

**Immissionsberechnungen
für Hallein-A10 für verschie-
dene Szenarien von
Stickstoffoxid-
Emissionsfaktoren je
Euroklasse 2015-2020**

Dr. Jürg Thudium
17.11.2016 / 5293.60

Oekoscience AG

Postfach 452
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310
Thudium@oekoscience.ch

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Erwägungen zu den Emissionsfaktoren für Stickoxide	2
3. Stickstoffoxid-Emissionsfaktoren für die Szenarien	3
4. Die berechneten Szenarien	5
5. Ergebnisse der Szenarien mit Fazit	6
6. Zusammenfassung	10
7. Literatur	11

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5.1: NO ₂ -Jahresmittel in den EFA-Szenarien für die Station Hallein (A10), 2015-2020.	6
Abbildung 5.2: NO _x -Jahresmittel in den EFA-Szenarien für die Station Hallein (A10), 2015-2020.	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: In den Szenarien verwendete NO _x -Emissionsfaktoren (EFA) für Diesel-Pkw und Diesel-Lieferwagen (Lfw-D) Euro 5 und Euro 6 (Szenarientitel: s. oben):	4
Tabelle 3.2: In den Szenarien verwendete NO ₂ -Emissionsfaktoren (EFA) für Diesel-Pkw und Diesel-Lieferwagen (Lfw-D) Euro 5 und Euro 6 (Szenarientitel: s. oben):	4
Tabelle 5.1: Dokumentation der Szenarienergebnisse:	9

1. Einleitung

Mit Szenarienrechnungen wurde evaluiert, welchen Immissionseffekt an der Messstelle Hallein-A10 die Abweichungen der 'Real-world'-Emissionsfaktoren von den Grenzwerten für die Typprüfungen (Type-Approval) in den Jahren 2015, 2018 und 2020 zur Folge haben.

Das gegenwärtige Type-Approval-Verfahren (TA) beruht auf dem NEDC (new european driving cycle), ein Test auf dem Rollenstand; er ist nicht repräsentativ für das reale Fahrverhalten, bedingt vor allem durch die Softwaresteuerung moderner Fahrzeuge, aber auch durch die Art des Tests.

Im Moment ist ein WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures) in Ausarbeitung, der aber auch ein Rollenstandstest ist, an den sich Software anpassen kann.

Es gibt Intentionen, die TA durch ein RDE-Verfahren (real drive emissions, ein Onboard-Messsystem) zu ersetzen, wie in einem Beitrag von TNO an einem Hearing in Brüssel im Mai 2016 erwähnt wurde. Auch bei einem solchen Verfahren besteht die Frage, wie die neuen Grenzwerte festgelegt werden.

2. Erwägungen zu den Emissionsfaktoren für Stickoxide

Dass die realen Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs von den Grenzwerten der Typprüfungen abweichen, ist seit langem bekannt. Grundsätzlich sind zwei Arten von Eingriffen in die optimale Abgasreinigung zu unterscheiden:

- A.** Werkseitige Eingriffe: Die Software von Euro5- und Euro6-Fahrzeugen kann offensichtlich Typprüfzyklen erkennen und eine intensive Abgasreinigung durchführen, die sonst nicht in dieser Masse greift. Ebenso können bei tieferen Temperaturen Teile der Abgasreinigung außer Betrieb sein. Auch andere Manipulationen sind möglich. Diese Eingriffe betreffen vor allem Pkw, Lieferwagen und Kleinbusse, da dort die Typprüfung bis anhin nur aus dem Fahrzyklus NEDC besteht. Die Typprüfung für EuroVI-Fahrzeuge des Schwerverkehrs sieht hingegen neben den Labormessungen auch einen 'Real-World'-Test auf der Straße vor [TNO, 2015]. Inwieweit solche Tests auch wiederum von Software erkannt werden könnte, wird bislang nicht diskutiert.
- B.** Benutzerseitige Eingriffe: Hier ist 'Chiptuning' denkbar, um das Abgasreinigungssystem teilweise zu unterlaufen. Z.B. sollen gemäß einer Mitteilung von [Transport & Environment, 2016] etwa 20% der in Deutschland verkehrenden Lkw eine in Osteuropa entwickelte Abgasmanipulation enthalten.

