

**Evaluation des flexiblen
Tempolimits auf der A2
bei Klagenfurt
Mai 2019 - April 2020**

Dr. Jürg Thudium
Dr. Carine Chélala
12.10.2020 / 5314.00

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)	14
4. Abschätzung der lufthygienischen Wirksamkeit der flexiblen Tempo100-Schaltung bei Klagenfurt	17
4.1. Emissionsreduktionen	19
4.2. Szenarien der Immissionsreduktionen	19
5. Zusammenfassung	23

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 (05.2019-04.2020). 'IGL Tempo 100' bzw. 'IGL Tempo 130': Flexible Temposchaltung; 'Ausfall Schaltung mit Tempo130': Keine Geschwindigkeitsanzeige infolge Ausfalls → Tempo 130. 'Ausfall Schaltung mit Tempo100': Manuell geschaltetes Tempo100(kam nicht vor).	2
Abbildung 2.2: Tägliche Anzahl Stunden (im gleitenden 7-Tagemittel) mit flexiblem Tempo100, Dellach A2 (05.2019-04.2020).	3
Abbildung 2.3: Häufigkeit von flexiblem Tempo100 je Monat, Dellach A2 (05.2019-04.2020).	4
Abbildung 2.4: Häufigkeit von flexiblem Tempo100 je Monat, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2009/10 . 2015/16, 2016/17, 2018/19 und 2019/20.	5
Abbildung 2.5: Monatsmittel von NO _x und Tempo100-Häufigkeit, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2016/17, 2018/19 und 2019/20.	5
Abbildung 2.6: Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit von Tempo100, Dellach A2 (05.2019-04.2020).	6
Abbildung 2.7: Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit von Tempo100 je Jahreszeit, Dellach A2 (05.2019-04.2020).	8
Abbildung 2.8: Tempo100-Häufigkeit, Pkw-Aufkommen und NO _x -Immission je Wochentag, Dellach A2 (05.2019-04.2020).	9
Abbildung 2.9: Tempo100-Häufigkeit je Wochentag <i>während der Betriebszeit der Schaltung von 2010/11 . 2019/20</i> , Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2010/11 - 2013/14, 2015/16, 2016/17, 08.2018-04.2019 und 2019/20.	10
Abbildung 2.10: Anzahl Tage pro Monat mit extremen Tempo100-Schaltzeiten, Dellach A2 (05.2019-04.2020).	12
Abbildung 3.1: Monatsmittel der Tempo100-Häufigkeit, der Stickstoffoxid-Emissionen (E_NO _x) und -Immissionen (NO _x und NO ₂) sowie der Inversionshäufigkeit (tagsüber 6-22 Uhr) bei Dellach (A2), Dezember 2009 - April 2020.	15

Abbildung 3.2: Verkehrsaufkommen (Pkw, Lfw, Lkw, SattelKfz) von Feb-Apr 2020.
Lockdown ab 16.03.2020. 16

Abbildung 4.1: Geschwindigkeit der Pkw und der Sattelzüge (Tagesmittel) auf der A2 bei
Dellach (05.2019-04.2020). 18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Jahreszeitliche Tempo100-Häufigkeiten *während der Betriebszeit der
Schaltung*, Dellach A2 (2019/20, 09.2018-04.2019, 2016/17, 2015/16, 2013/14, 2012/13,
2011/12). 7

Tabelle 2.2: Tägliche Stunden für Tempo100-Schaltzeiten, Dellach A2 (05.2019-04.2020).
Blau: 0 - 1 h mit Tempo100 trotz Betriebs der flexiblen Schaltung. Rot: Sehr lange
Tempo100-Zeiten. Leer: Vollständiger oder weitgehender Ausfall der flexiblen Schaltung;
es galt 'Tempo130'. 11

Tabelle 2.3: Die 23 Tage mit hohen Tempo100-Schaltzeiten (15 . 18 h) bei Dellach A2
(05.2019-04.2020). 13

Tabelle 3.1: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) auf der A2 bei Dellach
(Betriebsjahre 2012/13, 2016/17 und 2019/20). 'Pkw': Pkw + Pkw mit Anhänger +
nichtklassifizierte Fahrzeuge + Motorräder; schwere Güterfahrzeuge: Lastwagen mit und
ohne Anhänger + Sattelzüge. 14

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, 01.05.2019 . 30.04.2020: 19

Tabelle 4.2: Absolute Kennzahlen der fünf Szenarien \pm Tempo 100 immer \pm Tempo100 nie \pm
 \pm Tempo100 temporär \pm Tempo100 Winterh. \pm und 'Real v Dellach', Nordumfahrung
Klagenfurt (A2), 01.05.2019 . 30.04.2020. 20

Tabelle 4.3: Reduktion der gesamten Emissionen und Immissionen an NO_x und NO₂
durch ein *permanentes* Tempo100 (102 km/h) gegenüber *permanentem* Tempo130 (115
km/h), Nordumfahrung Klagenfurt (A2), 01.05.2019 . 30.04.2020. 21

Tabelle 4.4: Relative Effekte des realisierten flexiblen Tempo100 *in Bezug auf ein*
permanentes Tempo100-Limit, Nordumfahrung Klagenfurt (A2), 01.05.2019 . 30.04.2020. 22

1. Einleitung

Die flexible Tempo100-Schaltung auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost ist auf einer Strecke von ca. 12 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 2019** ÷ **April 2020** überprüft worden.

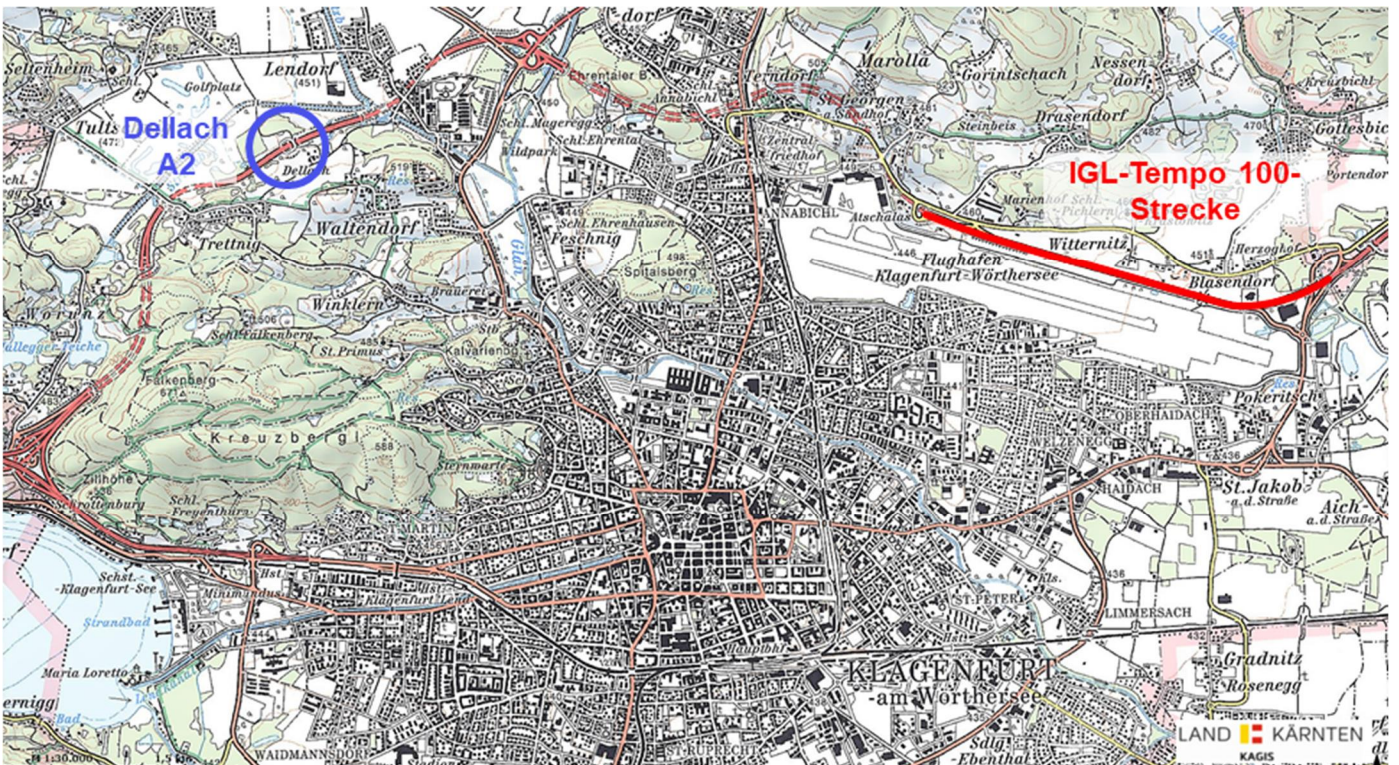


Abbildung 1.1: Die Tempo100-Strecke auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost (rot). Blau: Messstelle Dellach (A2).

