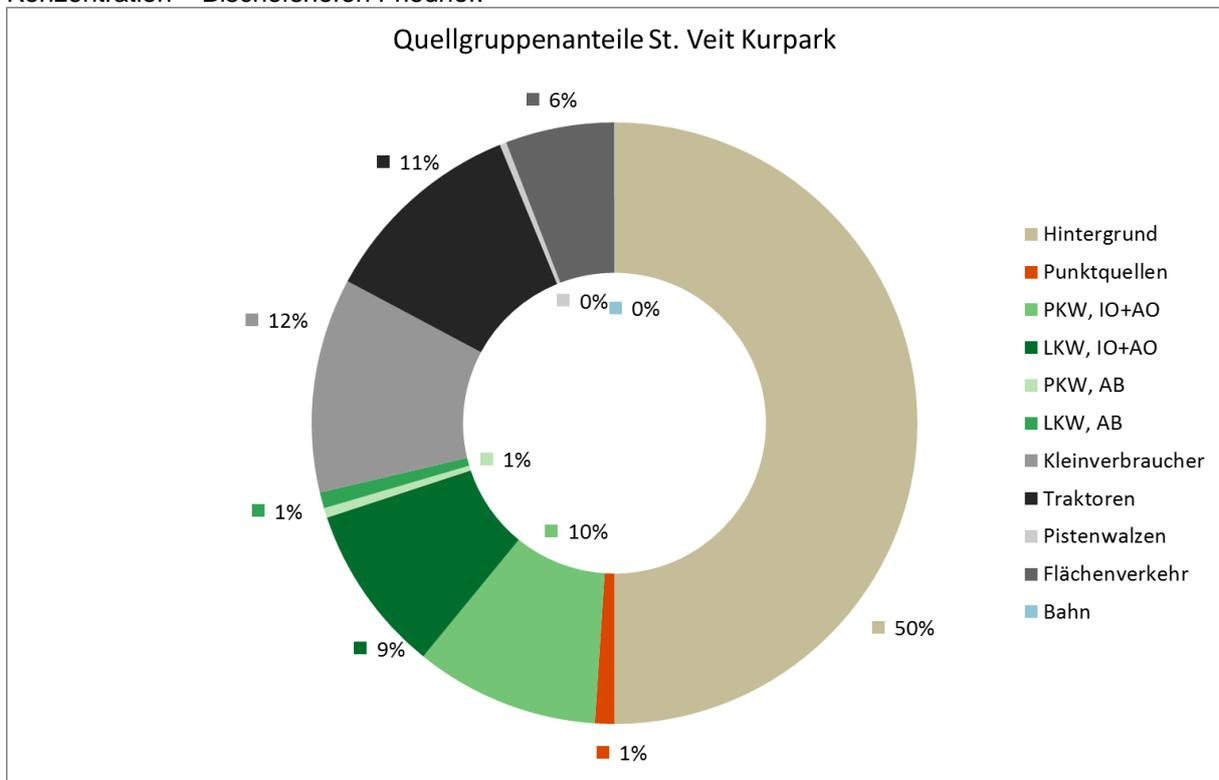


Abbildung 54: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – St. Veit Kurpark.

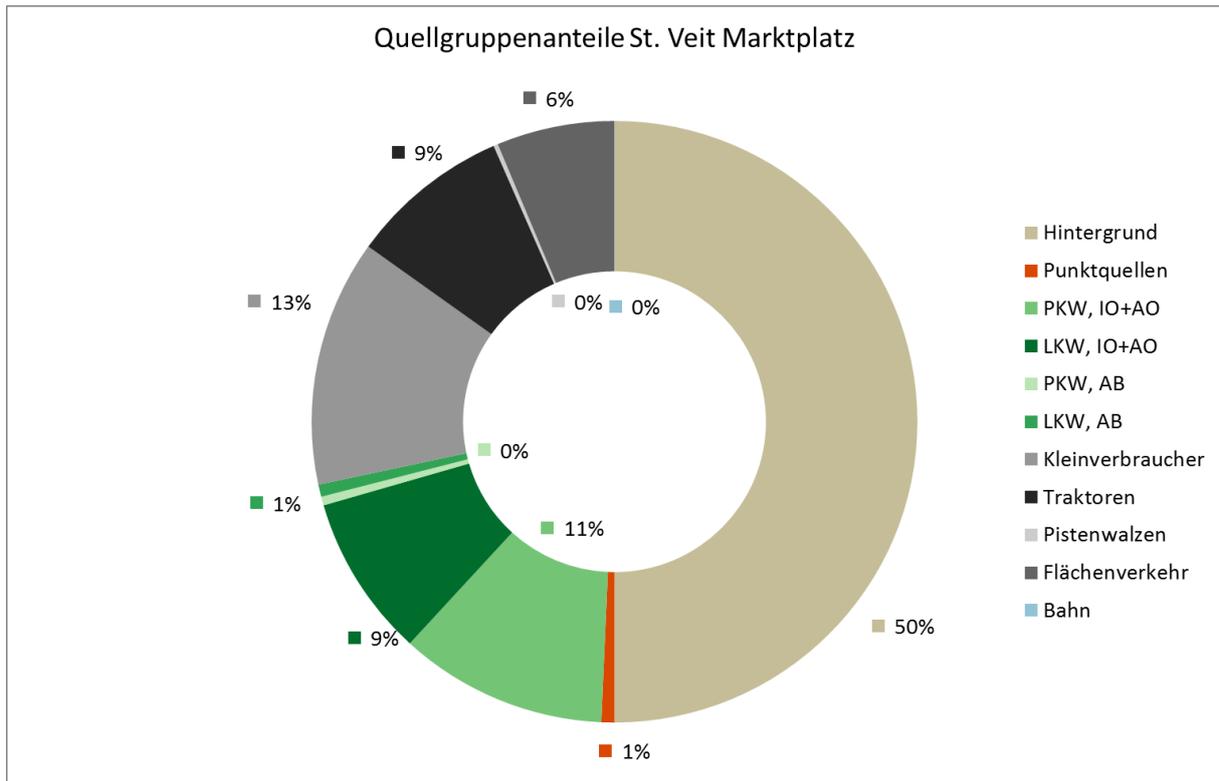


Abbildung 55: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – St. Veit Marktplatz.

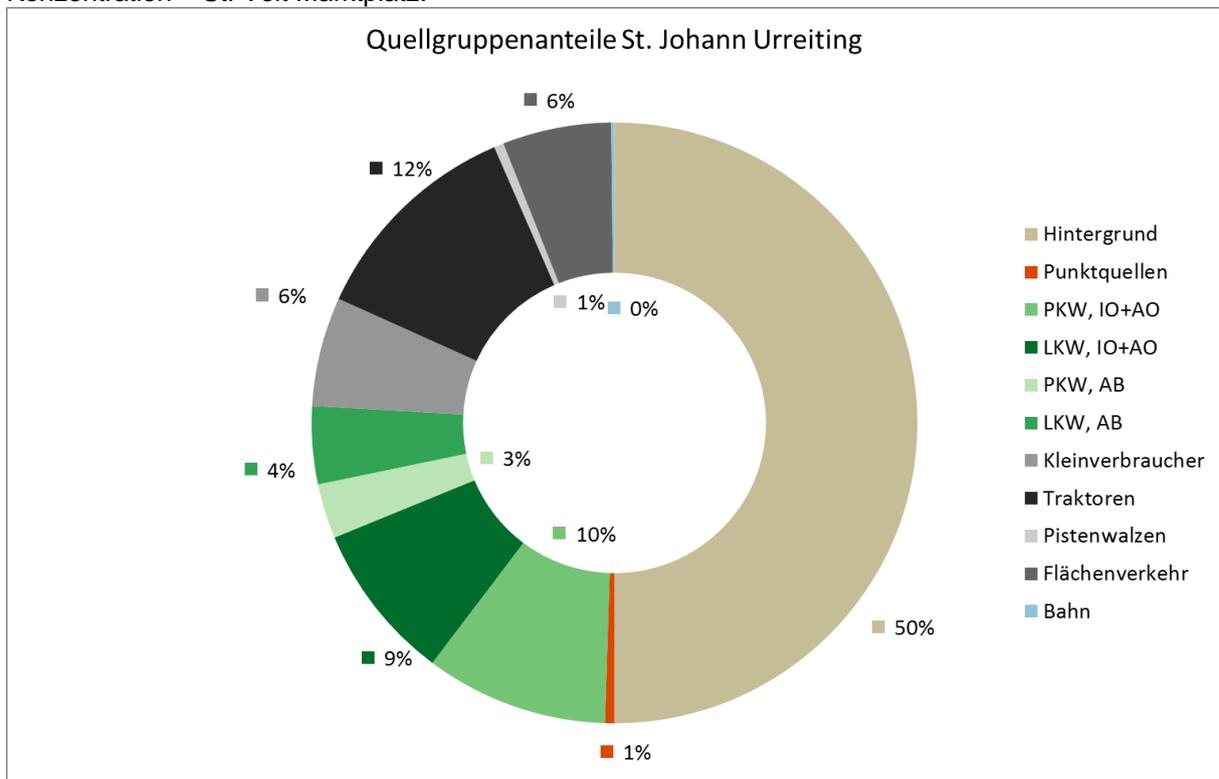


Abbildung 56: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – St. Johann Urreiting.

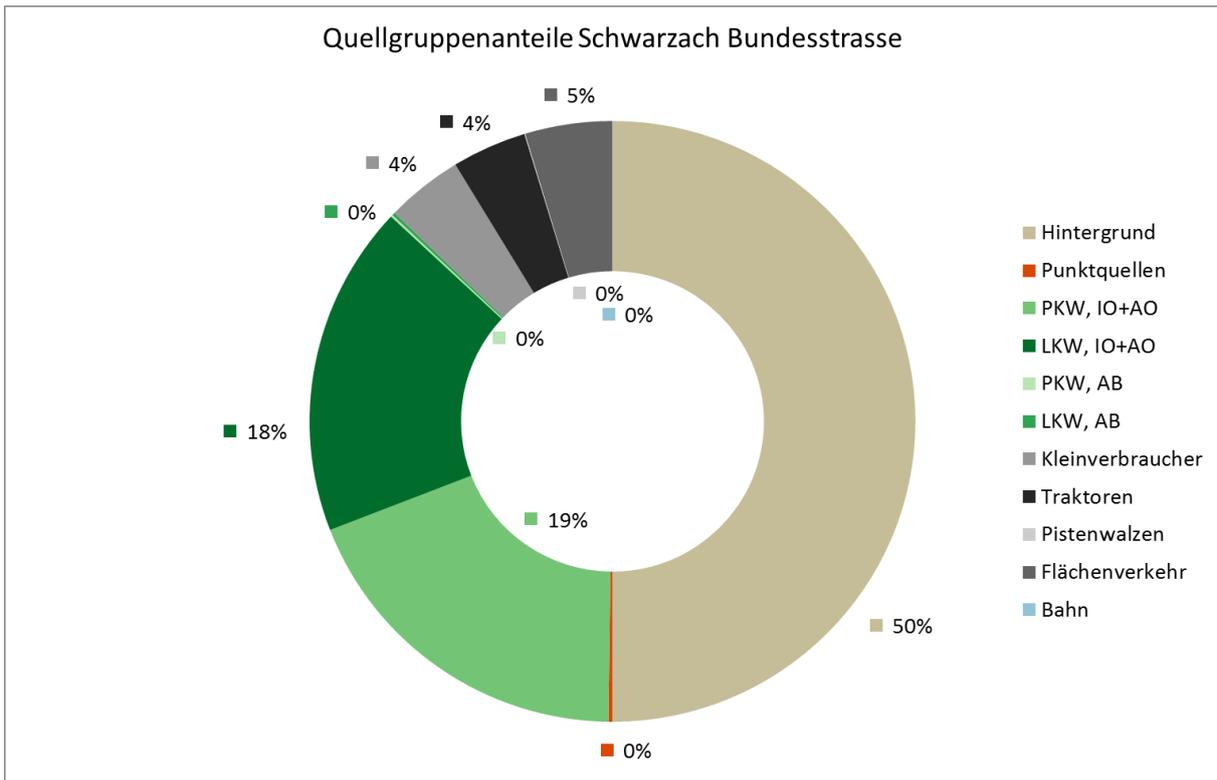


Abbildung 57: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Schwarzach Bundesstrasse.

