

# Lufthygienische Wirkung von Tempo 80 auf der Autobahn A1 bei Salzburg

Dr. Jürg Thudium  
Dr. Carine Chélala  
10.06.2014 / 5280.40 V2

Oekoscience AG

Postfach 452  
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310  
science@oekoscience.ch



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Erhebungen zu Tempo 80 auf der A1</b>	<b>3</b>
2.1. Verkehrszählung und Geschwindigkeitsmessung	3
2.2. Emissionsberechnung	10
2.3. Immissionsmessung Siezenheim	12
2.4. Meteorologische Bedingungen: Inversionsauftreten und Wind	14
2.4.1. Inversionen bei Salzburg	14
2.4.2. Einfluss der Inversionen auf die Immissionen	15
2.4.3. Wind bei Siezenheim	16
<b>3. Lufthygienische Wirkung von Tempo80 auf der A1</b>	<b>20</b>
3.1. Vergleich der Emissions- und Immissionsentwicklung zwischen Siezenheim A1 und Hallein A10	20
3.1.1. Tagesgänge im Vergleich	20
3.1.2. Vergleich von Verkehrs- und Immissions-Kennzahlen für Siezenheim A1 und Hallein A10	22
3.1.3. Verlauf der Tagesmittel im Vergleich	24
3.2. Empirische Schätzung der Emissionsreduktion während der Tempo80-Phase	28
3.3. Empirische Schätzung der Immissionsreduktion während der Tempo80-Phase	32
<b>4. Zusammenfassung</b>	<b>35</b>
<b>Anhang</b>	<b>38</b>

*Titelblattfoto: Alex Kranabetter*

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Karte der Tempo80-Strecke der A1 mit Immissionsmessstelle Siezenheim und Verkehrserfassung. <i>Kartenquelle: Land Salzburg.</i>	2
Abbildung 2.1: Mittlerer Tagesgang des Leichtverkehrs (oben) und des Schwerverkehrs (unten) nach Fahrtrichtung bei Siezenheim (A1).	5
Abbildung 2.2: Mittlerer Tagesgang der mittleren Geschwindigkeit des LV je Phase bei Siezenheim (A1).	5
Abbildung 2.3: Aufkommen von Leichtverkehr (LV; oben) und Schwerverkehr (SV; unten) je Fahrstreifen und Phase bei Siezenheim (A1).	6
Abbildung 2.4: Proz. Änderung des Aufkommens des Leichtverkehrs (LV) je Fahrstreifen zwischen den beiden Phasen bei Siezenheim (A1).	7
Abbildung 2.5: Geschwindigkeit des Leichtverkehrs (LV; oben) bzw. des Schwerverkehrs (SV; unten) je Fahrstreifen und Phase bei Siezenheim (A1).	8
Abbildung 2.6: Mittlere Geschwindigkeit des LV in Fahrtrichtung 1 und 2 für den dritten Fahrstreifen je Phase bei Siezenheim (A1) in Abhängigkeit vom Wochentag.	9
Abbildung 2.7: Verkehrsaufkommen je Fahrstreifen und je Phase bei Siezenheim (A1) in Abhängigkeit vom Wochentag.	9
Abbildung 2.8: Emissionsfaktor von NO <sub>x</sub> für Pkw, Autobahn Österreich, 2014.	11
Abbildung 2.9: Mittlerer Tagesgang von NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim.	13
Abbildung 2.10: Tagesgang der Inversionshäufigkeit je Phase bei Salzburg.	15
Abbildung 2.11: Inversionsvorkommen vom 17.10.2013 – 19.05.2014 bei Salzburg. Roter Strich: Beginn von Tempo80.	15
Abbildung 2.12: Mittlerer Tagesgang von NO <sub>x</sub> je Inversionsvorkommen bei Siezenheim für Tempo100-Phase (links) bzw. Tempo80-Phase (rechts).	16
Abbildung 2.13: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit je Phase bei Siezenheim (A1) und Hallein A10.	17

Abbildung 2.14: Windrose je Phase bei Siezenheim. Die Windrichtungshäufigkeiten sind nicht proportional zur Fläche der Rosensegmente, sondern zu deren Radien.	18
Abbildung 2.15: Windrose je Phase bei Siezenheim für Tage mit einer Inversionshäufigkeit > 50%.	19
Abbildung 3.1: Mittlerer Tagesgang der NO <sub>x</sub> -Immissionen und -Emissionen je Phase bei Siezenheim und Hallein A10.	21
Abbildung 3.2: Relativer mittlerer Tagesgang von NO <sub>x</sub> je Phase bei Siezenheim und Hallein A10. Der Wert von 100% entspricht dem Mittelwert jeder einzelnen Kurve.	21
Abbildung 3.3: Mittlerer Tagesgang von NO <sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim und Hallein A10.	22
Abbildung 3.4: Änderung der Mittelwerte sowie der 90- und 10-Perzentile der NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Immissionen zwischen den beiden Phasen bei Siezenheim und Hallein A10.	23
Abbildung 3.5: Änderung der Mittelwerte der NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Emissionen zwischen den beiden Phasen bei Siezenheim und Hallein A10.	24
Abbildung 3.6: Verlauf der Tageswerte der NO <sub>x</sub> -Emissionen und –Immissionen bei Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Grüne Markierung: Beginn der T80-Phase. 'T80 theor.': Theoretische Absenkung des Emissionsfaktors für gleiche Verkehrssituation.	26
Abbildung 3.7: Gleitende Wochenmittel der NO <sub>x</sub> -Emissionen und –Immissionen bei Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Grüne Markierung: Beginn der T80-Phase. 'T80 theor.': Theoretische Absenkung des Emissionsfaktors für gleiche Verkehrssituation.	27
Abbildung 3.8: Emissions- und Immissionsverhältnisse (Basis Tagesmittel) zwischen Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Hypothese: Kein Effekt von Tempo80. Grüne Markierung: Beginn der Tempo80-Phase.	29
Abbildung 3.9: Emissions- und Immissionsverhältnisse (Basis Tagesmittel) zwischen Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Hypothese: Effekt von Tempo80 gem. HBEFA3.1 bei gleicher Verkehrssituation. Grüne Markierung: Beginn der Tempo80-Phase.	30
Abbildung 3.10: Emissions- und Immissionsverhältnisse (Basis Tagesmittel) zwischen Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Hypothese: Empirisch ermittelter Effekt von Tempo80 von 70% des Effektes gem. HBEFA3.1 bei gleicher Verkehrssituation. Grüne Markierung: Beginn der Tempo80-Phase.	31

Abbildung 3.11: Effekte von Tempo 80 auf die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionen.  
Tagesmittelwerte der Immissionsabnahme bei Tempo80 während der Tempo100-Phase  
und Zunahme bei Tempo100 während der Tempo80-Phase.

33

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Mittelwerte und Änderung des Verkehrsaufkommens (Leichtverkehr LV und Schwerverkehr SV) und der Geschwindigkeit (v) je Richtung (R1 und R2) und Phase bei Siezenheim:	4
Tabelle 2.2: Emissionen von NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim (A1):	12
Tabelle 2.3: Mittelwerte von NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim:	13
Tabelle 2.4: Inversionshäufigkeit in Prozent der Gesamtzeit je Phase bei Salzburg:	14
Tabelle 2.5: Mittelwerte von NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> nach Inversionshäufigkeit (TP Salzburg) je Phase bei Siezenheim, tagsüber (6 – 22 Uhr):	16
Tabelle 3.1: Mittelwerte des Aufkommens von LV und SV sowie Emissionen und Immissionen von NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim und Hallein A10. Tempo100-Phase 17.10.2013 – 19.02.2014; Tempo80-Phase 20.02. – 15.05.2014.	23

# 1. Einleitung

Vom 20.2. – 19.5.2014 war für 3-Monate an der Westautobahn A1 bei Salzburg ein fixes Tempo 80 nach IG-L verordnet worden. Der Abschnitt erstreckte sich über 10,3 km von Straßenkilometer 287,128 im Gemeindegebiet von Salzburg bis Straßenkilometer 297,497 im Gemeindegebiet von Wals-Siezenheim. Zuvor und danach galt hier Tempo 100. Die lufthygienischen Auswirkungen dieser Tempo 80-Phase werden im vorliegenden Bericht untersucht; dabei geht es um die Stickstoffoxide.

Bei den hier interessierenden Stickstoffoxiden geht es um den Summenparameter  $\text{NO}_x$  [Gesamtstickstoffoxid] =  $\text{NO}$  [Stickstoffmonoxid] +  $\text{NO}_2$  [Stickstoffdioxid], sowie einzeln um das  $\text{NO}_2$ . Die Emissionen (Freisetzungen in die Atmosphäre) der Fahrzeuge erfolgen in  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ; die Immissionen bestehen ebenfalls aus  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ , wobei die  $\text{NO}_2$ -Immission aus  $\text{NO}_2$  besteht, welches als solches emittiert wurde, und aus  $\text{NO}_2$ , welches in der Luft aus  $\text{NO}$  und Ozon gebildet wurde (noch weitere Stoffe sind an den Reaktionen beteiligt). Immissionsgrenzwerte nach EU-Richtlinie bzw. IG-L gibt es nur für  $\text{NO}_2$ , aber um zu verstehen, was mit dem  $\text{NO}_2$  passiert, müssen zunächst die Gesamtstickstoffoxide  $\text{NO}_x$  betrachtet werden.

Die Autobahn A1 ist auf diesem Abschnitt einerseits eine Fernstraße, andererseits trägt sie Merkmale einer Stadtautobahn mit kurz aufeinander folgenden Ein- und Ausfahrten.

Als Datengrundlage der Untersuchung dienten einerseits die immissionsseitigen und meteorologischen Messungen der Luftgütestationen 'Siezenheim-A1', welche seit 17.10.2013 in Betrieb ist und in etwa 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand an der Tempo80-Strecke liegt, sowie 'Hallein-A10', welche in etwa 5 m Abstand vom Fahrbahnrand an der A10 liegt. Andererseits liegen Verkehrszählungen und Fahrgeschwindigkeitsmessungen in fünf Fahrzeugkategorien getrennt für jeden der insgesamt sechs Fahrstreifen der A1-Tempo80-Strecke vor. Die vier Monate (Oktober 2013 – Februar 2014) mit Tempo 100 werden mit den drei Monaten (Februar – Mai 2014) mit Tempo 80 verglichen.

Die folgende Karte zeigt die Lage der Immissionsmessstelle sowie der Verkehrserfassung. In der Umgebung der Immissionsmessstelle gibt es einige Quellen von Stickstoffoxiden, eine Lokalstraße liegt in relativer Nähe; insgesamt do-



minieren an diesem Messort die Stickstoffoxide der A1, wobei ein gewisser A1-fremder Hintergrund zu beachten ist. Die Verkehrserfassung liegt zwischen den Anschlüssen Klessheim und Siezenheim außerhalb der Radarerfassung.



Abbildung 1.1: Karte der Tempo80-Strecke der A1 mit Immissionsmessstelle Siezenheim und Verkehrserfassung. Kartenquelle: Land Salzburg.

## 2. Erhebungen zu Tempo 80 auf der A1

In den folgenden Darstellungen wird in 'Tempo100-Phase' (17.10.2013 – 19.02.2014) und 'Tempo80-Phase' (20.02. – 19.05.2014) unterschieden. Dabei wurden Tage mit Fußballspielen von RedBull im Stadion Klessheim für die Hauptauswertung weggelassen, da an diesen Tagen zeitweise ein anderes Verkehrsverhalten auftritt. Die Liste dieser 16 'Stadiontage' (8% aller Tage) findet sich im Anhang. Es werden Verkehrsaufkommen und Fahrgeschwindigkeiten ( $v$ ), daraus folgend die Emissionen an  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  und schließlich die Immissionen an  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  betrachtet.

Hier einige **Begriffsbestimmungen**:

Bei der vorliegenden Verkehrserfassung der Asfinag wird der Verkehr folgendermaßen in Kategorien unterteilt:

LV: Leichtverkehr. Pkw, Lieferwagen und Motorräder.

SV: Schwerverkehr. Lkw, Sattel- und Lastenzüge, Busse, Pkw mit Anhänger (z.B. Wohnwagen).

Emission: Von einer Quelle in die Atmosphäre freigesetzte Stoffe (z.B. in Gramm pro km).

Immission: Konzentration der freigesetzten Stoffe in der Atmosphäre (z.B. in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Luft).

$v$ : Fahrgeschwindigkeit.

**R1**: Fahrtrichtung 1 (in Richtung München).

**R2**: Fahrtrichtung 2 (in Richtung Linz).

### 2.1. Verkehrszählung und Geschwindigkeitsmessung

Tempo80 hat bewirkt, dass sich die mittlere Fahrgeschwindigkeit aller Fahrzeuge des LV von 94 (während Tempo100-Phase) auf 82 km/h reduziert hat; beim SV erfolgte eine Reduktion von 86 auf 80 km/h.

Während der Tempo80-Phase war das Aufkommen an LV etwa um 2%, dasjenige des SV etwa um 8% höher als während der Tempo100-Phase.

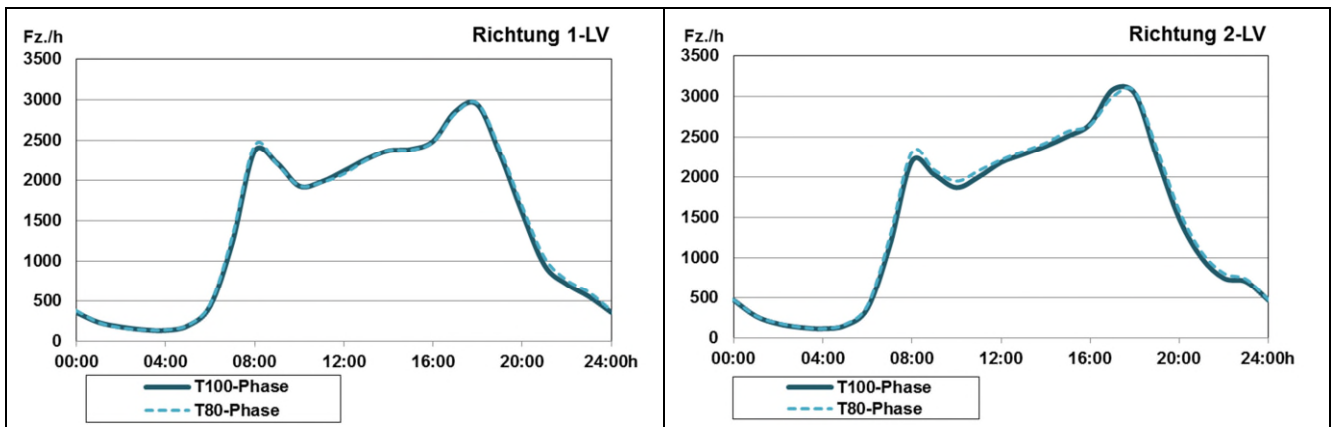
Die Unterschiede zwischen den Fahrtrichtungen sind generell gering.