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 2019/20 betrug die Verfügbarkeit der Schaltung rund 92%. Die Ausfälle betrafen hauptsächlich die Immissionsmessung.

Die folgende Abbildung zeigt die monatlichen Anteile der Zeiten mit flexibler sowie permanenter Tempo100-Schaltung (kam in diesem Betriebsjahr nicht vor) und die Zeiten mit Tempo130 (flexibel und permanent infolge Ausfalls der Schaltung).

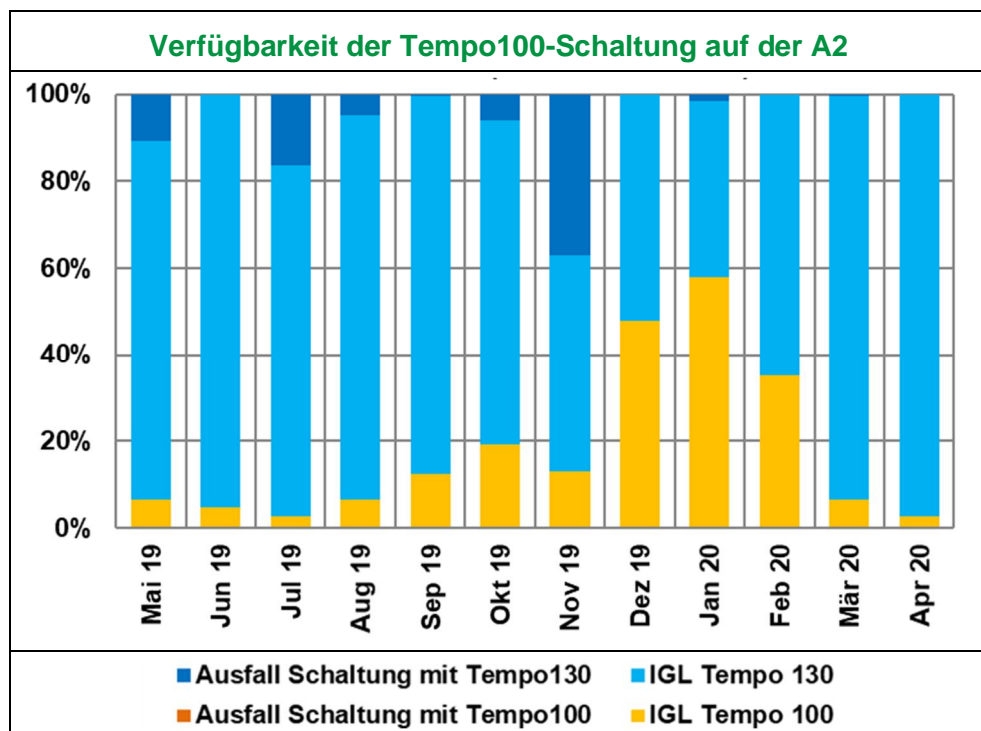


Abbildung 2.1: Verfügbarkeit der Tempo100-Schaltung je Monat, Dellach A2 (05.2019-04.2020). 'IGL Tempo 100' bzw. 'IGL Tempo 130': Flexible Temposchaltung; 'Ausfall Schaltung mit Tempo130': Keine Geschwindigkeitsanzeige infolge Ausfalls → Tempo 130. 'Ausfall Schaltung mit Tempo100': Manuell geschaltetes Tempo100(kam nicht vor).

Im Betriebsjahr von Mai 2019 . April 2020 war Tempo100 auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost während durchschnittlich 19% der **Betriebszeit** geschaltet (18% der Gesamtzeit).

Im Folgenden werden Darstellungen der Tempo100-Häufigkeit gezeigt (Jahres-, Saison-, Tages- und Wochenverläufe).

Im **Jahresverlauf** (nächste **Abbildung 2.2**: Gleitende Wochenmittel) zeigten sich die höchsten Tempo100-Häufigkeiten im aktuellen Betriebsjahr von Mitte Dezember 2019 bis Ende Januar 2020. Die Jahreskurve wird von unterschiedlichen Witterungsphasen moduliert. Am wenigsten Tempo100-Schaltungen gab es während des Lockdowns von Mitte März bis Ende April 2020.

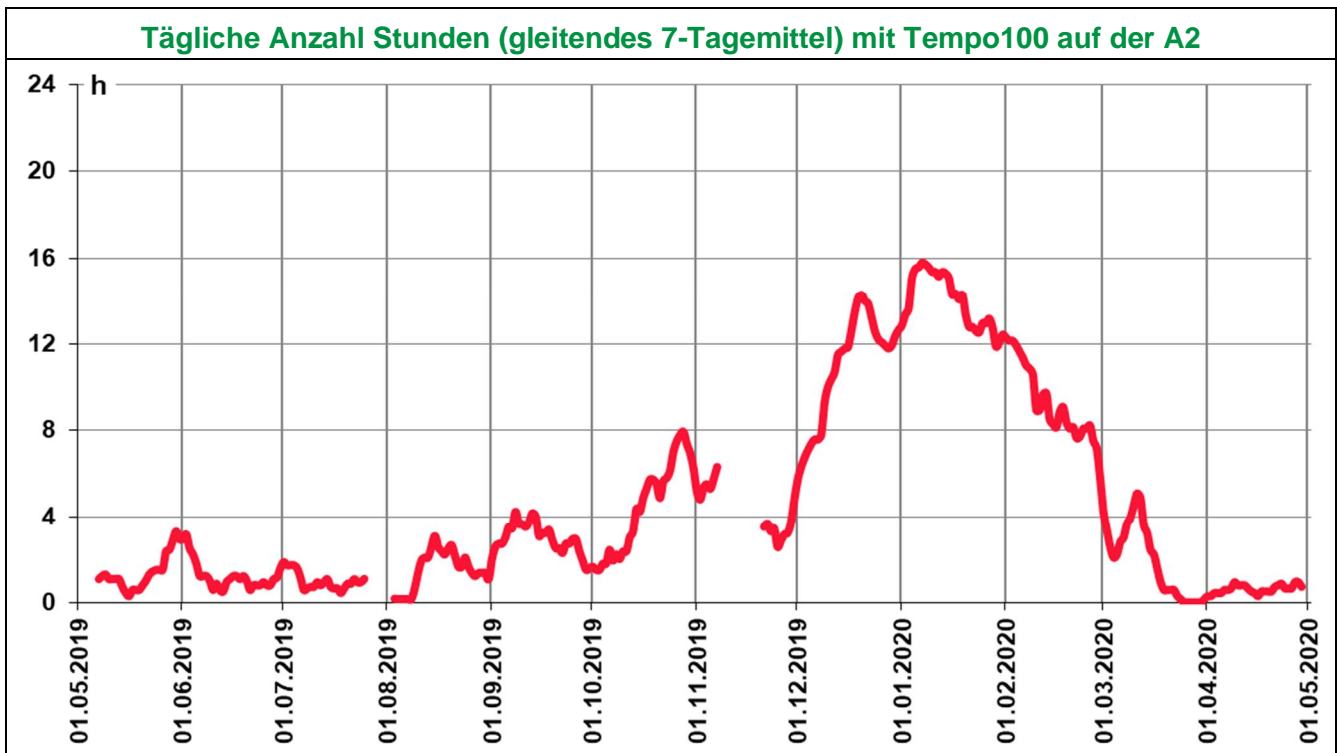


Abbildung 2.2: Tägliche Anzahl Stunden (im gleitenden 7-Tagemittel) mit flexiblem Tempo100, Dellach A2 (05.2019-04.2020).

Die **monatlichen Tempo100-Häufigkeiten** entsprechen dem Bild der gleitenden 7-Tagemittel. Die monatlichen Schalthäufigkeiten schwankten zwischen 2.6% (Juni 2019 und April 2020) und 58% (Januar 2020). Die Wintermonate Dezember - Februar ragten wie praktisch jedes Jahr über die anderen Monate hinaus.