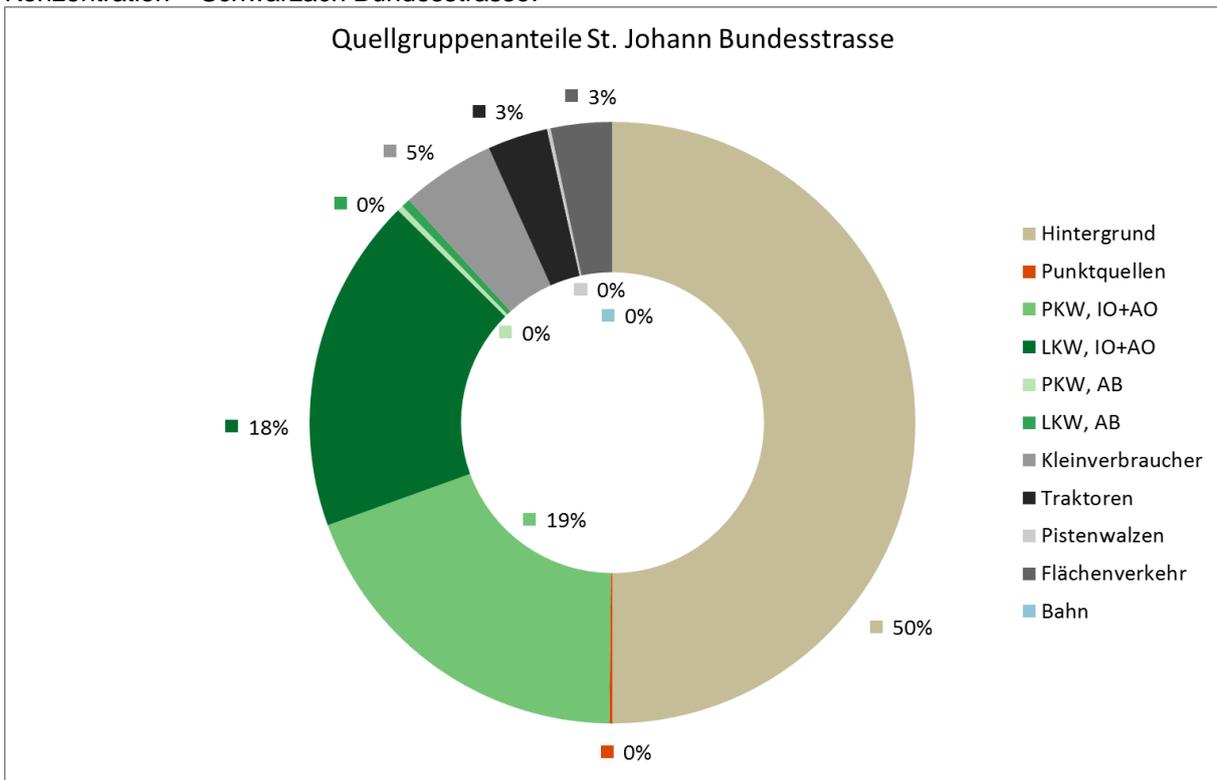


Abbildung 58: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – St. Johann Bundesstrasse.

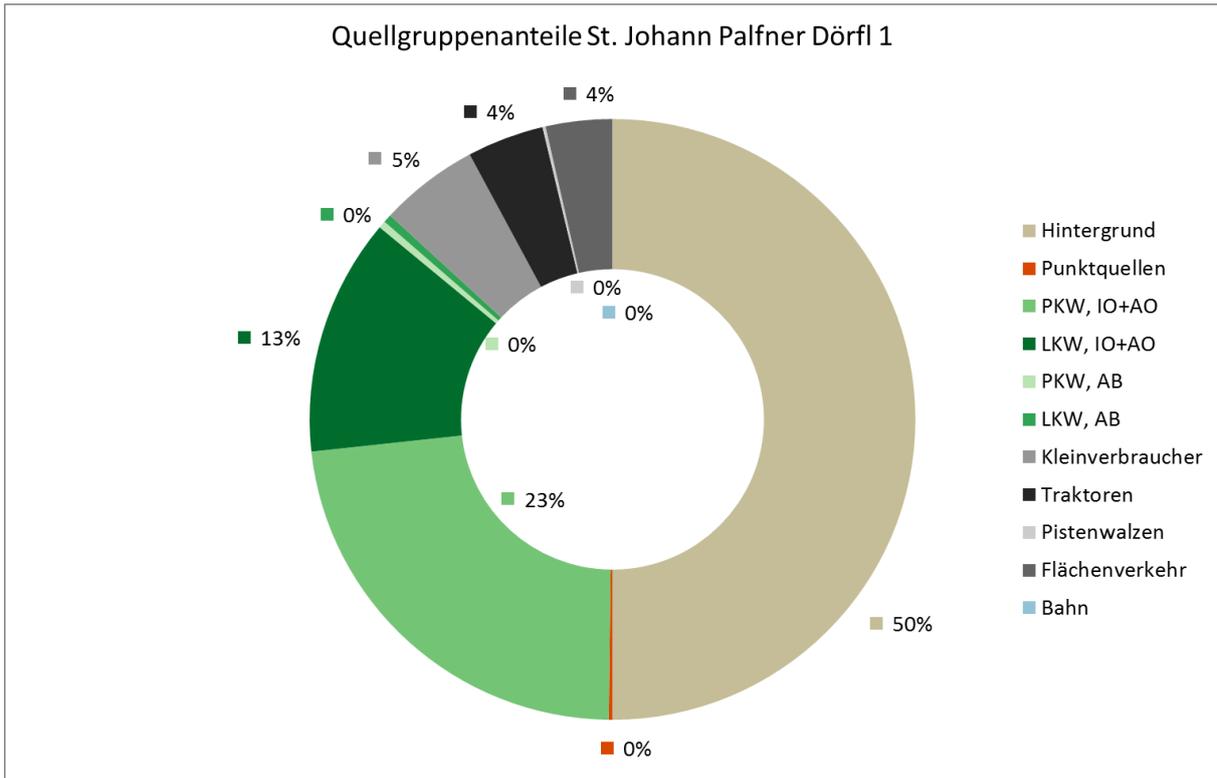


Abbildung 59: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – St. Johann Palfner Dörfel 1.

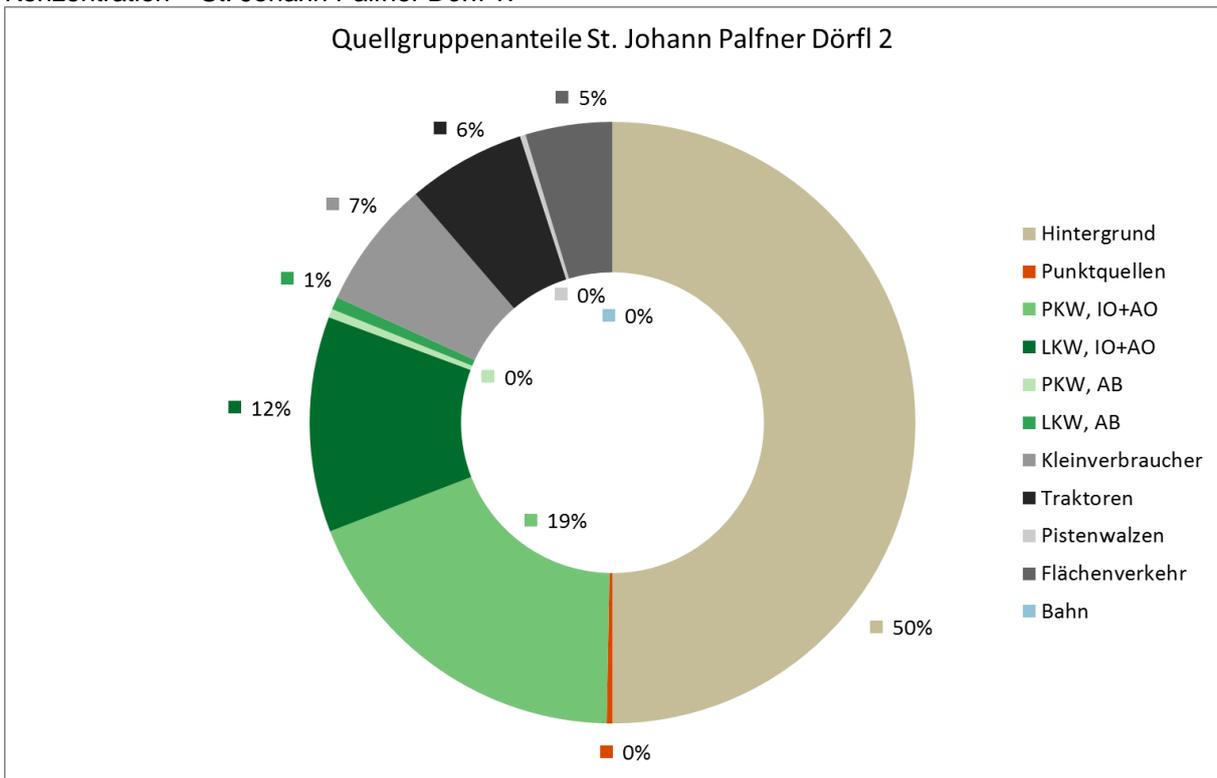


Abbildung 60: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – St. Johann Palfner Dörfel 2.

