Immissionsbasierte Untersuchung zu realen Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs für Stickoxide

Dr. Jürg Thudium
16.04.2018 / 5836.80

Oekoscience AG

Postfach 452
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310
Thudium@oekoscience.ch

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

2. Diskrepanzen zwischen Emissionen und Immissionen von Stickoxiden im Bereich von Hochgeschwindigkeitsstraßen 2

2.1. Mehrjährige Entwicklung 2

2.2. Sonntagsdiskrepanz 4

2.2.1. Absenkung der NOx-Emissionen und ï Immissionen sonntags 5

2.2.2. Einfluss des Hintergrundes auf die sonntägliche Absenkung der NOx-Immissionen 8

3. Retrospektive Aufhebung der Diskrepanzen zwischen Emissions- und Immissionsverlauf beim NOx 11

3.1. Methodik 11

3.2. Resultat bezüglich mehrjähriger Entwicklung 12

3.3. Resultat bezüglich Sonntagsdiskrepanz 14

4. Sensibilitätsanalyse bezüglich Pkw-Dieselanteil (A12) 16

5. Fazit 19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: NOx-Emissionen und ï Immissionen bei den Autobahnstandorten Vomp A12, Hallein A10 und Reiden A2(CH), 2009 ï 2016/17. 3

Abbildung 2.2: Relativer Tagesgang der NOx-Emissionen an Werktagen (Mo-Fr) und an Sonn- und Feiertagen (So&FT) sowie mittlere empirische I/E-Werte (Tau), Vomp 2015. 5

Abbildung 2.3: Absenkung der NOx-Emissionen und ï Immissionen an Sonn- und Feiertagen gegenüber Werktagen für Vomp A12, Hallein A10 und Reiden A2CH für 2009-2016, jeweils für die Tageszeit 10:30-16:30. 7

Abbildung 2.4: Mittlere sonntägliche Absenkung der NOx-Emissionen gegenüber Werktagen für B171 und A12, 2017. 9

Abbildung 3.1: Verlauf der NOx-Emissionen (nach HBEFA3.3 und korrigiert) und ï Immissionen montags-freitags (oben) sowie an Sonn- und Feiertagen (Mitte). Notwendige Zusatz-EFA zur Aufhebung der Diskrepanz in der mehrjährigen Entwicklung (unten). 2009-2017, Vomp A12 und Hallein A10. 13

Abbildung 3.2: Absenkung der NOx-Immissionen und der ï Emissionen (gemäß HBEFA3.3 und mit Zusatz-EFA gemäß Kap. 3.1 ['E wie I']) an Sonn- und Feiertagen (oben). Ganztägige Sonntagsdiskrepanz (Differenz der sonntäglichen Absenkungen der NOx-Immissionen und ï Emissionen über den ganzen Tag) für beide Fälle von Emissionsberechnungen (unten; Ekorr = 'E wie I'), Vomp A12 und Hallein A10, 2009-2017. 15

Abbildung 4.1: Mittlere Emissionsfaktoren (EFA) der Pkw für NOx, deutsche Autobahn (ländlich; D.A.) und A12 (gemäß TU Graz), 2009-2017. 17

Abbildung 4.2: Ganztägige Sonntagsdiskrepanz bei kleinerem Pkw-Dieselanteil sonntags, Vomp A12, 2009-2017. Gepunktete Kurven: wie Abbildung 3.2. Var.D&B: Kleinerer Dieselanteil sonntags. 17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Kennzahlen von A12 und B171 für 2017. PkwÄ: Leichtverkehr; LkwÄ: Schwerverkehr. 8

Tabelle 3.1: Mittelwerte der Zusatz-EFA zur Aufhebung der Diskrepanz in der mehrjährigen Entwicklung der NOx-Emissionen und ï Immissionen, 2009-2017, Vomp A12 und Hallein A10: 12

Tabelle 4.1: Trends in der mehrjährigen Entwicklung der NOx-Emissionen und ï Immissionen, 2009-2017, Vomp A12. Var.D&B: Kleinerer Dieselanteil der Pkw sonntags. 18

1. Einleitung

An der autobahnnahen Messstelle Vomp wie auch an anderen straßennahen Standorten an der A10 bzw. an der Schweizer A2 verringern sich die NOx-Immissionen an Sonn- und Feiertagen gegenüber Werktagen prozentual mehr als die NOx-Emissionen der Autobahn ('Sonntagsdiskrepanz'). Hintergrund-Immissionen von anderen Straßen, Feuerungen, Gewerbe und Industrie bieten offenkundig keine ausreichende Erklärung dafür. Mit einer Erhöhung der mittleren NOx-Emissionsfaktoren der schweren Nutzfahrzeuge (SoloLkw, Sattel- und Lastenzüge) jedoch erhöht sich die sonntägliche Absenkung der NOx-Emissionen und die Diskrepanz zur Absenkung der Immissionen verschwindet.

Bedeutender noch mag sein, dass von 2009-2016 die berechneten NOx-Emissionen der A12 deutlich mehr abgenommen haben als die gemessenen NOx-Immissionen; dies von Montag-Freitag, währenddem sich die Abnahmen der Emissionen und Immissionen an Sonn- und Feiertagen (mit weitgehender Absenz der Lkw) besser entsprechen. Die berechnete Emissionsentwicklung gemäß HBEFA3.3 steht also nicht im Einklang mit der Immissionsentwicklung. Die Immissionen bleiben höher als sie sollten.

Dies ist deshalb nicht nur ein fachliches Problem, weil es um Grenzwerteinhaltung ja oder nein geht.

In dieser Studie wurden die NOx-Emissionsfaktoren so variiert, dass die Diskrepanzen im Verlauf von NOx-Emissionen und ï Immissionen aufgehoben bzw. auf ein plausibles Maß reduziert wurden.

2. Diskrepanzen zwischen Emissionen und Immissionen von Stickoxiden im Bereich von Hochgeschwindigkeitsstraßen

An verschiedenen europäischen Autobahnen stehen Immissionsmessstationen in geringem Abstand von der Fahrbahn in einer verhältnismäßig emissionsschwachen Nahumgebung. Diese Immissionen stammen ganz überwiegend von der nahe vorbeiführenden Autobahn; es muss deshalb eine enge Beziehung zwischen den Emissionen der Autobahn und den Immissionen an der nahe liegenden Messstelle bestehen.

In dieser Beziehung zeigen sich aber Diskrepanzen bei den Stickoxiden. Dabei ist zu beachten, dass die Immissionen gemessen werden, die Emissionen jedoch aus dem Verkehrsaufkommen je Fahrzeugkategorie und den entsprechenden Emissionsfaktoren (EFA; mittlere Emission je Fahrzeug der entsprechenden Kategorie) berechnet werden. Die EFA entstammen typischerweise dem Handbuch HBEFA. Die Diskrepanzen betreffen einerseits die mehrjährige Entwicklung, andererseits die Absenkung an Sonntagen im Vergleich zu Werktagen.