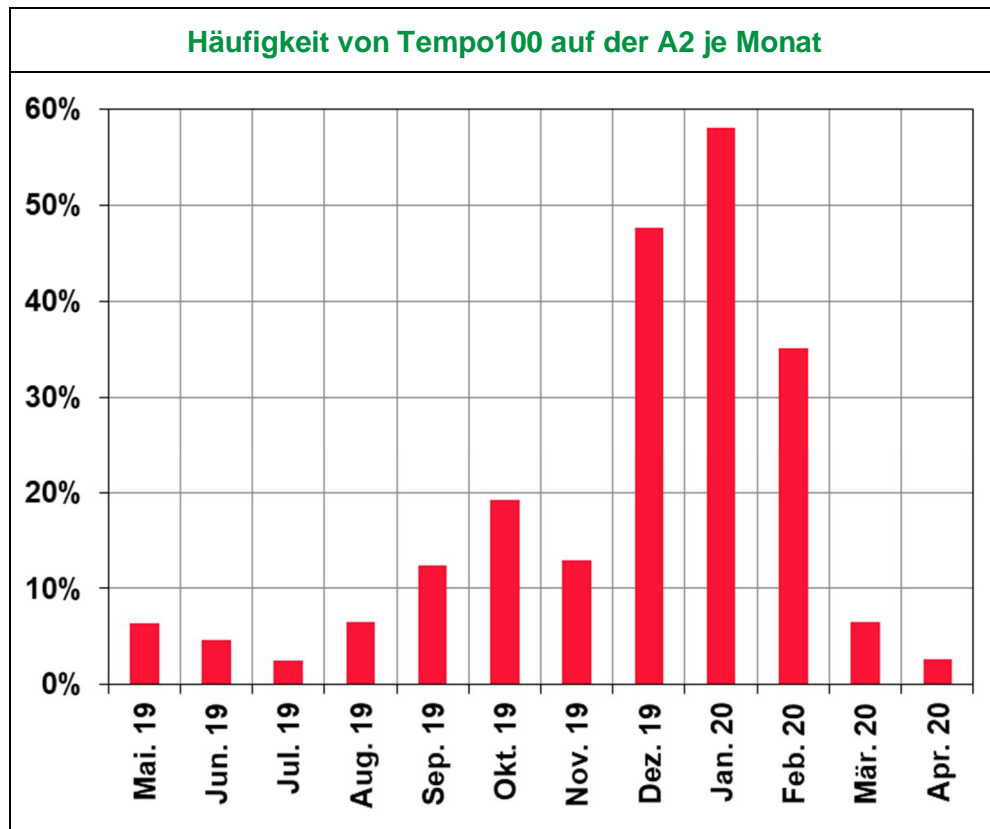


Abbildung 2.3: Häufigkeit von flexiblem Tempo100 je Monat, Dellach A2 (05.2019-04.2020).

Im Vergleich zu allen früheren Jahren (mit Ausnahme des Winters 2013/14, wo wegen Baustelle Tempo60 herrschte) lagen die Tempo100-Häufigkeiten durchwegs tiefer (s. nächste Abbildung). Nur im Dezember/Januar war die Schaltheufigkeit etwas höher als im Vorjahr.

Die übernächste Abbildung zeigt die monatlichen Tempo100-Häufigkeiten und NOx-Immissionen für die Betriebsjahre 2016/17, 2018/19 und 2019/20. Tempo100-Häufigkeit und NOx-Immission entsprechen sich von Oktober . März sehr gut, außerhalb davon einigermaßen. Im Sommerhalbjahr sind die Tempo100-Häufigkeiten überproportional tiefer als im Winterhalbjahr verglichen mit den NOx-Immissionen, weil die Schaltschwelle entsprechend seltener überschritten wird. Die tieferen Tempo100-Häufigkeiten im 2018/19 und auch 2019/20 gehen mit entsprechend tieferen NOx-Immissionen einher. Die NOx-Immissionen waren tiefer wegen der geringeren Emissionen des Straßenverkehrs infolge Flottenmodernisierung (tiefere Emissionsfaktoren), aber auch, weil die beiden letzten Winter 2018/19 und 2019/20 betreffend meteorologischer Ausbreitungsbedingungen günstiger waren als 2016/17.

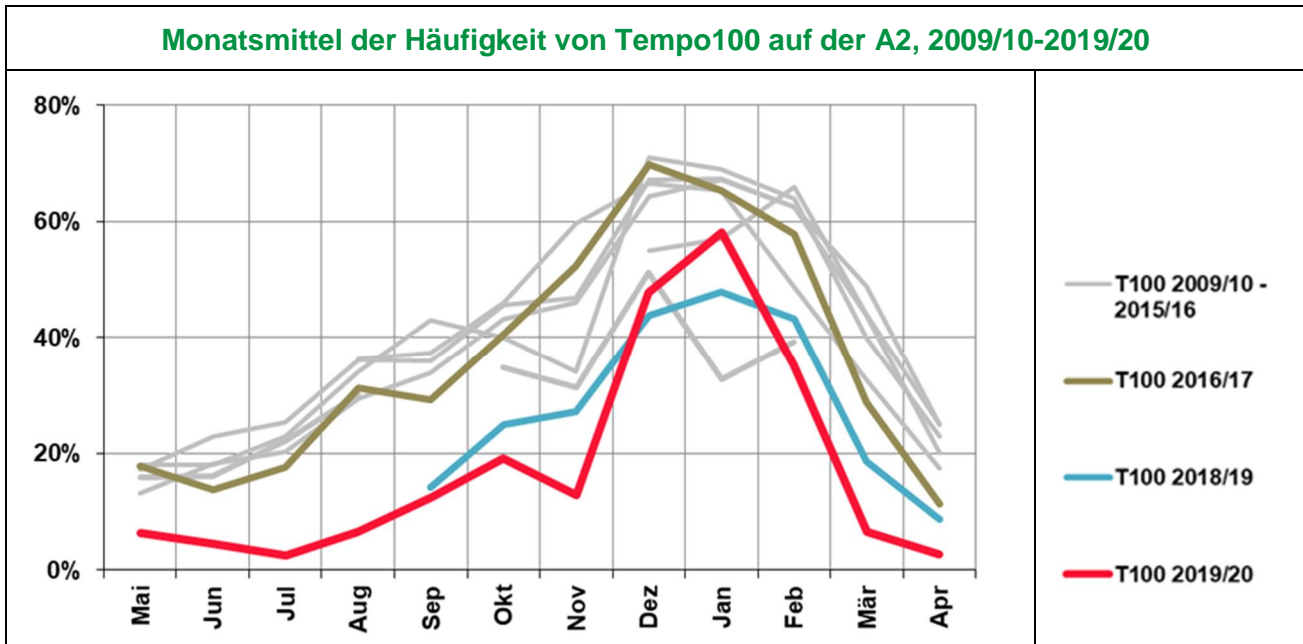


Abbildung 2.4: Häufigkeit von flexiblem Tempo100 je Monat, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2009/10 – 2015/16, 2016/17, 2018/19 und 2019/20.

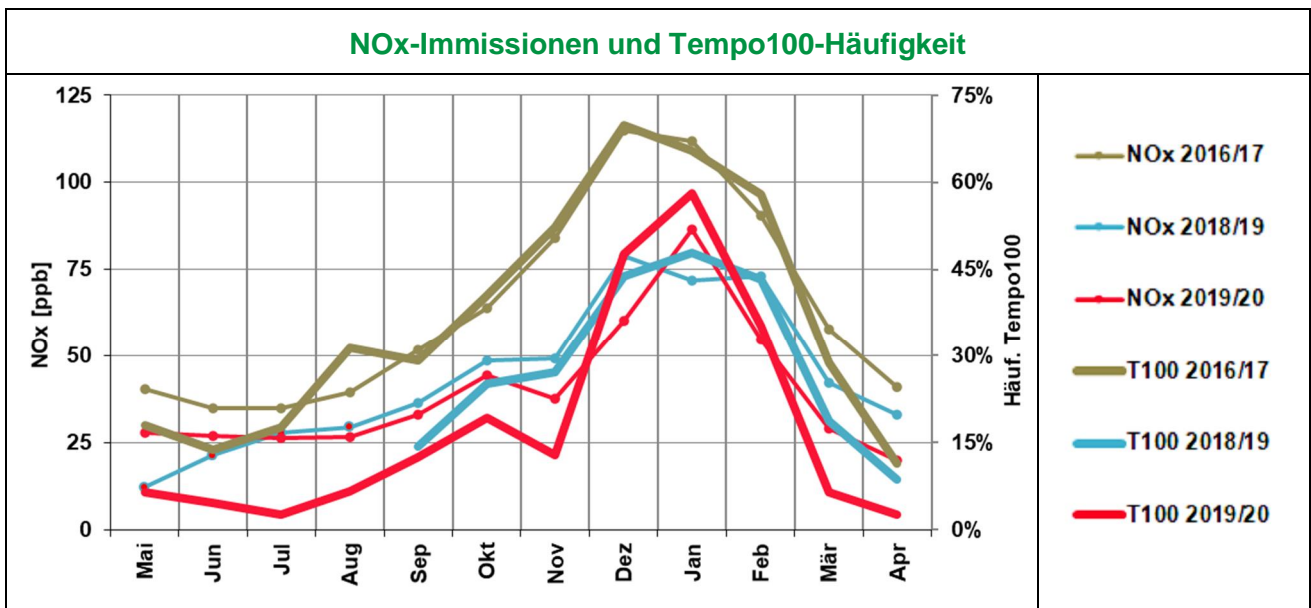


Abbildung 2.5: Monatsmittel von NOx und Tempo100-Häufigkeit, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2016/17, 2018/19 und 2019/20.

Die Häufigkeit der Tempo100-Schaltung zeigte einen deutlichen **Tagesgang**. Sie war am Morgen zwischen 7 und 10 Uhr und am Abend von 16 bis 21 Uhr am größten, da betrug sie mehr als 25%. Am Morgen zwischen 2 und 5 Uhr kam Tempo100 praktisch nicht vor.