Zu benutzerseitigen Eingriffen gibt es keine belastbaren Daten, Messungen etc. Aus diesem Grunde wurden in den hier präsentierten Szenarien nur auf vorhandene Messungen von NO_x-Emissionsfaktoren abgestellt, also auf Messungen entsprechend den NEDC und CADC, d.h. auf werksseitige Eingriffe gemäß A.

Es soll auch an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, dass die NO_x-Immissionen an straßennahen Standorten seit Jahren weniger abnehmen, als sie gemäß der Reduktion der berechneten NO_x-Emissionen sollten. Als Beispiel sei eine neuere Untersuchung zur Inntalautobahn A12 aufgeführt: Dort wurden die NO_x-Emissionen auf Basis von Stundenwerten des Verkehrs und der Fahrgeschwindigkeiten und des HBEFA3.2 von 2010-2016 den Immissionen einer nahe der A12 gelegenen Messstation gegenübergestellt. Das HBEFA3.2 basiert auf den CADC und soll die Abweichungen von den Typprüfungen mit abbilden.

In ganz Tirol beträgt der Anteil des Verkehrs 72% an den Stickoxidemissionen (UBA, 2013). Im Unterinntal mit der A12 dürfte dieser Anteil 80-90% betragen. Die Messstelle an der A12 liegt abgesehen von der A12 in der grünen Wiese,

was bedeutet, dass weit über 90% der dortigen NO_x-Immissionen von der A12 stammen, und auch der kleine Rest unterliegt der Flottenmodernisierung, der Erneuerung von Feuerungen etc. Diese Ausführungen bedeuten, dass das Verhältnis zwischen NO_x-Immissionen und Emissionen über die Jahre konstant sein muss, nur moduliert durch die Witterung. Dies ist aber nicht der Fall: Von 2010-2016 ist dieses Verhältnis kontinuierlich um einen Viertel angewachsen. Das bedeutet, dass die Emissionsreduktion der A12 von 2010 bis 2016 vom HBEFA3.2 um etwa ein Viertel überschätzt worden ist. Dies bedeutet, dass man sich bei Zukunftsszenarien nicht nur auf das HBEFA3.2 stützen sollte, sondern dass die Analyse von Immissionsmessungen weiterhin eminent wichtig ist.

3. Stickstoffoxid-Emissionsfaktoren für die Szenarien

In den Szenarien werden die Emissionsfaktoren (EFA) für NO_x und NO₂ von Diesel-Pkw und Diesel-Lieferwagen (Lfw) je Euroklasse 5 und 6 variiert. Die EFA des Schwerverkehrs werden nicht variiert, da Messungen von EuroVI-Fahrzeugen von verschiedenen Institutionen zu ähnlichen Ergebnissen geführt haben (s. auch Kap. 2). Die EFA von Benzin-Pkw und Lfw halten die Grenzwerte der Typprüfungen gut ein und stellen von daher kein Problem dar.

Es wurden vier Sets von NO_x- und NO₂-EFA für Diesel-Pkw und Lfw postuliert, die im Folgenden diskutiert werden:

- 1. EFA 'real':** Die Messungen für das HBEFA3.2 beinhalteten nur wenige Lfw und wenige Euro6-Pkw aus dem Hochpreissegment [TUG, 2013]. Die Euro6-Prototypen scheinen niedrigere EFA aufgewiesen zu haben als spätere Serienmodelle [TNO, 2013]. Der von TNO für ihr Luftqualitätsmodell SRM2 verwendete NO_x-EFA für Autobahn 120 km/h [TNO, 2013] scheint die gesamten Euro6-Messungen nun besser abzubilden und wird hier im Sze 'real' verwendet. Die Lfw-Messungen für Euro 5 von [TNO 2015] zeigen im Mittel über verschiedene Zyklen einen NO_x-EFA als das 2.3-fache des NO_x-EFA für Euro5-Pkw. Daraus wird ein korrigierter EFA für Lfw Euro5 abgeleitet, und der gleiche Faktor wird auch für Euro6 Lfw/Pkw angewandt.
- 2. EFA des HBEFA3.2** für eine Referenzgeschwindigkeit von 122 km/h. Die relative Geschwindigkeitsabhängigkeit der EFA wurde ebenfalls dem HBEFA3.2 entnommen und gilt für alle Szenarien außer dem 'GW'-Szenarium (s. später).
- 3. EFA 'No manip.':** In diesem Szenarium wird der Effekt der EFA-Manipulation für den NEDC rückgängig gemacht, unabhängig, ob mit NEDC der Grenzwert