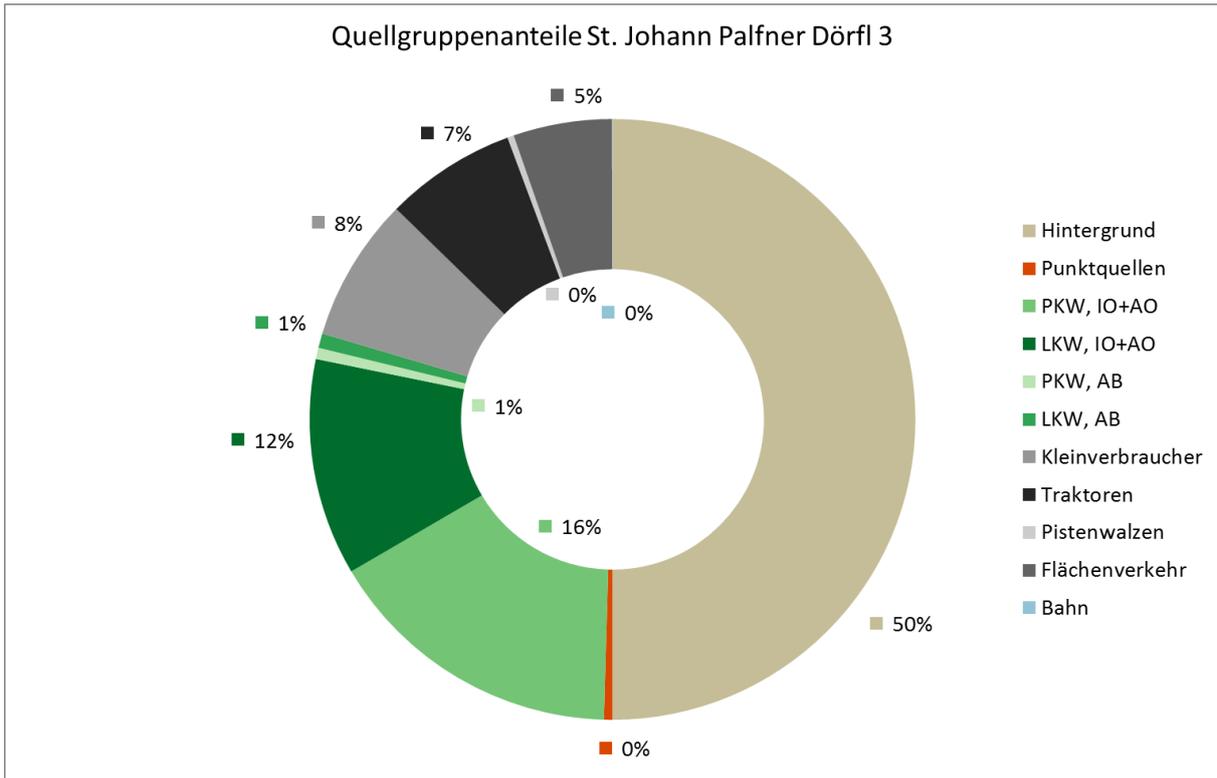


Abbildung 61: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – St. Johann Palfner Dörfel 3.

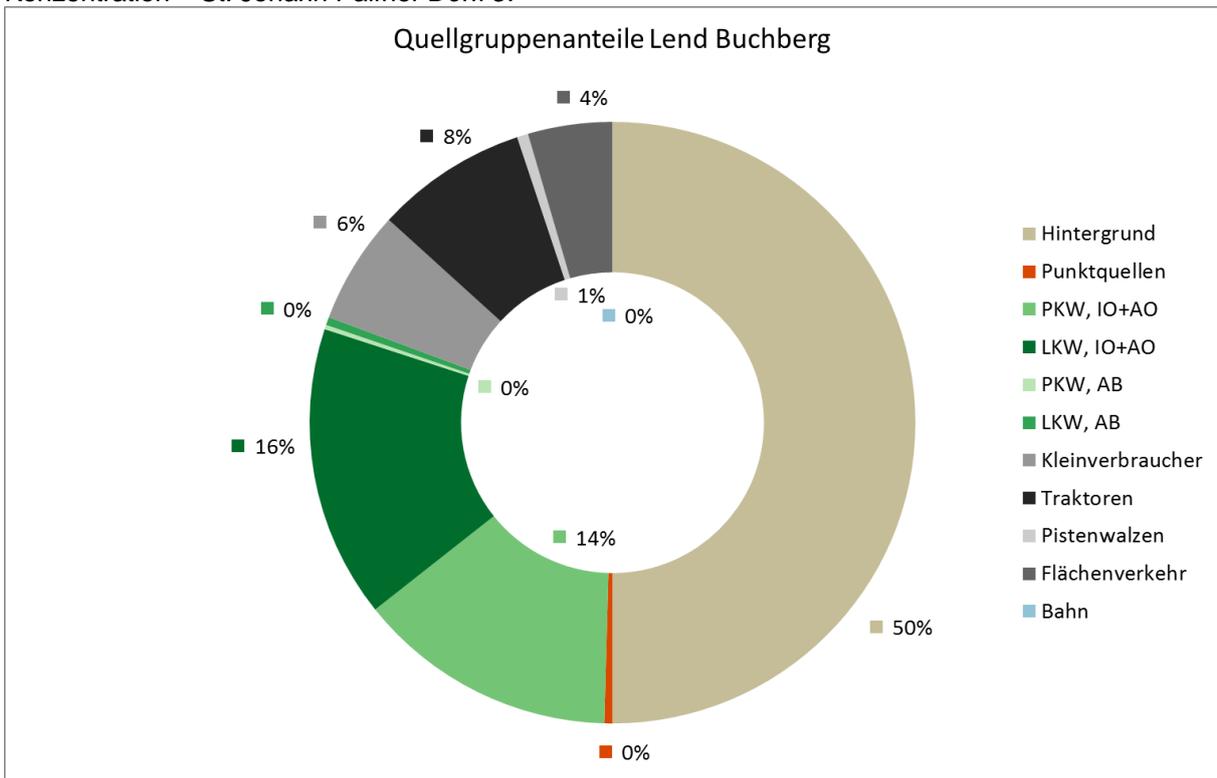


Abbildung 62: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Lend Buchberg.

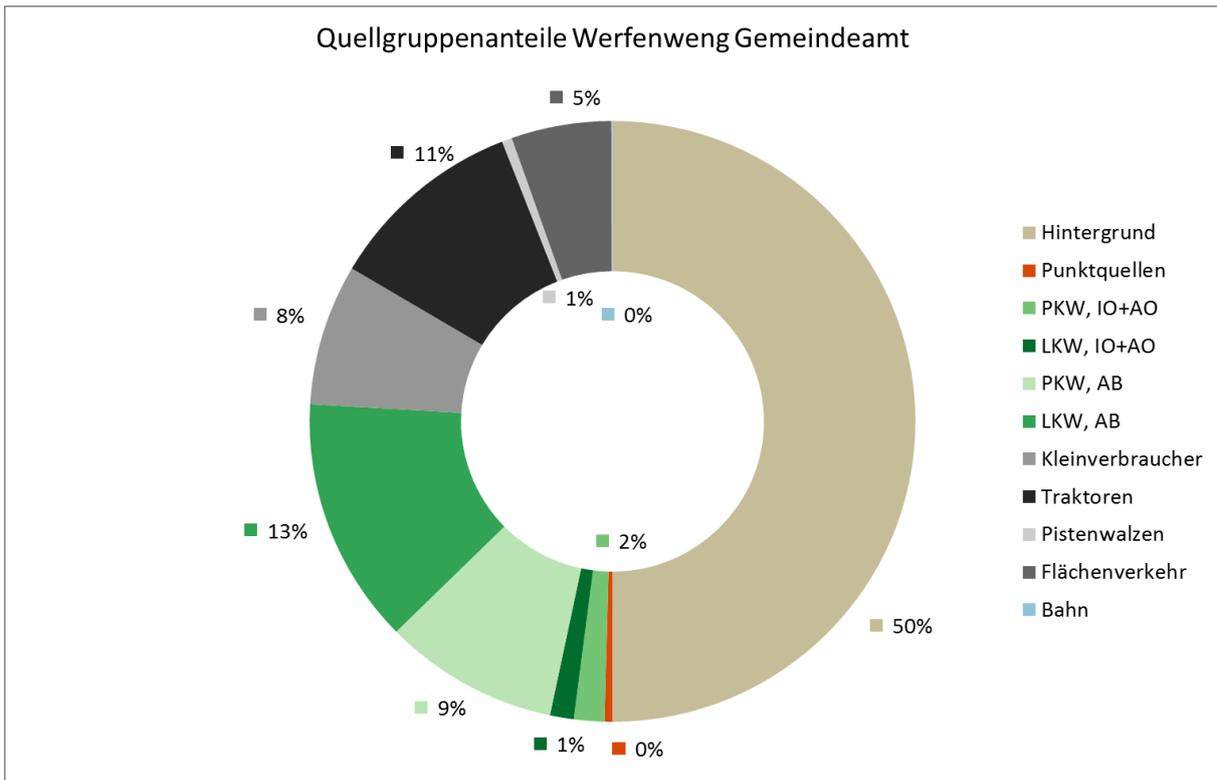


Abbildung 63: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Werfenweng Gemeindeamt.

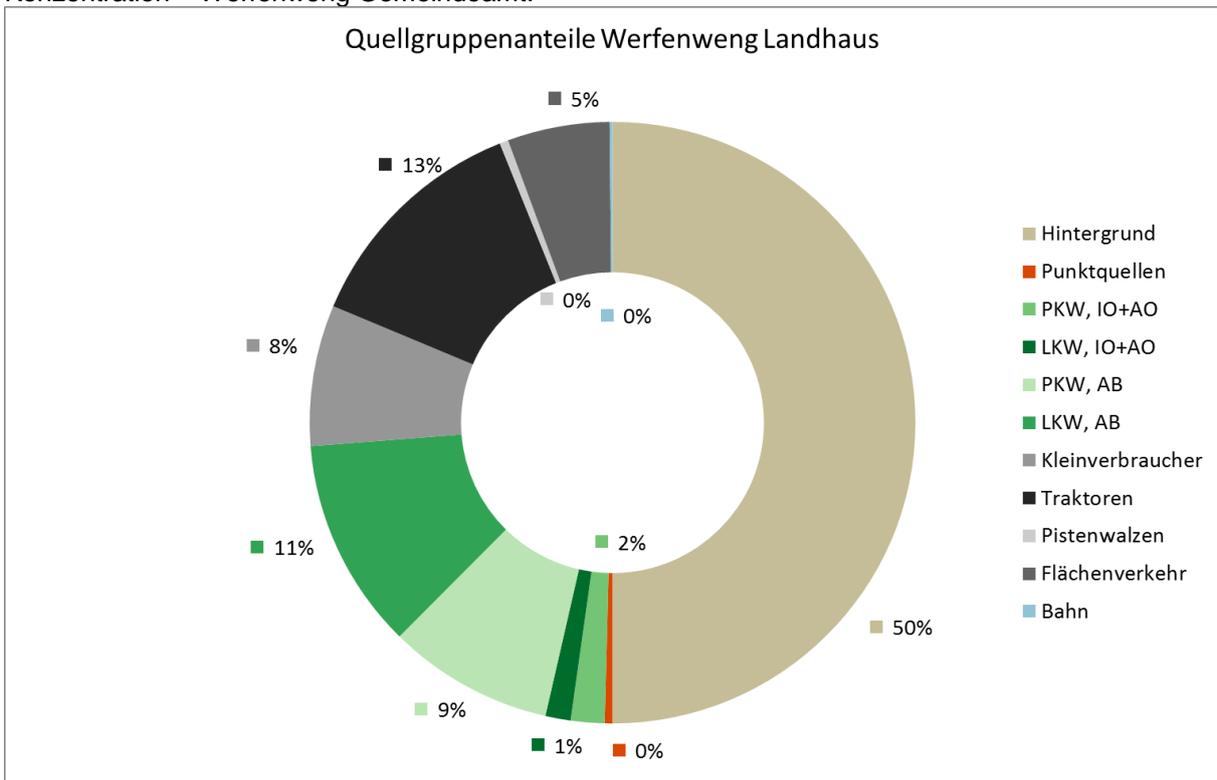


Abbildung 64: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Werfenweng Landhaus.