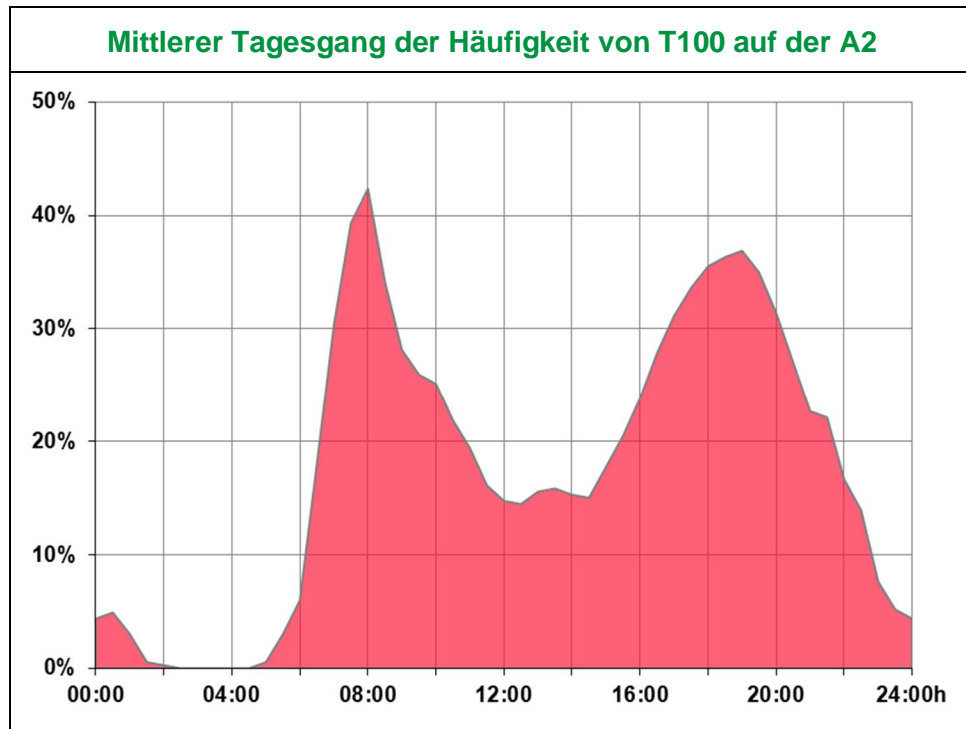


Abbildung 2.6: Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit von Tempo100, Dellach A2 (05.2019-04.2020).

Seit Beginn der Tempo100-Schaltung im Dezember 2009 zeigt sich meist ein sich grundsätzlich wiederholender **Jahresverlauf**. Im aktuellen Betriebsjahr war die Tempo100-Häufigkeit so tief wie noch nie. Das galt für alle Jahreszeiten außer dem Winter, wo auch im Vorjahr ein ähnlicher Wert vorlag. Der tiefe Wert im Frühjahr ist auch vom Lockdown bedingt (ab Mitte März 2020).

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

Tabelle 2.1: Jahreszeitliche Tempo100-Häufigkeiten während der Betriebszeit der Schaltung, Dellach A2 (2019/20, 09.2018-04.2019, 2016/17, 2015/16, 2013/14, 2012/13, 2011/12).

% Tempo 100	05.2019-04.2020	09.2018-04.2019	05.2016-04.2017	17.07.2015-04.2016	05.2013-04.2014	05.2012-04.2013	05.2011-04.2012
Winter	47%	45%	65%	60%	44%	66%	65%
Frühjahr	5%	14% ³	23% ²	25% ¹	16%	30%	26%
Sommer	5%	-	21%	36% ¹	24%	28%	23%
Herbst	15%	22%	41%	48%	35%	43%	41%
Ganzes Jahr	18%	29%⁴	38%	45%	31%	42%	38%

¹Im Frühjahr bzw. Sommer, fehlen 31 bzw. 46 Tage (1.5. - 17.07.2015).

²Im April 2017 Ausfall 17.-30.

³ohne Mai 2018.

⁴bezogen auf Betriebszeit vom 28.08.2018-30.04.2019.

Der Winter wies zu jeder Tagesstunde die größte Tempo100-Häufigkeit auf. Der Tagesgang war ähnlich wie im Vorjahr (am Morgen und frühen Abend über 80% Häufigkeit), wohingegen in den anderen Jahreszeiten die Tempo100-Häufigkeit den ganzen Tag über geringer war als im Vorjahr, speziell geringer lockdownbedingt im Frühjahr.

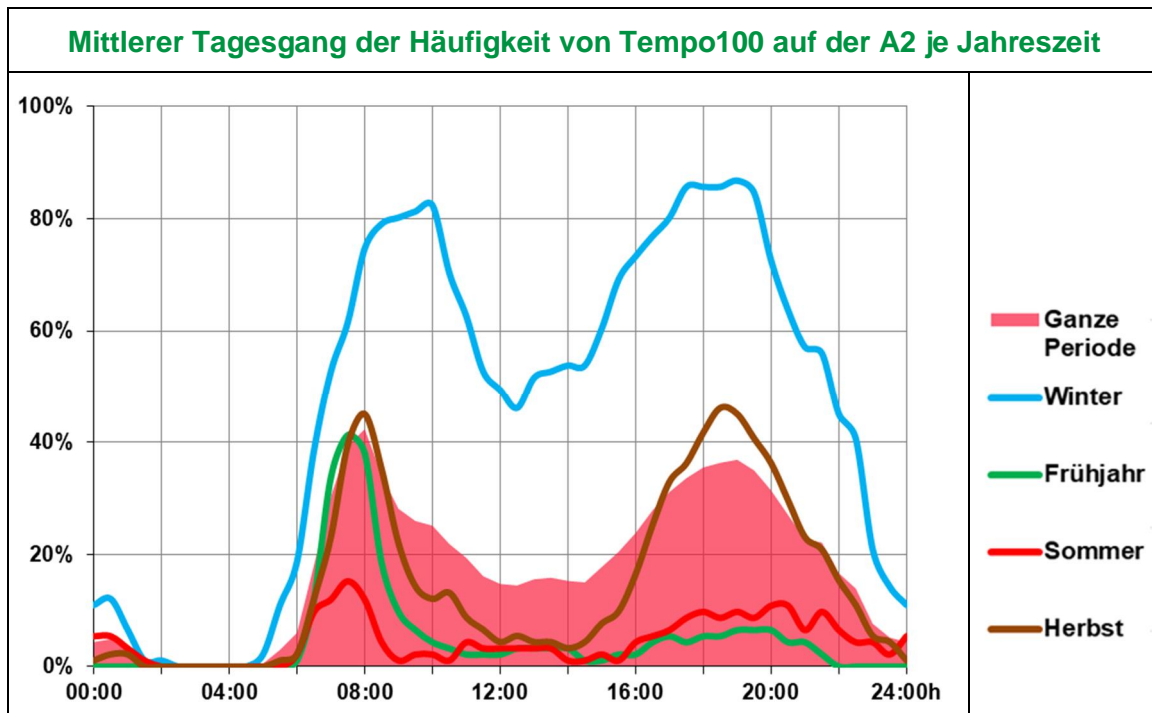


Abbildung 2.7: Mittlerer Tagesgang der Häufigkeit von Tempo100 je Jahreszeit, Dellach A2 (05.2019-04.2020).

Das Frühjahr zeigte am Morgen eine ähnliche Spitze wie der Herbst (Morgeninversionen), im weiteren Tagesverlauf aber deutlich geringere Tempo100-Häufigkeiten.

Im **Wochengang** wiesen die Tempo100-Schaltungen am Freitag und Sonntag die höchsten Häufigkeiten auf, am Dienstag und Mittwoch die niedrigsten. Die wochentäglichen Unterschiede in der Tempo100-Häufigkeit korrelieren dieses Jahr nicht mit dem Pkw-Aufkommen; bei einer so geringen Schalthäufigkeit haben die meteorologischen Bedingungen einen dominanten Einfluss (zusammen mit einem Mindestaufkommen an Verkehr).