2.1. Mehrjährige Entwicklung

Es werden die Jahre 2009-2017 betrachtet, mit allen Tageszeiten. Ausgangspunkt ist 2009. Auf der Basis von Jahresmitteln gibt es nun einen Verlauf der NOx-Emissionen und ï Immissionen, der weitgehend deckungsgleich sein sollte. Es gibt zwar die meteorologischen Einflüsse (insbesondere atmosphärische Inversionen), welche den Immissionsverlauf auch auf der Ebene Jahresmittel modulieren können. Aber über 8-9 Jahre hinweg wird sich das ausgleichen.

Bei den Immissionen besteht im Weiteren ein Hintergrund, hier definiert als Immission anderer Herkunft als die Autobahn. Im Verhältnis zu den von der Autobahn stammenden Immissionen ist dieser Hintergrund bei einer am Fahrbahnrand stehenden Messstation aber sehr klein. Aufgrund der technologischen Entwicklung (z.B. bei Heizungen) und umweltpolitischer Aktivitäten kann auch davon ausgegangen werden, dass sich die übrigen NOx-Emissionen in einer Region etwa ähnlich reduzieren wie diejenigen der Autobahn; dies gilt insbesondere für das unterrangige Straßennetz, das einen Hauptteil des Hintergrundes ausmacht. Aus

diesem Grund kann bei der mehrjährigen Entwicklung der NOx-Emissionen und ï Immissionen auf die Ausweisung eines Hintergrundes verzichtet werden.

Die nächste Abbildung zeigt den mehrjährigen Verlauf der NOx-Emissionen und -Immissionen für drei Autobahnstandorte in Österreich und der Schweiz.

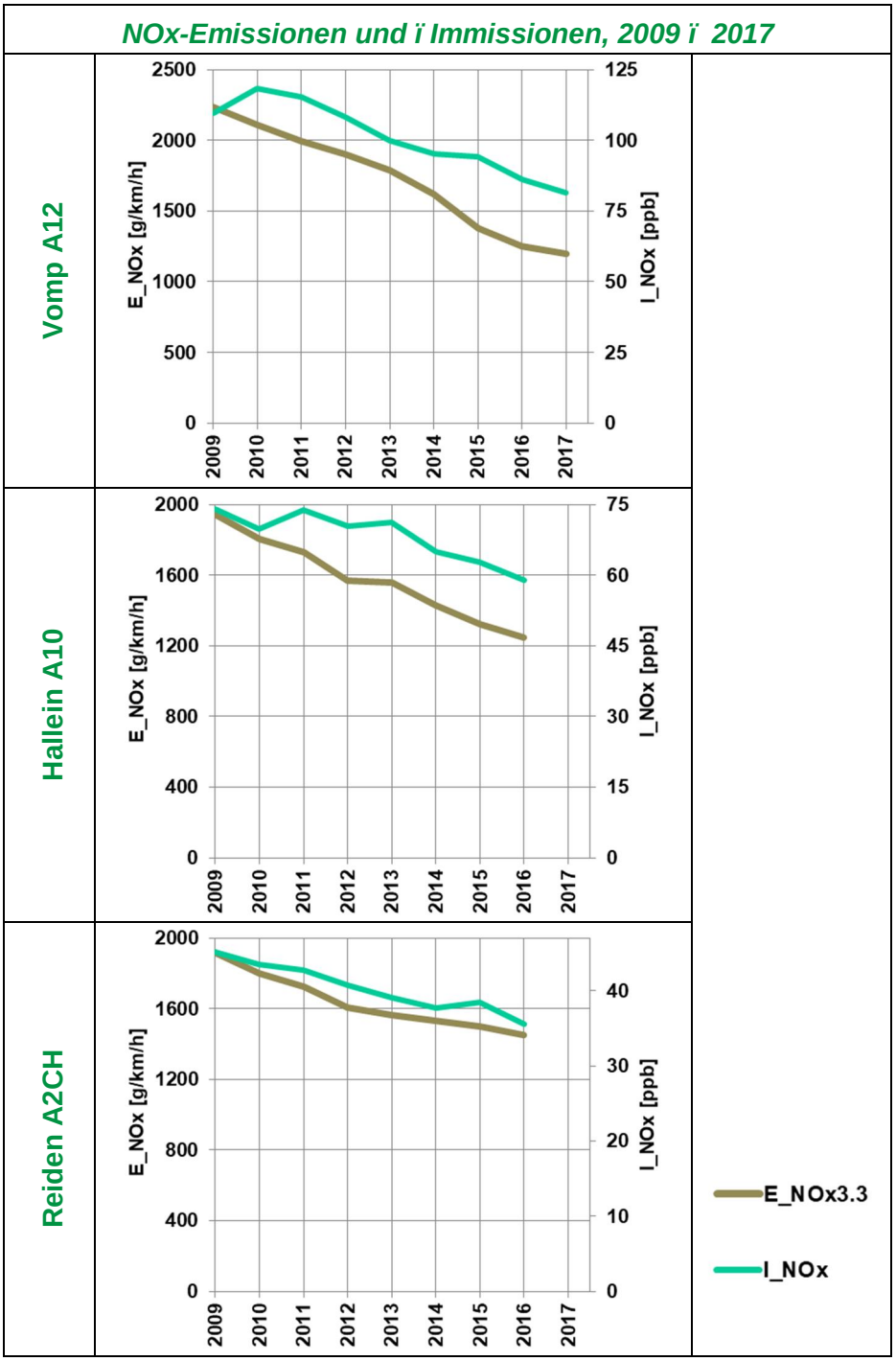

Abbildung 2.1: NOx-Emissionen und –Immissionen bei den Autobahnstandorten Vomp A12, Hallein A10 und Reiden A2(CH), 2009 – 2016/17.

Die mit dem Handbuch HBEFA 3.3 berechneten Emissionen sinken rascher ab als die gemessenen Immissionen. Prognosen auf Basis des HBEFA3.3 sind deshalb zu optimistisch.

2.2. Sonntagsdiskrepanz

An Sonn- und Feiertagen gibt es eine Absenkung der NOx-Emissionen der Straße (z.B. A12) und auch der Immissionen gegenüber werktags, weil dann die Lkw weitgehend fehlen. Typischerweise ist diese Absenkung zumindest an Autobahnen und Schnellstraßen mit erhöhter Geschwindigkeit bei den NOx-Immissionen deutlich größer als bei den NOx-Emissionen.

Zunächst sollen ein paar Definitionen festgelegt werden:

- Sonntags-Absenkung: Prozentuale Verminderung der Straßenemissionen bzw. der Immissionen an Sonn- und Feiertagen verglichen mit den Werktagen Mo-Fr. Verminderung der Immissionsbelastung aufgrund geringerer Emissionsaktivitäten v.a. der nahen Straße an Sonn- und Feiertagen
- Sonntags-Diskrepanz: Differenz zwischen den beiden Absenkungen an Sonn- und Feiertagen bei den Emissionen und Immissionen.
- Hintergrund: Immission an straßennaher Messstelle, welche nicht von dieser Straße stammt (aber durchaus von anderen Straßen, Feuerungen, Gewerbe é).