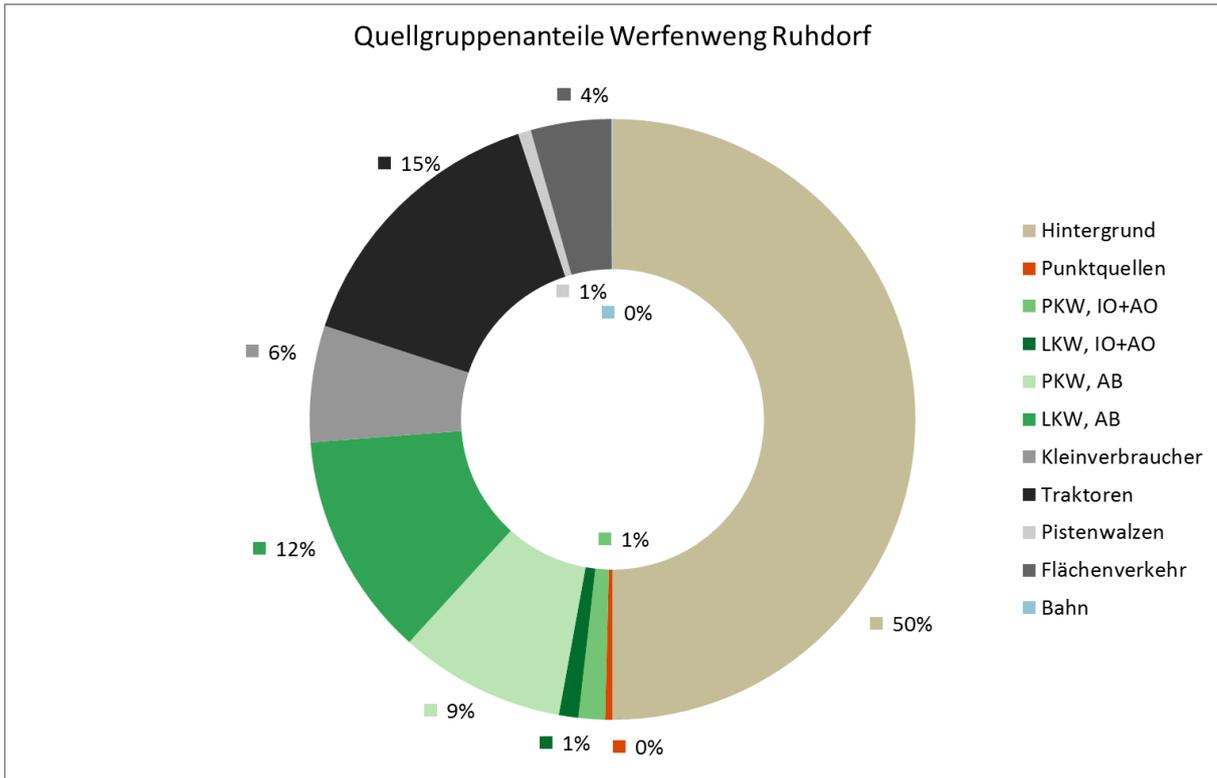


Abbildung 65: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Werfenweng Ruhdorf.

6.3 Jahresmittelwert Stickstoffdioxid (NO₂)

Zur Berechnung der jahresdurchschnittlichen NO₂-Belastung wurde die Umwandlungsfunktion nach RVS verwendet (Kapitel 4.2.6).

6.3.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den Jahresmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 66 dargestellt. Die höchsten Belastungen mit abschnittsweise über 40 µg/m³ treten entlang der Autobahn sowie im Nahbereich von Tunnelportalen auf.

Im Bereich des Talbodens wurde ein Jahresmittelwert von 10-20 µg/m³ modelliert. In höheren Lagen nimmt die Belastung deutlich ab. Ab ca. 800 m Seehöhe beträgt die Belastung weniger als 10 µg/m³.

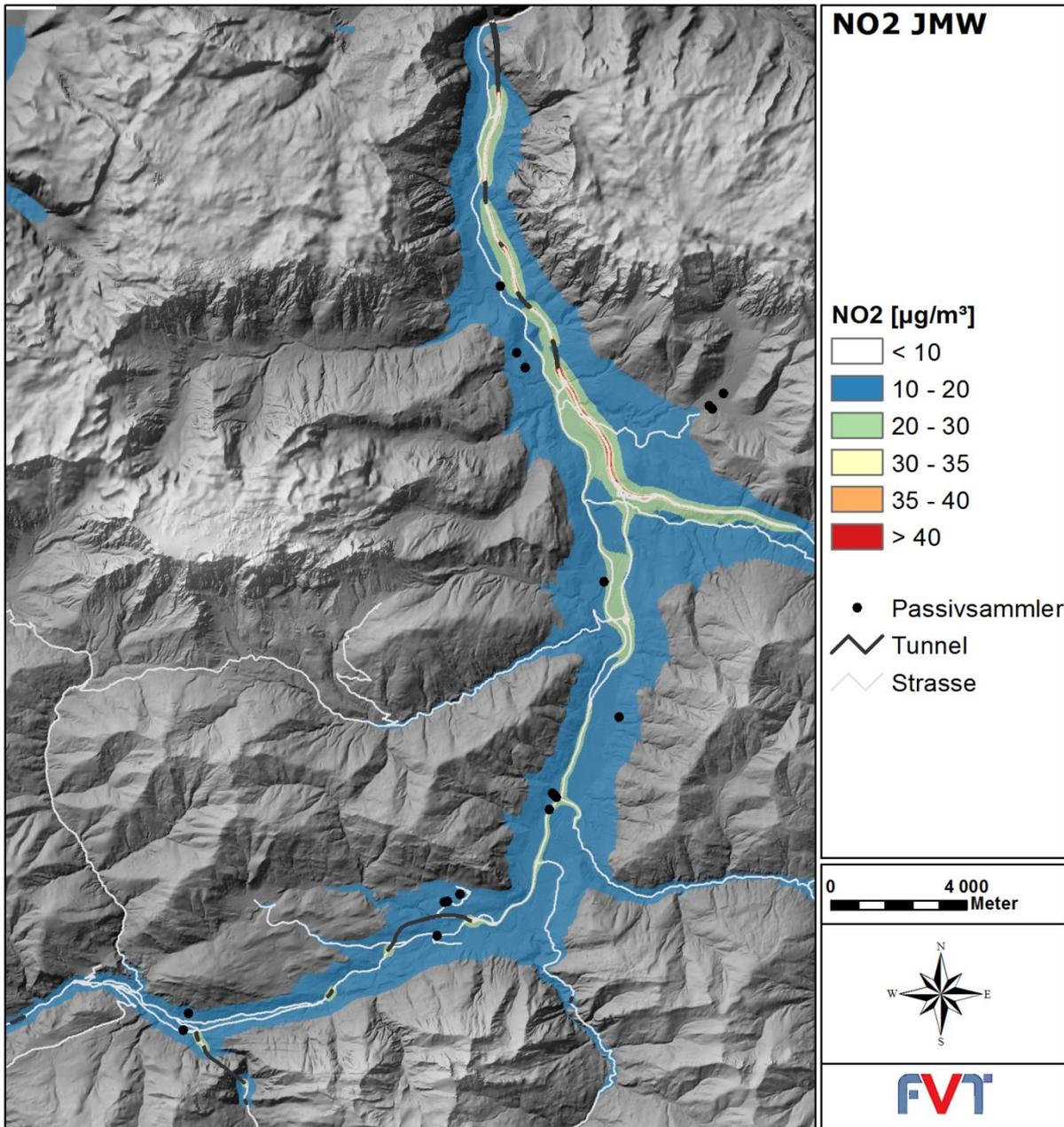


Abbildung 66: Modellierete NO₂-Konzentration im Jahresmittel.

6.3.2 Vergleich mit Messdaten

In Abbildung 67 werden die berechneten jahresdurchschnittlichen NO₂-Konzentrationen mit den Messwerten der Passivsammler im Untersuchungsgebiet verglichen. Zwei der insgesamt 17 Passivsammler im Untersuchungsgebiet wurden aufgrund ihrer enorm stark abweichenden Werte als Ausreißer behandelt und sind zwar in den Abbildungen enthalten, aber nicht in den Vergleich einbezogen. Beim Messpunkt Werfenweng Gemeindeamt ist die starke Abweichung vermutlich darauf zurückzuführen, dass dieser direkt an einer Hauptverkehrsstraße liegt, für diesen Abschnitt jedoch keine Verkehrsemissionen zugeordnet waren. Beim Messpunkt St. Veit Marktplatz lässt die starke Abweichung eine nicht in den Emissionsdaten enthaltene Quelle vermuten. Bei der Mehrheit der Stationen ergibt sich eine Unterschätzung des Modelles. Dies wird auch durch die Steigung der Trendgeraden ersichtlich.

Für diese Unterschätzung kommen verschiedene Faktoren innerhalb der Rechenkette in Frage (Emissionen, Windfelder, Modellvereinfachungen). Eine genaue Quantifizierung der Einflussfaktoren ist jedoch nicht möglich (siehe Kapitel 7). Bei innerstädtischen Standorten ist die Unterschätzung zum Teil darauf zurückzuführen, dass bei dieser Modellierung keine Gebäude berücksichtigt wurden. Außerdem wurden bei der Berechnung der Verkehrsemissionen die Staustunden nicht berücksichtigt. Auf stark belasteten innerstädtischen Straßen kann das zu einer Unterschätzung der durchschnittlichen Emissionen führen.

Die beste Übereinstimmung mit den Messwerten ergibt sich, wenn die modellierte NO_x-Belastung mit dem Faktor 1.5 multipliziert wird (Abbildung 68 und Abbildung 69).