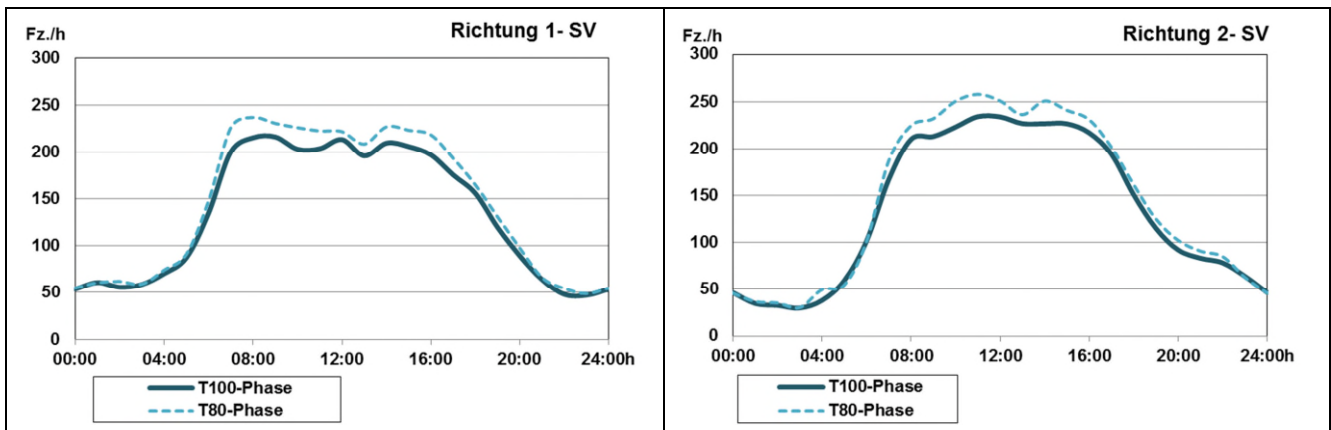


**Tabelle 2.1: Mittelwerte und Änderung des Verkehrsaufkommens (Leichtverkehr LV und Schwerverkehr SV) und der Geschwindigkeit (v) je Richtung (R1 und R2) und Phase bei Siezenheim:**

		LV Fz./h	SV Fz./h	v-LV km/h	v-SV km/h
<b>Tempo 100 -Phase</b>	<b>Total</b>	<b>2923</b>	<b>274</b>	<b>94</b>	<b>86</b>
	R1	1457	137	93.5	85.8
	R2	1468	137	94.7	86.4
<b>Tempo 80 -Phase</b>	<b>Total</b>	<b>2979</b>	<b>295</b>	<b>82</b>	<b>80</b>
	R1	1476	148	81.5	80.1
	R2	1468	137	83.0	80.4
<b>Änderung</b>	<b>Absolut</b>	<b>+56</b>	<b>+21</b>	<b>-12</b>	<b>-6</b>
	<b>Relativ</b>	<b>+1.9%</b>	<b>+7.7%</b>		

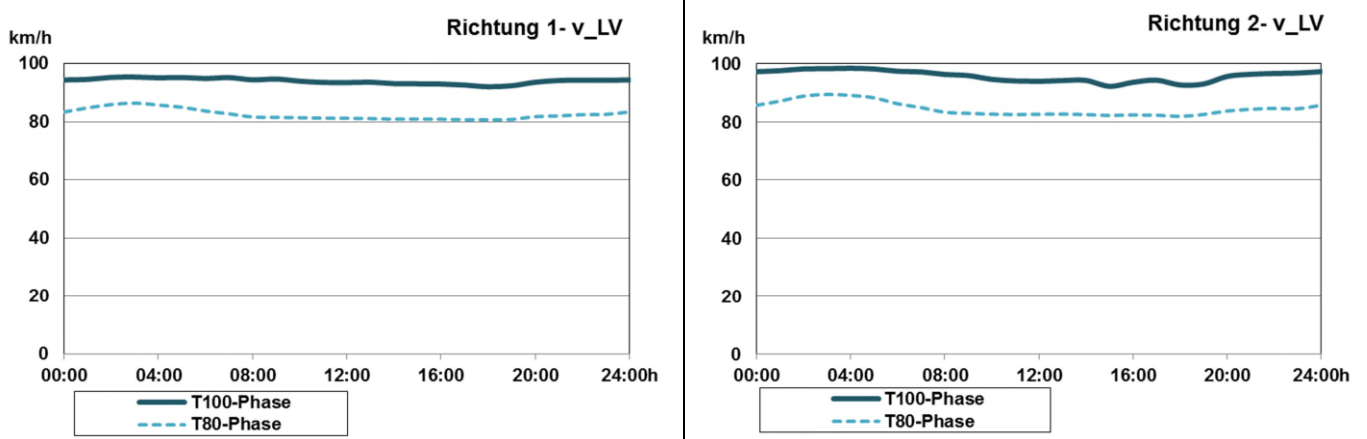
Die Verkehrszunahme zwischen Tempo100- und Tempo80-Phase ist im mittleren Tagesgang beim LV nur gerade in der Morgenspitze zu erkennen, beim SV über den gesamten Tag.





**Abbildung 2.1: Mittlerer Tagesgang des Leichtverkehrs (oben) und des Schwerverkehrs (unten) nach Fahrtrichtung bei Siezenheim (A1).**

In Fahrtrichtung 2 (Richtung Linz) wird generell etwas schneller gefahren als in Richtung 1 (in beiden Phasen). Nachts sind die mittleren Geschwindigkeiten etwas höher als tagsüber.



**Abbildung 2.2: Mittlerer Tagesgang der mittleren Geschwindigkeit des LV je Phase bei Siezenheim (A1).**

Im folgenden Abschnitt werden die Verkehrsverhältnisse (Aufkommen und Geschwindigkeit) für alle sechs Fahrstreifen (\_1\_FS1 ... \_1\_FS3 für R1, \_2\_FS1 ... \_2\_FS3 für R2) einzeln betrachtet. Die Grafik entspricht dabei den realen Verhältnissen: Außen liegen die jeweils rechten Fahrspuren (FS1).

In der Tempo80-Phase fahren deutlich mehr LV-Fahrzeuge auf der rechten FS1, hingegen weniger auf den beiden anderen Fahrstreifen. Der SV hat auf allen Fahrstreifen zugenommen. Dieser Umstand könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich die Verkehrsteilnehmer erst an Neuerungen gewöhnen müssen. Dichteres Verkehrsaufkommen auf einer Spur wirkt sich nicht positiv auf einen gleichmäßigen Verkehrsfluss aus.

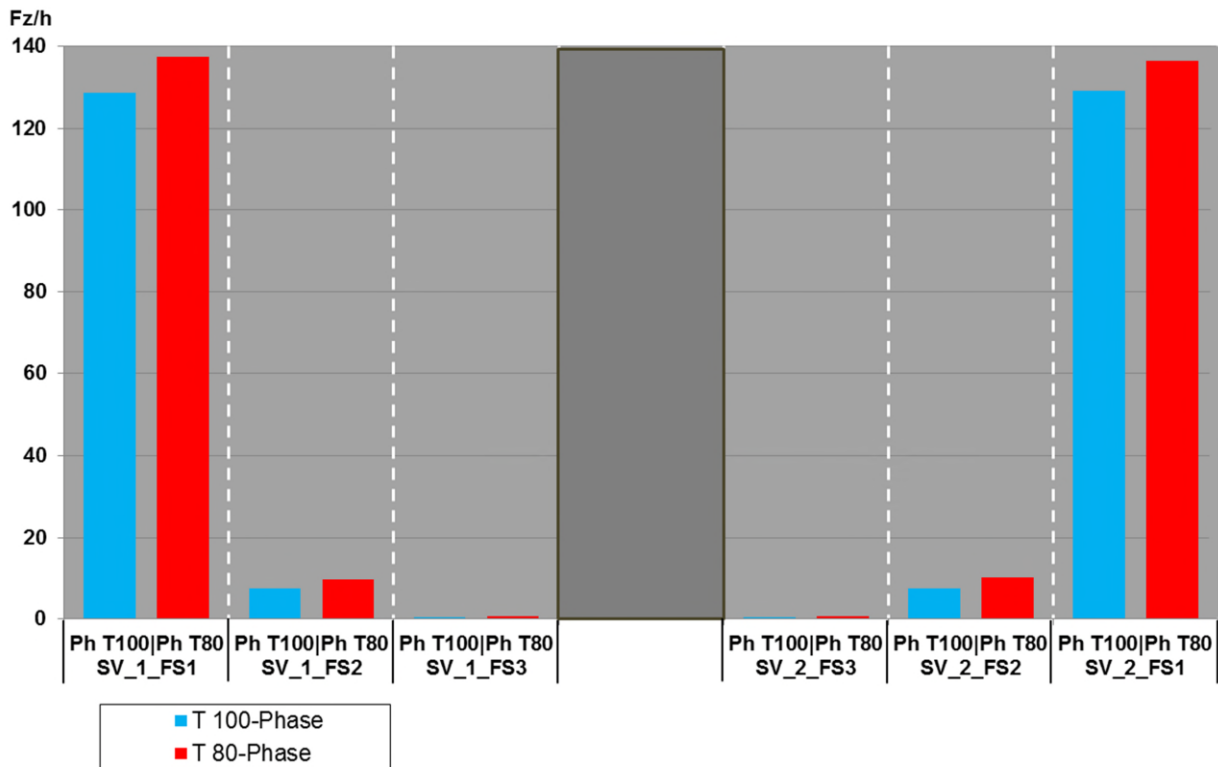
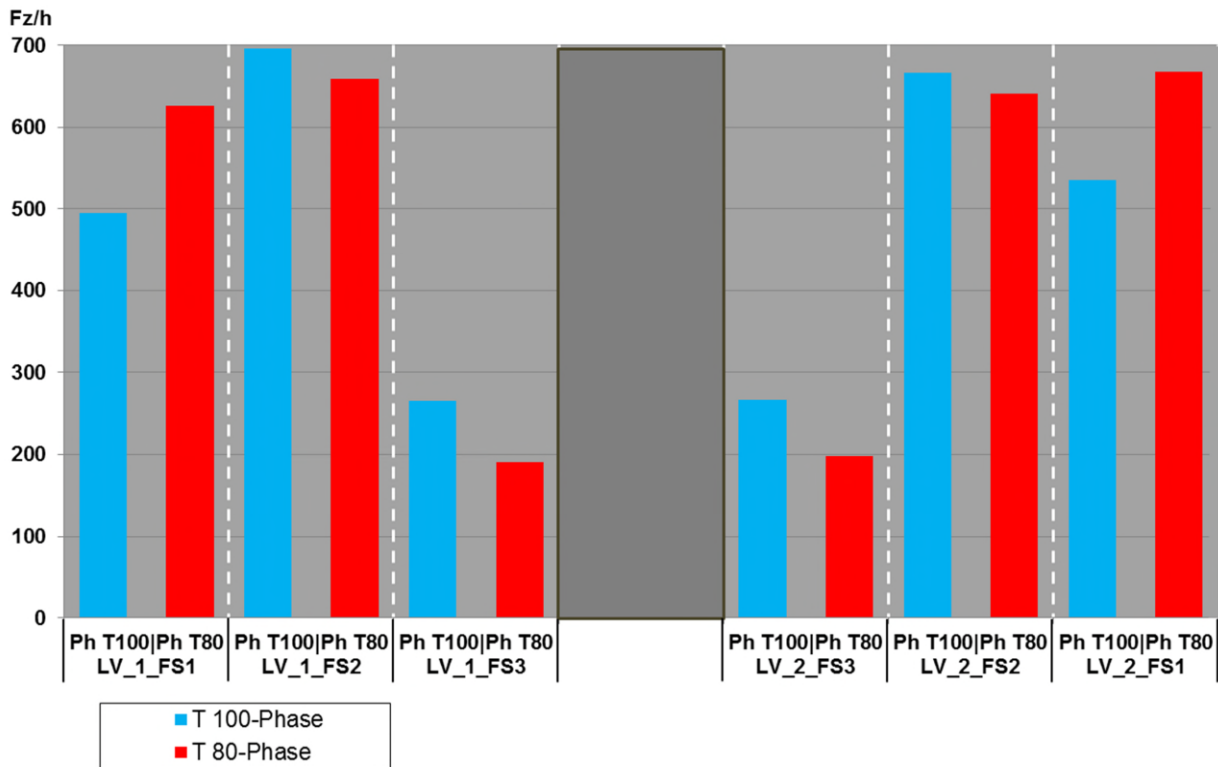
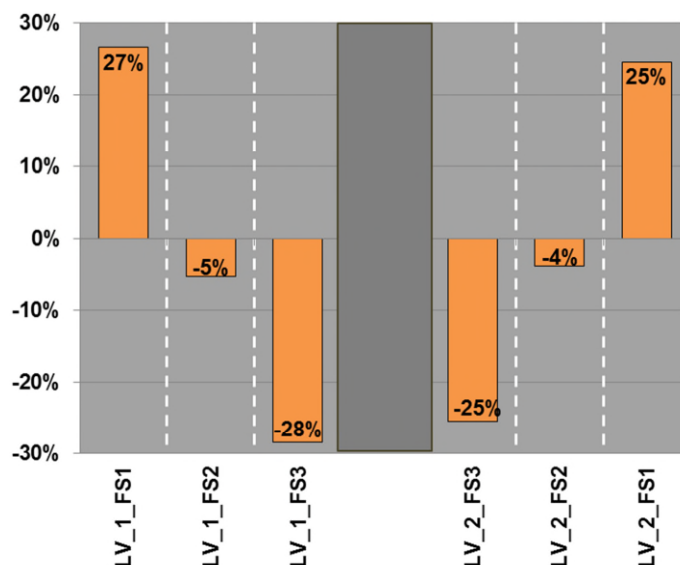


Abbildung 2.3: Aufkommen von Leichtverkehr (LV; oben) und Schwerverkehr (SV; unten) je Fahrstreifen und Phase bei Siezenheim (A1).



**Abbildung 2.4: Proz. Änderung des Aufkommens des Leichtverkehrs (LV) je Fahrstreifen zwischen den beiden Phasen bei Siezenheim (A1).**

Die Betrachtung der Fahrgeschwindigkeiten über die sechs Fahrspuren ist sehr aufschlussreich. Basis sind die Stundenmittelwerte der Geschwindigkeiten. Nebst den Mittelwerten werden für den LV auch noch Quantile gezeigt:

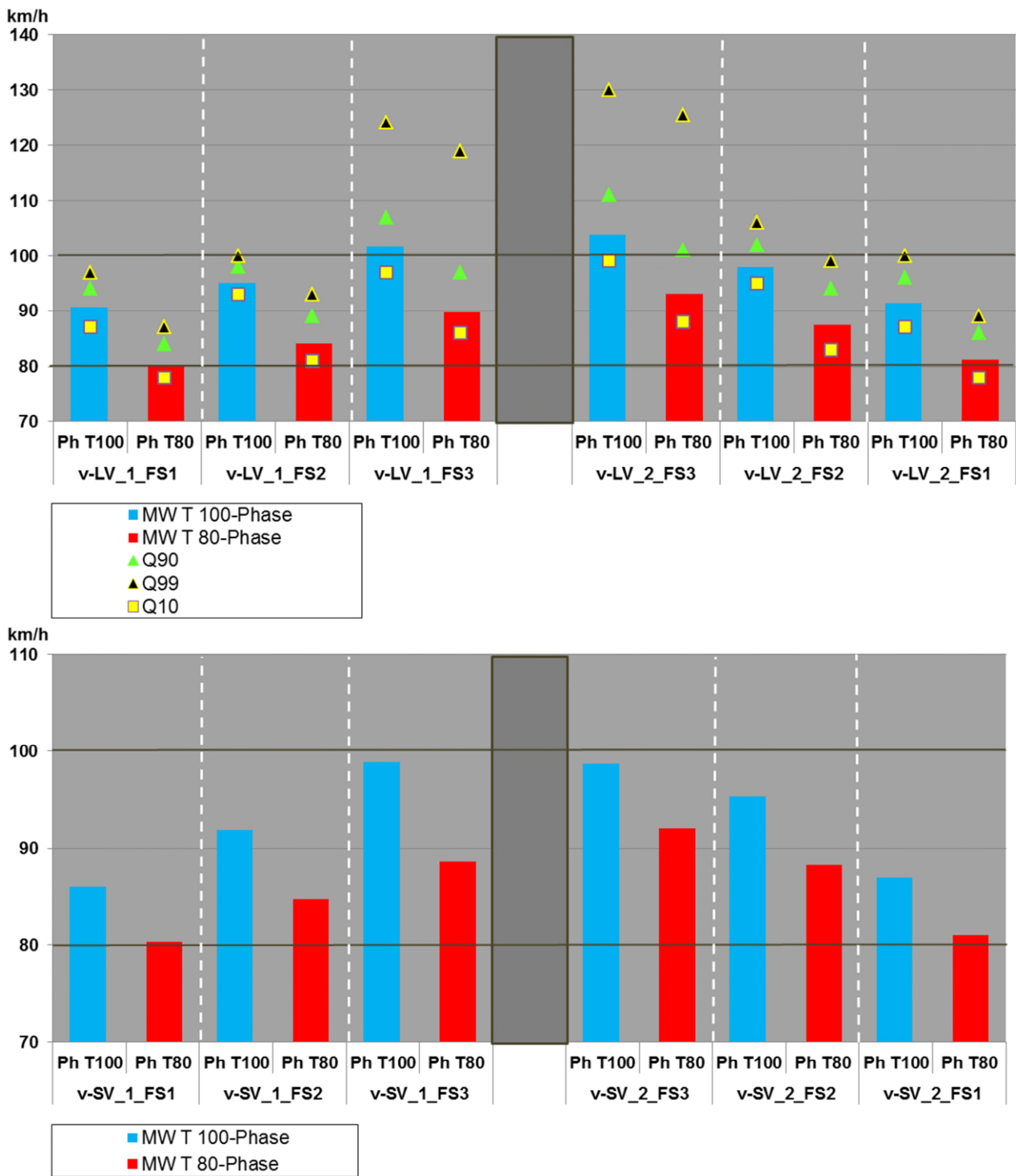
Q10: Wert, der in 10% aller Stunden unterschritten wird.