Die 'Absenkung' der Immissionen und Emissionen an Sonn- und Feiertagen ist ein relativer Wert, der sich wie folgt berechnen lässt:

$$A = \frac{W_S - W_W}{W_W}$$

Mit A : Absenkung;
W_S : Wert am Sonn- bzw. Feiertag;
W_W : Wert am Werktag Mo-Fr.

Für die 'Sonntags-Diskrepanz' kann es grundsätzlich zwei Gründe geben:

- Die Lkw emittieren durchschnittlich mehr als gemäß HBEFA3.3 (das würde bedeuten, in Wahrheit senken sich die Emissionen an Sonn- und Feiertagen mehr ab).

und/oder

- Der Hintergrund senkt sich am Wochenende prozentual stärker ab als die Gesamtimmissionen.

Der **Einfluss des Hintergrundes** (wie oben definiert) an der Messstelle Vomp kann nur sehr klein sein. Er wird in einem separaten Kapitel behandelt.

2.2.1. Absenkung der NOx-Emissionen und –Immissionen sonntags

Eine durchschnittliche Emissionseinheit verursacht an Sonn- und Feiertagen eine geringere Immission als werktags, weil werktags ein größerer Anteil der Emission am frühen Morgen anfällt bei schlechteren Ausbreitungsbedingungen. Die immissionsrelevanten Ausbreitungsbedingungen werden durch den mittleren Tagesgang des I/E-Verhältnisses ('Tau'-Werte) dargestellt. Wird dies mit dem relativen mittleren Tagesgang der NOx-Emissionen werktags und sonntags verknüpft, lässt sich ermitteln, welche Immissionen eine im durchschnittlichen Tagesgang freigesetzte Emissionseinheit werktags und sonntags zur Folge hat.

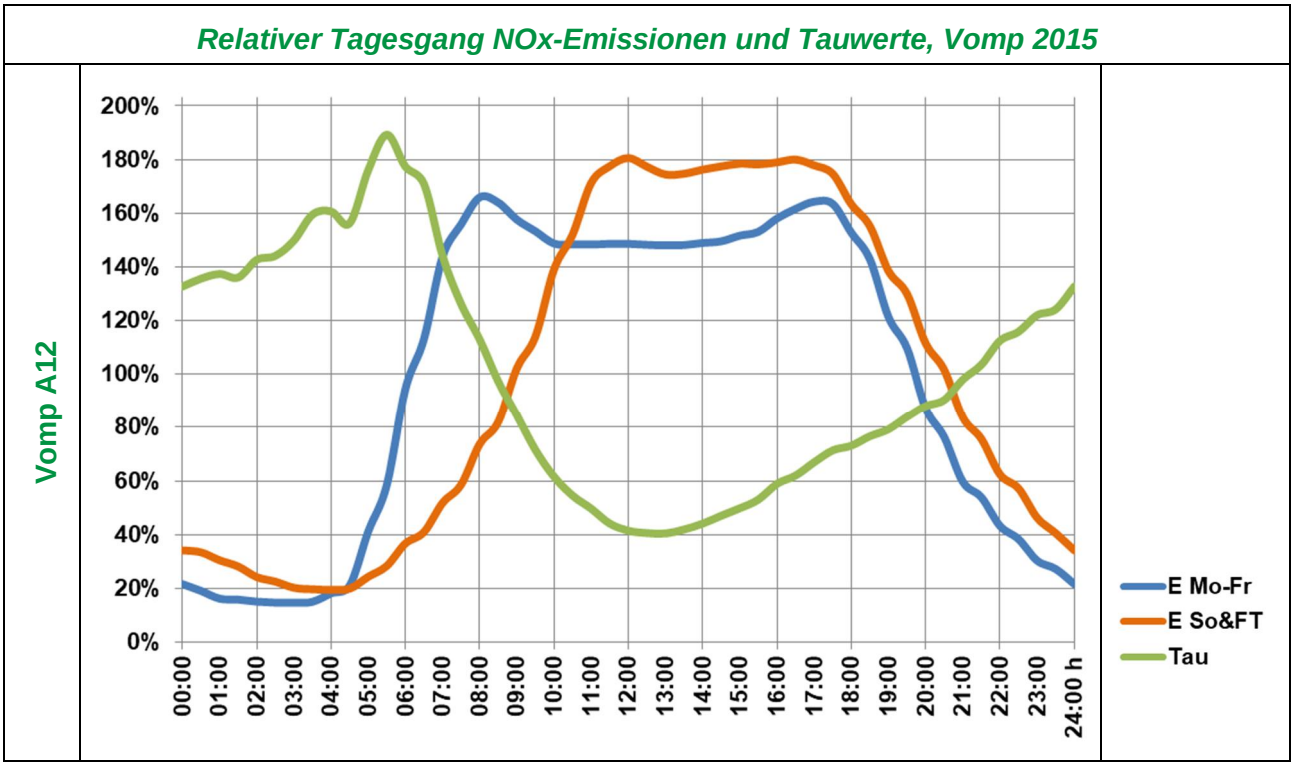

Abbildung 2.2: Relativer Tagesgang der NOx-Emissionen an Werktagen (Mo-Fr) und an Sonn- und Feiertagen (So&FT) sowie mittlere empirische I/E-Werte (Tau), Vomp 2015.

Danach hat eine im Laufe des gesamten Sonntags auf der A12 freigesetzte Emissionseinheit eine um 9% geringere Immission an der Messstelle Vomp zur Folge als wenn dies werktags geschieht. Jedoch sind die Immissionen gleich,

wenn die Freisetzung nur zwischen 10:30 und 16:30 geschieht. Aus diesem Grunde werden im Folgenden die Absenkungen der NOx-Emissionen und ï Immissionen nur für die Tageszeit von 10:30-16:30 gezeigt; sie müssten gleich sein, moduliert nur um Hintergrundeinflüsse (s. später).

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Sonntags-Absenkungen der NOx-Emissionen und ï Immissionen für Vomp A12, Hallein A10 und Reiden A2CH für 2009-2016, jeweils für die Tageszeit 10:30-16:30.

Die Abbildungen zeigen, dass sich die Immissionen deutlich mehr absenken als die Emissionen; die berechneten Emissionen können das Verhalten der Immissionen sonntags nicht korrekt abbilden. Es besteht auch keine Tendenz, dass sich die Sonntagsdiskrepanz zunehmend vermindert.