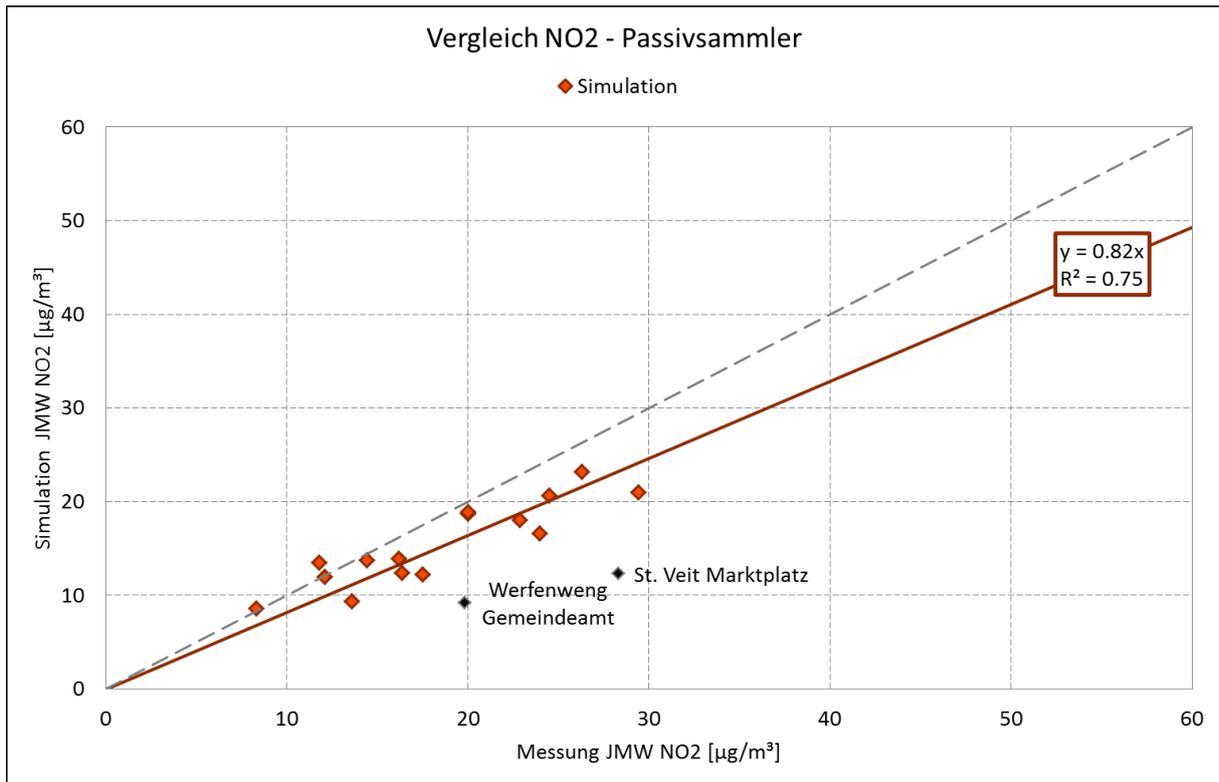


Abbildung 67: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂-Jahresmittelwerten.

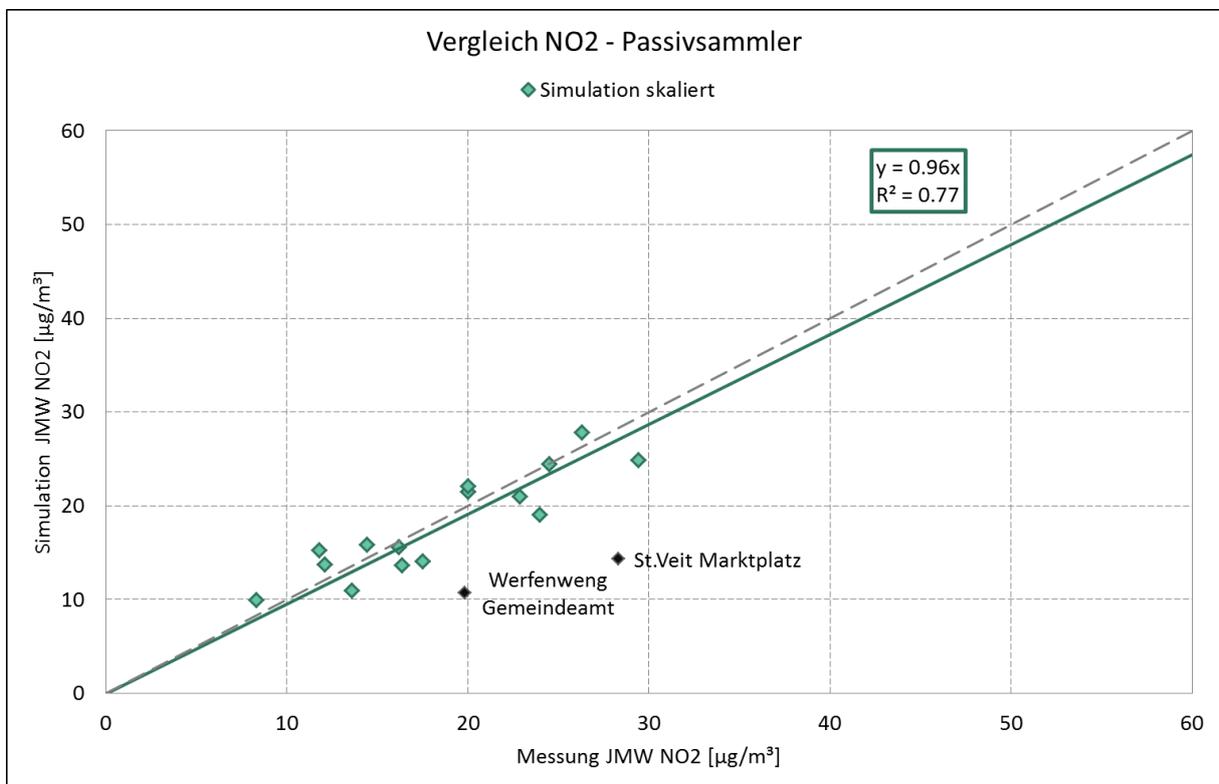


Abbildung 68: Vergleich zwischen gemessenen und um Faktor 1.5 korrigierten modellierten NO₂-Jahresmittelwerten.

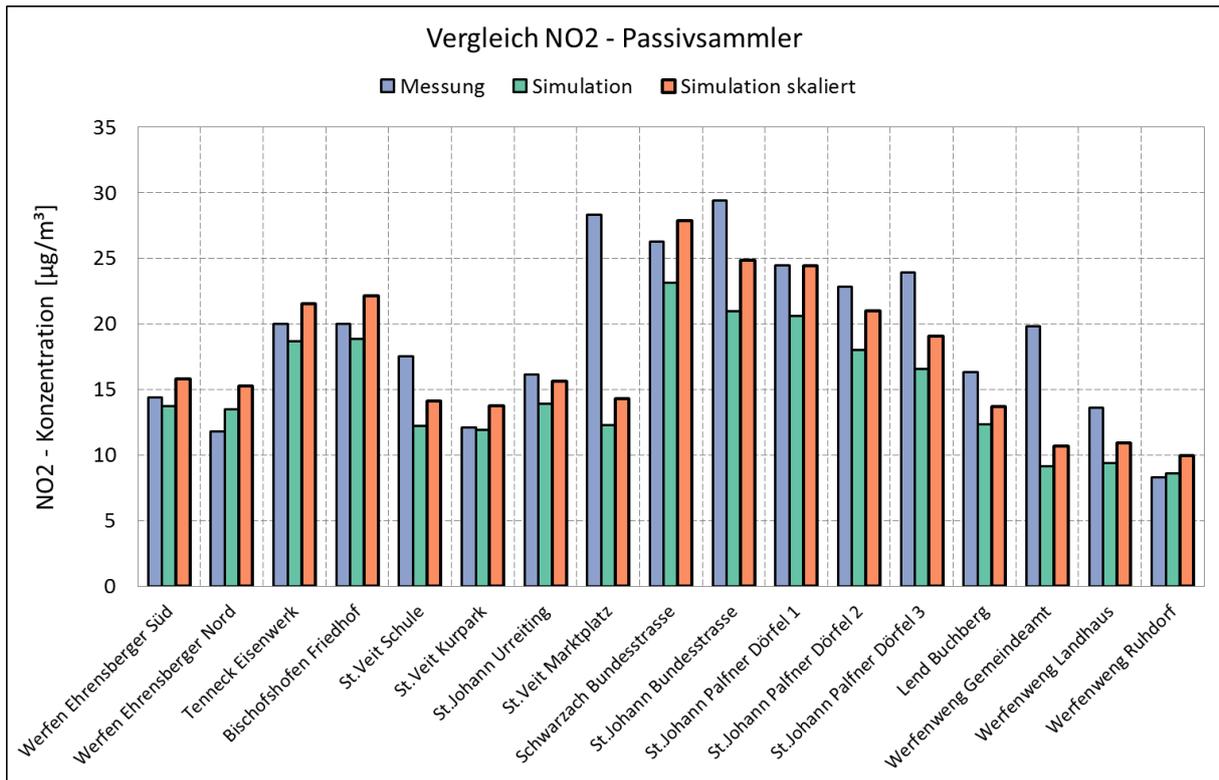


Abbildung 69: Vergleich zwischen gemessenen, modellierten und korrigierten NO₂-Jahresmittelwerten.

Die flächenhafte Verteilung für den anhand des Vergleichs mit Messungen korrigierten Jahresmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 70 dargestellt. Die höchsten Belastungen von über 40 µg/m³ treten entlang der Autobahn und einigen Hauptverkehrsstraßen sowie im Nahbereich von Tunnelportalen auf. In den Siedlungsräumen sind 13 bis 25 µg/m³ basierend auf den Modellrechnungen und dem Abgleich mit Messungen zu erwarten.