Q90: Wert, der in 10% aller Stunden überschritten wird.

Q99: Wert, der in 1% aller Stunden überschritten wird (ca. 22 Stunden).

Erwartungsgemäß nehmen die Geschwindigkeiten von FS1 bis FS3 zu. Die mittlere Geschwindigkeit auf FS3 lag während der Tempo80-Phase deutlich über 80 km/h. Auf den FS1 und 2 liegen die Q-Werte nahe um den Mittelwert, es gibt also keine breite Streuung der Fahrgeschwindigkeiten. Auf dem FS3 hingegen ist schon der Q90-Wert, aber mehr noch der Q99-Wert weit vom Mittelwert entfernt; dies deutet darauf hin, dass auf FS3 zum Teil hohe Geschwindigkeiten gefahren werden. Die Reduktion dieser 'Spitzenwerte' ist auch während der Tempo80-Phase nur etwa halb so groß ausgefallen wie bei den übrigen Kennzahlen der Geschwindigkeit. Die schnellsten Fahrzeuge haben also am wenigsten auf Tempo80 reagiert. Aus lufthygienischer Sicht ist dabei die zusätzliche Emission des zu schnellen Fahrzeugs selbst weniger bedeutend; solche Fahrzeuge zwingen vielmehr andere Fahrzeuge auf den rechten Streifen und verursachen durch zusätzliche Brems- und Beschleunigungsmanöver mehr Zusatzemissionen. Diesen Effekt können auch spurwechselnde schwere Fahrzeuge verursachen.

Der Schwerverkehr ist auf allen Fahrstreifen im Mittel ungefähr gleich schnell gefahren wie der Leichtverkehr. Nur weil beim Schwerverkehr ein viel größerer Prozentsatz auf dem langsamsten ersten Streifen gefahren ist, ist er insgesamt langsamer als der Leichtverkehr.



**Abbildung 2.5: Geschwindigkeit des Leichtverkehrs (LV; oben) bzw. des Schwerverkehrs (SV; unten) je Fahrstreifen und Phase bei Siezenheim (A1).**

Die Fahrgeschwindigkeiten hängen auf der A1 bei Salzburg in beiden Phasen wenig vom Wochentag ab; lediglich in Fahrtrichtung 2 (Richtung Linz) wird auf

dem dritten Fahrstreifen am Wochenende erkennbar schneller gefahren als unter der Woche.

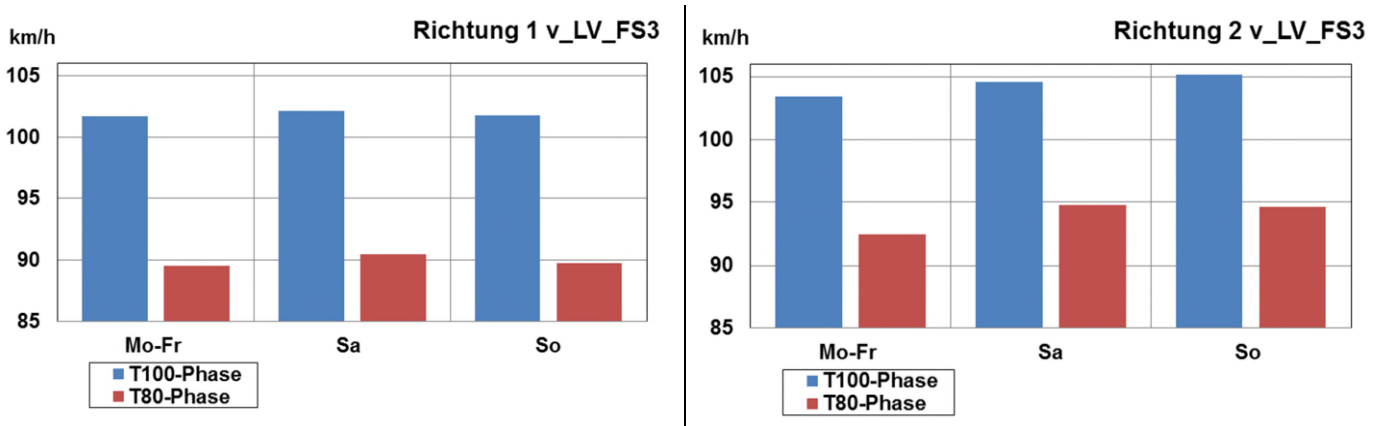


Abbildung 2.6: Mittlere Geschwindigkeit des LV in Fahrtrichtung 1 und 2 für den dritten Fahrstreifen je Phase bei Siezenheim (A1) in Abhängigkeit vom Wochentag.

Die Änderung des Verkehrsaufkommens je Fahrstreifen von der T100-Phase auf die T80-Phase war an allen Wochentagen ähnlich mit Ausnahme von Sonn- und Feiertagen: Da blieb das Aufkommen auf den zweiten und dritten Fahrstreifen etwa gleich, obwohl es insgesamt abgenommen hatte.

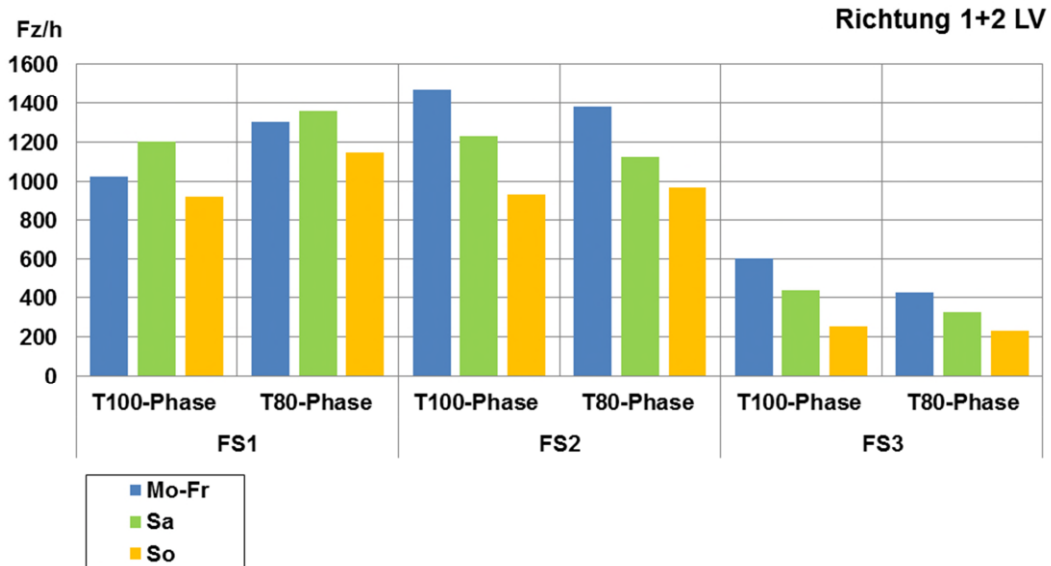


Abbildung 2.7: Verkehrsaufkommen je Fahrstreifen und je Phase bei Siezenheim (A1) in Abhängigkeit vom Wochentag.



## 2.2. Emissionsberechnung

Die Emissionen werden berechnet, indem für jede Fahrzeugkategorie die Anzahl Fahrzeuge mit dem Emissionsfaktor für den betreffenden Stoff (mittlere Emission eines Fahrzeugs der entsprechenden Kategorie) multipliziert wird und die Summe über alle Fahrzeugkategorien gebildet wird. Entsprechend der vorliegenden Verkehrszählung wurden Emissionsfaktoren für Pkw, Lieferwagen, Lkw, Sattel- und Lastenzüge sowie Busse verwendet. Der Anteil der Lieferwagen am Leichtverkehr musste geschätzt werden, da diese in der Zählung nicht speziell ausgewiesen werden; es wurde ein Anteil von 10% wie auf der A10 bei Hallein angenommen. Die Emissionsfaktoren sind dabei von der Art der Straße, der Fahrsituation und der Geschwindigkeit abhängig. Beim LV nehmen die Emissionsfaktoren mit zunehmender Geschwindigkeit wegen des zunehmenden Fahrwiderstands stark zu. Moderne schwere Güterfahrzeuge hingegen haben spezielle Abgasreinigungssysteme, welche für Geschwindigkeiten von 80-90 km/h optimiert sind.

Die Emissionen wurden für jeden Fahrstreifen separat berechnet; es wurde von Stundenwerten des Verkehrsaufkommens und der Fahrgeschwindigkeiten ausgegangen.

Dichter Verkehr führt zu unruhigerem Fahren, was die mittlere Emission pro Fahrzeug (den Emissionsfaktor) erhöht; dies ist in vorliegendem Fall berücksichtigt worden, weil es auf dem ersten Fahrstreifen in der Tempo80-Phase mehr dichten Verkehr gegeben hat als in der Tempo100-Phase. Ansonsten aber wurde zunächst postuliert, dass sich die Emissionen gemäß dem 'Handbuch der Emissionsfaktoren' HBEFA3.1 verhalten haben.

Die Abhängigkeit des NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktors für Pkw von der Geschwindigkeit wird in der folgenden Abbildung gezeigt.

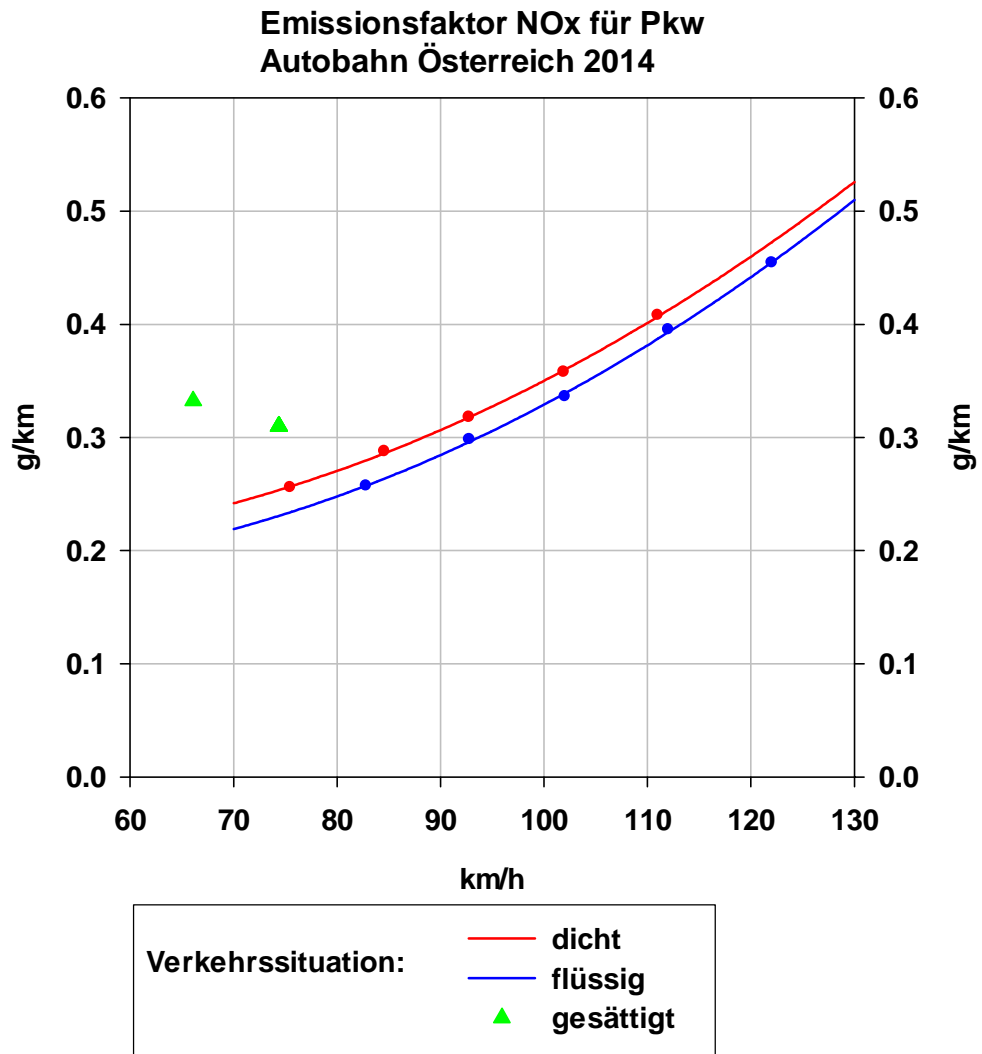


Abbildung 2.8: Emissionsfaktor von NO<sub>x</sub> für Pkw, Autobahn Österreich, 2014.

Die folgende Tabelle zeigt die gesamten NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen der A1 bei Siezenheim für die beiden Phasen. Die Änderung zwischen den beiden Phasen ist hier rein rechnerischer Art basierend auf dem HBEFA3.1.

**Tabelle 2.2: Emissionen von NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim (A1):**

		E_NO <sub>x</sub> (g/km/h)	E_NO <sub>2</sub> (g/km/h)	E_CO <sub>2</sub> (kg/km/h)
<b>Phase Tempo 100</b> 17.10.2013-19.02.2014	Total	1818	395	612
<b>Phase Tempo 80</b> 20.02.-19.05.2014	Total	1717	354	618
<b>Änderung</b>	<b>Absolut</b>	-101	-41	+6
	<b>Relativ</b>	<b>-5.6%</b>	<b>-10.5%</b>	<b>+1.0%</b>

Trotz der Verkehrszunahme resultiert eine Emissionsabnahme infolge Tempo80. Die Änderung bei den NO<sub>2</sub>-Emissionen ist höher als beim NO<sub>x</sub>, weil der LV beim NO<sub>2</sub> einen größeren Anteil an den gesamten Emissionen hat als beim NO<sub>x</sub>. Auch beim CO<sub>2</sub> hat Tempo80 einen kleinen positiven Effekt: Trotz einer Verkehrszunahme von 2-8% ist die mittlere CO<sub>2</sub>-Emission lediglich um 1% angestiegen.

