

**Evaluation des flexiblen
Tempolimits auf der A2
bei Klagenfurt
Mai 2016 - April 2017**

Dr. Jürg Thudium
Dr. Carine Chélala
03.11.2017 / 5297.70

Oekoscience AG

Postfach 452
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310
Thudium@oekoscience.ch

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Tempo100 auf der A2 bei Klagenfurt	2
3. Verkehrsaufkommen, Emissionen und Immissionen bei Dellach (A2)	13
4. Abschätzung der lufthygienischen Wirksamkeit der flexiblen Tempo100-Schaltung bei Klagenfurt	15
4.1. Emissionsreduktionen	17
4.2. Szenarien der Immissionsreduktionen	17
5. Zusammenfassung	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Die Tempo100-Strecke auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost (rot). Blau: Messstelle Dellach (A2).	1
Abbildung 2.1: Verfügbarkeit der Tempo100-Schaltung je Monat, Dellach A2 (05.2016-04.2017). 'IGL Tempo 100' bzw. 'IGL Tempo 130': Flexible Temposchaltung; 'Ausfall Schaltung mit Tempo130': Keine Geschwindigkeitsanzeige infolge Ausfall → Tempo 130.	2
Abbildung 2.2: Tägliche Anzahl Stunden (im gleitenden 7-Tagemittel) mit flexiblem Tempo100, Dellach A2 (05.2016-04.2017).	3
Abbildung 2.3: Häufigkeit von flexiblem Tempo100 je Monat, Dellach A2 (05.2016-04.2017). April 2017: Ausfall Schaltung vom 17. . 30.04.2017.	4
Abbildung 2.4: Häufigkeit von flexiblem Tempo100 je Monat, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2009/10 - 2013/14 und 2015/16 . 2016/17, ab 2013/14 <i>bezogen auf die Gesamtzeit (inklusive Ausfallzeiten der flexiblen Temposchaltung)</i> .	5
Abbildung 2.5: Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit von Tempo100 bezogen auf die Gesamtzeit, Dellach A2 (05.2016-04.2017).	6
Abbildung 2.6: Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit von Tempo100 je Jahreszeit bezogen auf die Gesamtzeit, Dellach A2 (05.2016-04.2017).	7
Abbildung 2.7: Tempo100-Häufigkeit und Pkw-Aufkommen je Wochentag bezogen auf die Gesamtzeit, Dellach A2 (05.2016-04.2017).	8
Abbildung 2.8: Tempo100-Häufigkeit je Wochentag <i>während der Betriebszeit der Schaltung von 2010/11 . 2015/16</i> , während der Gesamtzeit für 2016/17, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2010/11 - 2013/14 und 2015/16 . 2016/17.	9
Abbildung 2.9: Anzahl Tage pro Monat mit extremen Tempo100-Schaltzeiten <i>während der Betriebszeit der Schaltung</i> , Dellach A2 (05.2016-04.2017).	11
Abbildung 3.1: Monatsmittel der Tempo100-Häufigkeit, der Stickstoffoxid-Emissionen (E_NOx) und -Immissionen (NOx und NO ₂) sowie der Inversionshäufigkeit (tagsüber 6-22 Uhr) bei Dellach (A2), Dezember 2009 - April 2017.	14
Abbildung 4.1: Geschwindigkeit der Pkw und der Sattelzüge (gleitendes 7-Tagemittel) auf der A2 bei Dellach (05.2016-04.2017).	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Jahreszeitliche Tempo100-Häufigkeiten <i>während der Betriebszeit der Schaltung</i> , Dellach A2 (2016/17, 2015/16, 2013/14, 2012/13, 2011/12).	6
Tabelle 2.3: Tägliche Stunden für Tempo100-Schaltzeiten, Dellach A2 (05.2016-04.2017). Blau: Keine Tempo100-Schaltung trotz Betriebs der flexiblen Schaltung. Rot: Extrem hohe Tempo100-Zeiten. Grün: Vollständiger oder weitgehender Ausfall der flexiblen Schaltung 17. . 30.04.2017: Es galt 'Tempo130'.	10
Tabelle 2.4: Die 28 Tage mit hohen Tempo100-Schaltzeiten (18 . 20 h) bei Dellach A2 (05.2016-04.2017).	12
Tabelle 3.1: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) auf der A2 bei Dellach (Betriebsjahre 2012/13, 2015/16 [07.2015-06.2016] und 2016/17). 'Pkw': Pkw + Pkw mit Anhänger + nichtklassifizierte Fahrzeuge + Motorräder; schwere Güterfahrzeuge: Lastwagen mit und ohne Anhänger + Sattelzüge.	13
Tabelle 4.1: Emissionsreduktionen für NO _x und CO ₂ durch das real umgesetzte flexible Tempo100-Limit auf dem 12 km langen Abschnitt der Nordumfahrung Klagenfurt (A2) beim Flughafen, 05.2016-04.2017:	17
Tabelle 4.2: Absolute Kennzahlen der fünf Szenarien \neq Tempo 100 immer \neq Tempo100 nie \neq Tempo100 temporär \neq Tempo100 Winterhj. \neq und 'Real v Dellach', Nordumfahrung Klagenfurt (A2), Mai 2016 . April 2017.	19
Tabelle 4.3: Reduktion der gesamten Emissionen und Immissionen an NO _x und NO ₂ durch ein <i>permanentes</i> Tempo100 (102 km/h) gegenüber <i>permanentem</i> Tempo130 (115 km/h), Nordumfahrung Klagenfurt (A2), Mai 2016 . April 2017.	19
Tabelle 4.4: Relative Effekte des realisierten flexiblen Tempo100 <i>in Bezug auf ein permanentes</i> Tempo100-Limit, Nordumfahrung Klagenfurt (A2), Mai 2016 . April 2017.	20

1. Einleitung

Die flexible Tempo100-Schaltung auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost ist auf einer Strecke von ca. 4 km seit 01.12.2009 in Betrieb.

Die für die Tempo100-Steuerung verwendete Messstelle ist Dellach A2, in deren Nähe sich auch die Verkehrszählstelle für die A2 befindet.

Ein Betriebsjahr der Tempo100-Steuerung dauert gemäß BVO von Mai bis April des Folgejahres. Mit dieser Untersuchung ist die Tempo100-Schaltung von Mai 2016 . April 2017 überprüft worden.

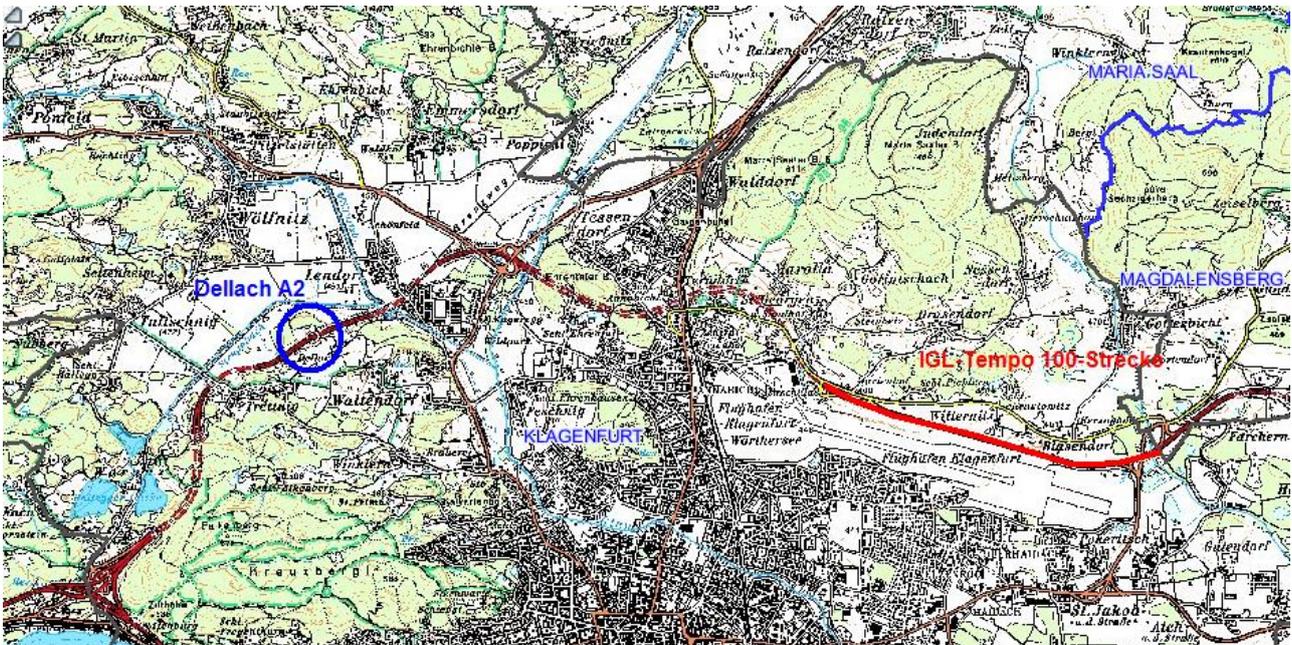


Abbildung 1.1: Die Tempo100-Strecke auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost (rot). Blau: Messstelle Dellach (A2).

2. Tempo100 auf der A2 bei Klagenfurt

Die Tempo100-Schaltung auf der A2 beim Klagenfurter Flughafen wird durch die Immissionsmessstelle und Verkehrserfassung bei Dellach (A2) gesteuert. Dies ist zulässig, da es sich dabei um einen immissionsklimatisch einheitlichen Raum handelt. Um stets auf die Grundlagen der Steuerung hinzuweisen, wird im Folgenden immer der Ort der Steuerung (Dellach A2) angegeben, auch wenn die eigentliche IGL-Tempo100-Strecke zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost liegt.