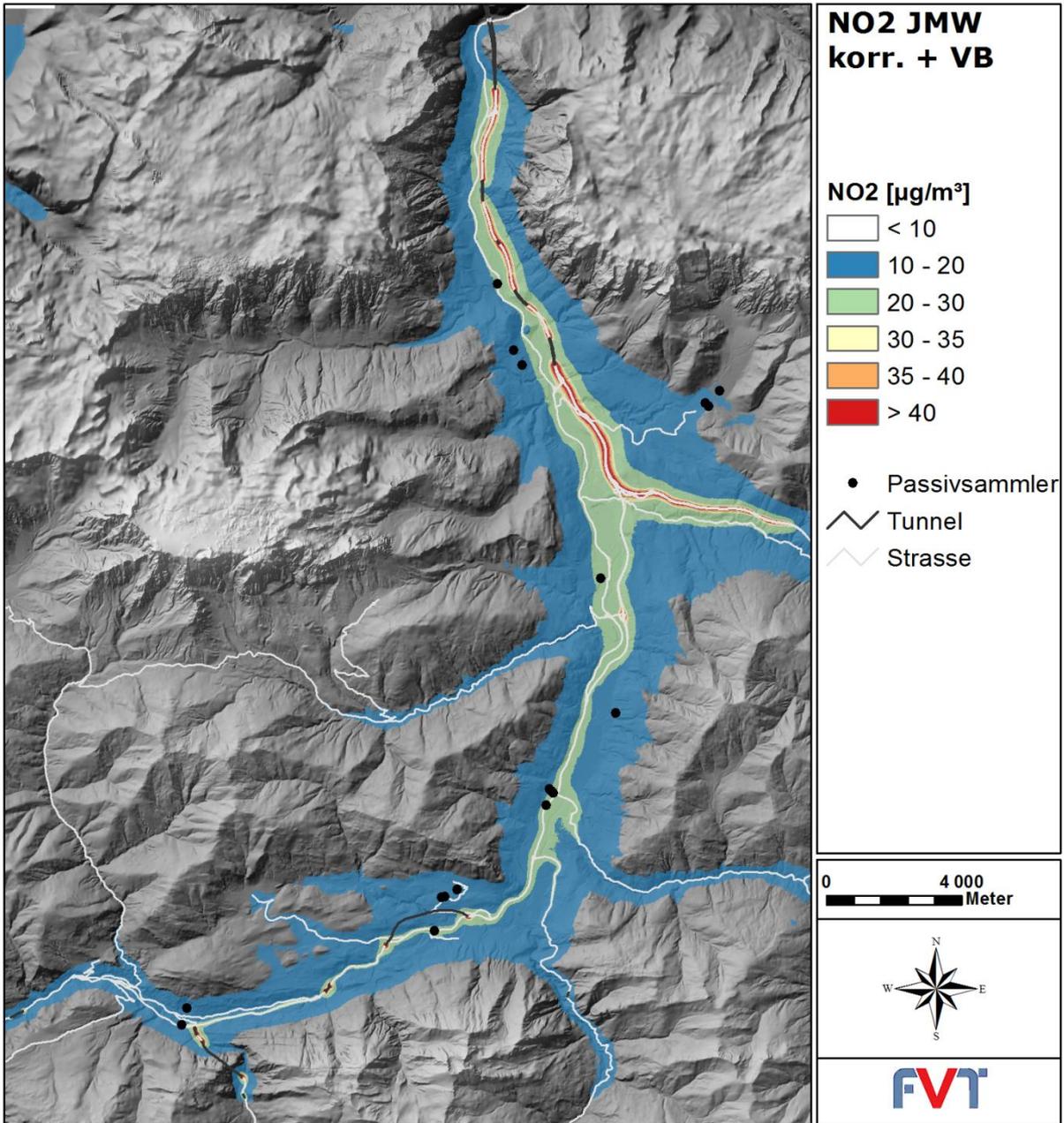


Abbildung 70: Modellierte NO₂-Konzentration im Jahresmittel – korrigiert und inklusive Vorbelastung.

6.3.3 Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen

Die Ausbreitungsrechnungen können auch dazu verwendet werden, die Flächen auszuwerten, welche von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind. Im Gebiet Salzachpongau, das eine Gesamtfläche von 788 km² aufweist, wird der Wert von 30 µg/m³ auf einer Fläche von 10 km² überschritten. 35 µg/m³ werden auf einer Fläche von 5 km² überschritten. 40 µg/m³ werden auf einer Fläche von 3 km² überschritten.

Tabelle 8: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den JMW NO₂

JMW	km ²	Prozent
< 30 [µg/m ³]	778	98.8 %
30 - 35 [µg/m ³]	4	0.6 %
35- 40 [µg/m ³]	2	0.3 %
> 40 [µg/m ³]	3	0.4 %

6.4 Maximaler Tagesmittelwert an NO_x

6.4.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den maximalen Tagesmittelwert an NO_x ist in Abbildung 71 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der Autobahn und im Nahbereich von Tunnelportalen auf und betragen über 250 µg/m³.

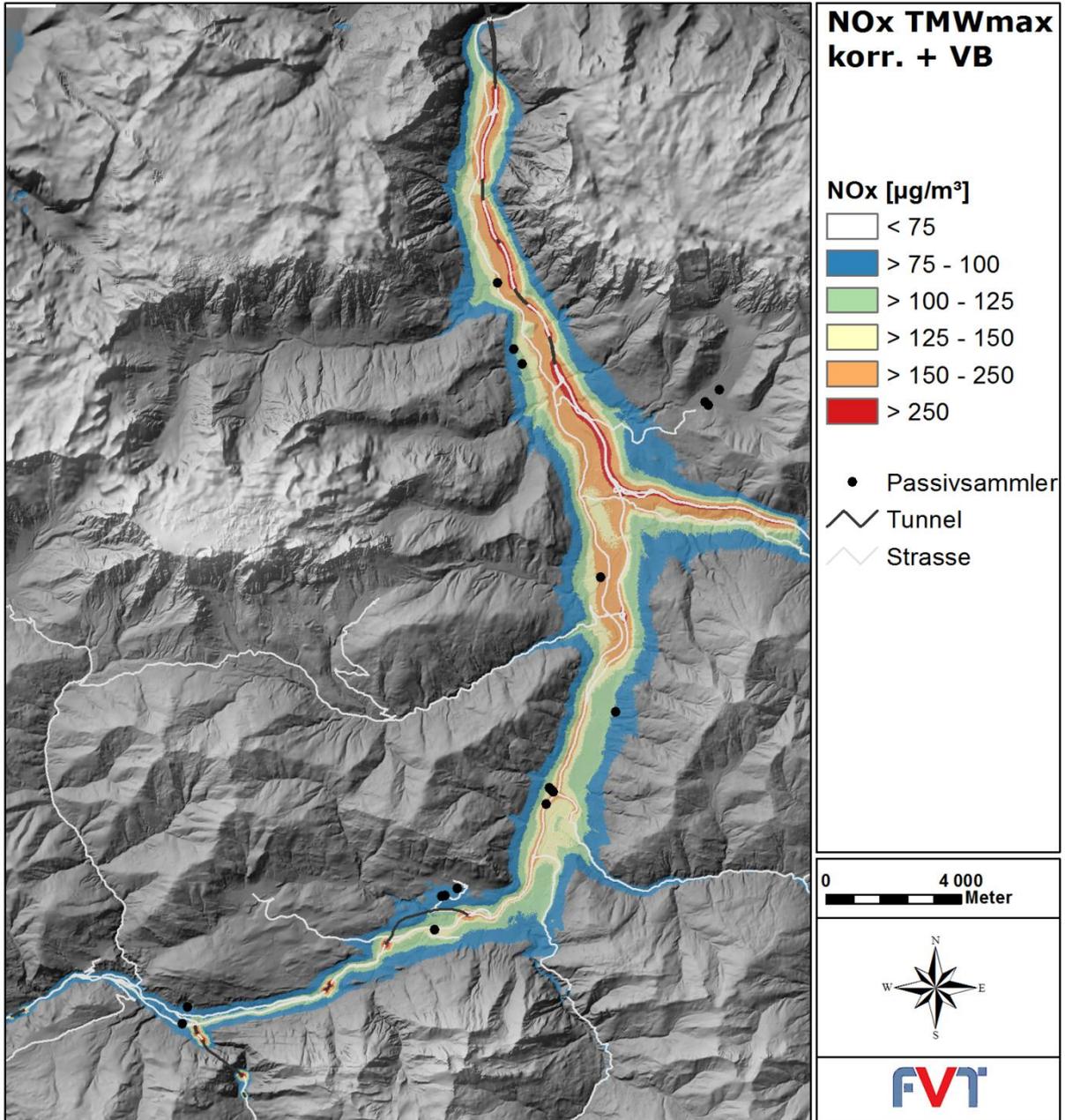


Abbildung 71: Modellierete NO_x-Konzentration für den maximalen Tagesmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung.

6.5 Maximaler Halbstundemittelwert an NO₂

Für die Berechnung des maximalen Halbstundenmittelwertes wurde die Methodik aus Kapitel 4.2.7 und die Umwandlungsfunktion für das 98 Perzentil aus Kapitel 4.2.6 verwendet.

6.5.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den maximalen Halbstundenmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 72 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der Autobahn und im Nahbereich von Tunnelportalen auf und erreichen knapp 200 µg/m³. Entlang von Hauptverkehrsstraßen liegen die Belastungen zwischen 125 und 150 µg/m³. Im gesamten Talbodenbereich betragen die Immissionsbelastungen über 75 µg/m³.

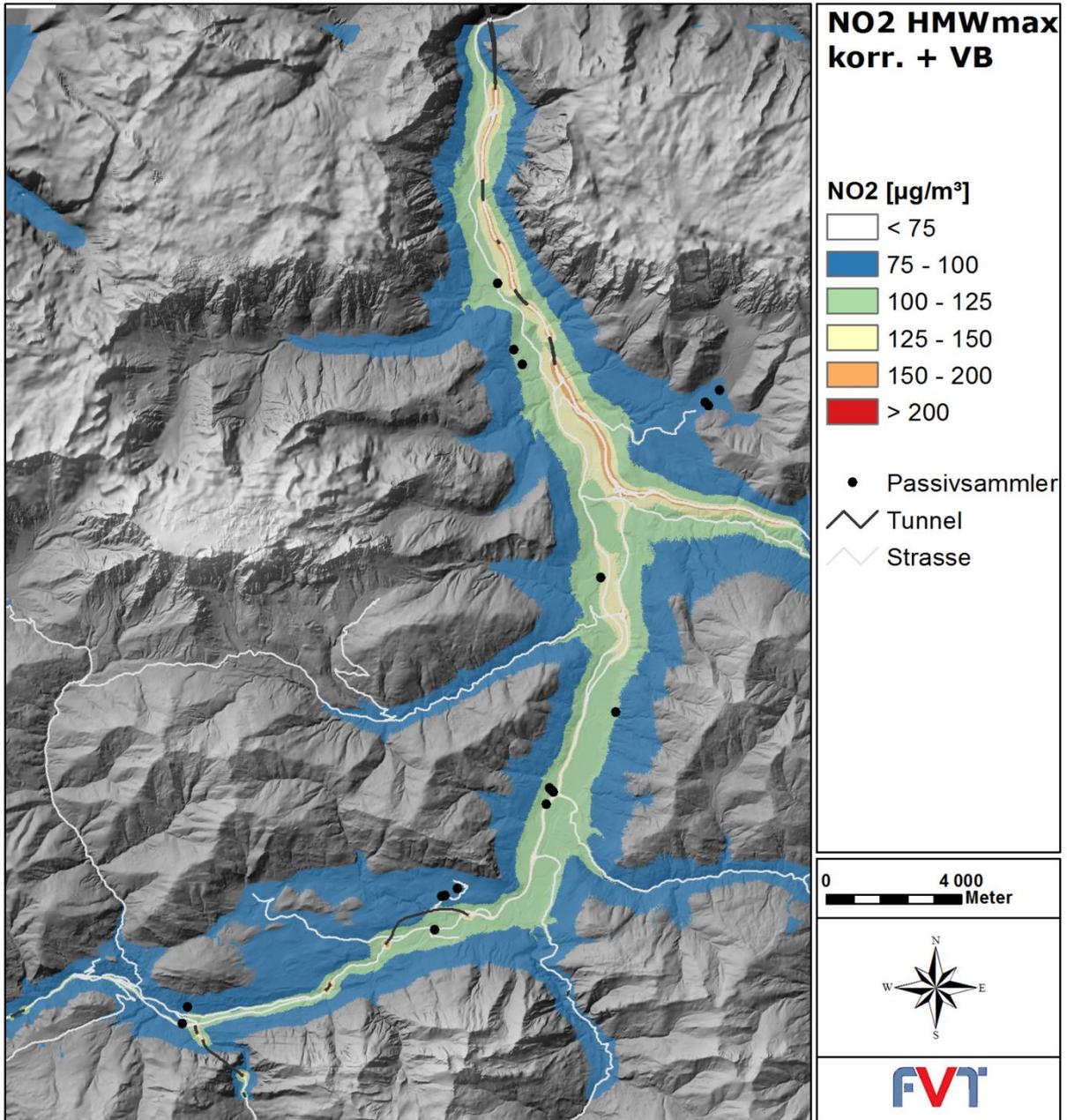


Abbildung 72: Modellierte NO₂-Konzentration im maximalen Halbstundenmittel.