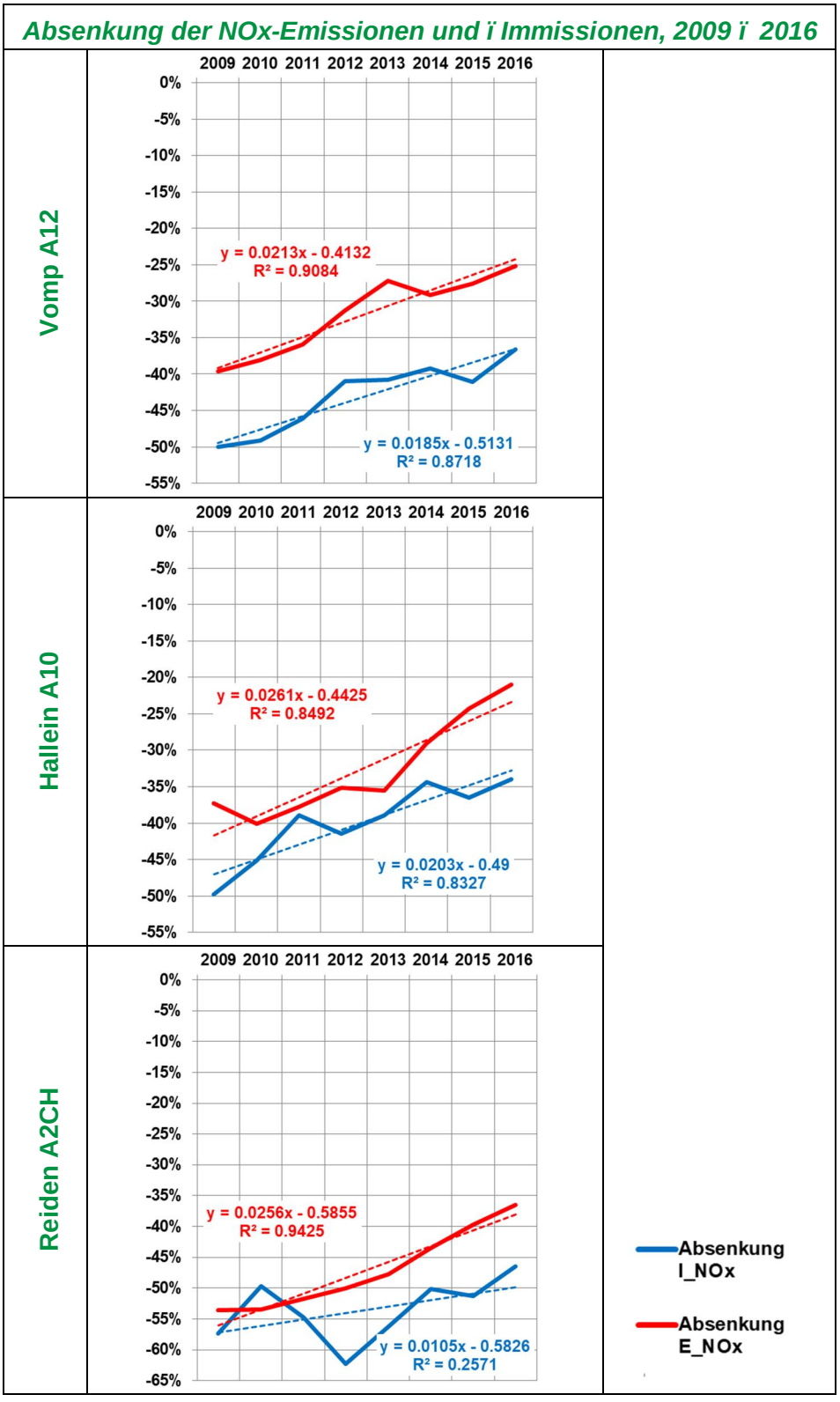

Abbildung 2.3: Absenkung der NOx-Emissionen und –Immissionen an Sonn- und Feiertagen gegenüber Werktagen für Vomp A12, Hallein A10 und Reiden A2CH für 2009-2016, jeweils für die Tageszeit 10:30-16:30.

2.2.2. Einfluss des Hintergrundes auf die sonntägliche Absenkung der NOx-Immissionen

Der Einfluss des Hintergrundes (wie oben definiert) an der Messstelle Vomp wie auch an den übrigen betrachteten Autobahnstandorten kann nur sehr klein sein. Er stammt hauptsächlich vom umliegenden Verkehr, der einen ähnlichen zeitlichen Gang aufweist wie die A12 (nur wenige Lkw sonntags), also an der Sonntagsdiskrepanz nur wenig ändert. Im Weiteren stammt der Hintergrund von den Hausfeuerungen, die sonntags nicht weniger leisten als werktags, genauso wie die Feuerungen größerer Industrieanlagen, d.h. der davon stammende Immissionshintergrund ist auch am Sonntag da und lässt erwarten, dass sich die Immissionen prozentual **weniger** stark absenken als die Emissionen der A12. Dies verschärft tendenziell die vorgefundene Diskrepanz. Es verbleibt nur dasjenige Gewerbe, welches am Wochenende den Betrieb einstellt, welches also nur werktags zum Hintergrund beiträgt und die Diskrepanz tendenziell etwas mildert. In der Bilanz aller Hintergründe ist davon auszugehen, dass diese die Sonntags-Diskrepanz nur marginal beeinflussen.
Die wichtigste NOx-Quelle im Inntal neben der A12 ist die B171. Sie ist aber wesentlich kleiner als die A12:

Tabelle 2.1: Kennzahlen von A12 und B171 für 2017. PkwÄ: Leichtverkehr; LkwÄ: Schwerverkehr.

DTV 2017	B171	A12	A12/B171
PkwÄ	7374	49284	7
LkwÄ	380	9106	24
E_NOx *	9272	114526	12

* *in 'B171-Pkw-Einheiten'*

Die B171 weist etwa 12-mal weniger NOx-Emissionen auf wie die A12. Sonntags gehen die NOx-Emissionen auf der B171 prozentual mehr zurück als auf der A12:

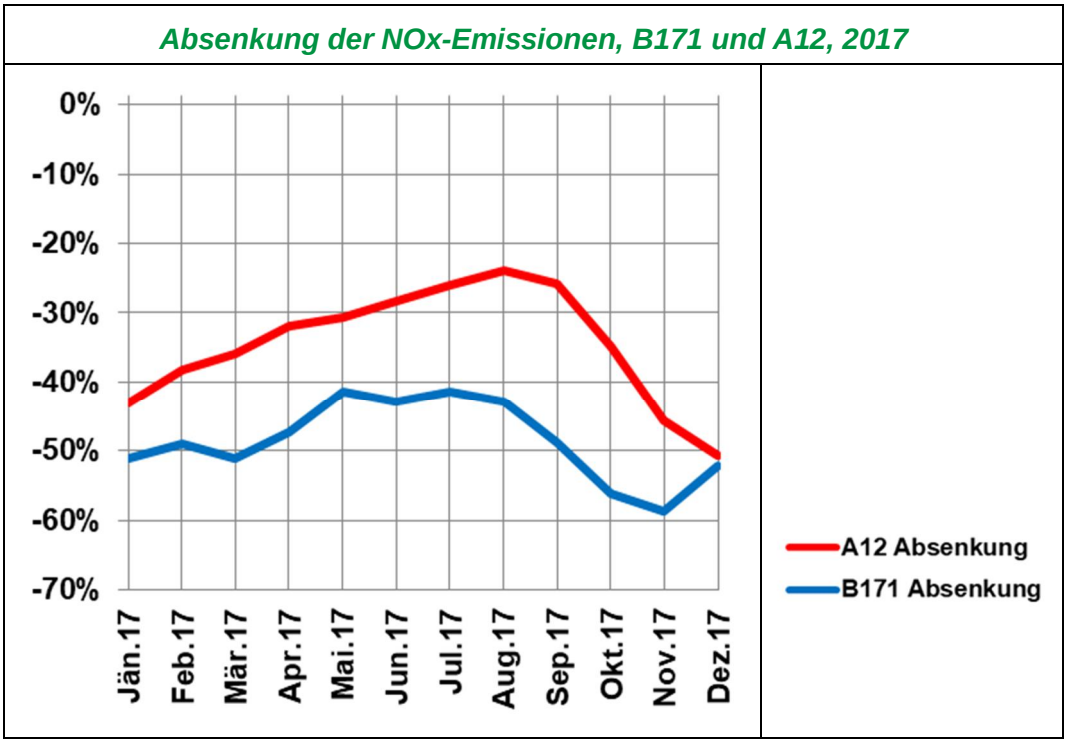

Abbildung 2.4: Mittlere sonntägliche Absenkung der NOx-Emissionen gegenüber Werktagen für B171 und A12, 2017.