eingehalten wurde oder nicht. Dazu wurden die in [TNO 2016] veröffentlichten Emissionsmessungen für Euro5- und Euro6-Pkw für CADC und NEDC herangezogen. Die EFA 'real' wurden mit dem Verhältnis CADC/NEDC aus den Messungen dividiert, als Näherung dafür, 'was möglich wäre'. Dieses Verhältnis ist 2.7 für Euro5-Pkw und 3 für Euro6-Pkw. Diese Verhältnisse wurden auch auf die Lfw übertragen.

- 4. Grenzwerte der Typprüfungen (GW):** Für die Lfw wurden dabei die Mittelwerte für die Kategorie N1, Klasse II und III verwendet. Die Klasse I beinhaltet Lfw bis zu einem Gewicht von 1305 kg, diese Fahrzeuge werden in der Verkehrszählung meist den Pkw zugerechnet (und haben die gleichen Grenzwerte wie sie).

Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten EFA.

Tabelle 3.1: In den Szenarien verwendete NO_x-Emissionsfaktoren (EFA) für Diesel-Pkw und Diesel-Lieferwagen (Lfw-D) Euro 5 und Euro 6 (Szenarientitel: s. oben):

EFA NO _x [g/km]	'real'	HBEFA3.2	'no manip.'	GW
D-Pkw Euro 5	0.691	0.691	0.256	0.180
D-Pkw Euro 6	0.437	0.243	0.146	0.080
D-Lfw Euro 5	1.589	1.379	0.589	0.258
D-Lfw Euro 6	1.005	0.510	0.335	0.115

Für den NO₂-Anteil in den NO_x-Emissionen gibt es keine gesetzlichen Vorgaben im Typprüfungsverfahren. Der NO₂-Anteil je Euroklasse und Fahrzeugkategorie wurde für alle Szenarien aus dem HBEFA3.2 übernommen. Dies führt zu folgenden NO₂-EFA:

Tabelle 3.2: In den Szenarien verwendete NO₂-Emissionsfaktoren (EFA) für Diesel-Pkw und Diesel-Lieferwagen (Lfw-D) Euro 5 und Euro 6 (Szenarientitel: s. oben):

EFA NO ₂ [g/km]	'real'	HBEFA3.2	'no manip.'	GW
D-Pkw Euro 5	0.242	0.242	0.090	0.063
D-Pkw Euro 6	0.131	0.073	0.044	0.024
D-Lfw Euro 5	0.556	0.483	0.206	0.090
D-Lfw Euro 6	0.352	0.179	0.117	0.040

4. Die berechneten Szenarien

Basisjahr für die Szenarien ist 2015, was Verkehrsaufkommen und Immissionen (und damit die Witterungsbedingungen) betrifft. Die Immissionsmessstelle ist Halblein-A10, das Verkehrsaufkommen bezieht sich auf die A10. Die Szenarien wurden für 2015, 2018 und 2020 gerechnet. Um den Effekt unterschiedlicher Emissionsfaktoren (EFA) je Euroklasse isolieren zu können, wurde postuliert, dass das Verkehrsaufkommen von 2015 . 2020 stabil bleiben soll (Nullwachstum) und dass die Euroklassenverteilung je Fahrzeugkategorie und Jahr in allen Szenarien den Postulaten des HBEFA3.2 entsprechen soll mit Ausnahme der schweren Nutzfahrzeuge.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen wurde für alle Szenarien auf die Mauterhebungen der Asfinag 2015/16 abgestellt; danach gab es . im Gegensatz zum HBEFA3.2 . praktisch keine Lkw der Klassen Euro0-II mehr, dafür mehr EuroV. Konkret wurde das Prognosemodell der TU Graz für die A12 verwendet, allerdings weniger EuroVI (so wie auch im HBEFA3.2), dafür mehr EuroV.