6.5.2 Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen

Die Ausbreitungsrechnungen können auch dazu verwendet werden, die Flächen auszuwerten, welche von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind. Im Gebiet Salzachpongau, das eine Gesamtfläche von 788 km² aufweist, kommt es nur auf einer Fläche von 0.6 km² zu Überschreitungen des Grenzwertes von 200 µg/m³.

Tabelle 9: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den HMW_{max} NO₂

HMW _{max}	km ²	Prozent
< 150	784.3	99.5%
> 150 - 200 [µg/m ³]	2.9	0.4%
> 200 [µg/m ³]	0.6	0.1%

Anzumerken ist hier jedoch die relativ große Prognoseunsicherheit bei der Bestimmung eines maximalen Halbstundenmittelwertes (siehe Kapitel 4.2.7).

7 Unsicherheiten bei der Modellierung

Naturgemäß sind Modelle mit Unsicherheiten behaftet. Bei einfacheren physikalischen Zusammenhängen kann man eine Fehlerrechnung durchführen, welche auf der Schwankungsbreite der Eingabeparameter beruht. Bei der Berechnung eines Immissionskatasters wird eine sehr komplexe Modellkette angewendet, wodurch die Unsicherheiten der einzelnen Rechenoperationen nicht genau quantifizierbar sind. Deswegen ist es nur möglich, die Endergebnisse mit Messungen zu vergleichen (= Validierung der Modellkette).

In der vorliegenden Untersuchung ergibt sich aus dem Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Luftgütemessdaten eine Unterschätzung der gesamten Modellkette, wofür verschiedene Faktoren innerhalb der Rechenkette in Frage kommen:

1. Eingangsdaten

Schon die Eingangsdaten wie z.B. meteorologische Messungen, Datenerhebungen für die Emissionsberechnungen, Verkehrszählungen usw. sind mit Unsicherheiten behaftet.

2. Emissionen

Bei der Berechnung der Emissionen werden Annahmen getroffen, welche schwierig quantifizierbar sind: Emissionsfaktoren von Fahrzeugen, Emissionsfrachten von Kaminen, diffuse Staubemissionen usw.

3. Windfelder

Zur Initialisierung der Windfelder wird nur eine geeignete Messstation herangezogen und damit die meteorologische Situation im gesamten Berechnungsgebiet modelliert. Außerdem wird die Messzeitreihe in eine Ausbreitungsklassenstatistik mit klassifizierten Parametern umgewandelt, um die Anzahl der Strömungssituationen zu verringern. Gerade bei großen Berechnungsgebieten mit komplexen meteorologischen Situationen ergeben sich dadurch Unsicherheiten bei der Beschreibung der Ausbreitungssituation.

4. Ausbreitungsrechnungen

In einem Ausbreitungsmodell werden verschiedene physikalische Zusammenhänge parametrisiert, z.B. bei der Beschreibung der Turbulenz und der Berechnung der Mischungsschichthöhen. Diese Modellannahmen beinhalten Unsicherheiten.

5. Modellvereinfachungen

Bei jedem Modell müssen Vereinfachungen getroffen werden. Bei einem Modellgebiet dieser Größe ist beispielsweise die Berücksichtigung von Gebäuden bei vertretbarem Rechenaufwand nicht möglich. Außerdem müssen für unbekannte Eingangsdaten (Quellhöhen, Straßenbreiten) plausible Werte abgeschätzt werden.

6. Zeitliche und räumliche Auflösung

Grundsätzlich beträgt die zeitliche Auflösung der Konzentrationsfelder 30 min und die horizontale räumliche Auflösung 10 m. Zu beachten ist allerdings, dass in einem Gebiet dieser Größe der Gebäudeeinfluss nicht berücksichtigt werden kann. Der Immissionskataster gibt zwar die flächenhafte Verteilung der Luftschadstoffbelastung wieder, für eine detaillierte Beschreibung sind allerdings kleinräumigere Simulationen mit genaueren Eingangsdaten notwendig. Im Allgemeinen ist die Unsicherheit bei der Berechnung von Langzeitmittelwerten wesentlich niedriger als bei der Berechnung von Kurzzeitmittelwerten, da sich Abweichung nach oben und nach unten aufheben können. Vor allem die Berechnung von maximalen Halbstundenmittelwerten ist aufgrund von variierenden Ausbreitungs- oder Umwandlungsbedingungen mit großen Unsicherheiten behaftet.

Insgesamt wird bei der Simulation eines Immissionskatasters versucht, einen „Erwartungswert“ so realistisch wie möglich wiederzugeben.

8 Literaturverzeichnis

- [1] RVS 04.02.12. Ausbreitung von Luftschadstoffen an Verkehrswegen und Tunnelportalen. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, Wien (2014)
<http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=0d62053f-00e2-4bb2-b27c-6fa94e493a50>.
- [2] BGBl. I Nr. 77/2010. Bundesgesetz, mit dem das Immissionsschutzgesetz-Luft und das Bundesluftreinhaltegesetz geändert werden und das Bundesgesetz über ein Verbot des Verbrennens biogener Materialien außerhalb von Anlagen aufgehoben wird. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien (2010)
https://www.ris.bka.gv.at/Dokument.wxe?Abfrage=BgblAuth&Dokumentnummer=BGBLA_2010_I_77.
- [3] BGBl. II Nr. 298/2001. Immissionsgrenzwerte und Immissionszielwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien (2001)
<https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR30001607/NOR30001607.html>.
- [4] D. Oettl. Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL ,Graz Lagrangian Model Vs. 13.3, Amt d.Stmk.Landesregierung, FA17C, Technische Umweltkontrolle, Bericht: Lu-03-13 (2013).
- [5] E. Romberg, R. Böisinger, A. Lohmeyer, R. Ruhnke und E. Röth. NO-NO₂-Umwandlung für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 56, 215-218 (1996).
- [6] U. Uhrner, D. Öttl, P. Sturm, D. Anfossi, S. Trini Castelli, P. Lercher, G. Inarelli and T. Pittini, Lagrangian particle model simulation to assess air quality along the Brenner transit corridor through the Alps, 28th NATO/CCMS, International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Leipzig 2006.
- [7] U. Uhrner, B.C. Lackner, R. Reifeltshammer, M. Steiner, R. Forkel and P.J. Sturm, Inter-Regional Air Quality Assessment, - Bridging the Gap between Regional and Kerbside PM Pollution, Results of the PMinter Project, VKM-THD Mitteilungen, Volume 98, Verlag der Technischen Universität Graz, ISBN: 978-3-85125-364-1, 2014.
- [8] U. Uhrner in: D. Heimann, M. Clemente, X. Olny, J. Defrance, P. Suppan, S. Trini Castelli, P. Lercher, U. Uhrner, D. Zardi, P. Seibert, F. Obleitner, Traffic Noise and Related Health Effects in the Alpine Space, ISBN 978-88-8443.208-7, 335p, 2007.
- [9] Dietmar Oettl Benutzerhandbuch GRAL Benutzeroberfläche 15.4, 1-78 (2015).
- [10] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2010 (Juni 2011).
- [11] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2011 (Juni 2012).
- [12] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2012 (Juni 2013).

[13] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2013 (Juni 2014).

[14] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2014 (Juli 2015).

[15] J.H. Seinfeld und S.N. Pandis. From Air Pollution to Climate Change (1998).

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellerte und mittels Passivsammlermessungen angepasste NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel.	7
Abbildung 2: Berechnungsgebiet für die Schadstoffausbreitung, ca. 24 km x 32 km.	9
Abbildung 3: Relativer Tagesgang der Emissionsquellen.	12
Abbildung 4: Relativer Jahrgang der Emissionsquellen.	13
Abbildung 5: Empirischer Zusammenhang zwischen 98 Perzentil NO ₂ und dem maximalen Halbstundenmittelwert von NO ₂ [1]	17
Abbildung 6: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort St. Johann im Pongau.	20
Abbildung 7: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort St. Johann im Pongau.	20
Abbildung 8: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Stabilitätsklasse am Standort St. Johann im Pongau.	21
Abbildung 9: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen mit katabatischer Ausprägung am Standort St. Johann im Pongau.	21
Abbildung 10: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen mit anabatischer Ausprägung am Standort St. Johann im Pongau. <i>NB: E/Ost ist hier falsch zugeordnet.</i>	22
Abbildung 11: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort St. Johann im Pongau.	22
Abbildung 12: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Bischofshofen.	23
Abbildung 13: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort Bischofshofen.	24
Abbildung 14: Mittlere Häufigkeit der Haupt-Windrichtungen mit katabatischer Ausprägung am Standort Bischofshofen.	24
Abbildung 15: Mittlere Häufigkeit der Haupt-Windrichtungen mit anabatischer Ausprägung am Standort Bischofshofen.	25
Abbildung 16: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort Bischofshofen. ...	25