Im Betriebsjahr 2016/17 fiel die Tempo100-Schaltung wegen der Folgen eines Verkehrsunfalls vom 17. . 30.04.2017 aus. In diesem Zeitraum galt stets 'Tempo130'. Ansonsten waren die Ausfälle aber gering, so dass die Verfügbarkeit insgesamt 95.7% betrug.

Die folgende Abbildung zeigt die monatlichen Anteile der Zeiten mit flexibler sowie manueller Tempo100-Schaltung (kam in diesem Betriebsjahr nicht vor) und die Ausfallzeiten.

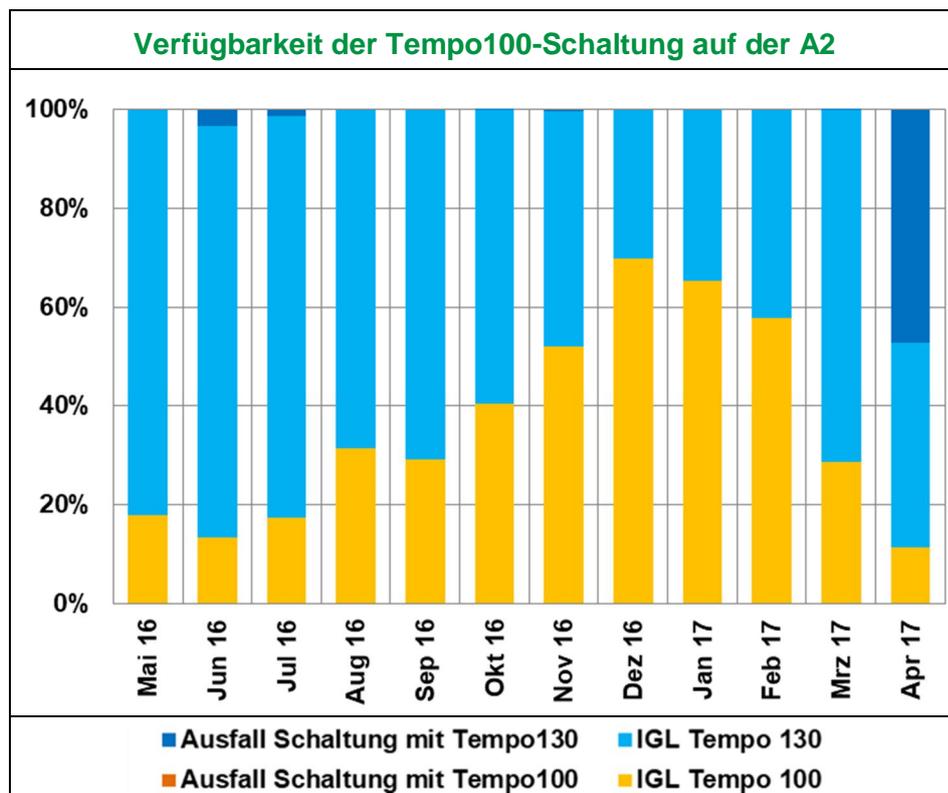


Abbildung 2.1: Verfügbarkeit der Tempo100-Schaltung je Monat, Dellach A2 (05.2016-04.2017). 'IGL Tempo 100' bzw. 'IGL Tempo 130': Flexible Temposchaltung; 'Ausfall Schaltung mit Tempo130': Keine Geschwindigkeitsanzeige infolge Ausfall → Tempo 130.

Im Betriebsjahr von Mai 2016 . April 2017 war Tempo100 auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost während durchschnittlich 38% der **Betriebszeit** geschaltet (36% der Gesamtzeit). Die Betriebszeit betrug 79% der Gesamtzeit.

Im Folgenden werden Darstellungen der Tempo100-Häufigkeit gezeigt (Jahres-, Saison-, Tages- und Wochenverläufe), die sich grundsätzlich auf die **Gesamtzeit** (Betriebszeit der flexiblen Temposchaltung und Ausfallzeiten) beziehen. Wo sich Kennzahlen nur auf die Betriebszeit beziehen, wird dies ausdrücklich vermerkt.

Im **Jahresverlauf** (nächste **Abbildung 2.2**: Gleitende Wochenmittel) zeigte sich das Maximum der Tempo100-Häufigkeit im aktuellen Betriebsjahr im Dezember 2016 mit hohen Werten bis anfangs Februar 2017. Die Jahreskurve wird von unterschiedlichen Witterungsphasen moduliert. Am wenigsten Tempo100-Schaltungen gab es von Mitte Mai bis Ende Juni 2016 und in zwei kürzeren Phasen Ende Juli/anfangs August und anfangs September 2016.

Vom 17. . 30.04.2017 war die Tempo100-Schaltung ausgefallen.

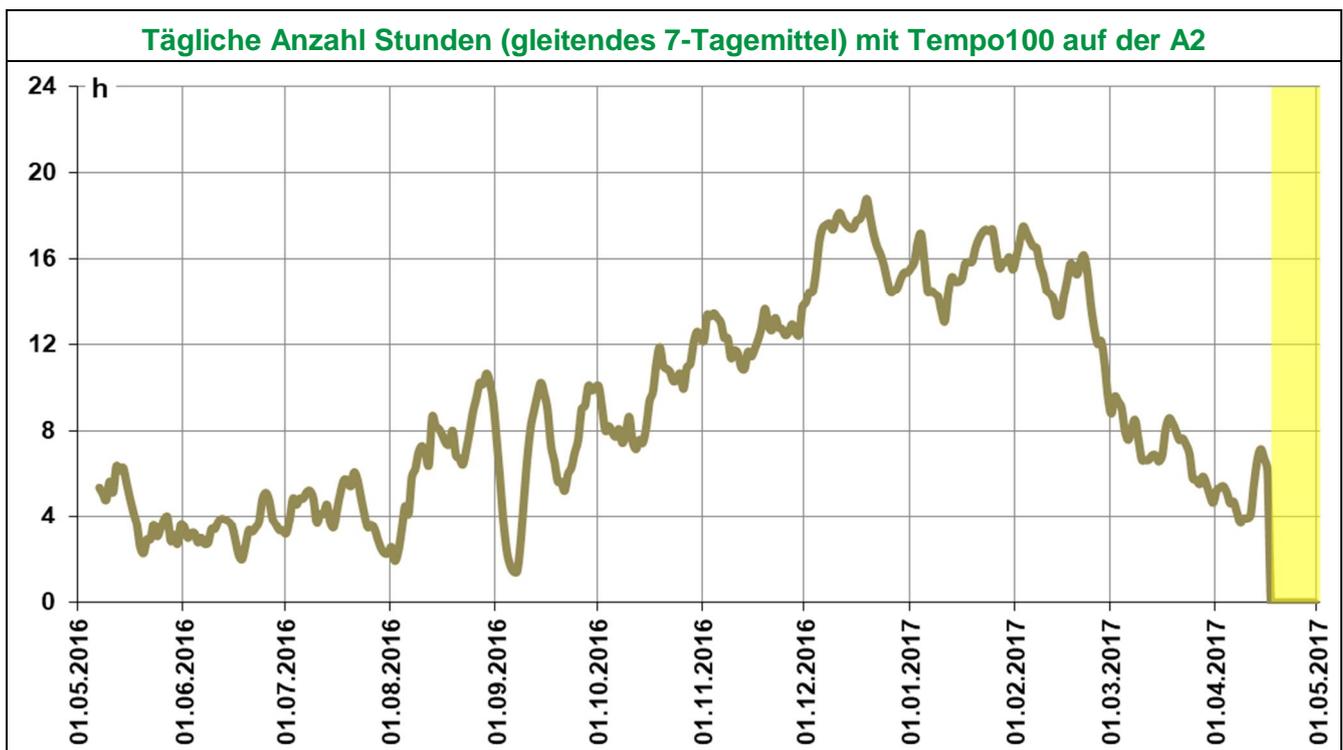


Abbildung 2.2: Tägliche Anzahl Stunden (im gleitenden 7-Tagemittel) mit flexiblem Tempo100, Dellach A2 (05.2016-04.2017).

Die **monatlichen Tempo100-Häufigkeiten** entsprechen dem Bild der gleitenden 7-Tagemittel. Die monatlichen Schalthäufigkeiten schwanken zwischen 14% (Juni 2016) und 70% (Dezember 2016), wenn der Monat April 2017 mit zeitweisem Ausfall der Schaltung außer Acht gelassen wird. Die Monate Dezember - Februar ragen über die anderen Monate hinaus.