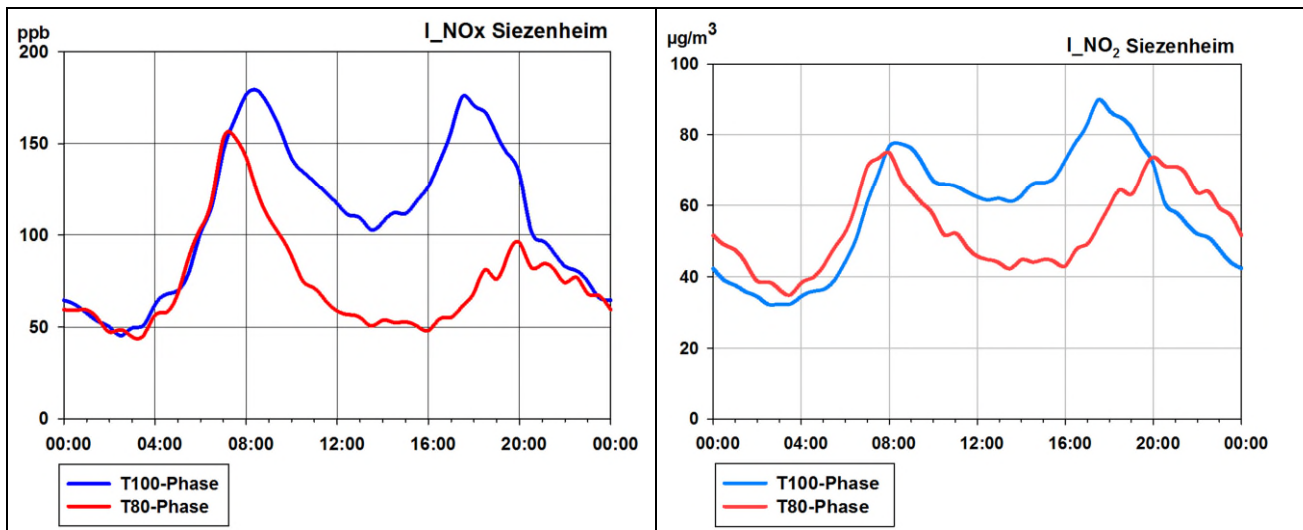
## 2.3. Immissionsmessung Siezenheim

Die Immissionsmessungen für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> bei Siezenheim werden im Folgenden je Phase zusammengefasst. Die Immissionen zeigen für die Tempo80-Phase einen deutlichen Rückgang, woran vor allem für NO<sub>x</sub> die Witterungsbedingungen einen deutlichen Anteil haben (bessere atmosphärische Ausbreitungsbedingungen im Frühjahr als im Winter, s. Kap. 2.4). Beim NO<sub>2</sub> ist ein direkter Vergleich praktisch unmöglich, weil im Frühjahr neben den besseren Ausbreitungsbedingungen auch die NO<sub>2</sub>-Bildungsbedingungen (mehr Ozon, welches mit NO reagiert) besser sind. Vor allem nachts kann daraus eine NO<sub>2</sub>-Zunahme resultieren.

Tabelle 2.3: Mittelwerte von NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim:

		NO <sub>x</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Phase Tempo 100	MW	111	59
Phase Tempo 80	MW	75	54
Änderung	Absolut	-36	-5
	Relativ	-32%	-8.7%

Im mittleren Tagesgang der Immissionen bei Siezenheim zeigen sich die Entlastungen in der Tempo80-Phase vor allem tagsüber.

Abbildung 2.9: Mittlerer Tagesgang von NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim.

## 2.4. Meteorologische Bedingungen: Inversionsauftreten und Wind

Die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen für Luftschadstoffe werden vor allem durch die vertikale 'Durchlässigkeit' der Atmosphäre (mit Inversionen, welche die Durchlässigkeit behindern) und den Wind bestimmt.

### 2.4.1. Inversionen bei Salzburg

Die Inversionen bei Salzburg wurden anhand des Temperaturprofils Flughafen (430 m) – Kapuzinerberg (650 m) - Gersbergalm (770m) bestimmt. Die für bodennahe Emissionen hauptsächlich entscheidende Schicht erstreckt sich von 430 bis 650 m ü.M.

In der Tempo80-Phase hatte es nicht viel weniger Inversionen als in der Tempo100-Phase, was wohl mit dem ungewöhnlichen Winter zusammenhängt. In der Nacht hatte es sogar mehr Inversionen.

**Tabelle 2.4: Inversionshäufigkeit in Prozent der Gesamtzeit je Phase bei Salzburg:**

		Inversionshäufigkeit
		%
<b>Phase Tempo 100</b>	MW	<b>28</b>
	Tag	18
	Nacht	38
<b>Phase Tempo 80</b>	MW	<b>24</b>
	Tag	7
	Nacht	42

Die nächsten beiden Abbildungen zeigen deutlich die größere nächtliche Inversionshäufigkeit während der Tempo80-Phase. Dies mag erklären, weshalb die nächtlichen NOx-Immissionen bei Siezenheim in der Tempo80-Phase trotz geringeren Emissionen etwa auf gleichem Niveau verblieben wie in der Tempo100-Phase.

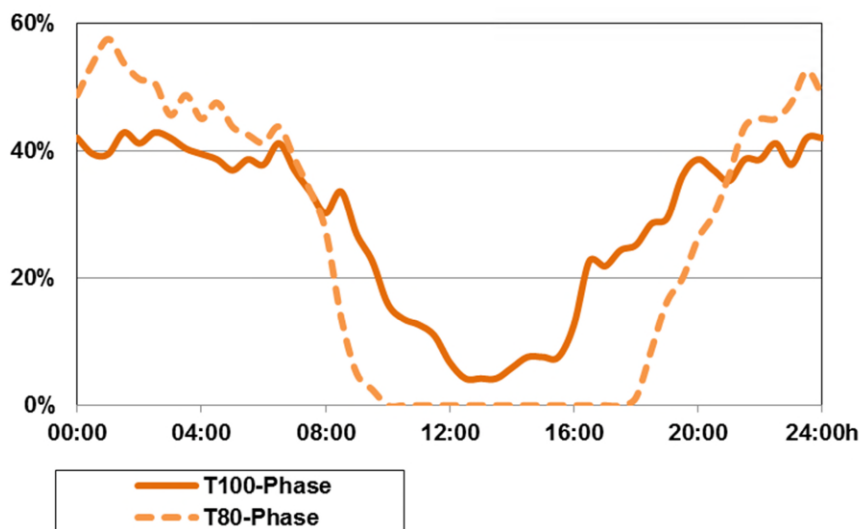


Abbildung 2.10: Tagesgang der Inversionshäufigkeit je Phase bei Salzburg.

Das folgende Piktogramm zeigt das Vorhandensein einer Inversion für jede Halbstunde vom 17.10.2013 – 19.05.2014. Man sieht die generelle Abnahme der Inversionshäufigkeit gegen das Frühjahr hin, aber auch viele inversionsfreie Zeiten in diesem Winter. Nächtliche Inversionen blieben relativ häufig.

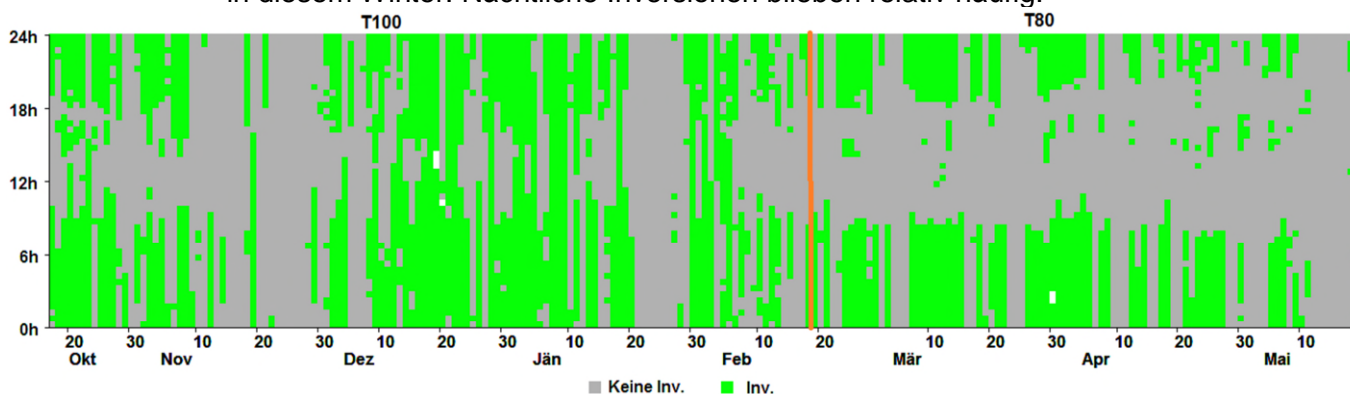


Abbildung 2.11: Inversionsvorkommen vom 17.10.2013 – 19.05.2014 bei Salzburg. Roter Strich: Beginn von Tempo80.

### 2.4.2. Einfluss der Inversionen auf die Immissionen

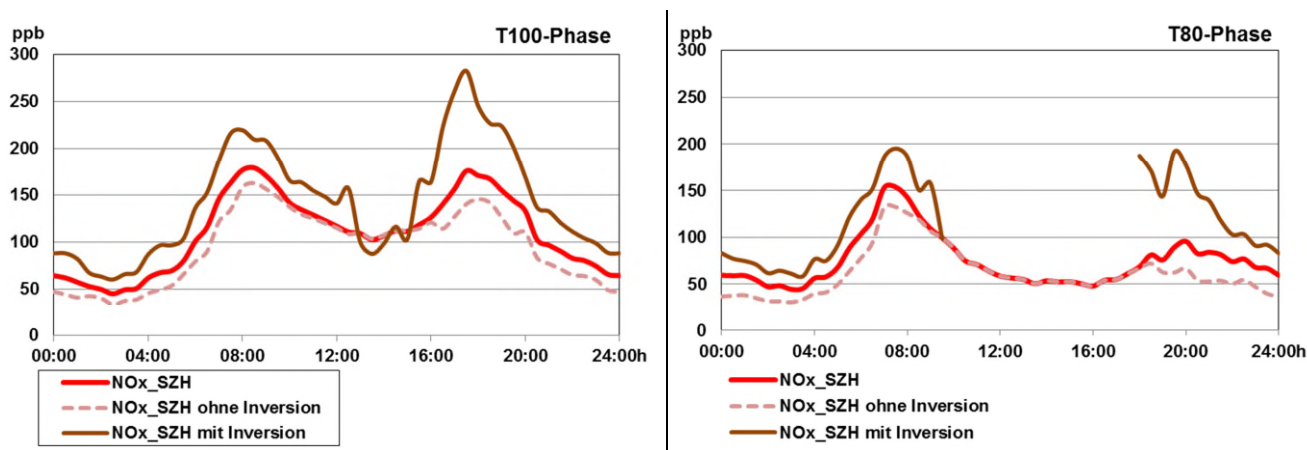
Der Einfluss der Inversionen auf die Immissionen kann leicht gezeigt werden, indem Halbstunden mit und ohne Inversion einander gegenüber gestellt werden. Die folgende Tabelle und die beiden Abbildungen zeigen die Wirkung der Inversionen:



**Tabelle 2.5: Mittelwerte von NOx und NO<sub>2</sub> nach Inversionshäufigkeit (TP Salzburg) je Phase bei Siezenheim, tagsüber (6 – 22 Uhr):**

		NOx	NOx ohne Inversion	NOx mit Inversion	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> ohne Inversion	NO <sub>2</sub> mit Inversion
		ppb	ppb	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<b>Phase Tempo 100</b>	<b>MW</b>	<b>133</b>	<b>119</b>	<b>171</b>	<b>69</b>	<b>65</b>	<b>78</b>
<b>Phase Tempo 80</b>	<b>MW</b>	<b>104</b>	<b>86</b>	<b>157</b>	<b>68</b>	<b>60</b>	<b>92</b>

Bei Tempo80 wurden nur diejenigen Tageszeiten verwendet, für welche es Inversionsvorkommen gab (s. nächste Abbildung).



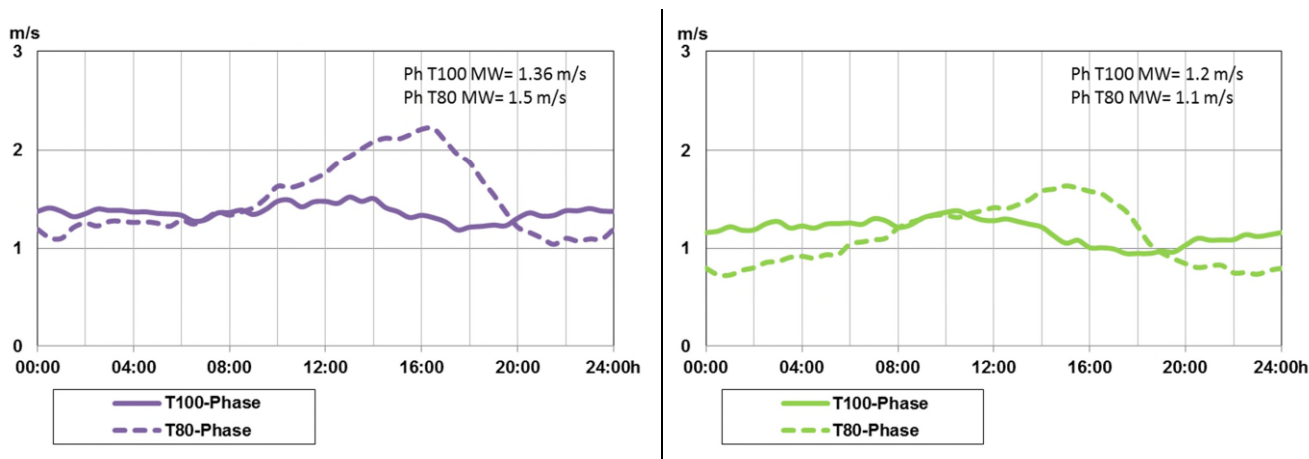
**Abbildung 2.12: Mittlerer Tagesgang von NOx je Inversionsvorkommen bei Siezenheim für Tempo100-Phase (links) bzw. Tempo80-Phase (rechts).**

Inversionen lassen die Immissionen markant ansteigen. Direkte Immissionsvergleiche über Witterungsphasen hinweg sind deshalb unzulässig.

### 2.4.3. Wind bei Siezenheim

Die Windgeschwindigkeit steht in einem Zusammenhang mit der Durchmischung der Luftschadstoffe in der Atmosphäre. In diesem Abschnitt geht es vor allem um die Überprüfung, ob am Standort der Messstation Siezenheim jahreszeitlich und regional typische Windverhältnisse herrschten.