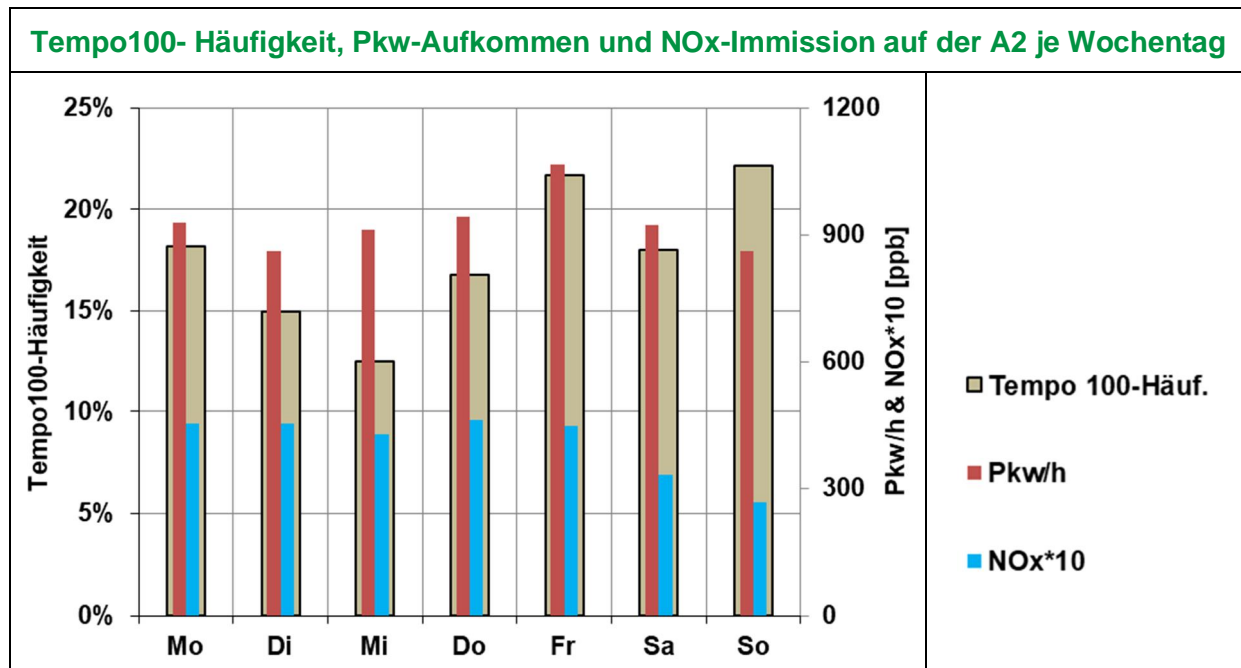


Abbildung 2.8: Tempo100-Häufigkeit, Pkw-Aufkommen und NOx-Immission je Wochentag, Dellach A2 (05.2019-04.2020).

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 im Vergleich zu Montag-Mittwoch nicht mehr abfällt. Auch hier zeigt sich natürlich die gegenüber den früheren Jahren viel geringere Tempo100-Häufigkeit.

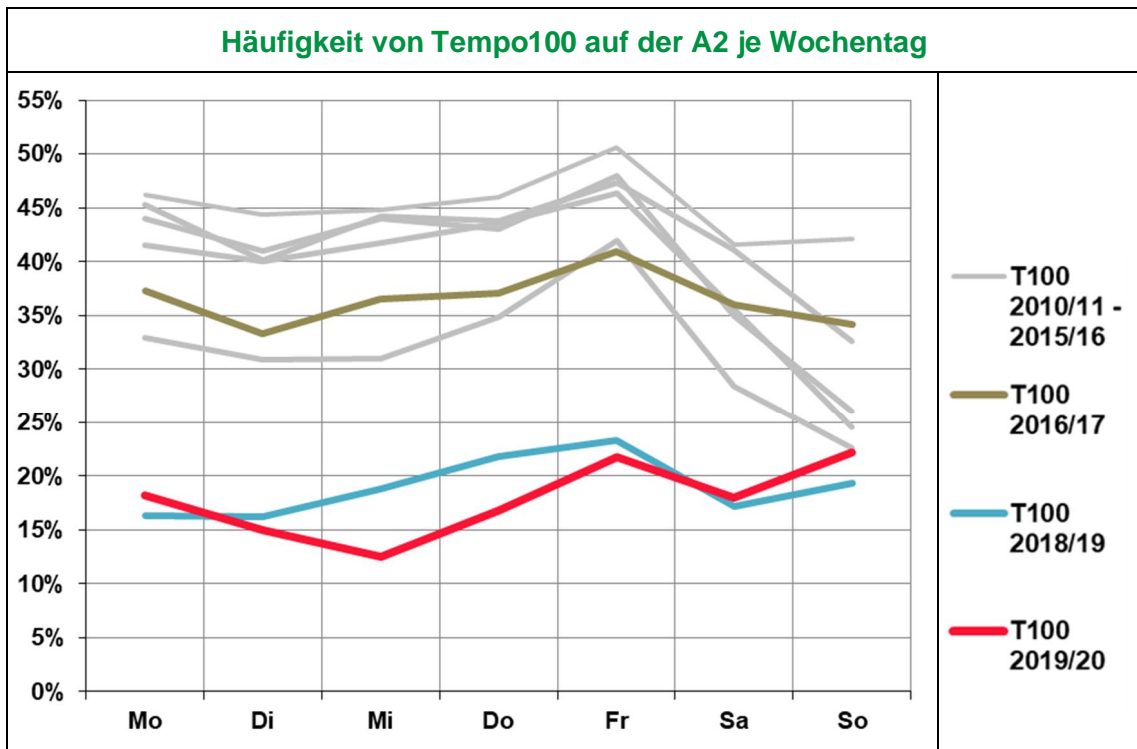


Abbildung 2.9: Tempo100-Häufigkeit je Wochentag während der Betriebszeit der Schaltung von 2010/11 – 2019/20, Dellach A2, Betriebsjahre Mai-April 2010/11 - 2013/14, 2015/16, 2016/17, 08.2018-04.2019 und 2019/20.

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 (05.2019-04.2020).

Blau: 0 - 1 h mit Tempo100 trotz Betriebs der flexiblen Schaltung.

Rot: Sehr lange Tempo100-Zeiten. **Leer:** Vollständiger oder weitgehender Ausfall der flexiblen Schaltung; es galt 'Tempo130'.

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

Die Verfügbarkeit der flexiblen Tempo100-Schaltung war mit 92% gut. Der Hauptteil der Ausfallszeit fällt auf den Juli und Dezember 2019.

Die monatliche Verteilung der Tage mit "extremen" Schaltzeiten (0 Stunden bzw. 15 - 18 Stunden Schaltzeit) folgt der allgemeinen Verteilung der Schaltzeiten: Sehr hohe tägliche Schaltzeiten finden wir ausschließlich im Winter, tiefe vor allem in den Frühlings- und Sommermonaten.

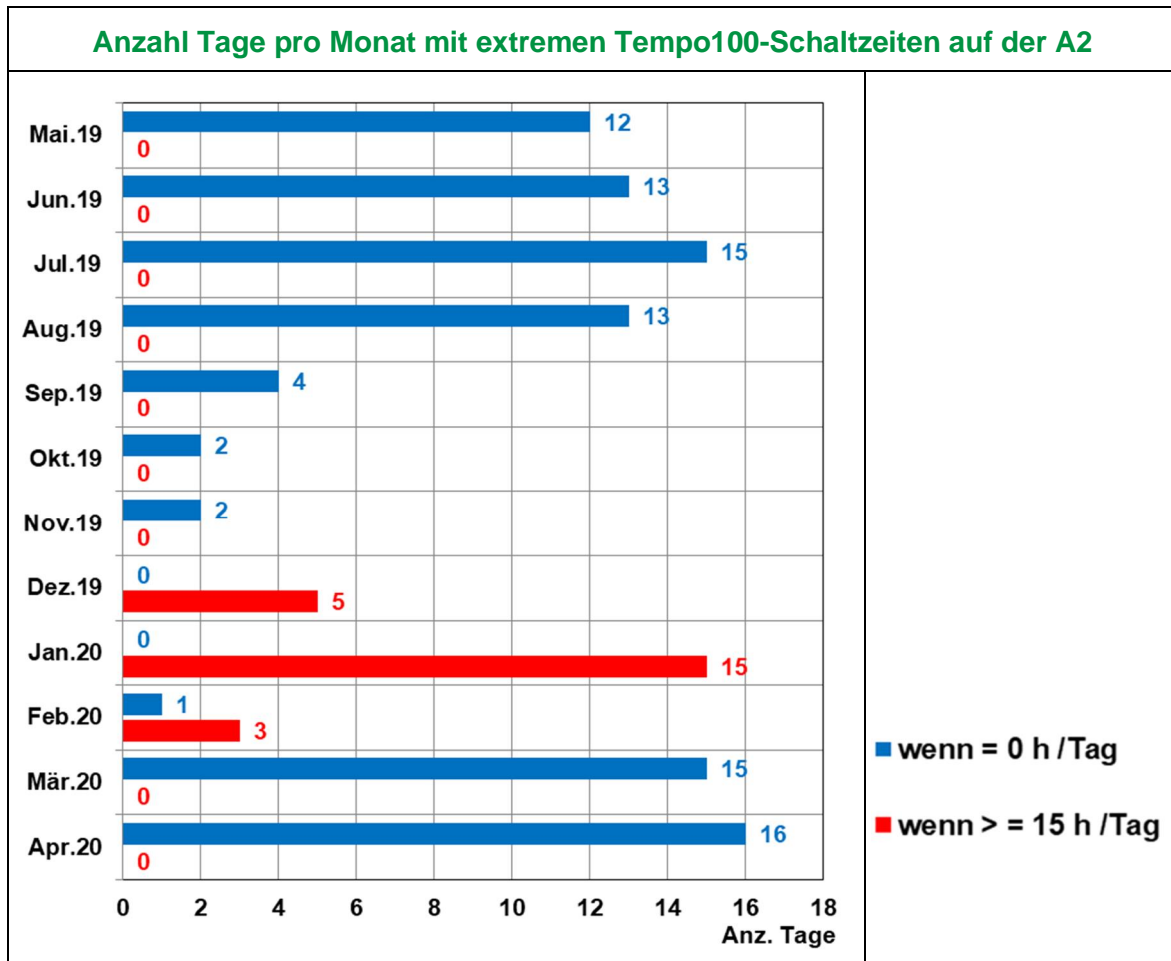


Abbildung 2.10: Anzahl Tage pro Monat mit extremen Tempo100-Schaltzeiten, Dellach A2 (05.2019-04.2020).