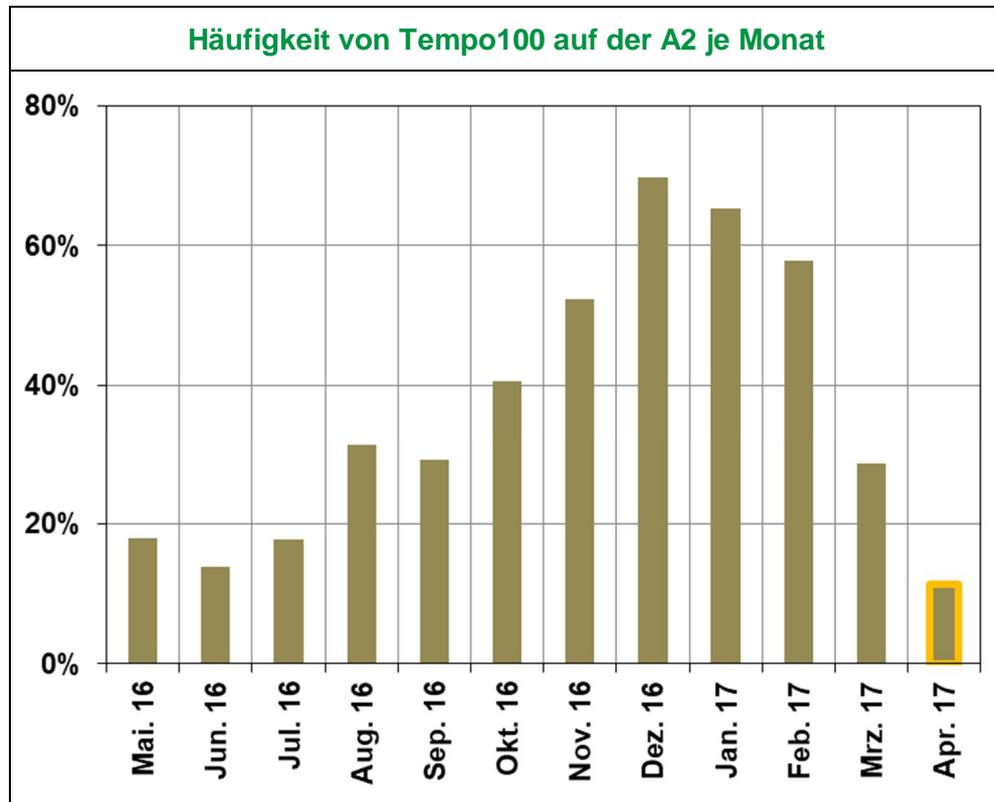


Abbildung 2.3: Häufigkeit von flexiblem Tempo100 je Monat, Dellach A2 (05.2016-04.2017). April 2017: Ausfall Schaltung vom 17. – 30.04.2017.

Im Vergleich zu den früheren Jahren lagen die Tempo100-Schaltungen durchaus im Rahmen, lediglich der März wies wie schon im Vorjahr im Vergleich zu früher eine deutlich reduzierte Schalthäufigkeit auf.

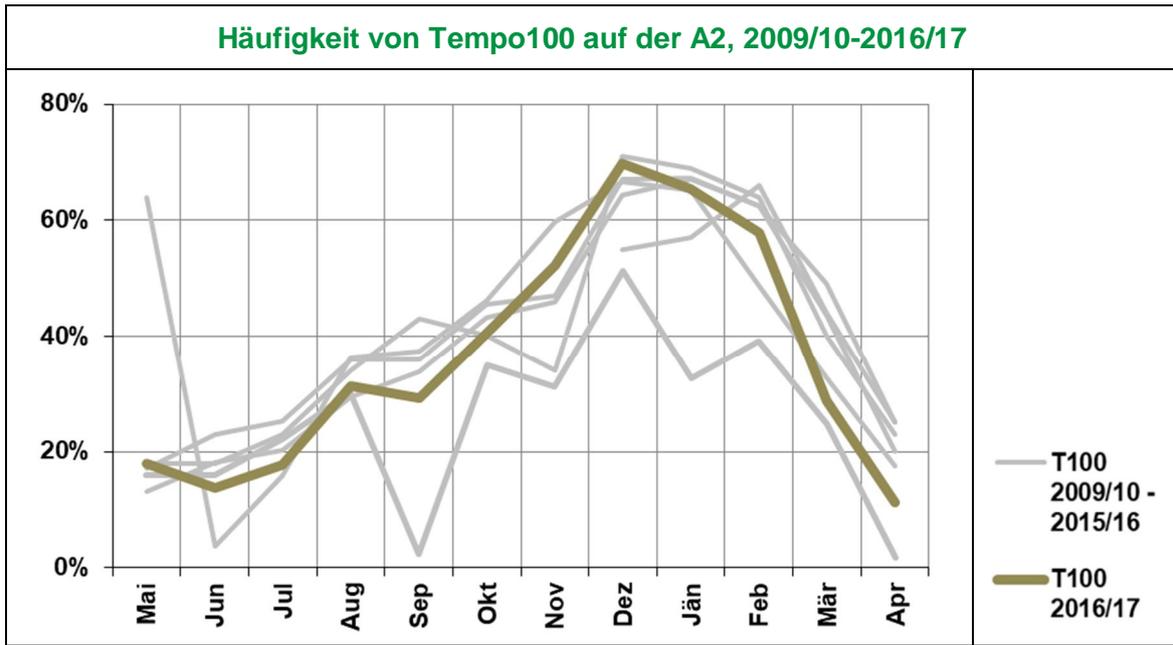


Abbildung 2.4: Häufigkeit von flexiblem Tempo100 je Monat, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2009/10 - 2013/14 und 2015/16 – 2016/17, ab 2013/14 bezogen auf die Gesamtzeit (inklusive Ausfallzeiten der flexiblen Temposchaltung).

Die Häufigkeit der Tempo100-Schaltung zeigte einen deutlichen **Tagesgang**. Sie war am Morgen zwischen 7 und 10 Uhr und am Abend von 16 bis 19:30 Uhr am größten, da betrug sie mehr als 55%. Am Morgen zwischen 02:30 und 04:30 Uhr war Tempo100 am seltensten, mit weniger als 1% Häufigkeit.

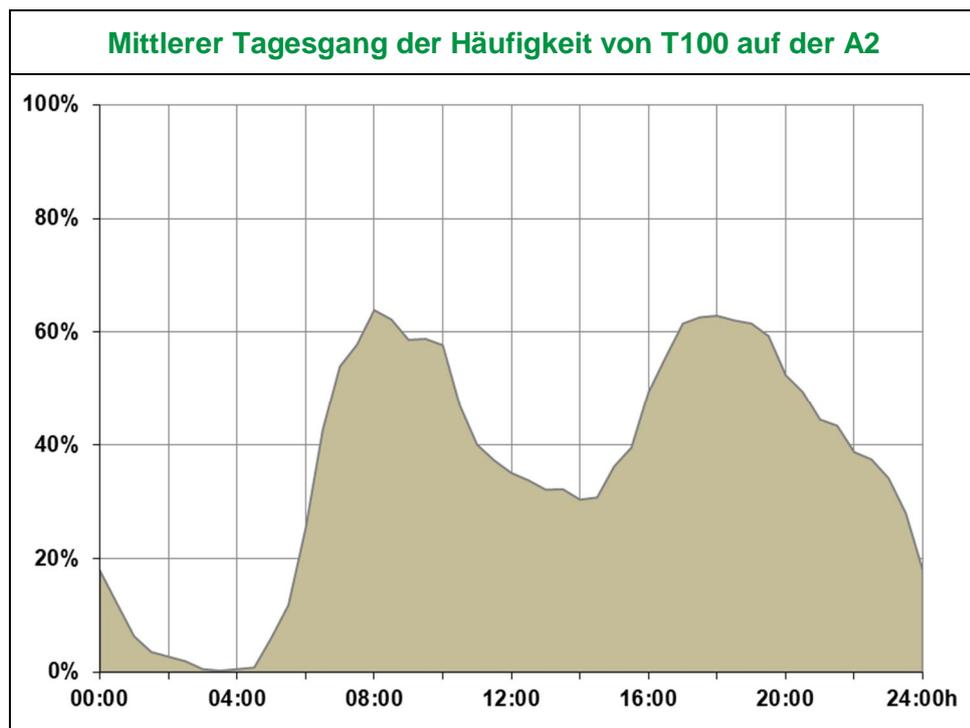


Abbildung 2.5: Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit von Tempo100 bezogen auf die Gesamtzeit, Dellach A2 (05.2016-04.2017).

Seit Beginn der Tempo100-Schaltung im Dezember 2009 zeigt sich ein sich grundsätzlich wiederholender **Jahresverlauf**. Gestört wurde diese Wiederholung lediglich im Betriebsjahr 2013/14, was zu einem großen Anteil der fehlerhaften Verkehrszählung zuzurechnen war. Das aktuelle Betriebsjahr passt sich gut in das bisherige Muster ein.

Die folgende Tabelle zeigt die Tempo100-Häufigkeit der letzten fünf Betriebsjahre nach Jahreszeiten und im Gesamtjahr.

Tabelle 2.1: Jahreszeitliche Tempo100-Häufigkeiten während der Betriebszeit der Schaltung, Dellach A2 (2016/17, 2015/16, 2013/14, 2012/13, 2011/12).

% Tempo 100	05.2016-04.2017	17.07.2015-04.2016	05.2013-04.2014	05.2012-04.2013	05.2011-04.2012
Winter	65%	60%	44%	66%	65%
Frühjahr	23%**	25%*	16%	30%	26%
Sommer	21%	36%*	24%	28%	23%
Herbst	41%	48%	35%	43%	41%
Ganzes Jahr	38%	45%	31%	42%	38%

* Für Frühjahr bzw. Sommer, fehlen 31 bzw. 46 Tage (1.5. - 17.07.2015).

**Für April 2017, Ausfall 17.-30.

Der Unterschied zwischen den Tempo100-Häufigkeiten je Jahreszeit zeigte sich vor allem am Mittag und Nachmittag, wobei der Winter zu jeder Tagesstunde die größte Häufigkeit aufwies. Das Frühjahr zeigte die größere Spitze als der Sommer am Morgen (noch 'Bodenkälte' vom Winter her, die sich nach der Nacht zeigt), am Abend war es umgekehrt (im Sommer größere Ausstrahlung als im Frühjahr, was abends eher zu Inversionen führt).