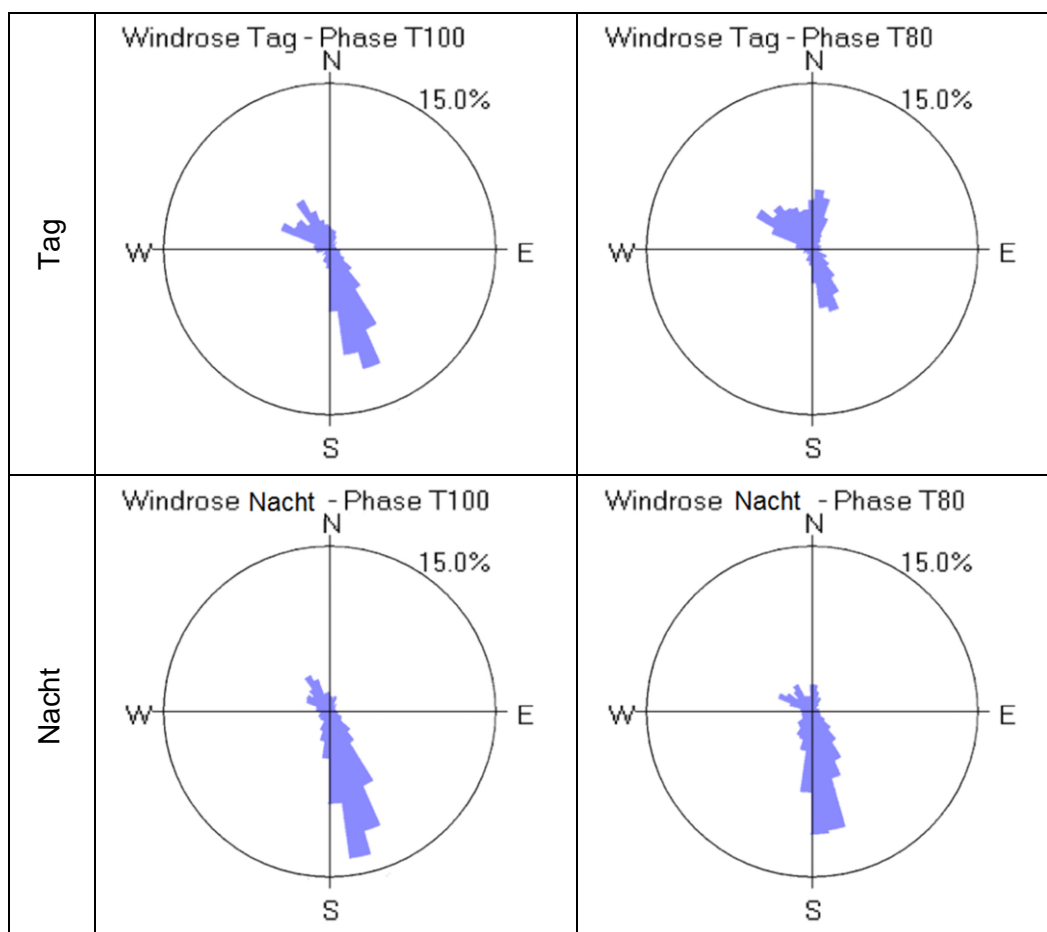
Der mittlere Tagesgang der Windgeschwindigkeit zeigt bei Siezenheim in der Tempo100-Phase (im Winter) nur geringe Schwankungen. In der Tempo80-Phase (im Frühjahr) hatte es nachts weniger Wind (→ mehr Inversionen!), aber tagsüber einen deutlichen Tagesgang mit einem Maximum von 14-16 Uhr. Die Station Hallein im Salzachtal weist etwas geringere Windgeschwindigkeiten auf, aber das gleiche Muster. Dieses Muster bei Siezenheim ist also jahreszeitlich und regional typisch und vor allem gleich wie bei Hallein.



**Abbildung 2.13: Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit je Phase bei Siezenheim (A1) und Hallein A10.**

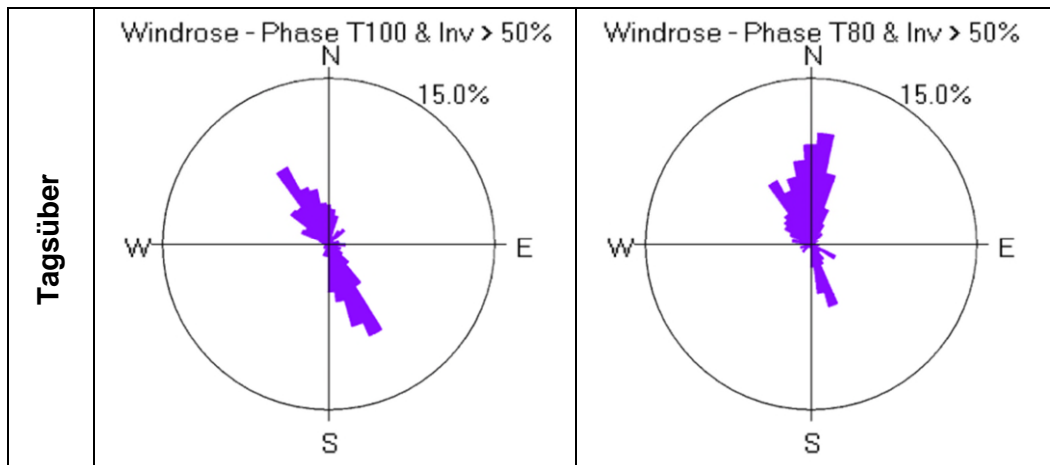
Die Windrichtungsverteilung bei Siezenheim zeigt eine Achse SSE – NW mit den häufigsten Windrichtungen. Dies bedeutet eine Kanalisierung längs des Salzachtales.

In der Tempo80-Phase herrschte tagsüber etwas weniger SSE-Wind und etwas mehr NNE-Wind, was sich insgesamt etwa neutral auf die Immissionen ausgewirkt hat. Nachts sind die Windrosen für die beiden Phasen praktisch gleich.



**Abbildung 2.14: Windrose je Phase bei Siezenheim. Die Windrichtungshäufigkeiten sind nicht proportional zur Fläche der Rosensegmente, sondern zu deren Radien.**

Die Windrosen für Tage mit mehr als 50% Inversionshäufigkeit zeigen tagsüber ausgeprägter eine Verschiebung der einen Hauptwindrichtung von NW in Richtung NNE für die Tempo80-Phase. Aus dem Sektor NNE streicht die Luft eher über näher an der Autobahn liegende Bereiche. Allerdings hat gleichzeitig die Häufigkeit der zweiten Hauptwindrichtung (SSE) abgenommen, so dass insgesamt der Windeinfluss auf die Immissionen bei Inversionslagen in den beiden Phasen als etwa gleich beurteilt wird. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei der Ausbreitung von Luftschadstoffen um eine turbulente Vermischung und nicht um einen gradlinigen Transport handelt.



**Abbildung 2.15: Windrose je Phase bei Siezenheim für Tage mit einer Inversionshäufigkeit > 50%.**

Als Fazit kann festgestellt werden, dass die Windverhältnisse an den Messstellen Siezenheim und Hallein in den beiden Phasen jeweils sehr ähnlich waren. An beiden Orten dominiert die Kanalisierung durch das Salzachtal. Die Windrichtungsverteilungen bei Siezenheim hatten in den beiden Phasen einen ähnlichen Einfluss auf die Immissionen.

### 3. Lufthygienische Wirkung von Tempo80 auf der A1

Während der Tempo80-Phase war die mittlere Fahrgeschwindigkeit des Leichtverkehrs um 12 km/h niedriger als während der Tempo100-Phase. In diesem Kapitel geht es um eine Abschätzung der aus dieser Geschwindigkeitsreduktion folgenden Immissionsabnahme für die Stickstoffoxide an der Messstelle Siezenheim.

Nur mit der Messstelle Siezenheim allein kann eine solche Abschätzung nicht gemacht werden, da sowohl emissionsseitige als auch meteorologische Einflussgrößen die Immissionsänderungen zwischen den beiden Phasen bestimmt haben. Deshalb werden auch die Verkehrs- und Immissionsdaten der Messstelle Hallein A10 herangezogen. Diese Messstelle liegt in einem meteorologisch ähnlichen Raum (s. Kap. 2.4) und ebenfalls nahe an einer Autobahn.

#### 3.1. Vergleich der Emissions- und Immissionsentwicklung zwischen Siezenheim A1 und Hallein A10

In diesem Abschnitt werden die Emissions- und Immissionsentwicklungen an den Messstellen Siezenheim und Hallein A10 miteinander verglichen. 'Tempo100-Phase' und 'Tempo80-Phase' beziehen sich dabei stets auf die A1 und nicht auf allfällige Tempolimits auf der A10. In diesem Vergleich dauert die Tempo80-Phase infolge der Verfügbarkeit der Verkehrsdaten bei Hallein nur bis zum 15.5.2014, also 4 Tage weniger lang.

##### 3.1.1. Tagesgänge im Vergleich

Die mittleren Tagesgänge der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionen sowie der NO<sub>x</sub>-Emissionen zeigen für Siezenheim und Hallein jeweils einen sehr ähnlichen Verlauf mit unterschiedlichen Absolutwerten. Besonders schön ist dies an den **relativen** mittleren Tagesgängen der NO<sub>x</sub>-Immissionen zu sehen; dabei beträgt das Mittel für jede einzelne Kurve 100%. Aufgrund dieser starken Ähnlichkeit

kann eine Ähnlichkeit des meteorologischen Einflusses auf die Immissionen postuliert werden.

Bei Siezenheim haben die NO<sub>x</sub>-Emissionen in der Tempo80-Phase gegenüber der Tempo100-Phase abgenommen (theoretische Berechnung aufgrund der Geschwindigkeitsreduktion), währenddem sie bei Hallein A10 zugenommen haben. Die NO<sub>x</sub>-Immissionen haben bei Siezenheim deutlich mehr abgenommen als bei Hallein A10. Will man den 'realen' (in den Immissionen sichtbaren) Tempo80-Effekt durch Vergleich mit Hallein abschätzen, muss die Emissionszunahme bei Hallein berücksichtigt werden (s. Kap. 3.2).

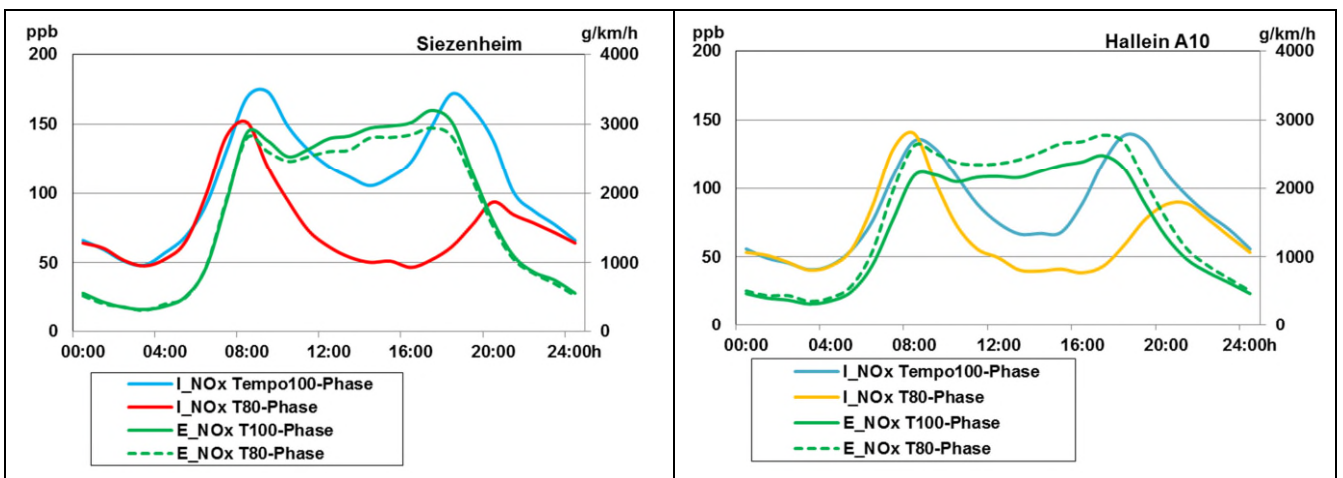


Abbildung 3.1: Mittlerer Tagesgang der NO<sub>x</sub>-Immissionen und -Emissionen je Phase bei Siezenheim und Hallein A10.

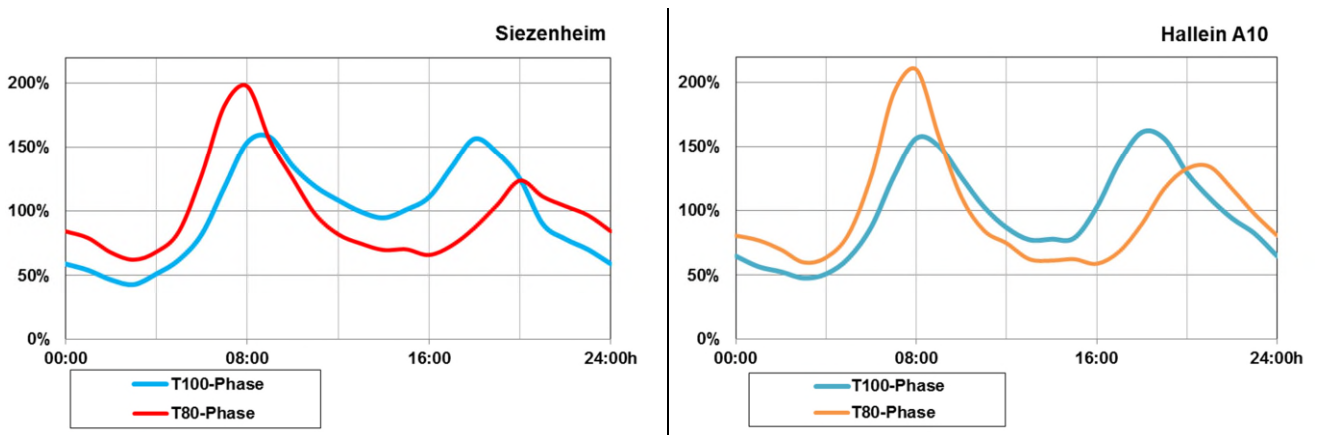


Abbildung 3.2: Relativer mittlerer Tagesgang von NO<sub>x</sub> je Phase bei Siezenheim und Hallein A10. Der Wert von 100% entspricht dem Mittelwert jeder einzelnen Kurve.

Auch die mittleren Tagesgänge der NO<sub>2</sub>-Immissionen sind sehr ähnlich zwischen Siezenheim und Hallein A10. Die geringere Abnahme in der Tempo80-Phase (im



Vergleich zur Tempo100-Phase) bei Hallein erklärt sich dadurch, dass sich die  $\text{NO}_2$ -Emissionen bei Siezenheim prozentual doppelt so stark verringert haben wie die  $\text{NO}_x$ -Emissionen, bei Hallein haben die beiden Komponenten etwa gleich stark zugenommen (ein Teil der Zunahme kommt durch weniger häufige Tempo100-Schaltungen zustande).

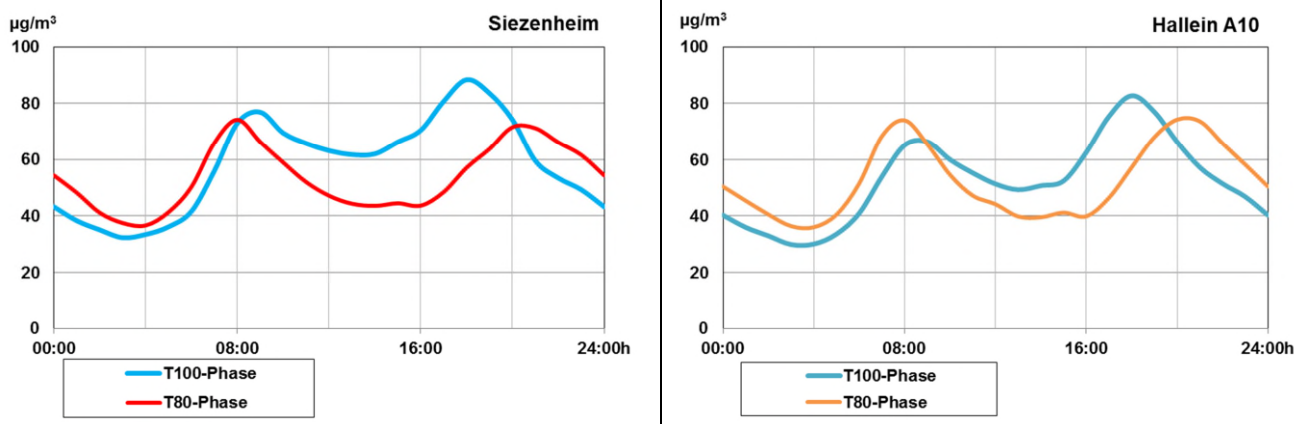


Abbildung 3.3: Mittlerer Tagesgang von  $\text{NO}_2$  je Phase bei Siezenheim und Hallein A10.

### 3.1.2. Vergleich von Verkehrs- und Immissions-Kennzahlen für Siezenheim A1 und Hallein A10

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über Verkehrs- und Immissions-Kennzahlen für Siezenheim und Hallein A10 und ihre Veränderung zwischen den beiden Phasen.