Die Tage mit hohen Schaltzeiten traten meist episodisch auf (2-5 Tage hintereinander), was auf meteorologische Ursachen neben dem Verkehrsaufkommen hinweist (schlechte Ausbreitungsbedingungen in Inversionslagen).

Tabelle 2.3: Die 23 Tage mit hohen Tempo100-Schaltzeiten (15 – 18 h) bei Dellach A2 (05.2019-04.2020).

Tag	Datum	Pkw-Aufkommen	Tempo100-Schaltzeit [h]
Mo	09.12.2019	22519	15.5
Fr	13.12.2019	23508	15.0
Mi	18.12.2019	23160	15.0
Do	19.12.2019	23893	15.5
Fr	20.12.2019	26171	16.0
Do	02.01.2020	23257	18.0
Fr	03.01.2020	20952	17.0
Sa	04.01.2020	20393	16.5
So	05.01.2020	18568	15.5
Mo	06.01.2020	17746	15.0
Do	09.01.2020	21417	17.0
Fr	10.01.2020	23652	15.5
Sa	11.01.2020	18481	16.5
Mo	13.01.2020	21701	16.5
Fr	17.01.2020	24506	16.0
So	19.01.2020	16673	15.5
Fr	24.01.2020	24532	15.5
Sa	25.01.2020	18292	17.5
So	26.01.2020	16917	15.5
Fr	31.01.2020	25312	18.0
Sa	01.02.2020	22380	17.0
Fr	07.02.2020	26191	15.0
Sa	08.02.2020	23808	15.0

Die Spitzentage ereigneten sich in den zwei Monaten zwischen dem 09.12.2019 und dem 08.02.2020, 13 der 23 Tage waren Freitage und Samstage. Das Pkw-Aufkommen betrug von Dezember 2019 bis Februar 2020 durchschnittlich 20'300 pro Tag. An 13 der 23 Spitzentage war es um mehr als 10% höher als der Winter-Durchschnittswert, an 3 Tagen um mehr als 10% geringer.

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 2019/20 um insgesamt 8% zugenommen. Die schweren Güterfahrzeuge (+34%) und die Lieferwagen (+15%) haben am meisten zugenommen. An der 5%-Abnahme bei den Pkw von 2016/17 auf 2019/20 hat der Lockdown ab Mitte März 2020 einen beträchtlichen Anteil.

Tabelle 3.1: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) auf der A2 bei Dellach (Betriebsjahre 2012/13, 2016/17 und 2019/20). '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
05.2019-04.2020	2592	23300	3684	113	29690
05.2016-04.2017	2396	24498	3231	135	30260
05.2012-04.2013	2253	22420	2750	141	27564
<i>Änderung 2019/20 zu 2016/17</i>	8.2%	-4.9%	14.0%	-16.4%	-1.9%
<i>Änderung 2019/20 zu 2012/13</i>	15.1%	3.9%	34.0%	-19.7%	7.7%

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).

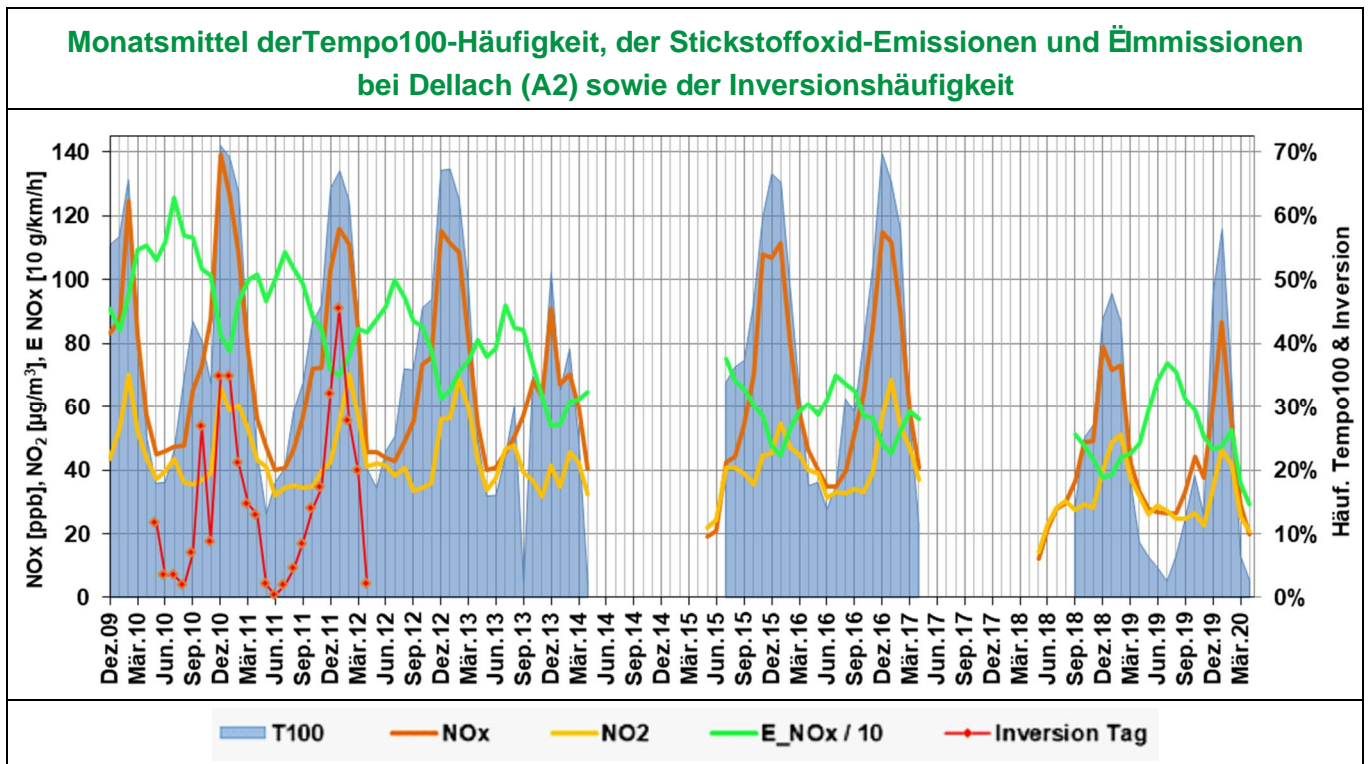


Abbildung 3.1: Monatsmittel der Tempo100-Häufigkeit, der Stickstoffoxid-Emissionen (E_NOx) und -Immissionen (NOx und NO₂) sowie der Inversionshäufigkeit (tagsüber 6-22 Uhr) bei Dellach (A2), Dezember 2009 - April 2020.

Bei den NOx-Emissionen und . Immissionen ist eine fortwährende Abnahme seit 2009 zu erkennen. Der Rückgang der NOx-Emissionen über den gesamten Zeitraum erfolgt wegen der Verringerung der Emissionsfaktoren gemäß HBEFA infolge der fortwährenden Flottenmodernisierung. Im Winter 2013/14 führte Tempo60 bei Dellach zu einer zusätzlichen Abnahme der Emissionen und Immissionen.

Der Tempo100-Verlauf folgt im Wesentlichen dem Verlauf der NOx-Immission.

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.

Effekt des Lockdowns vom 16.03.2020 auf das Verkehrsaufkommen auf der A2:

Mitte März 2020 wurde auch in Österreich ein allgemeiner Lockdown ausgerufen. In der Folge hat sich der SNF-Verkehr relativ wenig verringert, der Pkw- und Lfw-Verkehr ist jedoch stark eingebrochen.

Im 2020 gab es nach dem 15.03. einen leichten Rückgang bei den Lkw und einen starken bei den Pkw und Lfw. Von anfangs April an gab es bei allen Fahrzeugkategorien einen Wiederanstieg, ohne aber bis Ende April das frühere Aufkommen wieder zu erreichen.