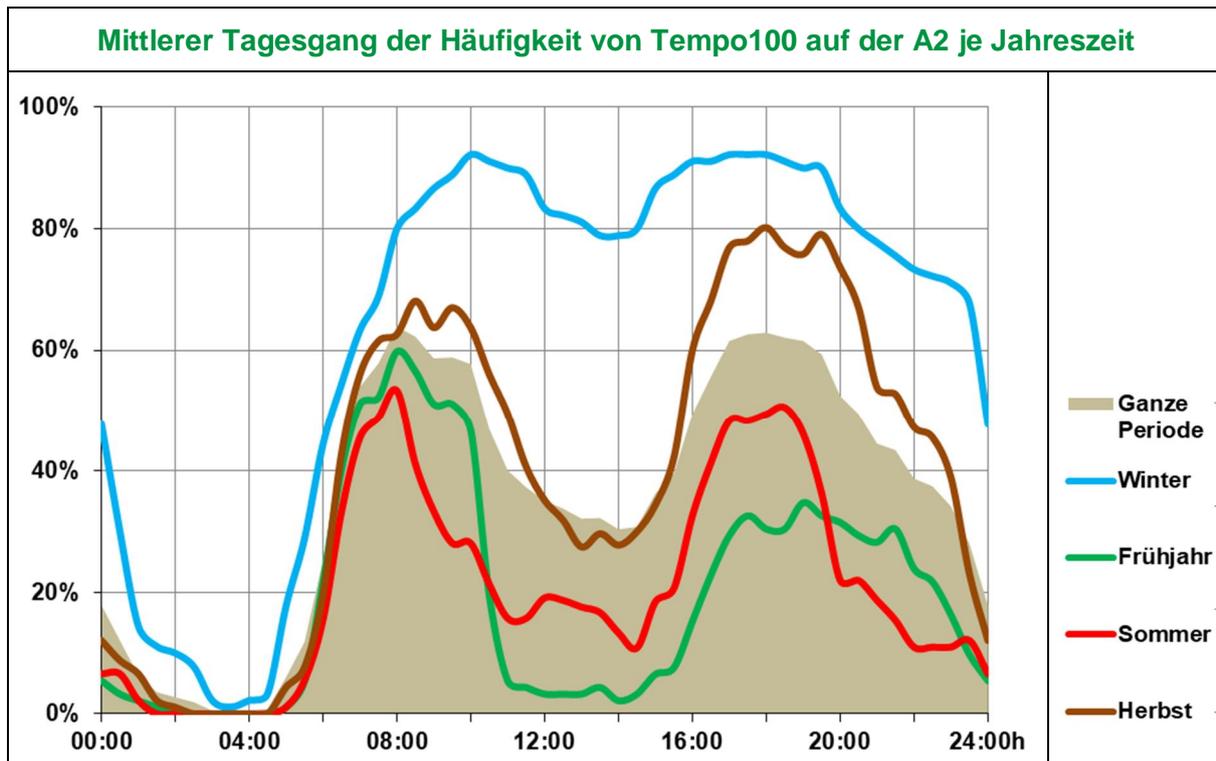


Abbildung 2.6: Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit von Tempo100 je Jahreszeit bezogen auf die Gesamtzeit, Dellach A2 (05.2016-04.2017).

Im **Wochengang** weisen die Tempo100-Schaltungen von Montag bis Donnerstag wenig unterschiedliche Häufigkeiten auf mit einem erkennbaren Maximum am Freitag, am Wochenende ähnlich hoch wie Montag-Donnerstag. Auf diesem Autobahnabschnitt ist das Pkw-Aufkommen am Wochenende etwa gleich hoch wie von Montag-Donnerstag. Zwar ist die tageszeitliche Verteilung der Pkw am Wochenende anders; sie fehlen in den frühen Morgenstunden von 6-8 Uhr teilweise, auch am Samstagmorgen. Am Morgen stellen sich aber oft schlechte Ausbreitungsbedingungen und damit erhöhte Immissionen ein. Damit wird die Morgenspitze der Tempo100-Häufigkeit am Wochenende sehr gedämpft; jedoch wird das durch vermehrte Tempo100-Schaltungen am Mittag und Nachmittag wieder kompensiert. Die Meteorologischen Bedingungen spielen auch eine Rolle; dieses Jahr verlief die Tempo100-Häufigkeit je Wochentag sehr parallel zum Pkw-Aufkommen, wie die folgende Abbildung zeigt.

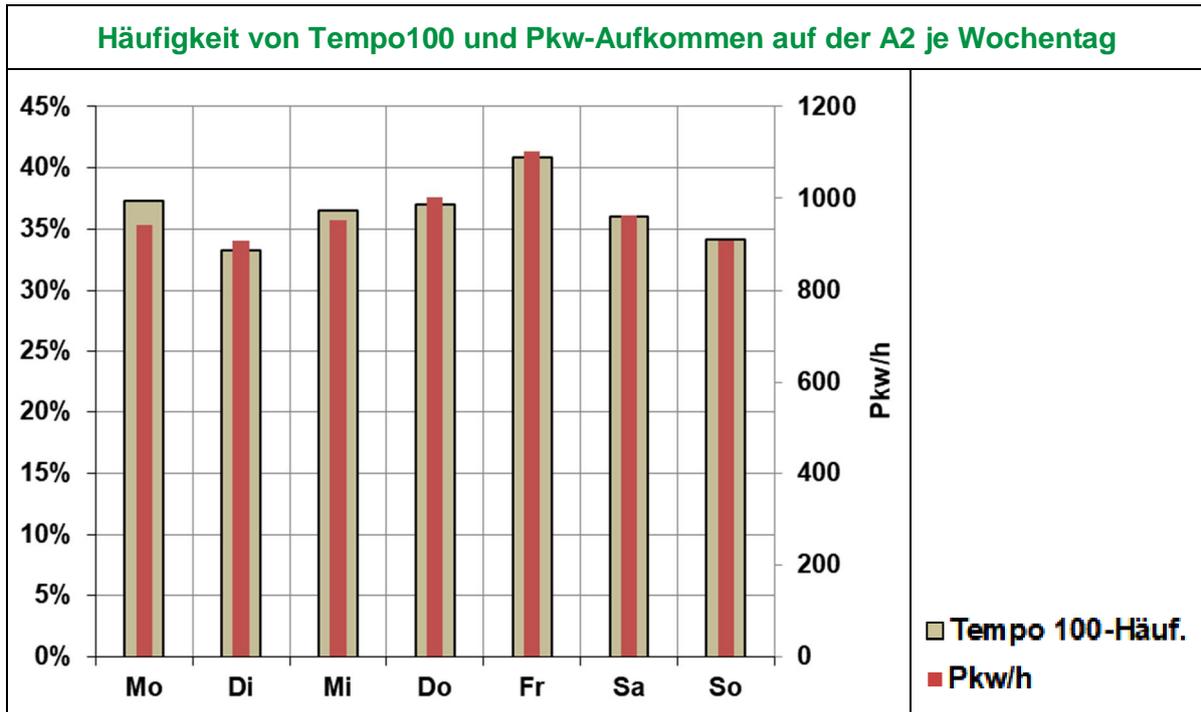


Abbildung 2.7: Tempo100-Häufigkeit und Pkw-Aufkommen je Wochentag bezogen auf die Gesamtzeit, Dellach A2 (05.2016-04.2017).

Generell wird Tempo100 geschaltet, wenn der *Beitrag der Pkw* bzw. des Leichtverkehrs zur NOx-Immission über einem gewissen Schwellenwert liegt; die Gesamtimmission spielt nur zur Absicherung gegen sehr hohe kurzfristige NO₂-Immissionsspitzen eine Rolle.

Wegen Ausfällen und Verkehrszählfehlern (2013/14) sind die Wochengänge der verschiedenen Betriebsjahre schwierig miteinander zu vergleichen. Jedoch lässt sich erkennen, dass der Wochenverlauf seit 2015/16 deutlich flacher geworden ist, indem die Tempo100-Häufigkeit am Wochenende nicht mehr so stark abfällt.