Im Durchschnitt ist die sonntägliche Absenkung auf der B171 um 13% größer als auf der A12.

Der Abstand der B171 von der Messstelle Vomp beträgt etwa einen Kilometer. Infolge der Verdünnung der auf der B171 freigesetzten Emissionen auf diesem Kilometer und der Tatsache, dass die B171 nur etwa einen Zwölftel der A12-Emissionen freisetzt lässt sich schlussfolgern, dass die Immissionen an der Messstelle Vomp zu maximal 1 % von der B171 stammen. Wenn dann die sonntägliche Absenkung für die B171 um 13% größer ist als bei der A12, macht dies auf die Sonntagsdiskrepanz maximal 0.13 Prozentpunkte aus, ist also zu vernachlässigen.

Auch bei Berücksichtigung der übrigen Quellen des Hintergrundes (Feuerungen von Haushalten, Industrie und Gewerbe, Flächenverkehr) dürfte der Einfluss auf die Sonntagsdiskrepanz marginal sein.

Im Jahre 2016 betrug die sonntägliche Absenkung der NOx-Immissionen an der Messstelle Vomp -43%, an mehr abseits liegenden Stationen (wiewohl immer noch von der A12 beeinflusst) um die -30%. Würde man an der Messstelle Vomp einen Hintergrund berücksichtigen, welcher sich am Sonntag um 30% absenkt, würde dies die Diskrepanz zwischen der Absenkung der *A12-bezogenen* Immis-

sionen und Emissionen am Sonntag verschärfen (da sich eben der Hintergrund nur um 30% und nicht um 43% absenkt). Dies wurde aber nicht in Betracht gezogen.

Fazit zum Immissionshintergrund: Er wurde in der folgenden Analyse nicht berücksichtigt. Seine Berücksichtigung würde insgesamt eher zu einer Verschärfung der Sonntags-Diskrepanz führen.

3. Retrospektive Aufhebung der Diskrepanzen zwischen Emissions- und Immissionsverlauf beim NOx

Der mehrjährige NOx-Emissions- und ï Immissionsverlauf zeigt an autobahnnahen Standorten generell eine Diskrepanz, indem sich die Immissionen langsamer vermindern als die nach HBEFA3.3 berechneten Emissionen. Die Diskrepanz kann durch eine Erhöhung der Emissionen aufgehoben werden. Da am Verkehrsaufkommen nichts geändert werden kann, verbleibt die Erhöhung der Emissionsfaktoren EFA, der mittleren Emission pro Fahrzeug. Die Diskrepanz im mehrjährigen Verlauf zeigt sich für die Werktage, aber auch für die Sonntage, wenn die Lkw weitgehend fehlen. Dies bedeutet, dass es nicht genügt, die EFA der Lkw zu erhöhen, es müssen auch die EFA des Leichtverkehrs erhöht werden. Der folgende Abschnitt beschreibt die Methodik.

3.1. Methodik

Die Methode zur Aufhebung der Diskrepanz geht von folgendem Ansatz aus: Die Emissionen werden mittels Zusatz-EFA so erhöht, dass sie sowohl werktags als auch sonntags dem Immissionsverlauf 2009-2017 folgen. Da die Diskrepanz in der mehrjährigen Entwicklung Werktage und Sonntage betrifft, muss auch der Leichtverkehr an der Korrektur beteiligt sein. Da die Diskrepanz werktags höher ist, muss auch der Schwerverkehr beteiligt sein.

Für jedes Jahr erfolgt eine Erhöhung des mittleren EFA des Leichtverkehrs um den Betrag eLV und des mittleren EFA des Schwerverkehrs um eSV. Damit folgen die Emissionen den Immissionen sowohl für Werktage als auch für Sonn- und Feiertage (2 Gleichungen, 2 Unbekannte).

Die meteorologischen Schwankungen und alle Störungen (Ungenauigkeiten in der Verkehrszählung, unsichere Dieselanteile, etc.) schlagen voll auf eLV und eSV durch; deshalb ist nur die Verwendung von Mittelwerten über die ganze Phase sinnvoll.

3.2. Resultat bezüglich mehrjähriger Entwicklung

Die EFA wurden für die mehrjährige Entwicklung bei Vomp A12 und Hallein A10 erhöht. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf der NOx-Emissionen und ï Immissionen für Montag-Freitag (oben) sowie Sonn- und Feiertage (Mitte), jeweils ergänzt mit dem korrigierten Emissionsverlauf 'E wie I', welcher dem Immissionsverlauf relativ folgt. Die dazu notwendigen Erhöhungen der EFA für den Leichtverkehr und für den Schwerverkehr werden ebenfalls gezeigt (nächste Abbildung).

Die meteorologischen Schwankungen schlagen voll auf die ermittelten EFA-Erhöhungen durch; deshalb können nur die Mittelwerte verwendet werden, auch ein Trend kann aus den relativ wenigen Jahren nicht abgelesen werden. Diese Methode ist eben immissionsbasiert.

Es haben sich die folgenden Mittelwerte der Zusatz-EFA ergeben:

Tabelle 3.1: Mittelwerte der Zusatz-EFA zur Aufhebung der Diskrepanz in der mehrjährigen Entwicklung der NOx-Emissionen und –Immissionen, 2009-2017, Vomp A12 und Hallein A10:

g/km	e SV	e LV
Vomp A12	0.640	0.085
Hallein A10	0.626	0.051
Mittel	0.633	0.068

Mit diesen Zusatz-EFA wird in Szenarien-Varianten zur Evaluation von Maßnahmen gerechnet.