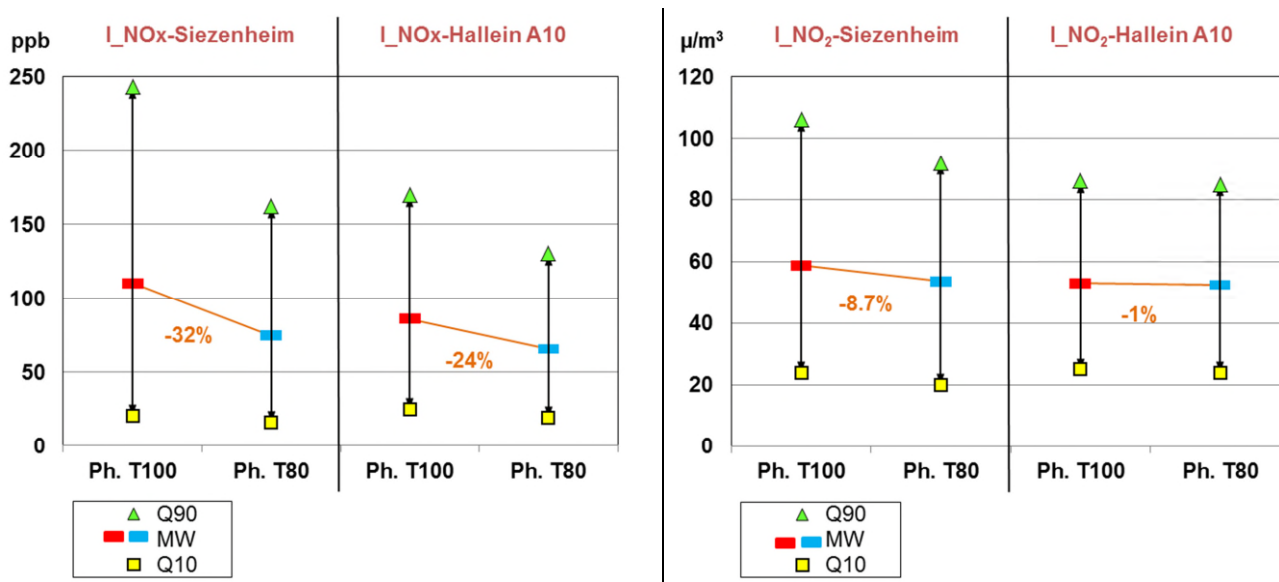
Die Verkehrszunahme ist bei Hallein A10 grösser als bei Siezenheim. Bei Siezenheim ist der theoretische Effekt der Reduktion des Emissionsfaktors des Leichtverkehrs infolge der Geschwindigkeitsreduktion gemäß HBEFA3.1 in die Emissionsberechnung für die Tempo80-Phase eingegangen.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Prozentzahlen Brüche darstellen (mit Zähler und Nenner); solche Zahlen dürfen nicht unbesehen addiert oder sonst wie verrechnet werden, weil stets die neue Basis (der Nenner) überlegt werden muss.

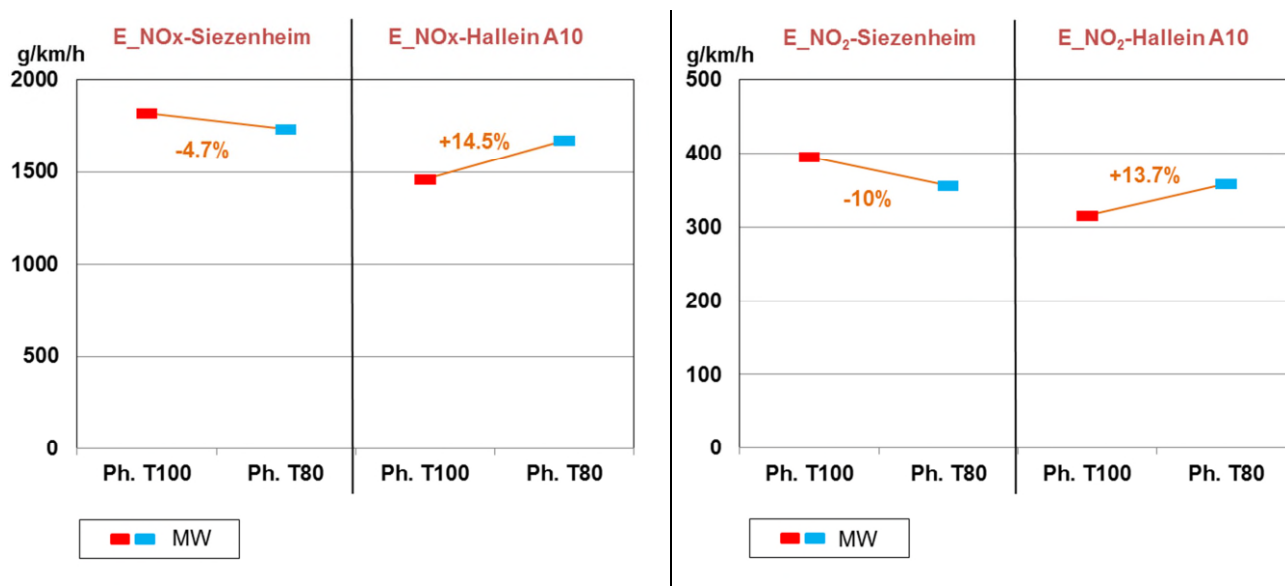
**Tabelle 3.1: Mittelwerte des Aufkommens von LV und SV sowie Emissionen und Immissionen von NOx und NO<sub>2</sub> je Phase bei Siezenheim und Hallein A10. Tempo100-Phase 17.10.2013 – 19.02.2014; Tempo80-Phase 20.02. – 15.05.2014.**

		LV Fz./h	SV Fz./h	E_NOx g/km/h	E_NO <sub>2</sub> g/km/h	I_NOx ppb	I_NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>
<b>Siezenheim</b>							
Tempo 100 -Phase	Total	2923	274	1818	395	110.4	58.9
Tempo 80 -Phase	Total	2989	299	1732	356	74.8	53.8
Änderung	Absolut	66	25	-86	-39	-36	-5
	Relativ	+2.2%	+9.1%	-4.7%	-10.0%	-32.3%	-8.7%
<b>Hallein A10</b>							
Tempo 100 -Phase	Total	1819	201	1458	315	85.9	53.1
Tempo 80 -Phase	Total	1943	236	1671	358	65.7	52.6
Änderung	Absolut	125	35	214	43	-20.2	-0.5
	Relativ	+6.9%	+17.4%	+14.6%	+13.7%	-23.6%	-1.0%

Die Veränderungen der NOx- und NO<sub>2</sub>-Immissionen sowie der NOx-Emissionen zwischen den beiden Phasen werden im Folgenden grafisch dargestellt:



**Abbildung 3.4: Änderung der Mittelwerte sowie der 90- und 10-Perzentile der NOx- und NO<sub>2</sub>-Immissionen zwischen den beiden Phasen bei Siezenheim und Hallein A10.**



**Abbildung 3.5: Änderung der Mittelwerte der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen den beiden Phasen bei Siezenheim und Hallein A10.**

Aus der Betrachtung dieser prozentualen Veränderungen kann der Tempo80-Effekt nicht abgeschätzt werden. Dazu müssen direkte Verhältnisse zwischen den Immissionen und Emissionen an den beiden Standorten gebildet werden.

### 3.1.3. Verlauf der Tagesmittel im Vergleich

Der Verlauf der Tagesmittel der NO<sub>x</sub>-Emissionen von Oktober 2013 bis Mai 2014 zeigt die Annäherung der Werte bei Hallein A10 an diejenigen bei Siezenheim. Die zugrunde liegenden Emissionsfaktoren für die Tempo80-Phase entstammen dem HBEFA3.1 unter der Annahme gleicher Verkehrssituation wie bei der Tempo100-Phase unter Berücksichtigung von Stunden mit dichtem Verkehr (mehr als 1000 Fz/h auf einem Fahrstreifen). Diese Annahme wird im Folgenden als 'T80 theor.' bezeichnet. Mit Beginn der T80-Phase am 20.02.2014 gehen die NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Siezenheim sprunghaft zurück.

Der Verlauf der Tagesmittel der NO<sub>x</sub>-Immissionen zeigt ebenfalls eine Annäherung der Werte bei Hallein A10 an diejenigen bei Siezenheim. Da das Wetter einen großen Einfluss auf die Immissionen hat, ist das Ausmaß der Annäherung nicht so augenscheinlich wie bei den Emissionen.

Besser ist der Verlauf im gleitenden Wochenmittel zu erkennen; die typischen Schwankungen über die Wochentage, vor allem der geringere Verkehr an den Wochenenden, fallen da raus. Nun ist die Annäherung der beiden Kurven auch bei den Immissionen augenscheinlich.

Rosa unterlegt sind die Flächen zwischen den Verläufen von Siezenheim und Hallein A10, wenn der Wert für Siezenheim größer ist als derjenige für Hallein.

Diese Emissions- und Immissionsverläufe stellen den Ausgangspunkt der Abschätzung des empirisch ermittelten 'Tempo80-Effektes' dar.

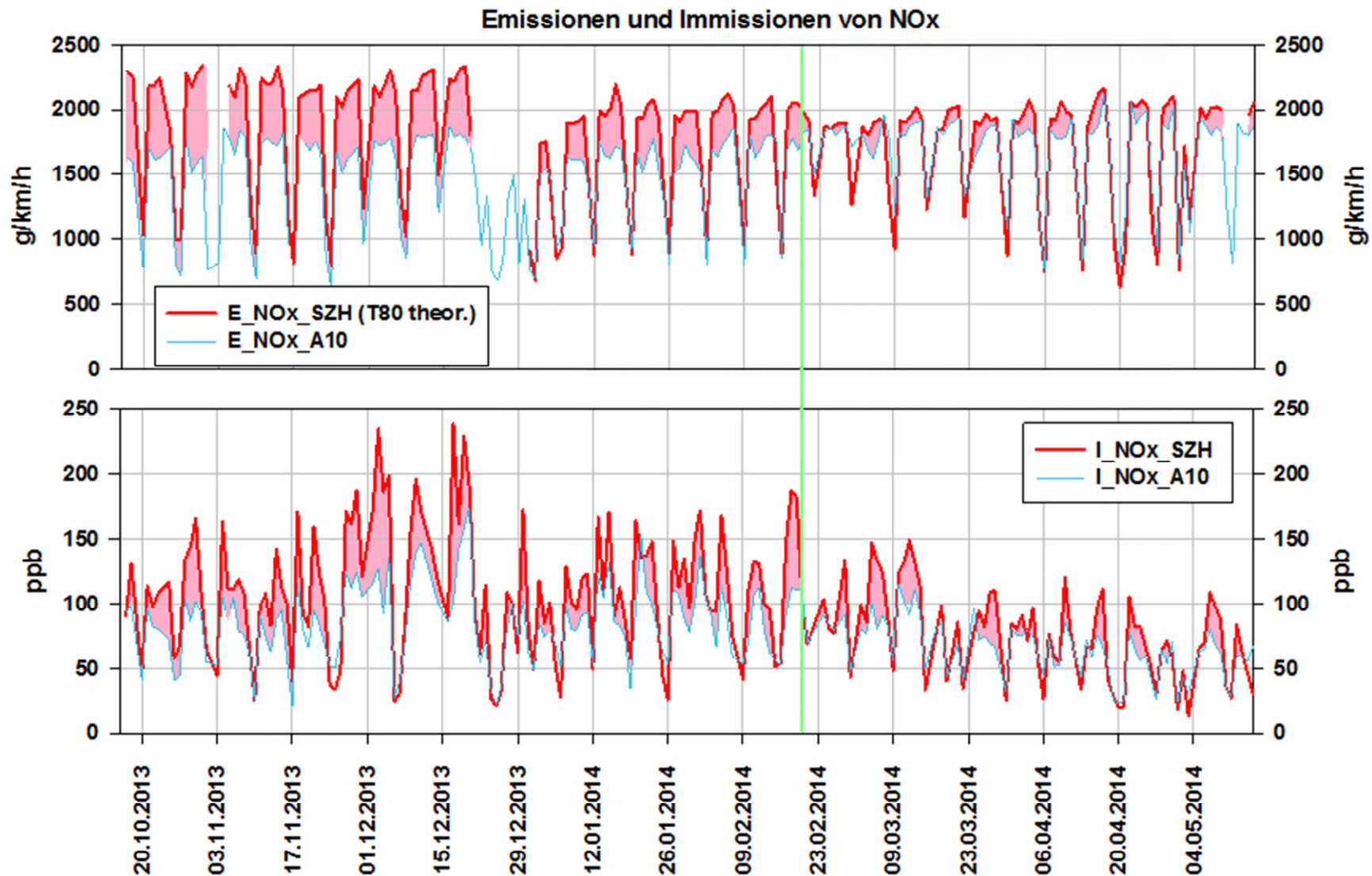


Abbildung 3.6: Verlauf der Tageswerte der NOx-Emissionen und –Immissionen bei Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Grüne Markierung: Beginn der T80-Phase. 'T80 theor.': Theoretische Absenkung des Emissionsfaktors für gleiche Verkehrssituation.

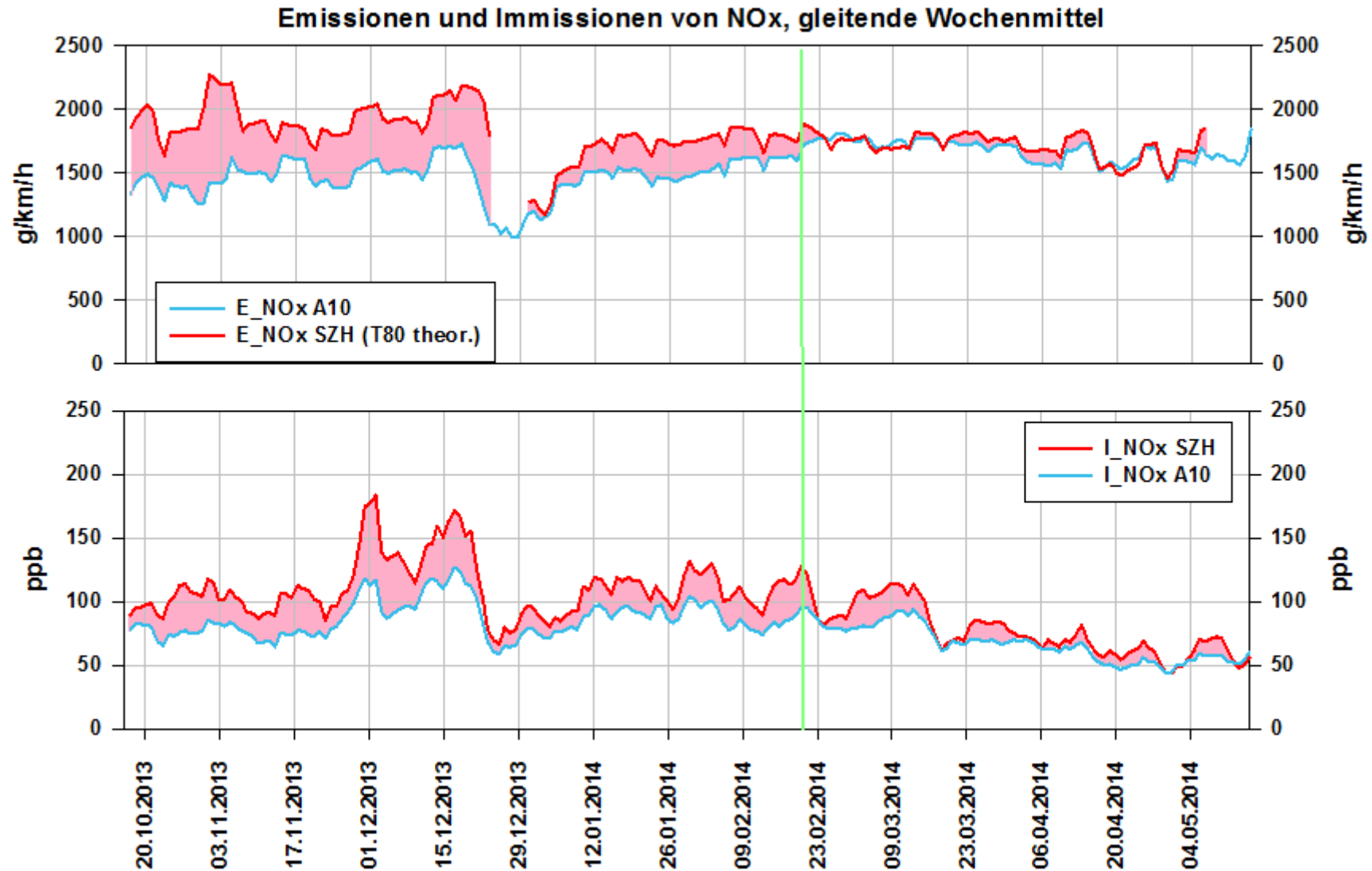


Abbildung 3.7: Gleitende Wochenmittel der NO<sub>x</sub>-Emissionen und -Immissionen bei Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Grüne Markierung: Beginn der T80-Phase. 'T80 theor.': Theoretische Absenkung des Emissionsfaktors für gleiche Verkehrssituation.