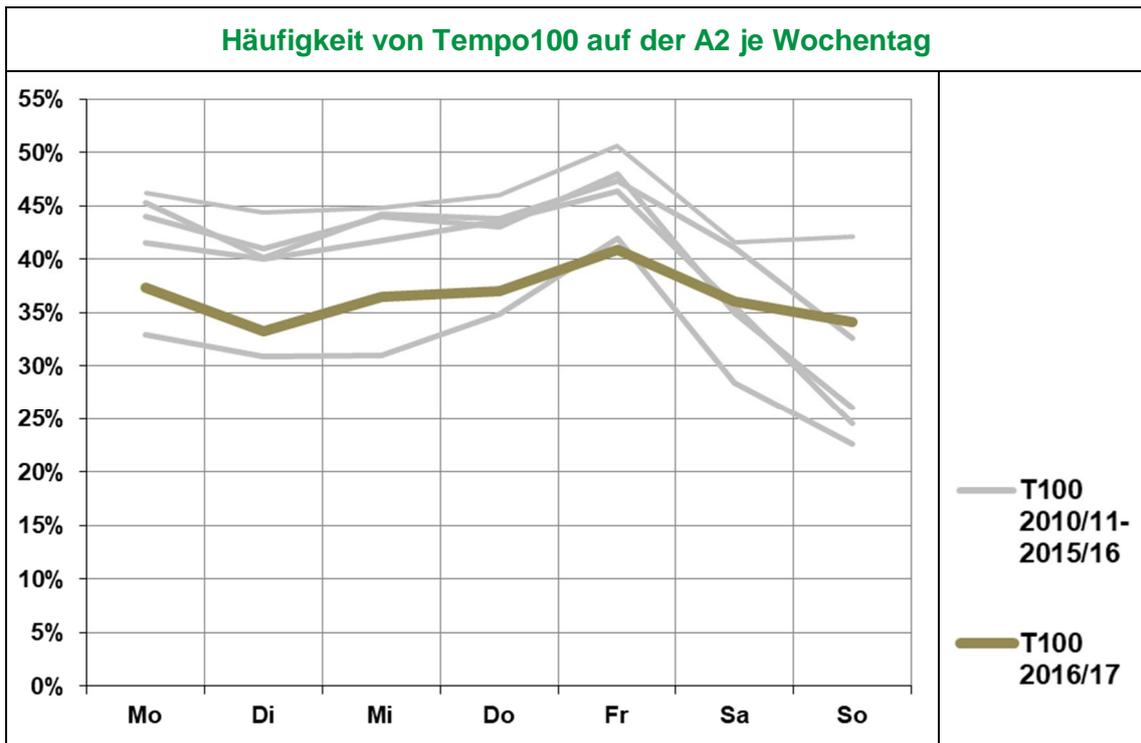


Abbildung 2.8: Tempo100-Häufigkeit je Wochentag während der Betriebszeit der Schaltung von 2010/11 – 2015/16, während der Gesamtzeit für 2016/17, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2010/11 - 2013/14 und 2015/16 – 2016/17.

Dokumentation der täglichen Tempo100-Schaltzeiten:

In der folgenden Tabelle werden alle täglichen Schaltzeiten von Tempo100 im Betriebsjahr dokumentiert, inklusive der Zeiten mit Ausfall der Schaltung.

Tabelle 2.2: Tägliche Stunden für Tempo100-Schaltzeiten, Dellach A2 (05.2016-04.2017).

Blau: Keine Tempo100-Schaltung trotz Betriebs der flexiblen Schaltung.

Rot: Extrem hohe Tempo100-Zeiten. **Grün:** Vollständiger oder weitgehender Ausfall der flexiblen Schaltung 17. – 30.04.2017: Es galt 'Tempo130'.

	Mai.16	Jun.16	Jul.16	Aug.16	Sep.16	Okt.16	Nov.16	Dez.16	Jän.17	Feb.17	Mär.17	Apr.17
1	8	4	6.5	4.5	0	7.5	12.5	18	16.5	18	7	6.5
2	7	2	7.5	0	0	2	16	19	17.5	16	13	4.5
3	2.5	5	10	5	0	4.5	11.5	15	18	18	9.5	5.5
4	10	0	0	8	0	10.5	14.5	15.5	16	17	7	4.5
5	1.5	0	3.5	8	3	9.5	12.5	18	8	15.5	5.5	2.5
6	6	3.5	2.5	1.5	3	8	12.5	18.5	9.5	18	7.5	3.5
7	2.5	4.5	6	14	4	14.5	6.5	19	16	13	7	2.5
8	6	4.5	7	7	9	3	12.5	18.5	15.5	12.5	10	3
9	5	6.5	5	5.5	14.5	5	9.5	17	16.5	12.5	6.5	6
10	8.5	5	2	7	13.5	10	14	18.5	13	13	3	5.5
11	6.5	2.5	3	6	10	2.5	13.5	17.5	13	16	7	5.5
12	10	1	3.5	4	8.5	7	8	15.5	17.5	13.5	5.5	12.5
13	4.5	3	5.5	17	8	11	12	17	14.5	13	9	11.5
14	3.5	4	0	11	8	13.5	12	18	14.5	13	7	6
15	1	3	5.5	6	5.5	8	11	18.5	15.5	18.5	8	0
16	0	2	11	3.5	9	13.5	12	19.5	17.5	18	8.5	2
17	4	0	7.5	4.5	2	13	17	19	18	18.5	11.5	0
18	2.5	1	7	5.5	5	11.5	17.5	20	13.5	14	10.5	0
19	2.5	5.5	3.5	8.5	2	12.5	14	19.5	17.5	12	4	0
20	2.5	8	3.5	9	8	5	6.5	11	19	17.5	6.5	0
21	8	3.5	4.5	10	5	12.5	10.5	12.5	17.5	14.5	4	0
22	1	4.5	3	4	11	7	15	14.5	17.5	12.5	8.5	0
23	5	4	5.5	8	11	10.5	9	17	18.5	7.5	6.5	0
24	0	7.5	2	10.5	7	13.5	16.5	15.5	17.5	11	8.5	0
25	5	3	2.5	12	9	13.5	15.5	15	14	9	2.5	0
26	5.5	3	4.5	13	12	7.5	15	15.5	11	13	3.5	0
27	3.5	2	2	14	9	12	9	11.5	13	10.5	5	0
28	0	1.5	1	9.5	11.5	13.5	8	13.5	19	3.5	6.5	0
29	3	2.5	0	7.5	9.5	14	14	17.5	18		6	0
30	2	4	4	5	12	14	18	19	20		3	0
31	6.5		2	4		11.5		15.5	13.5		6	

Die Verfügbarkeit der flexiblen Tempo100-Schaltung war mit 95.7% sehr gut. Der Hauptteil der Ausfallszeit fällt auf den 17. . 30.04.2017 (Folgen eines Verkehrsunfalls).

Die monatliche Verteilung der Tage mit "extremen" Schaltzeiten (0 Stunden bzw. 18 . 20 Stunden Schaltzeit) folgt der allgemeinen Verteilung der Schaltzeiten: Sehr hohe tägliche Schaltzeiten finden wir ausschließlich im Winter, vor allem im Dezember 2016, tiefe außerhalb des Winters.

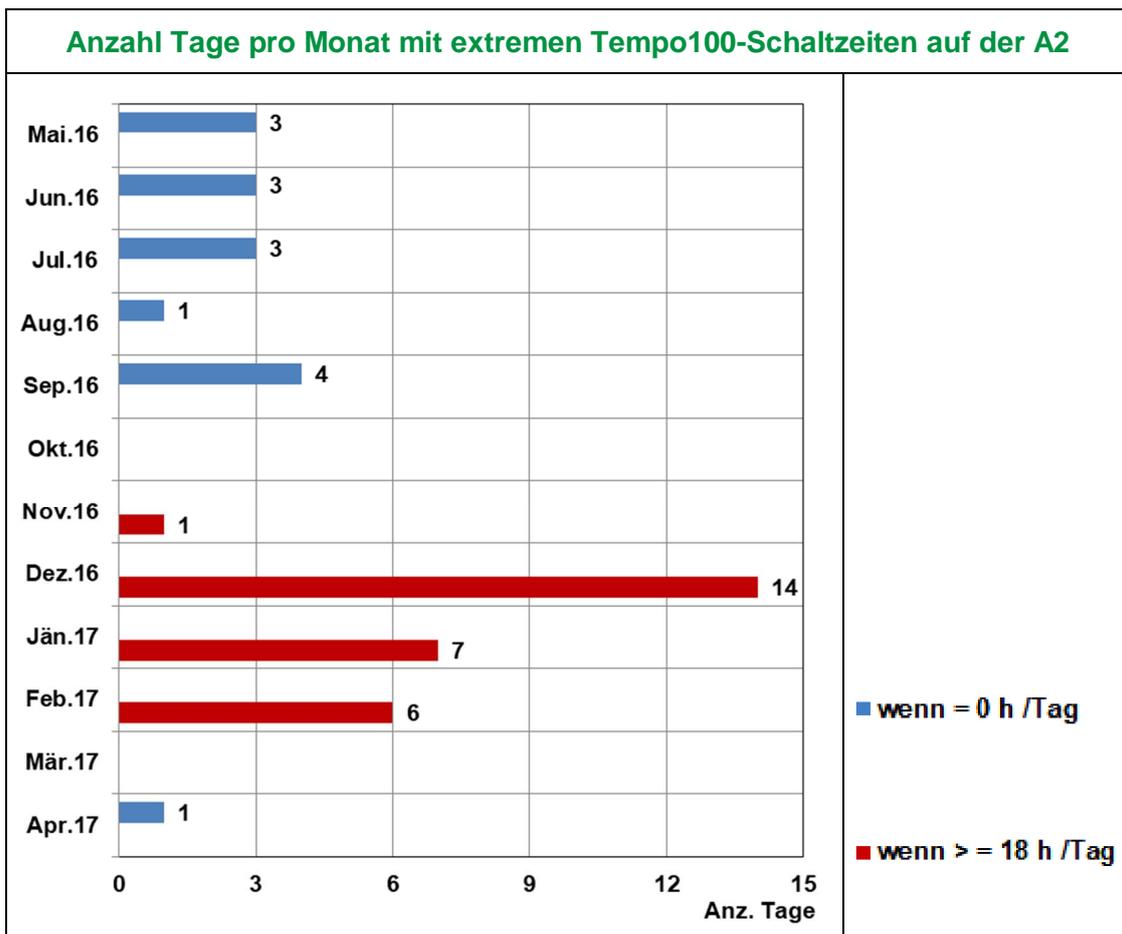


Abbildung 2.9: Anzahl Tage pro Monat mit extremen Tempo100-Schaltzeiten während der Betriebszeit der Schaltung, Dellach A2 (05.2016-04.2017).