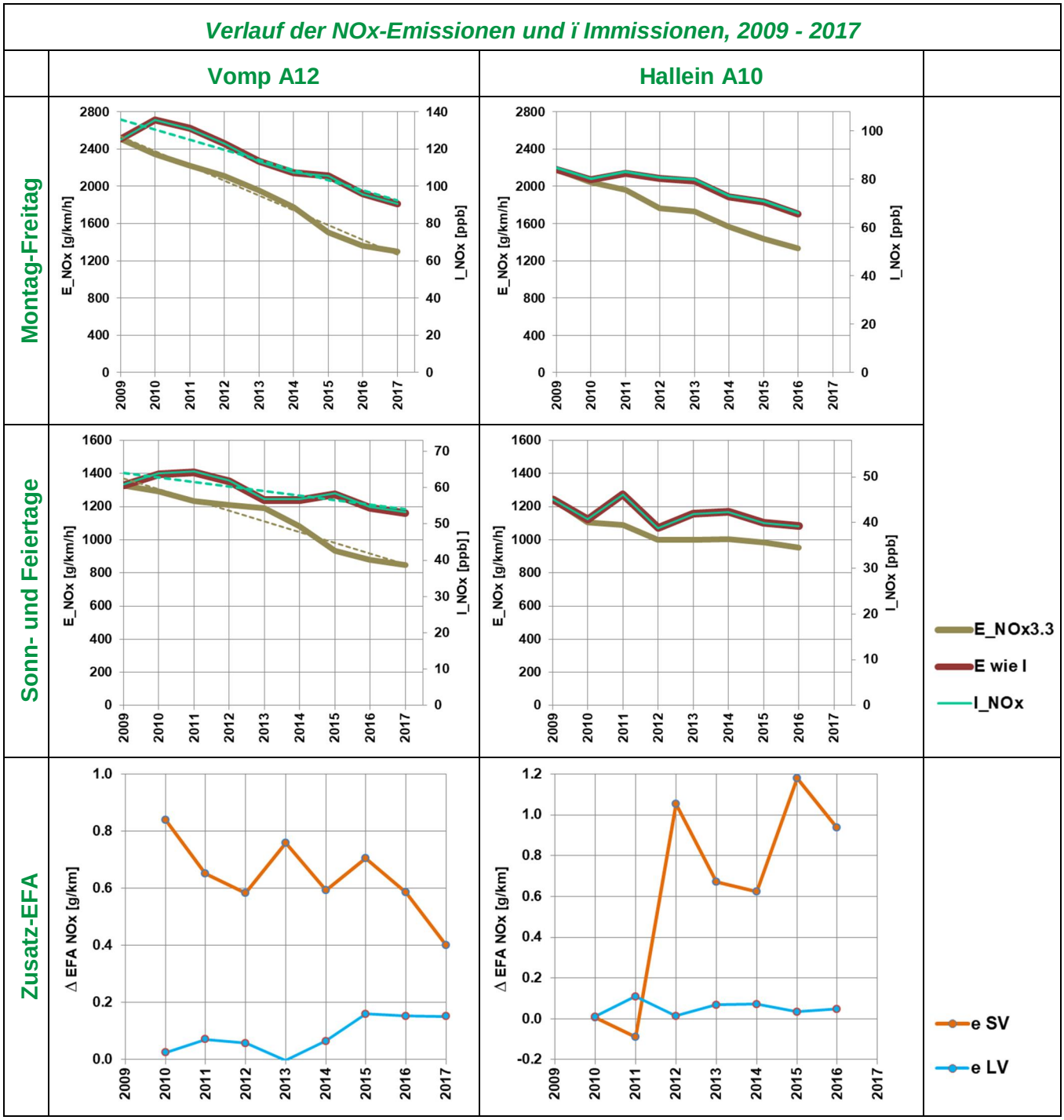

Abbildung 3.1: Verlauf der NOx-Emissionen (nach HBEFA3.3 und korrigiert) und –Immissionen montags-freitags (oben) sowie an Sonn- und Feiertagen (Mitte). Notwendige Zusatz-EFA zur Aufhebung der Diskrepanz in der mehrjährigen Entwicklung (unten). 2009-2017, Vomp A12 und Hallein A10.

3.3. Resultat bezüglich Sonntagsdiskrepanz

Die Zusatz-Emissionsfaktoren für Leicht- und Schwerverkehr (s. Kap. 3.2) reduzieren die Sonntagsdiskrepanz als Nebeneffekt auf ein plausibles Ausmaß. In diesem Abschnitt wird die *Sonntagsdiskrepanz über den ganzen Tag* betrachtet, nicht nur von 10:30-16:30 wie in Kap. 2.2.1. Die folgende Abbildung zeigt die sonntägliche Emissionsabsenkung (oben) und die Sonntagsdiskrepanz mit und ohne Zusatz-EFA.

Mit Zusatz-EFA verharrt die *ganztägige* Sonntagsdiskrepanz stabil über die Jahre an beiden Standorten bei 4-5%. Dies ist jedenfalls plausibel, führt doch die andere Emissionsverteilung an Sonntagen gegenüber Werktagen zu einer etwa 10% geringeren Immission pro Emissionseinheit. Eine Absenkung der Emissionen sonntags um 40% würde von daher also zu einer Immissionsabsenkung um 46% führen (60% der Emissionen noch da, davon 10% weniger Immissionen), das wäre eine Diskrepanz von 6%. Bei allen möglichen Variabilitäten ist dies eine gute Übereinstimmung.