Die Szenarien unterscheiden sich demnach nur durch die EFA der Euroklassen 5 und 6 der Diesel-Pkw und Diesel-Lfw.

Neben dem **Basisszenarium 'real'** wurden 4 verschiedene Szenarien gerechnet:

- **Sze HB3.2:** Die EFA der Euroklassen 5 und 6 der Diesel-Pkw und Diesel-Lfw entsprechen genau dem HBEFA3.2.
- **Sze 'no manip.' Euro 6:** Die EFA der Euroklasse 6 der Diesel-Pkw und Diesel-Lfw entsprechen den diesbzgl. Werten in [Tabelle 3.1](#) und [Tabelle 3.2](#).
- **Sze 'no manip.' Euro 5&6:** Die EFA der Euroklassen 5 und 6 der Diesel-Pkw und Diesel-Lfw entsprechen den diesbzgl. Werten in [Tabelle 3.1](#) und [Tabelle 3.2](#).
- **Sze 'GW':** Die EFA der Euroklassen 5 und 6 der Diesel-Pkw und Diesel-Lfw entsprechen bei der Referenzgeschwindigkeit 122 km/h den Grenzwerten der Typprüfungen (s. [Tabelle 3.1](#) und [Tabelle 3.2](#)). Die EFA bei Referenzgeschwindigkeit 122 km/h sind i.A. etwas niedriger als die Mittelwerte im Zyklus 'CADC Motorway'.

Zunächst werden die Emissionen an NO_x und NO₂ aus den Stundenwerten des Verkehrsaufkommens je Fahrzeugkategorie und der realen Fahrgeschwindigkeit der Pkw bestimmt. Sodann werden die Immissionen an NO_x und NO₂ mithilfe des Taumodells (empirisches Ausbreitungsmodell) berechnet. Das nächste Kapitel zeigt die Ergebnisse.

5. Ergebnisse der Szenarien mit Fazit

Für die insgesamt 5 Szenarien wie beschrieben in Kap. 3 und 4 wurden die Emissionen und Immissionen an NO_x und NO₂ für die Jahre 2015, 2018 und 2020 berechnet. Für die dazwischenliegenden Jahre wurde interpoliert. Die nächste Abbildung zeigt die Ergebnisse für die Immissionen an NO₂.