Die Tage mit hohen Schaltzeiten traten episodisch auf, was auf die meteorologischen Ursachen hinweist (schlechte Ausbreitungsbedingungen in Inversionslagen). Es gab keine favorisierten Wochentage, wie die nächste Tabelle zeigt.

Tabelle 2.3: Die 28 Tage mit hohen Tempo100-Schaltzeiten (18 – 20 h) bei Dellach A2 (05.2016-04.2017).

Tag	Datum	Pkw-Aufkommen	Tempo100-Schaltzeit [h]
Mi	30.11.2016	23327	18
Do	01.12.2016	23888	18
Fr	02.12.2016	26163	19
Mo	05.12.2016	23036	18
Di	06.12.2016	22779	18
Mi	07.12.2016	27328	19
Do	08.12.2016	21602	18
Sa	10.12.2016	19373	18
Mi	14.12.2016	23183	18
Do	15.12.2016	23804	18
Fr	16.12.2016	25014	20
Sa	17.12.2016	19442	19
So	18.12.2016	17861	20
Mo	19.12.2016	22765	20
Fr	30.12.2016	22702	19
Di	03.01.2017	19329	18
Di	17.01.2017	19066	18
Fr	20.01.2017	23066	19
Mo	23.01.2017	21020	18
Sa	28.01.2017	18959	19
So	29.01.2017	16096	18
Mo	30.01.2017	21162	20
Mi	01.02.2017	19244	18
Fr	03.02.2017	22421	18
Mo	06.02.2017	17035	18
Mi	15.02.2017	21105	18
Do	16.02.2017	21067	18
Fr	17.02.2017	21920	18

Das Pkw-Aufkommen an den Tempo100-Spitzentagen war überwiegend durchschnittlich, ja eher unterdurchschnittlich. Nur an drei Tagen war es höher als im Jahresmittel.

3. Verkehrsaufkommen, Emissionen und Immissionen bei Dellach (A2)

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über die Verkehrs-, Emissions- und Immissionsverhältnisse bei Dellach (A2) gegeben.

Das Verkehrsaufkommen auf der A2 bei Dellach hat von 2012/13 auf 2016/17 um insgesamt 10% zugenommen. Dies ist eine deutliche Zunahme, die sich vor allem von 2015/16 auf 2016/17 zugetragen hat. Die Pkw haben um 9% zugenommen, währenddem der Schwerverkehr prozentual um das Doppelte (18%) zugenommen hat.

Tabelle 3.1: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) auf der A2 bei Dellach (Betriebsjahre 2012/13, 2015/16 [07.2015-06.2016] und 2016/17). 'Pkw': Pkw + Pkw mit Anhänger + nichtklassifizierte Fahrzeuge + Motorräder; schwere Güterfahrzeuge: Lastwagen mit und ohne Anhänger + Sattelzüge.

DTV A2	Lieferwagen	Pkw	Schwere Güterfahrzeuge	Bus	Summe Kfz
05.2016-04.2017	2396	24498	3231	135	30260
07.2015-06.2016	2365	22497	2981	192	28035
05.2012-04.2013	2253	22420	2750	141	27563
<i>Änderung 2016/17 zu 2015/16</i>	<i>1.3%</i>	<i>8.9%</i>	<i>8.4%</i>	<i>-29.7%</i>	<i>7.9%</i>
<i>Änderung 2016/17 zu 2012/13</i>	<i>6.3%</i>	<i>9.3%</i>	<i>17.5%</i>	<i>-4.3%</i>	<i>9.8%</i>

Die nächste kompakte Abbildung zeigt den monatlichen Verlauf von vier Kenngrößen seit Anbeginn der Tempo100-Schaltung im Dezember 2009: Die Tempo100-Häufigkeit, die NOx- und NO₂-Immissionen, die NOx-Emissionen und (von Mai 2010 bis April 2012) die Inversionshäufigkeit tagsüber (von 6-22 Uhr).

Die NOx-Emissionen weisen einen jahreszeitlich gegenläufigen Trend zu den Immissionen auf (im Winter hat es weniger Verkehr, aber dennoch höhere Immissionen wegen der schlechteren atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen).

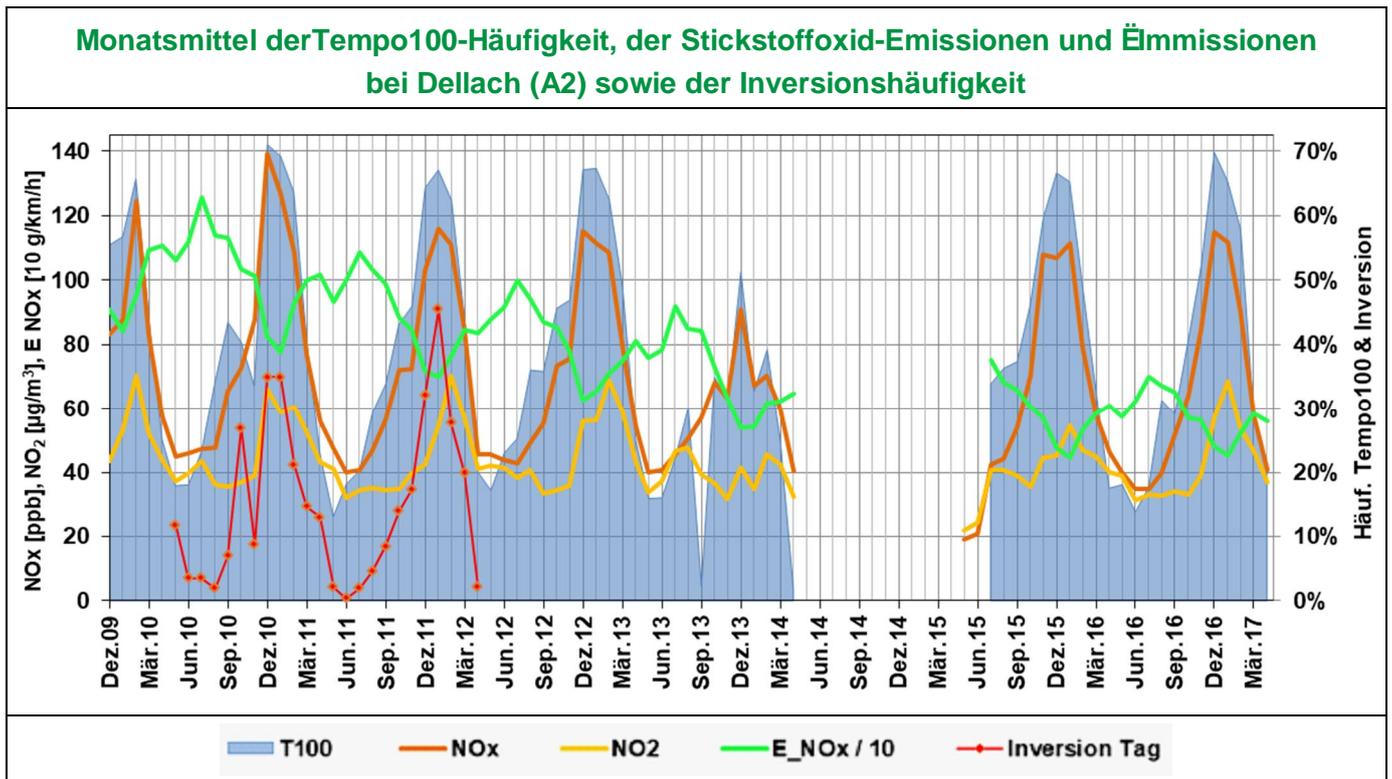


Abbildung 3.1: Monatsmittel der Tempo100-Häufigkeit, der Stickstoffoxid-Emissionen (E_NOx) und -Immissionen (NOx und NO₂) sowie der Inversionshäufigkeit (tagsüber 6-22 Uhr) bei Dellach (A2), Dezember 2009 - April 2017.

Bei den NOx-Emissionen und . Immissionen ist eine fortwährende Abnahme seit 2009 zu erkennen, wobei die Abnahme bei den (gerechneten) Emissionen nach wie vor deutlich stärker ausfällt als bei den (gemessenen) Immissionen. Der Rückgang der NOx-Emissionen über den gesamten Zeitraum erfolgt wegen der Verringerung der Emissionsfaktoren gemäß HBEFA3.1/3.2 infolge der fortwährenden Flottenmodernisierung. Im Winter 2013/14 führte Tempo60 bei Dellach zu einer zusätzlichen Abnahme der Emissionen und Immissionen.

Die jahreszeitlichen Schwankungen der Immissionen sind beim Gesamtstickoxid NOx viel stärker als beim NO₂, da die Umwandlung von NO in NO₂ im Sommer effektiver erfolgt als im Winter, was die bessere Verdünnung teilweise wieder kompensiert.

4. Abschätzung der lufthygienischen Wirksamkeit der flexiblen Tempo100-Schaltung bei Klagenfurt

Gemäß Bundesverordnung muss ein flexibles Tempolimit so gestaltet werden, dass seine lufthygienische Wirksamkeit übers Jahr gesehen mindestens so groß ist wie bei einem permanenten Tempolimit im Winterhalbjahr. Der von der Asfinag zur Verfügung gestellte Datensatz zur Tempo100-Schaltung im Betriebsjahr von Mai 2016 . April 2017 enthält auch die realen Fahrgeschwindigkeiten bei Dellach. Dort herrscht normalerweise ein permanentes Tempo100, das temporäre bezieht sich auf den östlichen Teil der Umfahrung Klagenfurt, dort befindet sich die flexible Tempo100-Schaltung. Es wurde angenommen, dass dort der Leichtverkehr bei 'Tempo 100' durchschnittlich mit 102 km/h fährt, bei 'Tempo 130' durchschnittlich mit 115 km/h. Die Differenz entspricht Erfahrungen auf anderen Autobahnstrecken.