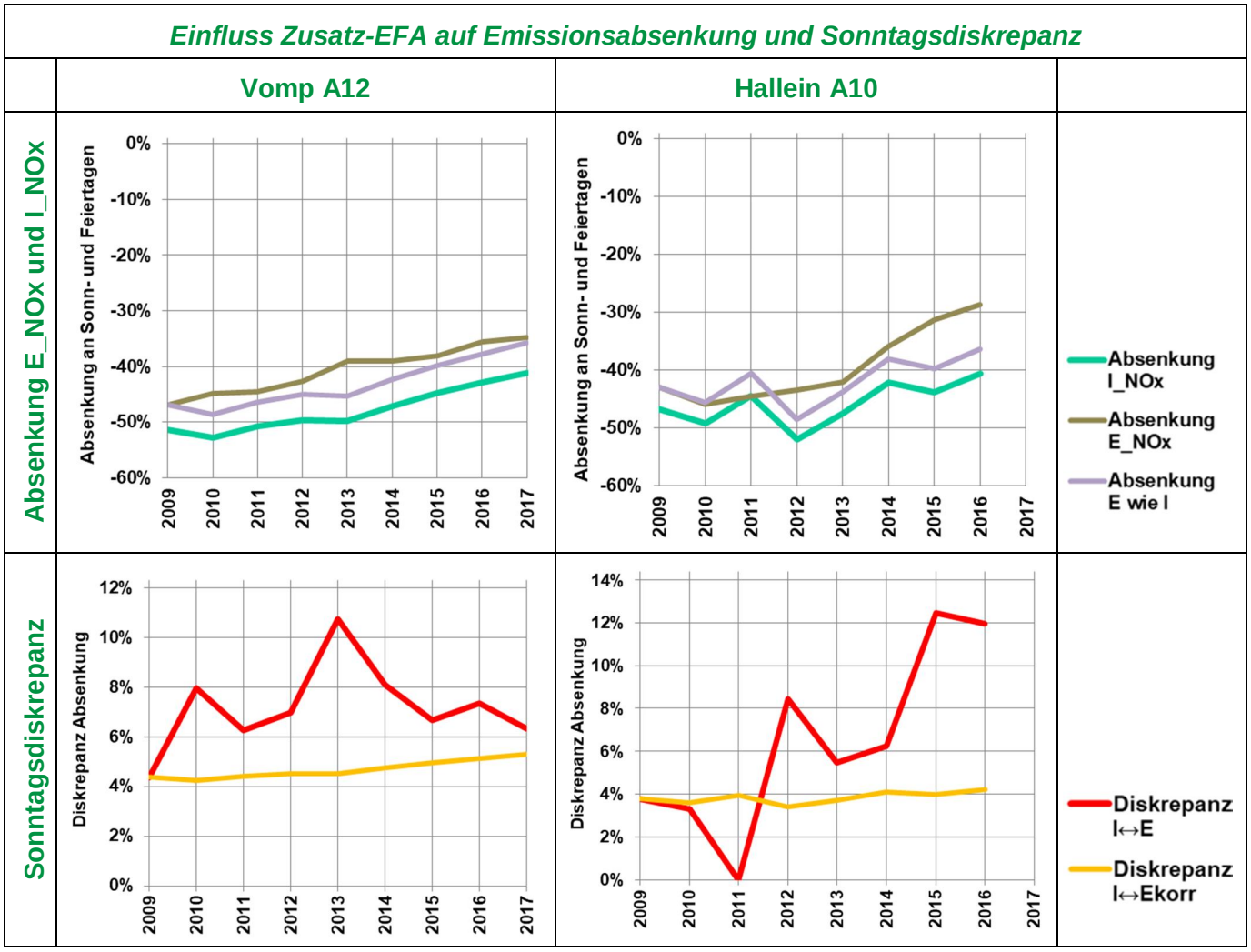

Abbildung 3.2: Absenkung der NOx-Immissionen und der –Emissionen (gemäß HBEFA3.3 und mit Zusatz-EFA gemäß Kap. 3.1 ['E wie I']) an Sonn- und Feiertagen (oben). Ganztägige Sonntagsdiskrepanz (Differenz der sonntäglichen Absenkungen der NOx-Immissionen und –Emissionen über den ganzen Tag) für beide Fälle von Emissions-berechnungen (unten; Ekorr = 'E wie I'), Vomp A12 und Hallein A10, 2009-2017.

4. Sensibilitätsanalyse bezüglich Pkw-Dieselanteil (A12)

Der Dieselanteil bei den Pkw auf der A12 ist nicht genau bekannt. Das HBEFA3.3 geht für österreichische Autobahn (über Land) im Schnitt von 2009-2017 von 61% aus, die TU Graz speziell für die A12 von 66%. Ein höherer Dieselanteil wegen des höheren Anteils Transitverkehr. Allerdings beträgt der Anteil Transit beim Leichtverkehr auf der A12 im Bereich Vomp nur etwa 50% (Verkehrszählung Asfinag bei Vomp und Brennersee 2017).

In allen Betrachtungen zu Emissionsfaktoren und Maßnahmenevaluationen wurde vom Modell der TU Graz ausgegangen. Nun könnte es sein, dass der Dieselanteil bei den Pkw an Sonn- und Feiertagen ein anderer ist als werktags. Der Anteil der deutschen Fahrzeuge auf der A12 (ebenfalls unbekannt) soll sonntags ein Stück höher sein als werktags.

In dieser Sensibilitätsanalyse wird ein Einfluss vermehrter deutscher Fahrzeuge an Sonntagen abgeschätzt.

Auf deutschen Autobahnen ist der Dieselanteil bei den Pkw generell geringer als in Österreich. Dies drückt sich auch in den Emissionsfaktoren (EFA) z.B. für NOx aus. Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf des mittleren NOx-EFA für Pkw auf deutschen Autobahnen bzw. auf der A12 (gem. TU Graz) von 2009-2017 für eine Referenzgeschwindigkeit von 122 km/h.

Der mittlere NOx-EFA auf der A12 ist immer größer, wobei sich die beiden Kurven mit der Zeit annähern.

In der Sensitivitätsanalyse wird folgendes postuliert: Am Sonntag bestehe die Pkw-Flotte zu ¾ wie werktags in ihrer Zusammensetzung (dann gibt es auch schon deutsche Fahrzeuge), zu ¼ komme eine reine deutsche Autobahnflotte hinzu. Damit wären sonntags etwa 40% aller Pkw deutsch (im Jahresschnitt!).

Damit wird der mittlere NOx-EFA der Pkw sonntags etwas kleiner, um einen Viertel der Differenz zwischen den beiden Kurven. Diese Differenz wird nochmals kleiner, da die reale Geschwindigkeit ja geringer war als die 122 km/h der Referenzgeschwindigkeit.

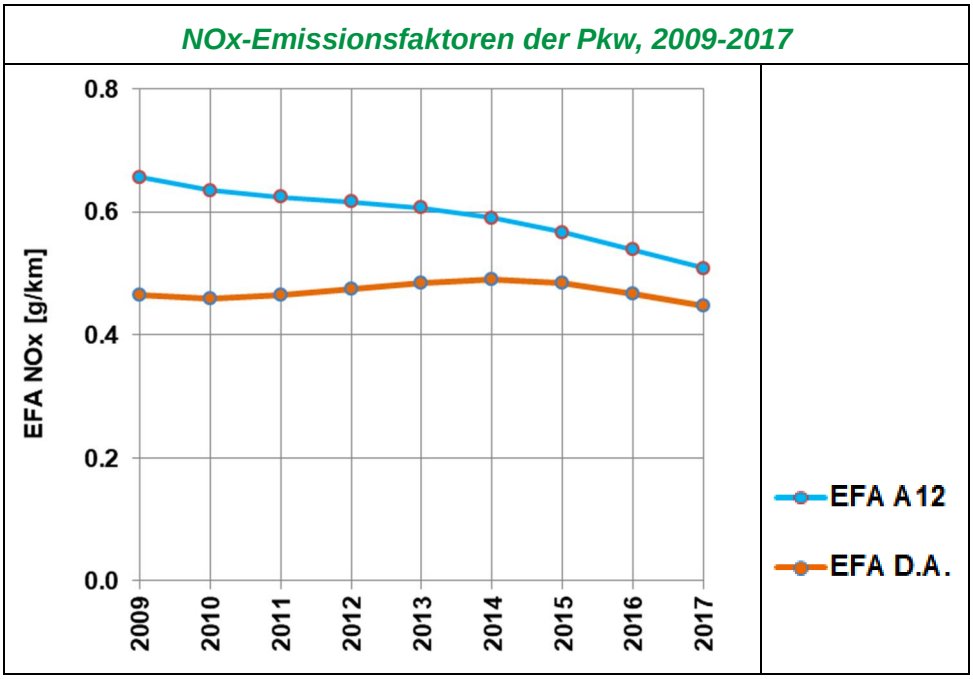

Abbildung 4.1: Mittlere Emissionsfaktoren (EFA) der Pkw für NOx, deutsche Autobahn (ländlich; D.A.) und A12 (gemäß TU Graz), 2009-2017.

Diese geringeren NOx-EFA der Pkw sonntags verringern die ganztägige Sonntagsdiskrepanz und den Trend der NOx-Emissionen. Die folgende Abbildung zeigt die ganztägige Sonntagsdiskrepanz mit der postulierten EFA-Verringerung der Pkw sonntags und auf Basis der Berechnungen in Kap. 3 (Abbildung 3.2).