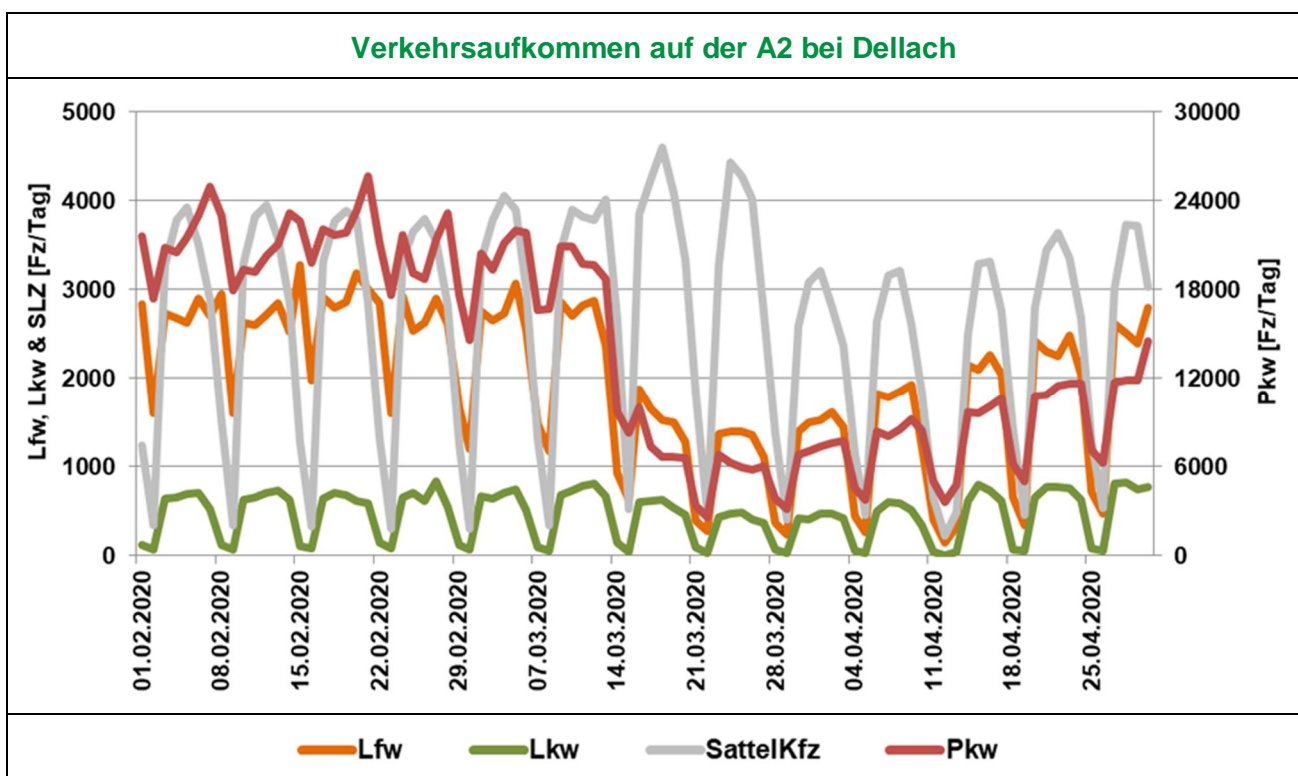


Abbildung 3.2: Verkehrsaufkommen (Pkw, Lfw, Lkw, SattelKfz) von Feb-Apr 2020. Lockdown ab 16.03.2020.

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 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.

Die folgende Abbildung zeigt die gemessenen Fahrgeschwindigkeiten für Pkw und Sattelzüge im aktuellen Betriebsjahr.

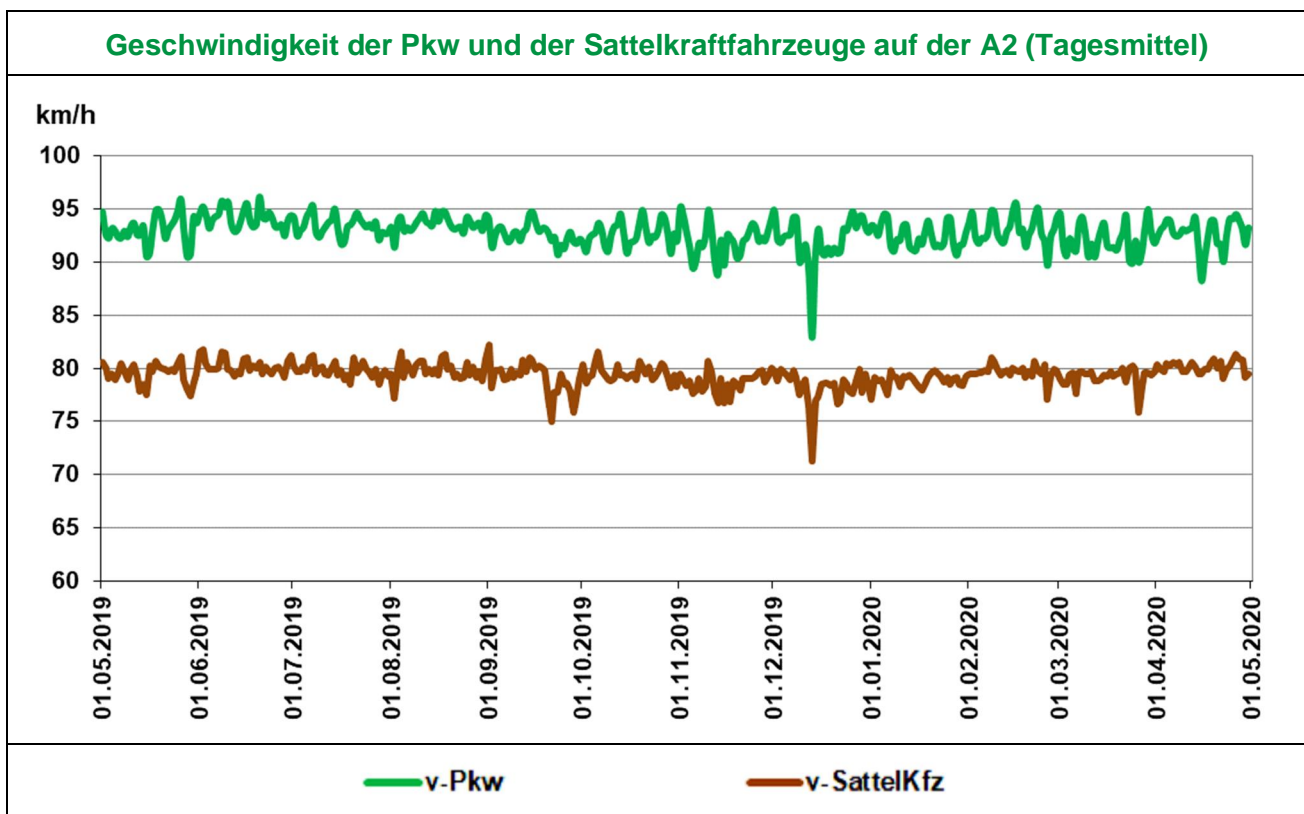


Abbildung 4.1: Geschwindigkeit der Pkw und der Sattelzüge (Tagesmittel) auf der A2 bei Dellach (05.2019-04.2020).

Die mittlere Geschwindigkeit der Pkw beträgt 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), vom Verkehrsaufkommen und von der Straßenführung.

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 im Falle von Dellach real niedriger, als wenn stets genau Tempo 100 gefahren worden wäre. Die Durchschnittsgeschwindigkeit auf der A2 bei Dellach betrug im Betriebsjahr 2019/20 bei den Pkw 92.8 km/h.

Für den Schwerverkehr wurden im Taumodell kategorienspezifische Referenzgeschwindigkeiten verwendet.

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

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, 01.05.2019 – 30.04.2020:

	NO _x	CO ₂
Gesamtemission [t/y]	25.0	10298
Einsparung durch flexibles T100 [t/y]	-1.4	-180
in %	-5.4%	-1.7%

Die prozentuale fossile Kraftstoffeinsparung dürfte sich etwa im Bereich der CO₂-Einsparung bewegt haben. Die Abschätzung der Emissionsreduktionen basiert neu auf dem Handbuch der Emissionsfaktoren HBEFA 4.1.

4.2. Szenarien der Immissionsreduktionen

Bezüglich der **Immissionsreduktionen** wurden fünf Szenarien für den Zeitraum **01.05.2019 – 30.04.2020** 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 geschaltet 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'.
- **"v real":** Alle Fahrzeuge des Leichtverkehrs fahren je einzelne Stunde mit der bei Dellach gemessenen stündlichen Mittelgeschwindigkeit der Pkw. Dies ist der Realzustand für Dellach (mit den dort vorhandenen Emissionen und gemessenen Immissionen).

Ausgehend von der realen Situation des Verkehrsaufkommens und der Immissionen werden für jedes Szenarium die Emissionen und Immissionen an NOx und NO₂ halbstündlich bei den entsprechenden virtuellen Geschwindigkeiten ermittelt. Daraus können die Effekte für permanentes und temporäres Tempo100 abgeleitet werden.

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.

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), 01.05.2019 – 30.04.2020.