Zur Abschätzung der Wirksamkeit der Geschwindigkeitsbegrenzungen auf Emissionen und Immissionen wurden Szenarien mit verschiedenen Geschwindigkeitsmustern entwickelt (permanente bzw. temporäre Geschwindigkeitsbegrenzungen) und die daraus folgenden unterschiedlichen Emissionen berechnet. Zur Umsetzung dieser unterschiedlichen Emissionen in Immissionen wurde das empirische Ausbreitungsmodell von Oekoscience (Tau-Modell) eingesetzt.

Auf dem Autobahnabschnitt bei Dellach, wo sich die Messstation für die Immissionen und die Verkehrszählstelle befinden, sind die Inputdaten des Verkehrs und damit auch die Tempo100-Schaltung vom 17. . 30.04.2017 in der Folge eines Verkehrsunfalls ausgefallen. Die folgende Abbildung zeigt die gemessenen Fahrgeschwindigkeiten für Pkw und Sattelzüge im aktuellen Betriebsjahr.

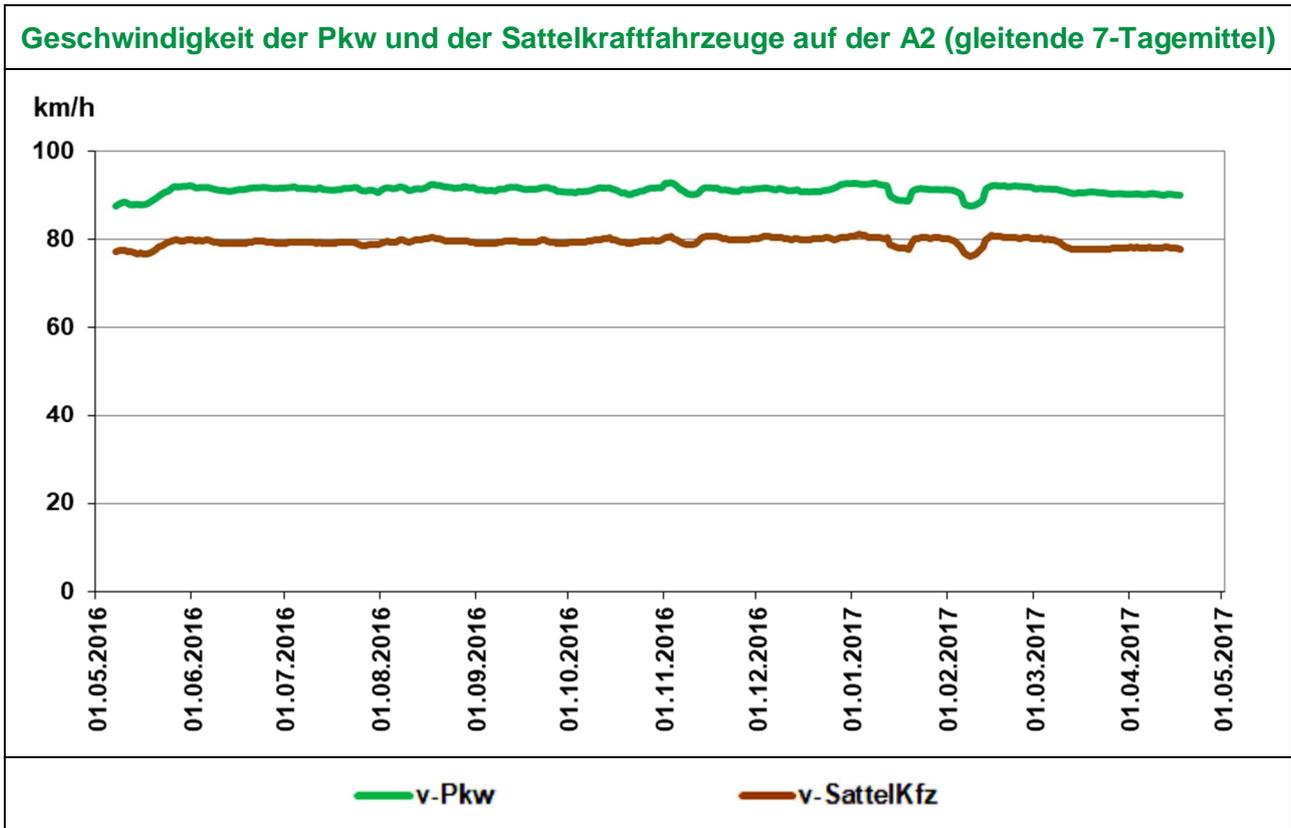


Abbildung 4.1: Geschwindigkeit der Pkw und der Sattelzüge (gleitendes 7-Tagemittel) auf der A2 bei Dellach (05.2016-04.2017).

Im Winter beträgt die mittlere Geschwindigkeit der Pkw auch bei einem Limit von 100 km/h bisweilen weniger als 100 km/h; dies hängt stark von den meteorologischen Bedingungen ab (Nebel, Schnee, Nässe mit Glatteisgefahr ö).

Die gemessenen Geschwindigkeiten wurden berücksichtigt, um korrekte Emissionen und damit korrekte Taufaktoren für das Modell zur Ermittlung der lufthygienischen Wirksamkeit zu berechnen. Diese Emissionen sind real niedriger als wenn stets genau Tempo 100 gefahren worden wäre. Die Durchschnittsgeschwindigkeit auf der A2 bei Dellach betrug im Betriebsjahr 2016/17 bei den Pkw 91 km/h.

Für den Schwerverkehr wurden im Taumodell kategorienspezifische Referenzgeschwindigkeiten verwendet.

Damit konnte abgeschätzt werden, wie groß die lufthygienische Wirksamkeit der Tempo100-Schaltung im Echtbetrieb im östlichen Teil der Umfahrung Klagenfurt war.

4.1. Emissionsreduktionen

Bei den **Emissionen** an NO_x und CO₂ lassen sich die folgenden **Reduktionen durch das real umgesetzte flexible Tempo100-Limit** abschätzen (Reduktion der mittleren Geschwindigkeit des Leichtverkehrs um die geschätzten 13 km/h von 115 auf 102 km/h):

Tabelle 4.1: Emissionsreduktionen für NO_x und CO₂ durch das real umgesetzte flexible Tempo100-Limit auf dem 12 km langen Abschnitt der Nordumfahrung Klagenfurt (A2) beim Flughafen, 05.2016-04.2017:

	NO _x	CO ₂
Gesamtemission [t/y]	72	26415
Einsparung durch flexibles T100 [t/y]	-6	-786
in %	-7.2%	-2.9%

Die prozentuale fossile Kraftstoffeinsparung dürfte sich etwa im Bereich der CO₂-Einsparung bewegt haben. Die Abschätzung der Emissionsreduktionen basiert auf dem Handbuch der Emissionsfaktoren HBEFA 3.2.

4.2. Szenarien der Immissionsreduktionen

Bezüglich der **Immissionsreduktionen** wurden fünf Szenarien für den Zeitraum **Mai 2016 ÷ April 2017** berechnet:

- **Í Tempo100 immerÍ** : Alle Fahrzeuge des Leichtverkehrs fahren stets mit der angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit bei 'Tempo 100' (102 km/h).
- **Í Tempo100 nieÍ** : Alle Fahrzeuge des Leichtverkehrs fahren stets mit der angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit bei 'Tempo 130' (115 km/h).
- **Í Tempo100 temporärÍ** : Alle Fahrzeuge des Leichtverkehrs fahren in den Halbstunden, in welchen die Steuerung Tempo 100 bestimmt hat, mit 'Tempo 100', und in den übrigen mit 'Tempo 130'.

- **"Tempo100 Winterhj.":** Alle Fahrzeuge des Leichtverkehrs fahren im Winterhalbjahr (Oktober . März) stets mit 'Tempo 100', im Sommerhalbjahr stets mit 'Tempo 130'.
- **"Real v Dellach":** Alle Fahrzeuge des Leichtverkehrs fahren je einzelne Stunde mit der bei Dellach gemessenen Mittelgeschwindigkeit der Pkw. Dies ist der Realzustand für Dellach (mit den dort vorhandenen Emissionen und gemessenen Immissionen).

Die Szenarien berechnen, welche Emissionen und Immissionen bei Dellach vorgelegen wären, wenn bei Dellach vom Leichtverkehr die entsprechenden Geschwindigkeiten gefahren worden wären. Es darf angenommen werden, dass diese Verhältnisse auch für den tatsächlich gesteuerten Autobahnabschnitt im Ostteil der Umfahrung Klagenfurt gelten.

Ausgehend von der realen Situation des Verkehrsaufkommens und der Immissionen werden für jedes Szenarium die Emissionen und Immissionen an NO_x und NO₂ halbstündlich mit den entsprechenden virtuellen Geschwindigkeiten ermittelt. Daraus können die Effekte für permanentes und temporäres Tempo100 abgeleitet werden. Hinsichtlich der **Immissionen** werden die Effekte in den nächsten drei Tabellen dargestellt:

Tabelle 4.2: Absolute Kennzahlen der fünf Szenarien 'Tempo 100 immer', 'Tempo100 nie', 'Tempo100 temporär', 'Tempo100 Winterhj.' und 'Real v Dellach', Nordumfahrung Klagenfurt (A2), Mai 2016 – April 2017.