Abbildung 17: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort St. Veit.	26
Abbildung 18: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort St. Veit.	27
Abbildung 19: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen mit katabatischer Ausprägung am Standort St. Veit.	27
Abbildung 20: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen mit anabatischer Ausprägung am Standort St. Veit.	28
Abbildung 21: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort St. Veit.....	28
Abbildung 22: Lage der Passivsammler im Gebiet St. Johann.....	31
Abbildung 23: Anteil der Quellgruppen an den NO _x -Emissionen im Untersuchungsgebiet ...	33
Abbildung 24: Anteil der Quellkategorien an den NO _x -Emissionen im Untersuchungsgebiet	33
Abbildung 25: NO _x -Punktquellen im Untersuchungsgebiet.....	35
Abbildung 26: NO _x -Linienquellen Im Untersuchungsgebiet	36
Abbildung 27: NO _x -Flächenquellen im Untersuchungsgebiet	37
Abbildung 28: Vergleich der Windrosen für St. Johann im Pongau, Messung (18 m) rechts.	38
Abbildung 29: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen an der Station St. Johann im Pongau Messung (links) gegen Simulation (rechts).....	39
Abbildung 30: Vergleich der Windrosen für Bischofshofen, Messung links, Simulation rechts.	39
Abbildung 31: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen an der Station Bischofshofen im Pongau Messung (links) gegen Simulation (rechts).....	39
Abbildung 32: Vergleich der Windrosen für St. Veit, Messung links, Simulation rechts.	40
Abbildung 33: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen an der Station St. Veit Messung (links) gegen Simulation (rechts).	40
Abbildung 34: Exemplarisches Strömungsfeld für stabile Schichtungsverhältnisse (AKLA 7), initialisiert mit Wind aus 185° und 0.75 m/s.	41
Abbildung 35: Exemplarisches Strömungsfeld für neutrale Schichtungsverhältnisse (AKLA 4), initialisiert mit Wind aus 315° und 1.5 m/s.	42

Abbildung 36: Exemplarisches Strömungsfeld für instabile Schichtungsverhältnisse (AKLA 2), initialisiert mit Wind aus 345° und 2.5 m/s.	43
Abbildung 37: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Punktquellen.	45
Abbildung 38: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – PKW, Innerorts und Außerorts.	46
Abbildung 39: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - LKW, Innerorts und Außerorts.	47
Abbildung 40: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - PKW, Autobahn.	48
Abbildung 41: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - LKW, Autobahn.....	49
Abbildung 42: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Kleinverbraucher & Haushalte.....	50
Abbildung 43: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Traktoren.....	51
Abbildung 44: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Pistenwalzen.	52
Abbildung 45: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Flächenverkehr.	53
Abbildung 46: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Bahn.	54
Abbildung 47: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung.	55
Abbildung 48: Modellierte Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen - JMW NO _x	56
Abbildung 49: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Ehrensberger Süd.....	57
Abbildung 50: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Ehrensberger Nord.	57
Abbildung 51: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Tenneck Eisenwerk.	58
Abbildung 52: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – St. Veit Schule.	59
Abbildung 53: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Bischofshofen Friedhof.....	59

Abbildung 54: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – St. Veit Kurpark.	59
Abbildung 55: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – St. Veit Marktplatz.....	60
Abbildung 56: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – St. Johann Urreiting.	60
Abbildung 57: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Schwarzach Bundesstrasse.....	61
Abbildung 58: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – St. Johann Bundesstrasse.....	61
Abbildung 59: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – St. Johann Palfner Dörfel 1.....	62
Abbildung 60: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – St. Johann Palfner Dörfel 2.....	62
Abbildung 61: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – St. Johann Palfner Dörfel 3.....	63
Abbildung 62: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Lend Buchberg.	63
Abbildung 63: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Werfenweng Gemeindeamt.	64
Abbildung 64: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Werfenweng Landhaus.....	64
Abbildung 65: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Werfenweng Ruhdorf.....	65
Abbildung 66: Modellerte NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel.....	66
Abbildung 67: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ -Jahresmittelwerten..	68
Abbildung 68: Vergleich zwischen gemessenen und um Faktor 1.5 korrigierten modellierten NO ₂ -Jahresmittelwerten.....	68
Abbildung 69: Vergleich zwischen gemessenen, modellierten und korrigierten NO ₂ -Jahresmittelwerten.	69

Abbildung 70: Modellerte NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel – korrigiert und inklusive Vorbelastung.	70
Abbildung 71: Modellerte NO _x -Konzentration für den maximalen Tagesmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung.	72
Abbildung 72: Modellerte NO ₂ -Konzentration im maximalen Halbstundenmittel.	74
Abbildung 73: Passivsammler im Untersuchungsgebiet Salzburg St. Johann.	87

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Freisetzungshöhen der Flächenquellen	12
Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte nach IG-L in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13
Tabelle 3: Grenzwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation [3] in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14
Tabelle 4: Definition der Quellgruppen	14
Tabelle 5: Parameter für die NO ₂ -Umwandlungsfunktion abgeleitet aus österreichischen Datensätzen	16
Tabelle 6: Passivsammlermessungen im Untersuchungsgebiet	29
Tabelle 7: NO _x -Emissionen im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2010.....	32
Tabelle 8: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den JMW NO ₂	71
Tabelle 9: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den HMW _{max} NO ₂	75
Tabelle 10: Emissionen aller verwendeten Punktquellen im Untersuchungsgebiet.....	86
Tabelle 11: Parameter für die Strömungssimulationen	88
Tabelle 12: Parameter für die Ausbreitungsrechnungen	88

11 Anhang

Emissionen

Tabelle 10: Emissionen aller verwendeten Punktquellen im Untersuchungsgebiet

Name	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	NOx [kg/h]
Aluminiumwerk Lend	428500	239985	35	0.523
Aluminiumwerk Lend	428712	239926	46	0.582
Aluminiumwerk Lend	429230	239740	10	0.022
Bioenergie Pongau - Bischofshofen	441473	253848	10	0.677
Bioenergie Wagrain GmbH	446457	243964	10	0.956
Eisenwerk Sulzau-Werfen	438180	261620	36	0.142
Hackschnitzelwerk Pfarrwerfen	440434	257605	14	0.350
Heizwerk St. Johann Alpendorf	443260	243677	10	0.389
Holzwärme Salzach Pongau Gen.m.b.H.	437618	242677	10	1.249
Krankenhaus Schwarzenberg	436460	242500	21	0.045
Liebherr	441760	251320	11	0.059
PAM Pongauer Asphaltmischanlage	437192	264662	38	0.146
Salzburger Lieferasphalt	438075	266427	31	0.548

Passivsammler

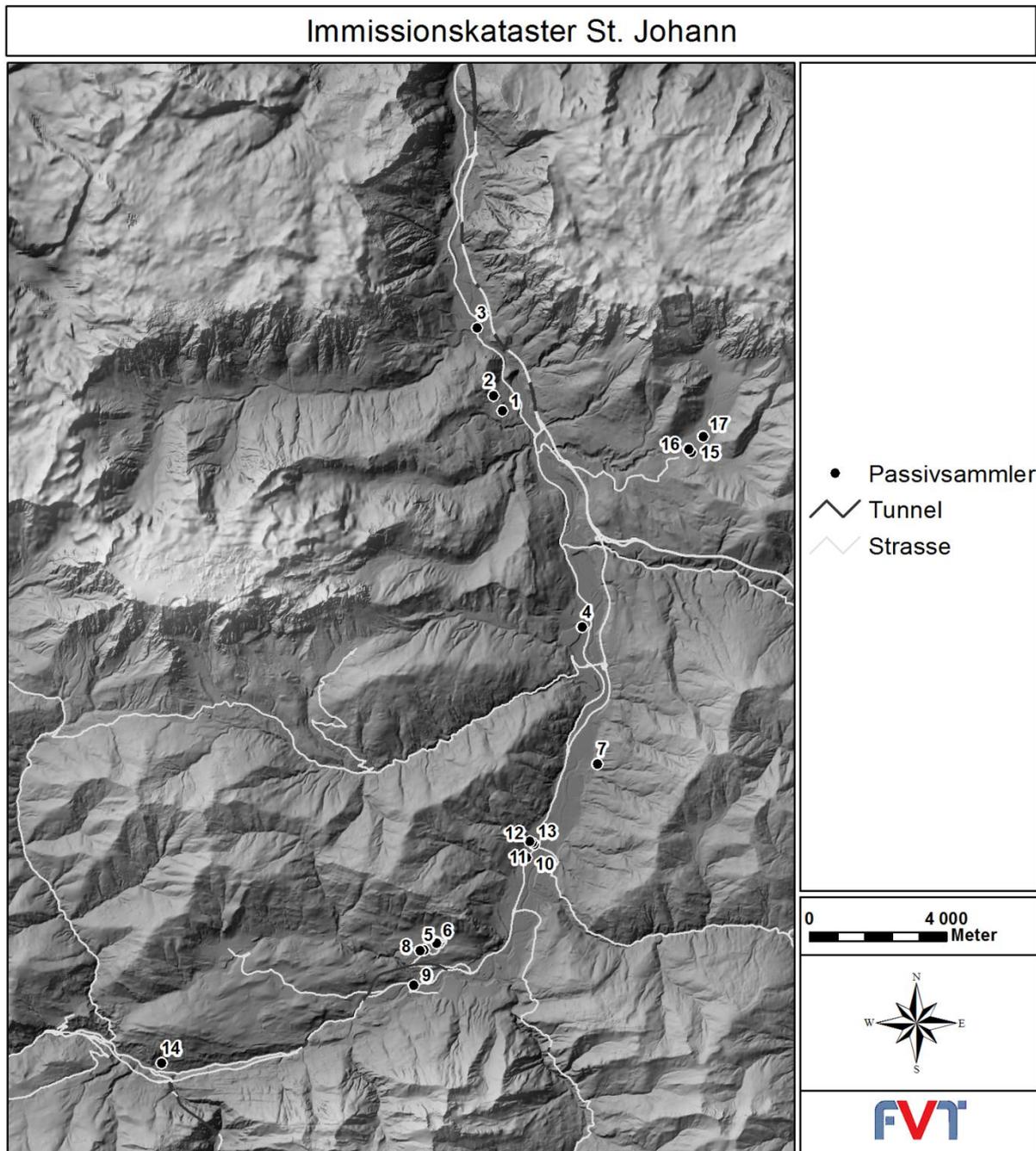


Abbildung 73: Passivsammler im Untersuchungsgebiet Salzburg St. Johann

Parameter für die Ausbreitungsmodellierung

Tabelle 11: Parameter für die Strömungssimulationen

Parameter Strömungssimulation	
Modell	GRAMM
Version (YY_MM)	gramm220615_Inx
Topographiedaten	Digitales Geländemodell Salzburg
Auflösung	10 m
Größe Modellgebiet	32x24 km
Horizontales Gitter	200 m
Höhe unterste Zelle	10 m
Stretchingfaktor	1.4
Initialisiert mit Messstation	St. Johann im Pongau
Koordinaten	455652 / 249267
Projektion	MGI Austria GK M31
Seehöhe	393 m – 1150 m
Auswertezeitraum	01. Jänner 2012 bis 31. Dezember 2012
Zeitliche Auflösung	HMW
Windmesser	-
Höhe über Grund	10 m
Methodik Ausbreitungsklassen	ÖNORM M 9440
Rauhigkeitslänge	Corine-Daten

Tabelle 12: Parameter für die Ausbreitungsrechnungen

Parameter Ausbreitungsmodell	
Modell	GRAL
Version (YY_MM)	15_06
Größe Modellgebiet	24x32km
Horizontales Gitter	10 m
Vertikales Gitter	2 m
Auswerteebene	3 m
Rauhigkeitslänge	landuse
Gebäudeeinfluss	nein