## 3.2. Empirische Schätzung der Emissionsreduktion während der Tempo80-Phase

Zur empirischen Abschätzung des 'Tempo80-Effektes' betreffend Emissionen und Immissionen wird für jeden Tag **das Verhältnis** der NO<sub>x</sub>-Emissionen und der NO<sub>x</sub>-Immissionen zwischen Siezenheim und Hallein A10 gebildet. Bei gleichen Ausbreitungsbedingungen sind diese Verhältnisse zumindest im Mittel über einen gewissen Zeitraum gleich. In der Tempo100-Phase war dies tatsächlich der Fall. Dabei kann von einem an beiden Standorten gleichen regionalen Immissionshintergrund ausgegangen werden, welcher ebenfalls den Witterungseinflüssen ausgesetzt ist (beide Standorte im Salzbachtal, s. Windverhältnisse Kap. 2.4), jedoch wurde bei Siezenheim ein lokaler Hintergrund von 5% **am Ort der Messung am Autobahnrand** in Abzug gebracht (der Anteil der A1-fremden NO<sub>x</sub>-Emissionen im Norden Salzburgs ist weitaus höher als 5%).

Es hätte sein können, dass die Ausbreitungsbedingungen bei Hallein im etwas ausgeprägteren Tal zumindest im Winter etwas ungünstiger gewesen wären als bei Siezenheim [s. z.B. "Der Alpenfaktor: Höhere Immissionen pro Emissionseinheit in Alpentälern. Betrachtung von 2004 – 2012". Thudium, J., Oekoscience, im Auftrag des schweiz. Bundesamtes für Umwelt (BAFU), 2013]; dann wäre das Immissionsverhältnis im Mittel etwas kleiner gewesen als das Emissionsverhältnis. Das war aber nicht der Fall.

Es ist also davon auszugehen, dass die Emissions- und Immissionsverhältnisse zwischen Siezenheim und Hallein A10 auch in der Tempo80-Phase gleich waren. Nun kann überprüft werden, bei welchen 'realen' Tempo80-Emissionen bei Siezenheim dies der Fall war.

### 1. Hypothese: Tempo80 hat nichts gebracht.

Die Emissionsfaktoren der Tempo100-Phase sollen auch für die Tempo80-Phase gelten. Das Ergebnis zeigt Abbildung 3.8. Das Emissionsverhältnis und damit die hypothetischen Emissionen bei Siezenheim in der Tempo80-Phase sind deutlich zu hoch, d.h. **diese Hypothese ist zu verwerfen**.

### Verhältnisse Siezenheim / Hallein A10

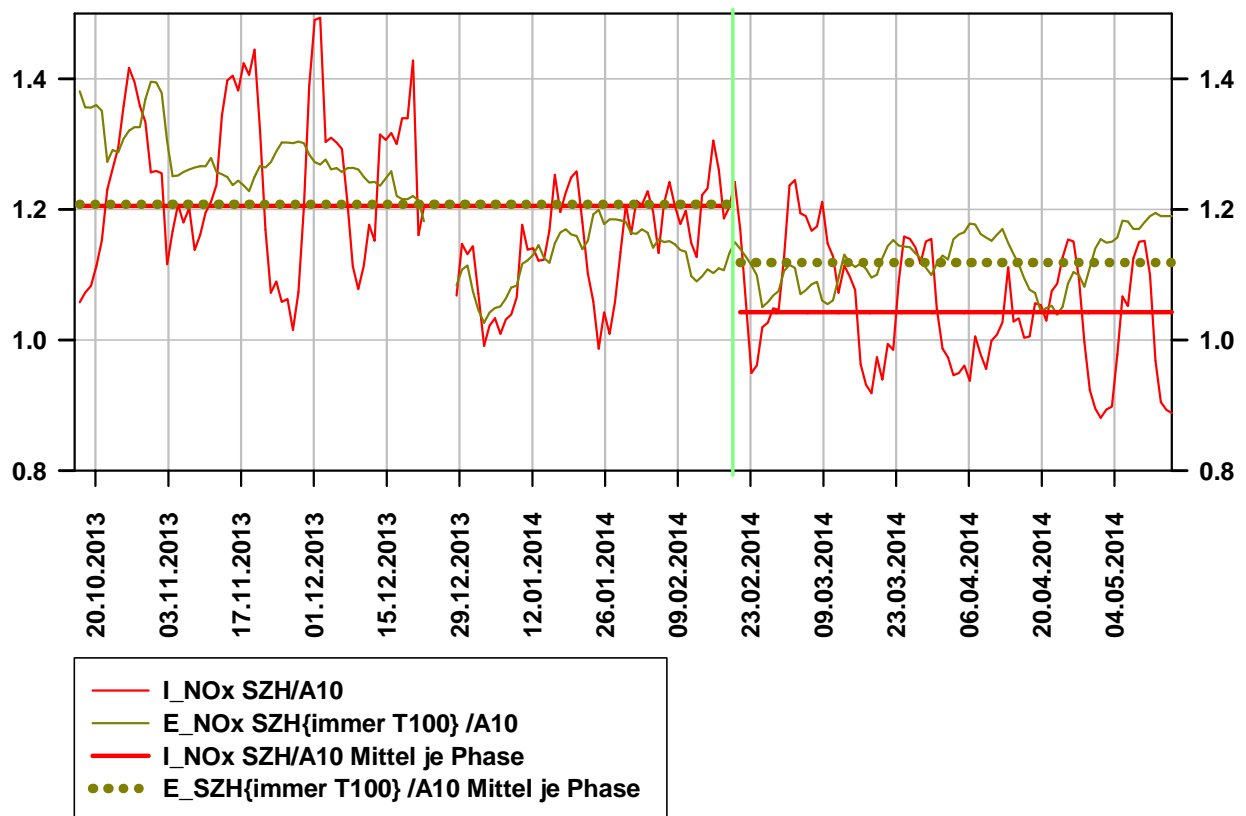
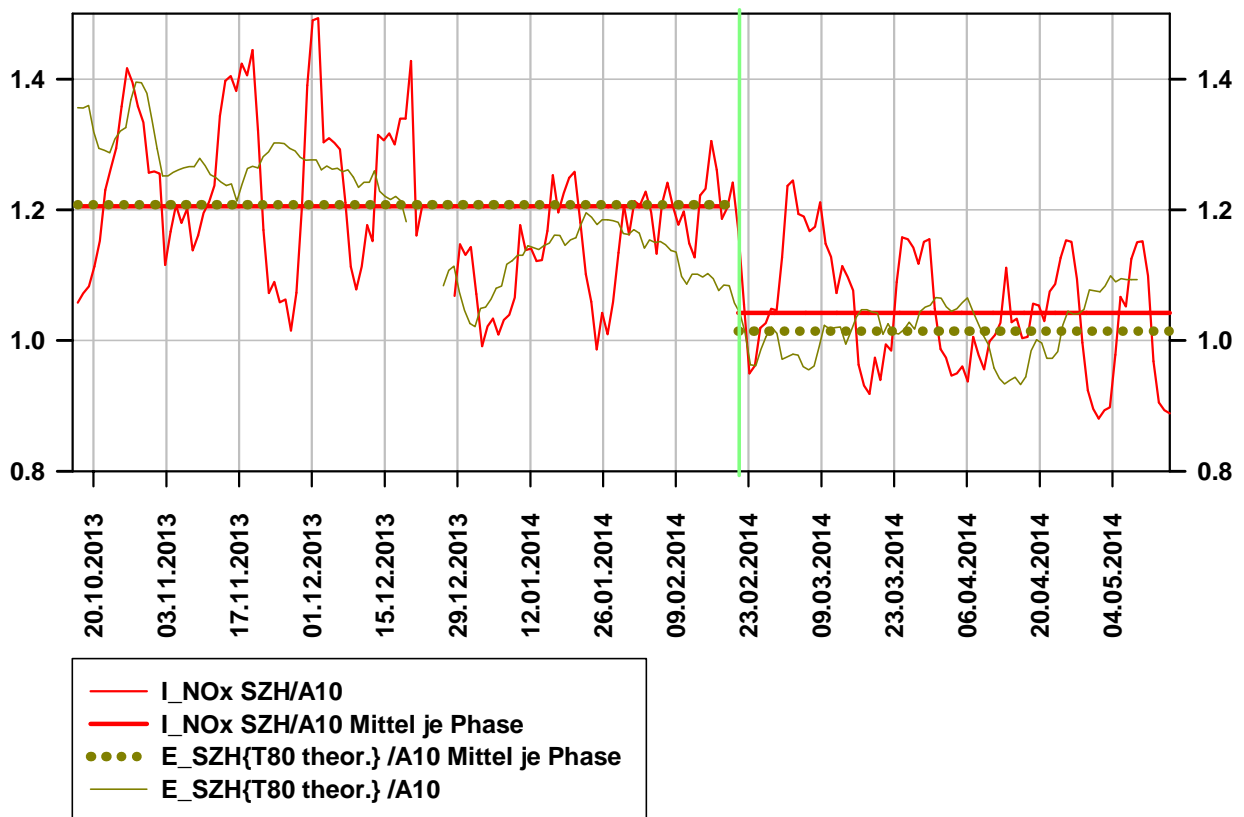


Abbildung 3.8: Emissions- und Immissionsverhältnisse (Basis Tagesmittel) zwischen Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Hypothese: Kein Effekt von Tempo80. Grüne Markierung: Beginn der Tempo80-Phase.

**2. Hypothese: Tempo80 hat eine Emissionsreduktion gemäß HBEFA3.1 bei insgesamt gleicher Verkehrssituation gebracht.** Das Ergebnis zeigt Abbildung 3.9. Die Mittelwerte der Emissions- und Immissionsverhältnisse liegen nun deutlich näher beisammen, allerdings sind nun die Emissionen bei Siezenheim ein Stück weit zu klein (die Mittelgerade für die Emissionsverhältnisse liegt weiter unten als diejenige für die Immissionsverhältnisse).

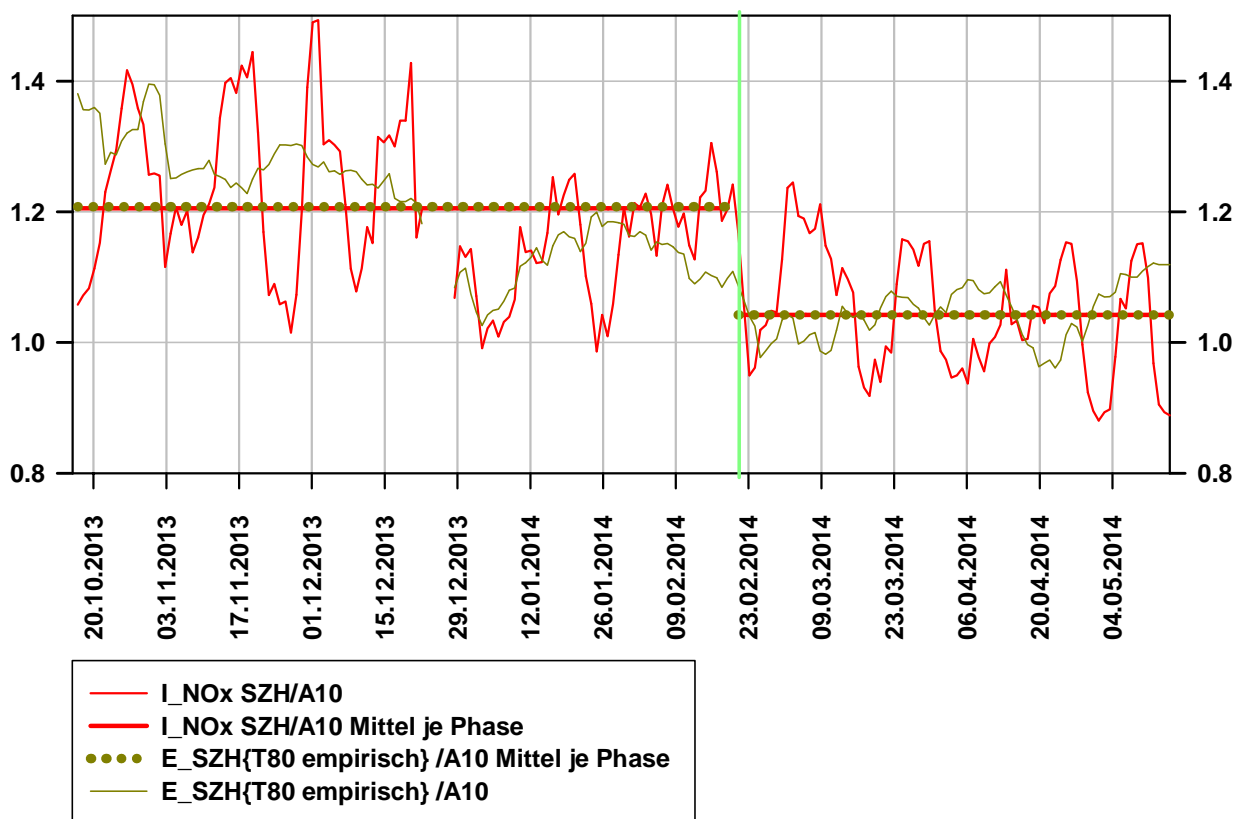
### Verhältnisse Siezenheim / Hallein A10



**Abbildung 3.9: Emissions- und Immissionsverhältnisse (Basis Tagesmittel) zwischen Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Hypothese: Effekt von Tempo80 gem. HBEFA3.1 bei gleicher Verkehrssituation. Grüne Markierung: Beginn der Tempo80-Phase.**

**3. Hypothese: Empirisch ermittelter Tempo80-Effekt entspricht einer Emissionsreduktion von 70% des theoretischen Wertes.** Das Ergebnis zeigt Abbildung 3.10. Nun liegen die beiden Mittelgeraden (Emissions- und Immissionsverhältnis) auch in der Tempo80-Phase beieinander. Eine Emissionsreduktion im Umfang von 70% des theoretischen Wertes wird also durch das Immissionsverhalten bestätigt.

### Verhältnisse Siezenheim / Hallein A10



**Abbildung 3.10: Emissions- und Immissionsverhältnisse (Basis Tagesmittel) zwischen Siezenheim und Hallein A10, 17.10.2013 – 19.05.2014. Hypothese: Empirisch ermittelter Effekt von Tempo80 von 70% des Effektes gem. HBEFA3.1 bei gleicher Verkehrssituation. Grüne Markierung: Beginn der Tempo80-Phase.**

Der Grund für die auf 70% reduzierte Wirksamkeit des theoretisch zu erwartenden Effekts dürfte einerseits an der neuen Verkehrssituation liegen, an welche sich die Verkehrsteilnehmer erst gewöhnen müssen, sowie am vermehrten Spurwechsel vom Schwerverkehr, welcher Brems- und Beschleunigungsvorgänge anderer Verkehrsteilnehmer auslöst.