Dellach Absolute Werte	E_NOx	E_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂	I_NO ₂
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	95 %	95 %	Anz HST
	g/km/h	g/km/h	ppb	µg/m ³	ppb	µg/m ³	>200µg/m ³
T100 immer	633	146	70	45.7	184	95	1
T100 nie	741	179	80	51.7	212	108	4
T100 temporär	687	163	74	48.3	185	97	1
T100 WHj.	691	164	73	48.0	185	98	1
real v Dellach	579	129	65.3	42.6	170	88	1

Die Immissionswerte im Szenarium 'Real v Dellach' entsprechen den Jahresmittelwerten; es sind die Mittelwerte der Messwerte für die Zeiträume mit verfügbarer Immissionsmessung **und** erfasstem Verkehrsaufkommen (91% der Gesamtzeit; Ausfall vom 17. . 30.04.2017). Die Differenz in den Jahresmittelwerten zwischen 'T100 immer' und 'real v Dellach' kommt dadurch zustande, dass die mittlere reale Geschwindigkeit beim permanent geltenden Tempo 100 bei der Messstelle Dellach nur 91 km/h betrug, die Geschwindigkeit auf der A2 beim Flughafen bei Tempo100 aber immer noch mit 102 km/h angenommen wurde.

Die Tempo100-Schaltungen ergeben merkliche Reduktionen an Emissionen und Immissionen. Die Schaltung reduziert vor allem die chronische Belastung, bricht aber auch Spitzenbelastungen (s. 95%-Werte: Immissionswerte, welche nur von 5% aller Halbstundenwerte überschritten werden).

Die folgende Tabelle zeigt die möglichen lufthygienischen Verbesserungen durch ein *permanentes* 'Tempo100' gegenüber *permanentem* 'Tempo130'.

Tabelle 4.3: Reduktion der gesamten Emissionen und Immissionen an NOx und NO₂ durch ein *permanentes* Tempo100 (102 km/h) gegenüber *permanentem* Tempo130 (115 km/h), Nordumfahrung Klagenfurt (A2), Mai 2016 – April 2017.

Dellach: Reduktion der Gesamtwerte durch ein permanentes T100	E_NOx	E_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	95 %	95 %
	-14.6%	-18.4%	-12.4%	-11.6%	-13.2%	-12.6%

Die NO₂-Emissionen werden durch ein Tempolimit für den Leichtverkehr prozentual stärker reduziert als die NO_x-Emissionen, weil der Leichtverkehr einen größeren Anteil an den NO₂-Emissionen als an den NO_x-Emissionen hat. Von daher ist die Reduktion der NO₂-Immissionen ähnlich hoch wie bei den NO_x-Immissionen, obwohl das in der Luft aus NO gebildete NO₂ nur gedämpft auf Änderungen beim NO_x reagiert.

Die erreichten lufthygienischen Effekte des realisierten flexiblen Tempo100 in Prozent der Effekte eines permanenten Tempo100 stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 4.4: Relative Effekte des realisierten flexiblen Tempo100 in Bezug auf ein permanentes Tempo100-Limit, Nordumfahrung Klagenfurt (A2), Mai 2016 – April 2017.

Dellach: Relativer Tempo100-Effekt im Betriebsjahr	T100	I_NOx	I_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂
	Zeitanteil	Mittel	Mittel	95 %	95 %
T100 immer	100%	100%	100%	100%	100%
T100 nie	0%	0%	0%	0%	0%
T100 temporär	39%	65%	58%	94%	81%
T100 WHj.	53%	69%	61%	97%	78%

Im Betriebsjahr von Mai 2016 . April 2017 ist Tempo 100 zu 39% der Betriebszeit geschaltet worden, unter Ausschluss aller auch kurzzeitigen Ausfälle (38% wenn überbrückte Ausfälle bis 1 Stunde miteinbezogen werden). **Die Forderung gemäß BVO**, wonach der lufthygienische Effekt der flexiblen Tempo100-Schaltung mindestens so hoch wie derjenige eines permanenten Tempolimits im Winterhalbjahr sein muss, **ist knapp nicht erfüllt worden**. Auch wenn die Tempo100-Schaltung während zwei Wochen im April 2017 nicht in Betrieb war und dann eine zusätzliche tempobezogene Immissionsreduktion hätte realisiert werden können (und der Effekt des Winterhalbjahres aufs ganze Jahr etwas geringer geworden wäre), so hätte es möglicherweise auch dann nicht ganz zur Egalisierung des Effektes eines Tempolimits im Winterhalbjahr gereicht.

Es wird empfohlen, zu überprüfen, welche Schwellenwertabsenkung von derzeit 18 ppb zu einem hinreichenden lufthygienischen Effekt geführt hätte. Dieser neue Schwellenwert wäre dann bei Wiederinbetriebnahme der Tempo100-Schaltung zu verwenden. Im Zuge dieser Anpassung wäre es sinnvoll, die Emissionsparameter gemäß HBEFA3.2/3.3 anzupassen.

5. Zusammenfassung

Evaluation des flexiblen Tempolimits 2016/17

Die flexible Tempo100-Schaltung auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost ist auf einer Strecke von ca. 4 km seit 01.12.2009 in Betrieb.

Die für die Tempo100-Steuerung verwendete Messstelle ist Dellach A2, in deren Nähe sich auch die Verkehrszählstelle für die A2 befindet.

Ein Betriebsjahr der Tempo100-Steuerung dauert gemäß BVO von Mai bis April des Folgejahres. Mit dieser Untersuchung ist die Tempo100-Schaltung von Mai 2016 . April 2017 überprüft worden.

Bis auf den unfallbedingten Ausfall vom 17. . 30.04.2017 funktionierte diese weitestgehend einwandfrei. Tempo100 wird temporär zur möglichst effektiven Immissionsverminderung geschaltet, also bei erhöhtem Verkehrsaufkommen *und* schlechten Ausbreitungsbedingungen.

Entsprechend war Tempo100 am Morgen und am Abend am häufigsten mit Spitzen um die 60% im Jahresmittel. In den Wintermonaten von Dezember - Februar betrug die mittlere Häufigkeit über den gesamten Tag knapp 60% bis 70%. Im Juni 2016 hingegen betrug die Häufigkeit lediglich 14%, und in den frühen Morgenstunden war sie generell nahezu null. Der Unterschied zwischen den Tempo100-Häufigkeiten je Jahreszeit zeigte sich vor allem am Mittag und Nachmittag, wobei der Winter zu jeder Tagesstunde die größte Häufigkeit aufwies. Das Frühjahr zeigte die größere Spitze als der Sommer am Morgen (noch 'Bodenkälte' vom Winter her, die sich nach der Nacht zeigt), am Abend war es umgekehrt (im Sommer größere Ausstrahlung als im Frühjahr, was abends eher zu Inversionen führt).

Über das ganze Betriebsjahr gesehen betrug die Häufigkeit von Tempo100 38% während der eigentlichen Betriebszeit (ohne Ausfälle).

An 28 Tagen betrug die Tempo100-Schaltdauer 18 - 20 Stunden (alle zwischen 30. November und 17. Februar), an 15 Tagen gab es keine Schaltung trotz einwandfreien technischen Betriebs.

Das Verkehrsaufkommen auf der A2 bei Dellach hat von 2012/13 auf 2016/17 um insgesamt 10% zugenommen. Dies ist eine deutliche Zunahme, die sich vor allem von 2015/16 auf 2016/17 zugetragen hat. Die Pkw haben um 9% zugenom-

men, währenddem der Schwerverkehr prozentual um das Doppelte (18%) zugenommen hat.

Bei den NO_x-Emissionen und -Immissionen ist eine fortwährende Abnahme seit 2009 zu erkennen, wobei die Abnahme bei den (gerechneten) Emissionen nach wie vor deutlich stärker ausfällt als bei den (gemessenen) Immissionen. Der Rückgang der NO_x-Emissionen über den gesamten Zeitraum erfolgt wegen der Verringerung der Emissionsfaktoren gemäß HBEFA3.1/3.2 infolge der fortwährenden Flottenmodernisierung.

Durch das flexible Tempo100-Limit konnten auf dem betroffenen Abschnitt der Nordumfahrung Klagenfurt etwa 7% der Stickoxid- und 3% der CO₂-Emissionen eingespart werden. Die prozentuale fossile Kraftstoffeinsparung dürfte sich etwa im Bereich der CO₂-Einsparung bewegt haben.

Die Forderung gemäß BVO, wonach der lufthygienische Effekt der flexiblen Tempo100-Schaltung mindestens so hoch wie derjenige eines permanenten Tempolimits im Winterhalbjahr sein muss, **ist knapp nicht erfüllt worden**. Auch wenn die Tempo100-Schaltung während zwei Wochen im April 2017 nicht in Betrieb war und dann eine zusätzliche tempobezogene Immissionsreduktion hätte realisiert werden können (und der Effekt des Winterhalbjahres aufs ganze Jahr etwas geringer geworden wäre), so hätte es möglicherweise auch dann nicht ganz zur Egalisierung des Effektes eines Tempolimits im Winterhalbjahr gereicht.

Es wird empfohlen, zu überprüfen, welche Schwellenwertabsenkung von derzeit 18 ppb zu einem hinreichenden lufthygienischen Effekt geführt hätte. Dieser neue Schwellenwert wäre dann bei Wiederinbetriebnahme der Tempo100-Schaltung zu verwenden. Im Zuge dieser Anpassung wäre es sinnvoll, die Emissionsparameter gemäß HBEFA3.2/3.3 anzupassen.