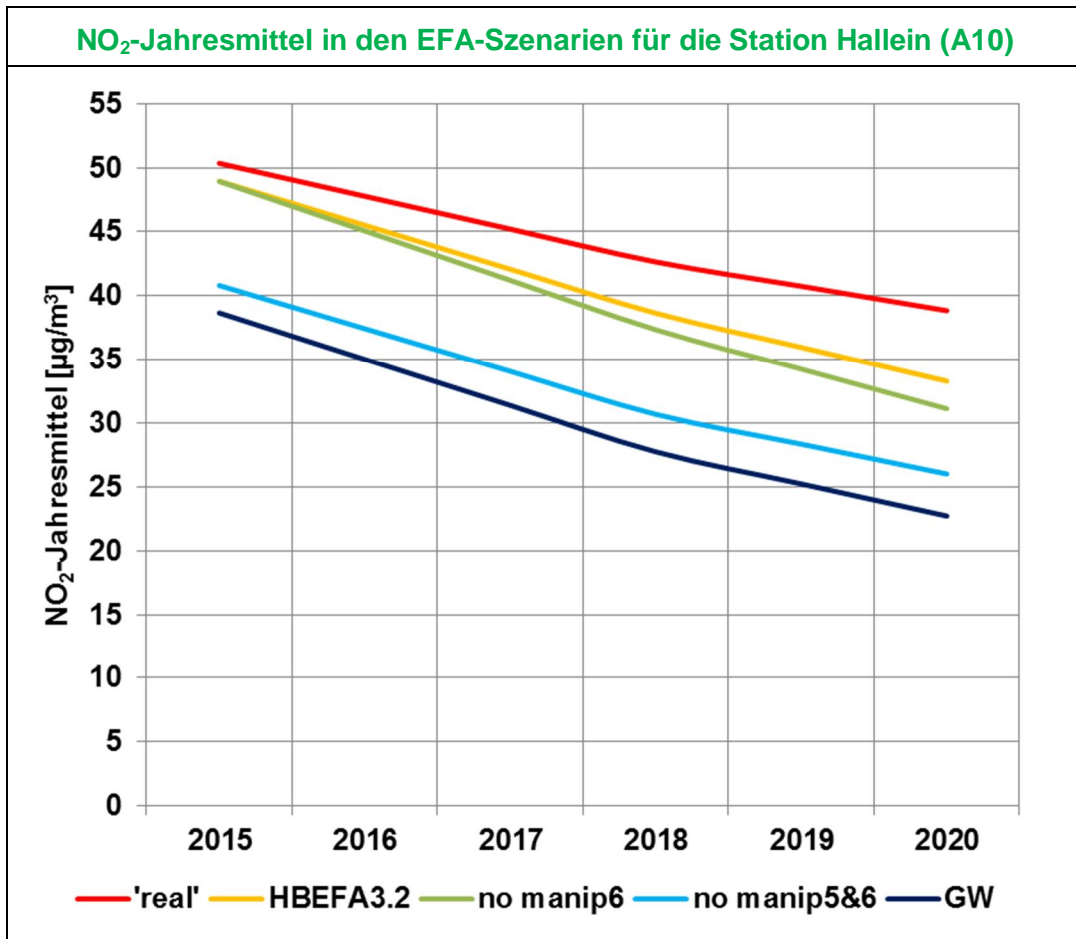


Abbildung 5.1: NO₂-Jahresmittel in den EFA-Szenarien für die Station Hallein (A10), 2015-2020.

Auch im 'real'-Szenarium soll das NO₂-Jahresmittel bis 2020 unter den EU-Grenzwert von 40 µg/m³ fallen, wegen der erwarteten beträchtlichen Verbesserungen der EuroVI/6-Fahrzeuge beim Leicht- und Schwerverkehr.

Nach HBEFA3.2 würde die Grenzwerteinhaltung bereits im 2018 erreicht; für die Euro5&6-Lfw und die Euro6-Pkw waren da optimistischere Werte angenommen worden als neuere Messungen ergeben haben.

Einen ähnlichen Verlauf wie nach HBEFA3.2 würden die NO₂-Immissionen nehmen, wenn . ausgehend vom 'real'-Szenarium . auf Fahrzyklus-Manipulationen bei den Euro6-Fahrzeugen des Leichtverkehrs verzichtet würde.

Noch deutlich besser wären die NO₂-Werte, wenn auf Fahrzyklus-Manipulationen bei den Euro5&6-Fahrzeugen des Leichtverkehrs verzichtet würde bzw. verzichtet worden wäre.

Würden schließlich alle Euro5- und Euro6-Fahrzeuge des Leichtverkehrs (Pkw und Lfw) auf der Autobahn bei Referenzgeschwindigkeit 122 km/h die Grenzwerte der Typprüfungen (Euro5-Pkw 0.18 g/km, Euro6-Pkw 0.08 g/km, Lfw entsprechend) einhalten, so wäre der Grenzwert des NO₂-Jahresmittels bei Hallein schon 2015 eingehalten gewesen; 2020 würden noch 23 µg/m³ NO₂ erreicht.

Durch Verzicht auf Manipulationen bei Euro5&6-Fahrzeugen könnte auch der Grenzwert nach IG-L von 30 µg/m³ ab etwa 2018 eingehalten werden.

Alle diese Szenarienschätzungen gelten unter den folgenden Bedingungen:

- Nullwachstum des Verkehrs;
- In den Serienproduktionen von Euro6/VI-Fahrzeugen des Leicht- und Schwerverkehrs werden die Abgaswerte der bisherigen Messungen eingehalten.
- Es kommen keine benutzerseitigen Eingriffe in die Motoren wie z.B. Chip-tuning vor.