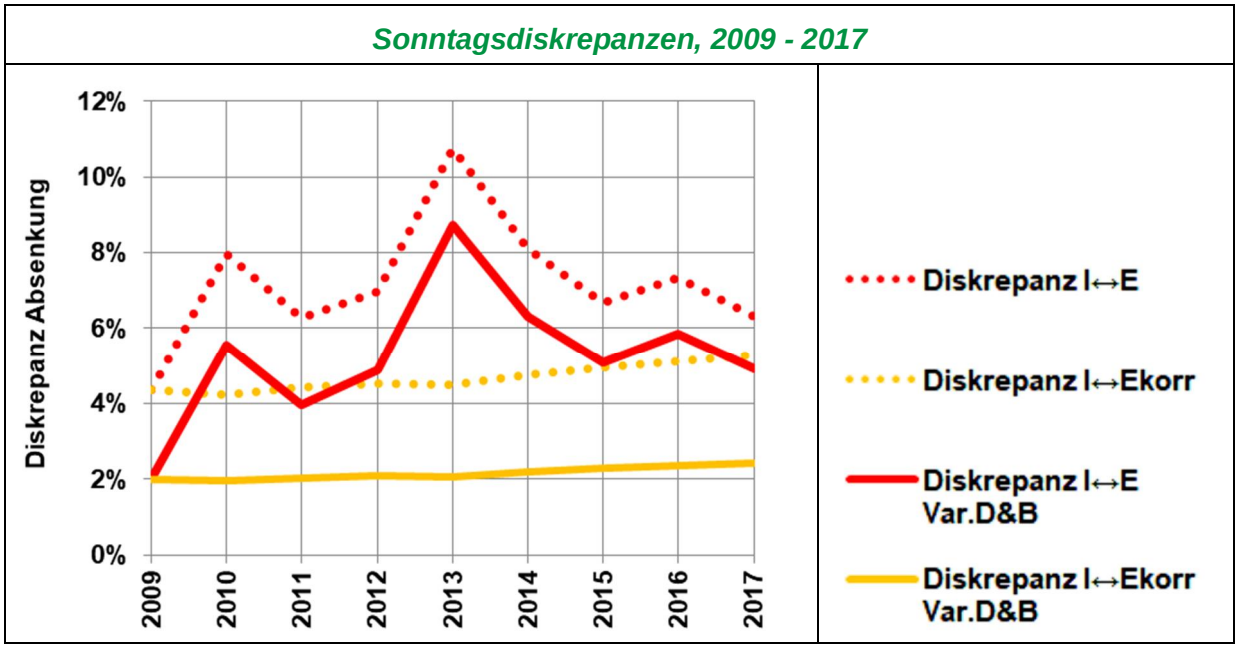

Abbildung 4.2: Ganztägige Sonntagsdiskrepanz bei kleinerem Pkw-Dieselanteil sonntags, Vomp A12, 2009-2017. Gepunktete Kurven: wie Abbildung 3.2. Var.D&B: Kleinerer Dieselanteil sonntags.

Die Sonntagsdiskrepanz verringert sich um 1-2%, da die NOx-Emissionen sich sonntags mehr absenken infolge der geringeren EFA der Pkw. Aber die Diskrepanz bleibt vorhanden.

Da die Differenz zwischen den NOx-EFA der Pkw auf deutschen Autobahnen und auf der A12 im Laufe der Zeit geringer wird (s. Abbildung 4.1), wird der gesamte Verlauf der NOx-Emissionen sonntags etwas flacher; allerdings macht dies nicht viel aus im Vergleich mit der Diskrepanz zum Immissionsverlauf:

Tabelle 4.1: Trends in der mehrjährigen Entwicklung der NOx-Emissionen und –Immissionen, 2009-2017, Vomp A12. Var.D&B: Kleinerer Dieselanteil der Pkw sonntags.

Änderung/y NOx-Immissionen	Änderung/y NOx-Emissionen	Änderung/y NOx-Emissionen Var.D&B
-2.1 %	**-5.7 %**	**-5.4%**

Eine Variation des sonntäglichen Dieselanteils der Pkw vermag den Befund der Diskrepanzen zwischen NOx-Immissionen und ï Emissionen nicht wesentlich zu verändern. Dabei ist ein gegenläufiger Punkt außer Acht gelassen worden: Zu 50% besteht das Pkw-Aufkommen auf der A12 bei Vomp aus Lokal-/Regionalverkehr. Die Pendler benützen oft kleinere Autos mit einem höheren Anteil an Benzinern. Diese fehlen sonntags, was den sonntäglichen Dieselanteil erhöht. Der allfällig höhere Anteil an deutschen Fahrzeugen sonntags könnte damit durch die Zusammensetzung des Lokalverkehrs (über)kompensiert werden, was die Auswirkungen auf die mittleren Emissionsfaktoren betrifft.

5. Fazit

Mit der Erhöhung der mittleren NOx-Emissionsfaktoren (EFA) des Leicht- bzw. Schwerverkehrs um die errechneten Beträge eLV bzw. eSV für jedes Jahr können sich Immissionen und Emissionen an NOx in ihrem mehrjährigen Verlauf von 8-9 Jahren entsprechen.

Auch die Sonntagsdiskrepanz reduziert sich dann auf einen plausiblen Wert von 4-5%. Dieses Bild zeigt sich sowohl für die A10 (mit Immissionsmessstelle Hallein) als auch für die A12 (mit Immissionsmessstelle Vomp).

Die notwendige Erhöhung der EFA ist v.a. bei den Lkw und Bussen markant. Der NOx-EFA für die Lkw erhöht sich im 2017 um etwa 70%, der NOx-EFA der Pkw um ca. 15%.Für EuroVI-SLZ (Sattel- und Lastenzüge) erhöht sich der EFA auf das Vierfache.

Es kann nicht unterschieden werden, ob die Erhöhung des mittleren Lkw-EFA von einem größeren Anteil der Lkw mit moderater EFA-Erhöhung und/oder von einem relativ kleinen Anteil mit starker EFA-Erhöhung herstammt. Es ist wohl nicht davon auszugehen, dass die Lkw generell mehr emittieren; vielmehr dürfte ein Anteil aufgrund von Defekten bzw. Manipulationen mehr emittieren.

Sowohl bei den Pkw als auch bei den Lkw gibt es viele Messungen, die zeigen, dass die Einhaltung oder gar Unterbietung der TA-Grenzwerte technisch möglich ist. Offenbar entspricht dies aber nicht den realen mittleren Verhältnissen auf der Straße. Diese sind aber allein entscheidend für die Entwicklung der Immissionen.

Die Lieferwagen könnten ein spezielles Problemfeld darstellen: Für sie gibt es wenige Messungen, ihr Aufkommen zeigt ein starkes Wachstum, die Ladungen (emissionsrelevant) könnten zugenommen haben.

Die immissionsbasierten Untersuchungen zu den NOx-EFA legen nahe, dass die Abweichungen der realen mittleren NOx-EFA vom HBEFA3.3 für die (zukünftigen) Immissionen relevant sind und auch die Lkw umfassen.