Eine Abschätzung der Emissionsreduktion während der sog. 'Stadiontage' ist angesichts der geringen Datenmenge (7 bzw. 9 Tage je Phase) nicht lohnend; die Fehlerbreite wäre zu groß.

### 3.3. Empirische Schätzung der Immissionsreduktion während der Tempo80-Phase

Auf der Basis der mit den Immissionsmessungen abgestützten empirischen Emissionsreduktion während der Tempo80-Phase von 70% des theoretisch zu erwartenden Wertes werden nun die empirischen Immissionsreduktionen ermittelt. Dazu wird das 'Taumodell' verwendet, ein empirisches Ausbreitungsmodell für quellennahe Bereiche, das die konkreten Ausbreitungsverhältnisse für jede Stunde konkreten Erhebungen der Schadstoffquellen (z.B. Verkehrszählungen) und der Immissionen entnimmt, [s. z.B.: "EMPIRICAL MODELING OF AIR POLLUTION IN THE PROXIMITY OF ROADS", Thudium, J., Oekoscience, 14th International Symposium on Transport and Air Pollution, Graz, 2005.]. Dieses Modell ist szenarienfähig. Für jede topographische/ meteorologische Region wird eine Immissionsmessung gebraucht (in diesem Falle die Station Siezenheim), weil auf die Adaptierung mechanischer und thermodynamischer Gleichungen für die Atmosphäre verzichtet wird; vom Modell her kann nicht direkt auf die Ausbreitung ins 'Landesinnere', d.h. in Gebiete weiter abseits der Autobahn, geschlossen werden.

Die Auswirkungen der Emissionsreduktionen auf die Immissionen an  $\text{NO}_2$  müssen unter Berücksichtigung der  $\text{NO}_2$ -Emission und des in der Atmosphäre aus  $\text{NO}$  gebildeten  $\text{NO}_2$ -Anteils modelliert werden. Die Berechnung dieser von Ozonangebot und meteorologischen Bedingungen abhängigen komplexen Prozesse kann nur mit empirischer Hilfe angegangen werden. Allgemeine statische Ansätze für das Verhältnis zwischen  $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}_x$  wie z.B. nach Romberg führen zu nicht haltbaren Ergebnissen.

Für den gesamten Beobachtungszeitraum vom 17.10.2013 – 19.05.2014 wurde der Immissionseffekt von Tempo80 für  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  an der Messstelle Siezenheim berechnet; in der Tempo100-Phase, welche Reduktion durch Tempo80 hätte erreicht werden können, in der Tempo80-Phase, welche Zunahme bei weiterhin Tempo100 erfolgt wäre. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen diese Effekte als Tagesmittelwerte.

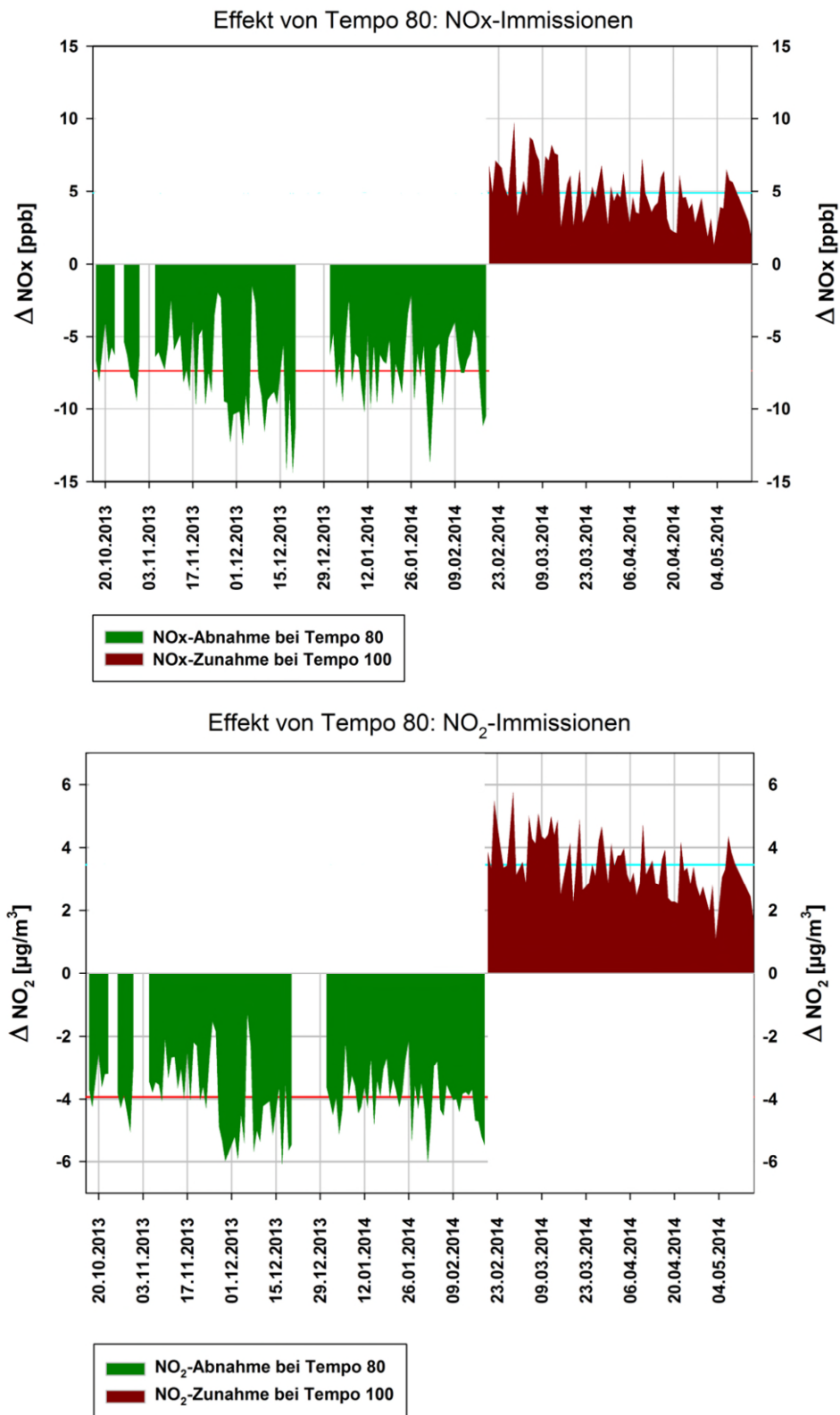


Abbildung 3.11: Effekte von Tempo 80 auf die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionen. Tagesmittelwerte der Immissionsabnahme bei Tempo80 während der Tempo100-Phase und Zunahme bei Tempo100 während der Tempo80-Phase.

Im Winter ist der Effekt von Tempo80 grösser als im Frühjahr, da auch die Immissionen an sich dann höher sind. Die Reduktion beträgt 5-7 ppb beim NO<sub>x</sub> und 3-4 µg/m<sup>3</sup> beim NO<sub>2</sub>. Dies sind 6-7% der vorhandenen Immissionen. Das ist etwa die Hälfte der im Vorfeld prognostizierten 13%. Zum einen erklärt sich dies durch das Ausmaß der Geschwindigkeitsreduktion, welche nur 12 und nicht 19 km/h betrug. Zum andern liegt die Ursache in der empirisch ermittelten Emissionsreduktion, welche nur 70% des theoretisch zu erwartenden Wertes erreichte.

Der Effekt variiert sehr stark von Tag zu Tag, dies hängt vom vorhandenen Verkehrsaufkommen und wesentlich auch von der Witterung ab.

## 4. Zusammenfassung

Vom 20.2. – 19.5.2014 war für 3 Monate an der Westautobahn A1 bei Salzburg ein fixes Tempo 80 nach IG-L verordnet worden. Der Abschnitt erstreckte sich über 10,3 km von Straßenkilometer 287,128 im Gemeindegebiet von Salzburg bis Straßenkilometer 297,497 im Gemeindegebiet von Wals-Siezenheim. Zuvor und danach galt hier Tempo 100. Die lufthygienischen Auswirkungen dieser Tempo 80-Phase werden im vorliegenden Bericht untersucht; dabei geht es um die Stickstoffoxide.

Als Datengrundlage der Untersuchung dienten einerseits die immissionsseitigen und meteorologischen Messungen der Luftgütestationen 'Siezenheim-A1', welche seit 17.10.2013 in Betrieb ist und in etwa 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand an der Tempo80-Strecke liegt, sowie 'Hallein-A10', welche in etwa 5 m Abstand vom Fahrbahnrand an der A10 liegt. Andererseits liegen Verkehrszählungen und Fahrgeschwindigkeitsmessungen in fünf Fahrzeugkategorien getrennt für jeden der insgesamt sechs Fahrstreifen der A1-Tempo80-Strecke vor. Der Zeitraum vom 17. Oktober 2013 – 19. Februar 2014 mit Tempo 100 (→ Tempo100-Phase) wird mit dem Zeitraum vom 20. Februar – 19. Mai 2014 mit Tempo 80 (→ Tempo80-Phase) verglichen.

Tempo80 hat bewirkt, dass sich die mittlere Fahrgeschwindigkeit aller Fahrzeuge des Leichtverkehrs (Pkw und Lieferwagen sowie Motorräder) um 12 km/h von 94 km/h (während Tempo100-Phase) auf 82 km/h reduziert hat; beim Schwerverkehr (Busse, Pkw mit Anhänger, Lkw sowie Sattel- und Lastenzüge) erfolgte eine Reduktion von 86 auf 80 km/h.

Während der Tempo80-Phase war das Aufkommen an Leichtverkehr etwa um 2%, dasjenige des Schwerverkehrs etwa um 8% höher als während der Tempo100-Phase.

In der Tempo80-Phase fuhren deutlich mehr Fahrzeuge des Leichtverkehrs auf dem rechten Fahrstreifen 1 (FS1), hingegen weniger auf den beiden anderen Fahrstreifen. Der Schwerverkehr hat auf allen Fahrstreifen zugenommen. Es ist also eine relative Verlagerung des Leichtverkehrs auf den ersten und eine solche des Schwerverkehrs auf den zweiten und dritten Fahrstreifen festzustellen, wobei allerdings zum Schwerverkehr auch PKW mit Anhänger (Wohnwagengespanne) gezählt werden, welche zu einem größeren Anteil als die Lastwagen auf den zweiten und dritten Fahrstreifen unterwegs waren.



Erwartungsgemäß nahmen die Geschwindigkeiten von FS1 bis FS3 zu. Die mittlere Geschwindigkeit auf FS3 lag während der Tempo80-Phase deutlich über 80 km/h. Der Schwerverkehr ist auf allen Fahrstreifen ungefähr gleich schnell gefahren wie der Leichtverkehr. Nur weil beim Schwerverkehr ein viel größerer Prozentsatz auf dem langsamsten ersten Streifen gefahren ist, ist er insgesamt langsamer als der Leichtverkehr.

Die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen für Luftschadstoffe werden vor allem durch die vertikale 'Durchlässigkeit' der Atmosphäre (mit Inversionen, welche die Durchlässigkeit behindern) und den Wind bestimmt. Die Inversionen bei Salzburg wurden anhand des Temperaturprofils Flughafen-Kapuzinerberg-Gersbergalm bestimmt.

In der Tempo80-Phase hatte es nicht viel weniger Inversionen als in der Tempo100-Phase, was wohl mit dem ungewöhnlichen Winter zusammenhängt. In der Nacht hatte es sogar mehr Inversionen. Inversionen lassen die Immissionen auch an der Messstelle Siezenheim markant ansteigen. Direkte Immissionsvergleiche über Witterungsphasen hinweg sind deshalb unzulässig.

Die Windverhältnisse an den Messstellen Siezenheim und Hallein waren in den beiden Phasen jeweils sehr ähnlich. An beiden Orten dominierte die Kanalisierung des Windes durch das Salzachtal.

Nur mit der Messstelle Siezenheim allein kann eine Abschätzung des lufthygienischen Effektes von Tempo80 nicht gemacht werden, da sowohl emissionsseitige als auch meteorologische Einflussgrößen die Immissionsänderungen zwischen den beiden Phasen bestimmt haben. Deshalb werden auch die Verkehrs- und Immissionsdaten der Messstelle Hallein A10 herangezogen. Zur Abschätzung des empirischen 'Tempo80-Effektes' betreffend Emissionen und Immissionen wird für jeden Tag **das Verhältnis** der NO<sub>x</sub>-Emissionen und der NO<sub>x</sub>-Immissionen zwischen Siezenheim und Hallein A10 gebildet. Bei gleichen Ausbreitungsbedingungen sind diese Verhältnisse zumindest im Mittel über einen gewissen Zeitraum gleich. In der Tempo100-Phase war dies tatsächlich der Fall, was aufgrund der meteorologischen Analyse auch plausibel ist.

Es hätte sein können, dass die Ausbreitungsbedingungen bei Hallein im dort ausgeprägteren Tal zumindest im Winter etwas ungünstiger gewesen wären als bei Siezenheim; das war aber nicht der Fall. Es ist also davon auszugehen, dass die Emissions- und Immissionsverhältnisse zwischen Siezenheim und Hallein A10 auch in der Tempo80-Phase gleich waren. Diese Gleichheit stellt sich anhand der Messwerte dann ein, wenn die Emissionsreduktion durch Tempo80 et-

wa 70% des theoretisch erwarteten Wertes erreicht (Reduktion der Emissionsfaktoren bei geringeren Fahrgeschwindigkeiten).

Der Grund für die auf 70% reduzierte Wirksamkeit des theoretisch zu erwartenden Effekts dürfte einerseits an der neuen Verkehrssituation liegen, an welche sich die Verkehrsteilnehmer erst gewöhnen müssen, sowie am vermehrten Spurwechsel vom Schwerverkehr, welcher Brems- und Beschleunigungsvorgänge anderer Verkehrsteilnehmer auslöst. Ebenso könnten zu geringe Abstände zwischen Fahrzeugen gerade bei der relativ dichten Abfolge von Ein- und Ausfahrten ebenfalls zu unruhigen Fahrweisen beitragen.

Aus der empirisch ermittelten Emissionsabnahme resultierte eine Immissionsabnahme bei den Stickstoffoxiden von 5-7 ppb beim NO<sub>x</sub> und 3-4 µg/m<sup>3</sup> beim NO<sub>2</sub>. Dies sind 6-7% der vorhandenen Immissionen. Die Immissionsabnahme wurde mit einem empirischen Ausbreitungsmodell für quellennahe Bereiche (dem Tau-modell) berechnet, das die konkreten Ausbreitungsverhältnisse für jede Stunde konkreten Erhebungen der Schadstoffquellen (z.B. Verkehrszählungen) und der Immissionen entnimmt. Die gefundenen Immissionsabnahmen entsprechen etwa der Hälfte der im Vorfeld prognostizierten 13%. Zum einen erklärt sich dies durch das Ausmaß der Geschwindigkeitsreduktion, welche nur 12 und nicht 19 km/h betrug. Zum andern liegt die Ursache in der empirisch ermittelten Emissionsreduktion, welche nur 70% des theoretisch zu erwartenden Wertes erreichte.

Die Immissionsabnahme durch Tempo80 variiert sehr stark von Tag zu Tag, dies hängt vom vorhandenen Verkehrsaufkommen und wesentlich auch von der Witterung ab.

# Anhang

Liste der 16 'Stadiontage' (Tage mit Fußballspielen von RedBull im Stadion Klessheim):

Sa 19.10.2013	Do 12.12.2013	Do 27.02.2014	So 23.03.2014
Do 24.10.2013	So 15.12.2013	So 02.03.2014	Sa 29.03.2014
Sa 02.11.2013	Sa 08.02.2014	So 16.03.2014	Sa 12.04.2014
So 01.12.2013	So 23.02.2014	Do 20.03.2014	So 04.05.2014