Basierend auf den Daten von 2010 wurden im Jahre 2011 Szenarien der NO₂-Immissionsentwicklung für Hallein-A10 von 2010-2015 abgeschätzt ("Zukunfts-szenarien der Stickstoffoxidemissionen und . Immissionen an der A10 bis 2015", Oekoscience, August 2011). Danach hätte im Jahr 2015 ein Jahresmittel von NO₂ von 44 µg/m³ (bei moderatem Verkehrswachstum) erreicht werden sollen, konkret war man bei 50 µg/m³. Ursache für diese Diskrepanz war eine zu optimistische Einschätzung der Reduktion der Emissionsfaktoren im HBEFA3.1. Vor diesem Hintergrund sind die oben formulierten Bedingungen zu sehen.

Die nächste Abbildung zeigt die Ergebnisse der Szenarien für die Immissionen an NO_x.

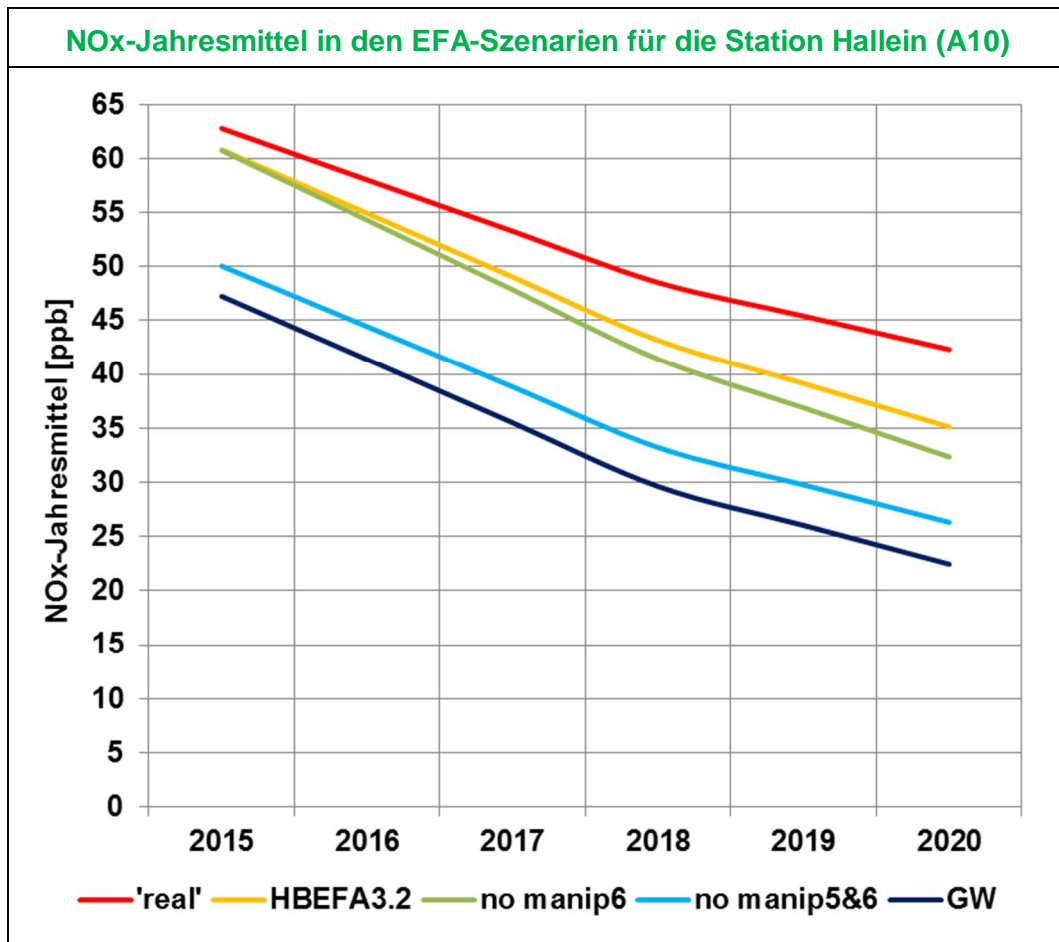


Abbildung 5.2: NOx-Jahresmittel in den EFA-Szenarien für die Station Hallein (A10), 2015-2020.

Der Verlauf ist beim NOx ähnlich wie beim NO₂, die relativen Änderungen sind aber durchwegs größer.