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	605	181	44.0	31.3	118	65	0
T100 nie	755	231	53.7	35.4	146	75	0
T100 temporär	715	218	49.6	34.2	125	70	0
T100 WHj.	690	209	47.3	33.3	122	68	0
v real	544	160	39.9	29.4	106	61	0
<i>Messung</i>			39.8	29.4			

Die Immissionswerte im Szenarium 'v real' entsprechen den Jahresmitteln vom 01.05.2019-30.04.2020. Die Differenz in den Jahresmittelwerten zwischen 'T100 immer' und 'v real' kommt dadurch zustande, dass die mittlere reale Geschwin-

digkeit beim permanent geltenden Tempo 100 bei der Messstelle Dellach nur 92.8 km/h betrug, die Geschwindigkeit auf der A2 beim Flughafen bei Tempo100 aber 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), 01.05.2019 – 30.04.2020.

	E_NOx	E_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂	I_NOx	I_NO ₂
Dellach: Reduktion der Gesamtwerte durch ein permanentes T100	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	95 %	95 %
	-19.8%	-21.8%	-18.1%	-11.6%	-19.1%	-13.4%

Die NO₂-Emissionen werden durch ein Tempolimit für den Leichtverkehr prozentual stärker reduziert als die NOx-Emissionen, weil der Leichtverkehr einen größeren Anteil an den NO₂-Emissionen als an den NOx-Emissionen hat. Die Reduktion der NO₂-*Immissionen* ist deutlich geringer als bei den NOx-*Immissionen*, weil das in der Luft aus NO gebildete NO₂ nur gedämpft auf Änderungen beim NOx reagiert (der NO₂-Anteil im gesamten NOx steigt mit abnehmendem NOx an, besonders bei geringeren Werten von NOx). Die Szenarien wurden zum ersten Mal auf Basis des HBEFA4.1 gerechnet, welches große Änderungen gegenüber den HBEFA3.x aufweist.

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), 01.05.2019 – 30.04.2020.

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	18%	42%	30%	76%	54%
T100 WHj.	50%	65%	51%	87%	67%

Im Betriebsjahr ist Tempo 100 nur noch zu 18% der Betriebszeit geschaltet worden, im Betriebsjahr 2016/17 waren es noch 39%. Die erreichte Wirksamkeit der flexiblen Tempo100-Schaltung erreichte beim NO₂ immerhin 30% eines permanenten Tempo100-Limits, beim NO_x 42%. Die **Forderung gemäß BVO**, wonach der lufthygienische Effekt der flexiblen Tempo100-Schaltung mindestens so hoch wie derjenige eines permanenten Tempolimits im Winterhalbjahr sein muss, **wurde damit deutlich verfehlt**. Allerdings wäre bei einem permanenten Tempo130 das Jahresmittel von NO₂ bei 35.4 µg/m³ gelegen, auch bei einer Sicherheitsmarge von 2 µg/m³ für allfällig schlechtere meteorologische Bedingungen weit unterhalb des EU-Grenzwertes.

Wie den Analysen in Kap. 2 und 3 entnommen werden kann, hat die Tempo100-Schaltung an sich korrekt gearbeitet, das zeitliche Auftreten der Schaltungen war lufthygienisch sinnvoll, aber einfach zu selten. Auch beim Verkehr gab es keine Auffälligkeiten. Die Abbildung 2.5 zeigt, dass der Hauptgrund für die deutlich verringerte Schalthäufigkeit das allgemein über das ganze Jahr abgesenkte NO_x-Immissionsniveau war; zusätzlich kam ein erheblicher Lockdown-Effekt von Mitte März bis Ende April 2020 hinzu.

Es wird empfohlen, zu überprüfen, ob das flexible Tempo100 auf dieser Strecke aufgehoben werden soll, da auch bei Tempo130 nicht mehr mit einer Überschreitung des EU-Jahresmittelgrenzwertes für NO₂ zu rechnen wäre. Bei einer Weiterführung der flexiblen Tempo100-Schaltung müsste eine Schwellenwertabsenkung zur Erhöhung der Schalthäufigkeit auf 40-45% durchgeführt werden, wenn die Forderung gemäß BVO erfüllt werden soll. Im Zuge dieser Anpassung könnte überlegt werden, ob die Emissionsparameter der Schaltung gemäß HBEFA4.1 angepasst werden sollen.

5. Zusammenfassung

Die flexible Tempo100-Schaltung auf der A2 zwischen Klagenfurt-Flughafen und Klagenfurt-Ost ist auf einer Strecke von ca. 12 km seit 01.12.2009 in Betrieb. Die für die Tempo100-Steuerung verwendete Messstelle ist Dellach A2, in deren Nähe sich auch die Verkehrszählstelle auf der A2 für die Schaltung befindet.

Ein Betriebsjahr der Tempo100-Steuerung dauert gemäß BVO von Mai bis April des Folgejahres. Mit dieser Untersuchung ist die Tempo100-Schaltung von Mai 2019 . April 2020 überprüft worden. Tempo100 wird temporär zur möglichst effektiven Immissionsverminderung geschaltet, also bei erhöhtem Verkehrsaufkommen *und* schlechten Ausbreitungsbedingungen.

Die Häufigkeit der Tempo100-Schaltung zeigte einen deutlichen Tagesgang. Sie war am Morgen zwischen 7 und 10 Uhr und am Abend von 16 bis 21 Uhr am größten, da betrug sie mehr als 25%. Am Morgen zwischen 2 und 5 Uhr kam Tempo100 praktisch nicht vor. Die monatlichen Schalthäufigkeiten schwankten zwischen 2.6% (Juni 2019 und April 2020) und 58% (Januar 2020). Die Wintermonate Dezember - Februar ragten wie praktisch jedes Jahr über die anderen Monate hinaus.

Die Verfügbarkeit der Tempo100-Schaltung betrug 92%. Über das ganze Betriebsjahr gesehen betrug die Häufigkeit von Tempo100 18% während der eigentlichen Betriebszeit (ohne Ausfälle). **Dies war die niedrigste Schalthäufigkeit aller bisherigen Betriebsjahre. Der Hauptgrund für die deutlich verringerte Schalthäufigkeit war das allgemein über das ganze Jahr abgesenkte NOx-Immissions-niveau; zusätzlich kam ein erheblicher Lockdown-Effekt von Mitte März bis Ende April 2020 hinzu.**

An 23 Tagen betrug die Tempo100-Schaltdauer 15 . 18 Stunden. Diese Spitzentage ereigneten sich in den zwei Monaten zwischen dem 09.12.2019 und dem 08.02.2020; 13 der 23 Tage waren Freitage und Samstage. An 93 Tagen gab es gar keine Schaltung trotz einwandfreien technischen Betriebs.

Das Verkehrsaufkommen auf der A2 bei Dellach hat von 2012/13 auf 2019/20 um insgesamt 8% zugenommen. Die schweren Güterfahrzeuge (+34%) und die Lieferwagen (+15%) haben am meisten zugenommen.

Bei den NO_x-Emissionen und . Immissionen ist eine fortwährende Abnahme seit 2009 zu erkennen. Der Rückgang der NO_x-Emissionen über den gesamten Zeitraum erfolgt wegen der Verringerung der Emissionsfaktoren infolge der fortwährenden Flottenmodernisierung.

Durch das flexible Tempo100-Limit konnten auf dem betroffenen Abschnitt der Nordumfahrung Klagenfurt etwa 5% der Stickoxid- und knapp 2% der CO₂-Emissionen eingespart werden. Die prozentuale fossile Kraftstoffeinsparung dürfte sich etwa im Bereich der CO₂-Einsparung bewegt haben.

Die erreichte Wirksamkeit der flexiblen Tempo100-Schaltung erreichte beim NO₂ trotz der geringen Schalthäufigkeit von 18% immerhin 30% eines permanenten Tempo100-Limits, beim NO_x 42%. Die **Forderung gemäß BVO**, wonach der lufthygienische Effekt der flexiblen Tempo100-Schaltung mindestens so hoch wie derjenige eines permanenten Tempolimits im Winterhalbjahr sein muss, **wurde jedoch deutlich verfehlt**. Allerdings wäre bei einem permanenten Tempo130 das Jahresmittel von NO₂ bei 35.4 µg/m³ gelegen, auch bei einer Sicherheitsmarge von 2 µg/m³ für allfällig schlechtere meteorologische Bedingungen weit unterhalb des EU-Grenzwertes.

Die Tempo100-Schaltung hat an sich korrekt gearbeitet, das zeitliche Auftreten der Schaltungen war lufthygienisch sinnvoll, aber einfach zu selten. Auch beim Verkehr gab es keine Auffälligkeiten.

Es wird empfohlen, zu überprüfen, ob das flexible Tempo100 auf dieser Strecke aufgehoben werden soll, da auch bei Tempo130 nicht mehr mit einer Überschreitung des EU-Jahresmittelgrenzwertes für NO₂ zu rechnen wäre. Bei einer Weiterführung der flexiblen Tempo100-Schaltung müsste eine Schwellenwertabsenkung zur Erhöhung der Schalthäufigkeit auf 40-45% durchgeführt werden, wenn die Forderung gemäß BVO erfüllt werden soll. Im Zuge einer solchen Anpassung könnte überlegt werden, ob die Emissionsparameter der Schaltung gemäß HBEFA4.1 angepasst werden sollen.