Auf der nächsten Seite werden die Szenarienergebnisse dokumentiert.

Tabelle 5.1: Dokumentation der Szenarienergebnisse:

SzeName	Kurzbeschreibung	Verkehrsentw.	E_NOx	E_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂
Flotten gem. HBEFA3.2 (Euro 0-V SNF wie A12/TUG)			Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	95%	95%
			g/km/h	g/km/h	ppb	µg/m ³	ppb	µg/m ³
G1.01.V1.15	'real'	Nullwachstum	1173	309	62.8	50.3	155	92
G1.01.V1.18	'real'	Nullwachstum	918	257	48.5	42.7	119	79
G1.01.V1.20	'real'	Nullwachstum	806	231	42.3	38.8	103	72
G2.01.V1.15	EFA=HB3.2	Nullwachstum	1133	297	60.8	49.0	150	89
G2.01.V1.18	EFA=HB3.2	Nullwachstum	810	223	43.2	38.6	106	71
G2.01.V1.20	EFA=HB3.2	Nullwachstum	661	185	35.1	33.3	86	61
G3.01.V1.15	no manip Euro6	Nullwachstum	1132	297	60.8	48.9	150	89
G3.01.V1.18	no manip Euro6	Nullwachstum	775	212	41.4	37.4	101	68
G3.01.V1.20	no manip Euro6	Nullwachstum	605	168	32.3	31.1	79	57
G4.01.V1.15	no manip Euro5&6	Nullwachstum	917	221	50.1	40.8	124	73
G4.01.V1.18	no manip Euro5&6	Nullwachstum	610	155	33.2	30.7	81	55
G4.01.V1.20	no manip Euro5&6	Nullwachstum	484	125	26.3	26.0	64	47
G5.01.V1.15	EFA=GW	Nullwachstum	861	202	47.3	38.7	117	69
G5.01.V1.18	EFA=GW	Nullwachstum	538	130	29.6	27.7	73	50
G5.01.V1.20	EFA=GW	Nullwachstum	406	100	22.5	22.7	55	41

6. Zusammenfassung

Mit Szenarienrechnungen wurde evaluiert, welchen Immissionseffekt an der Messstelle Hallein-A10 die Abweichungen der 'Real-world'-Emissionsfaktoren von den Grenzwerten für die Typprüfungen (Type-Approval) in den Jahren 2015, 2018 und 2020 zur Folge haben.

Die Szenarien beinhalteten verschiedene Varianten von 'Manipulationsverzichten' bis hin zur Einhaltung der Grenzwerte der Typprüfungen auch im realen Fahrverhalten (Autobahnfahrt mit 122 km/h).

Durch solche 'Manipulationsverzichte' könnten gemäß den Szenarienergebnissen markante Immissionsverminderungen an der Station Hallein erreicht werden, bis hin zur Grenzwerteinhaltung schon heute. Dies gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die Abgaswerte der bisherigen Messungen auch in den künftigen Serienproduktionen eingehalten werden, und dass es keine benutzerseitigen Eingriffe in die Motoren wie Chiptuning gibt.

7. Literatur

- TNO, 2013 Investigations and real world emission performance of Euro 6 light-duty vehicles. TNO-Mobility, NL-Delft.
- TNO, 2015 EMISSIONS OF NITROGEN OXIDES AND PARTICULATES OF DIESEL VEHICLES. TNO Earth, Life & Social Sciences, NL-Delft.
- TNO, 2016 NOx emissions of Euro 5 and Euro 6 diesel passenger cars . test results in the lab and on the road. TNO Earth, Life & Social Sciences, NL-Delft.
- TUG, 2013 Update of Emission Factors for EURO 5 and EURO 6 vehicles for the HBEFA Version 3.2. TU Graz, INSTITUTE FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND THERMODYNAMICS, A-Graz.
- Transport & Environment, 2016: Is this dieselgate 2.0? Transport & Environment, B-Brüssel.
- UBA, 2013 Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990- 2012. Regionalisierung der nationalen Emissionsdaten auf Grundlage von EU-Berichtspflichten. Umweltbundesamt, A-Wien.