

Immissionsgesteuerte Geschwindigkeitsbegrenzung auf Österreichs Autobahnen

Jürg THUDIUM, Carine CHELALA
Oekoscience, CH-7001 Chur, Schweiz

Zusammenfassung

Eine temporäre Geschwindigkeitsbegrenzung auf Autobahnen hat sich als gangbarer Kompromiss zwischen Verkehrs- und Umweltinteressen erwiesen. Die Geschwindigkeitsbegrenzung erfolgt nur zeitweise, und zwar dann, wenn der Immissionsbeitrag der Fahrzeuge, deren Geschwindigkeit begrenzt wird, besonders hoch ist. Dies ist einerseits bei hoher Verkehrsdichte und andererseits bei schlechten Ausbreitungsbedingungen der Fall. Ein empirisches Ausbreitungsmodell für quellennahe Bereiche ist zur Bestimmung des Immissionsbeitrags des Leichtverkehrs angewandt worden. Es basiert auf der kontinuierlichen Erfassung der Anzahl und der Geschwindigkeit der Fahrzeuge sowie der Immissionen. Die Realisierung dieser Form der Geschwindigkeitsbegrenzung durch die ASFINAG (österreichische Autobahn- und Schnellstrassen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) ist eine verkehrstelematische Anwendung, welche Verkehrsmanagement sowie Informations- und Kommunikationstechnologien verknüpft. Der verwendete Algorithmus hat sich als robust in der konkreten langzeitlichen Anwendung erwiesen. Das Verhalten der Geschwindigkeitssteuerung kann durch das Verkehrsaufkommen und die atmosphärischen Verhältnisse gut erklärt werden.

1 - Einleitung

Die gas- und partikelförmigen Emissionen des Leichtverkehrs (Pkw, Lieferwagen und Motorräder) nehmen mit steigender Fahrgeschwindigkeit auf Autobahnen stark zu. Eine permanente Geschwindigkeitsreduktion würde die verkehrsinduzierte Luftverschmutzung deutlich reduzieren, sofern die entsprechenden Limiten wirklich eingehalten würden. (z.B. Dijkema et al. (2008), Citeair (2007), Thudium (2007)). In der Realität auf Österreichs Autobahnen war ein anhaltender Kompromiss zu finden zwischen den Verkehrsinteressen (so viel wie beliebt, so schnell wie möglich) und den Umweltinteressen (Einflüsse so niedrig wie möglich). Der Kompromiss besteht darin, dass die Geschwindigkeitsreduktion nur temporär verordnet wird: Zu Zeiten in denen der Beitrag des Leichtverkehrs zur Luftverschmutzung erhöht ist.

2 – Konzept der immissionsgesteuerten Geschwindigkeitsbegrenzung

Die Einführung einer immissionsgesteuerten Geschwindigkeitsbegrenzung ist eine Massnahme gegen den Leichtverkehr, welcher eine wichtige Quelle der Luftverschmutzung darstellt. Eine Geschwindigkeitsreduktion von 130 km/h (normale Limite in Österreich) auf 100 km/h führt zu geringeren Emissionen pro gefahrenem Kilometer, auch wenn die Zurücklegung eines Kilometers länger dauert. Der verwendete Algorithmus bestimmt kontinuierlich den Immissionsbeitrag des Leichtverkehrs aus Verkehrszählungen, Geschwindigkeitserfassungen und Immissionsmessungen. Liegt der Immissionsbeitrag des Leichtverkehrs oberhalb einer bestimmten Schwelle, so wird "Tempo 100" angeordnet.

Die jährlich anzustrebende Häufigkeit von "Tempo 100" wird durch die zuständige Behörde bestimmt. Der Algorithmus wählt innerhalb der vorgegebenen Schalthäufigkeit lediglich diejenigen Zeiten aus, zu welchen sich "Tempo 100" lufthygienisch am meisten lohnt.

Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren des Leichtverkehrs für Stickoxide und Partikelmasse sind bei 130 km/h mehr als doppelt so gross wie bei 80 km/h. In Abb. 1 wird die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emissionsfaktoren gemäß der Schätzung der TU Graz (2007) gezeigt. In diesem Geschwindigkeitsbereich können die Emissionsfaktoren gut durch quadratische Funktionen der Geschwindigkeit genähert werden.

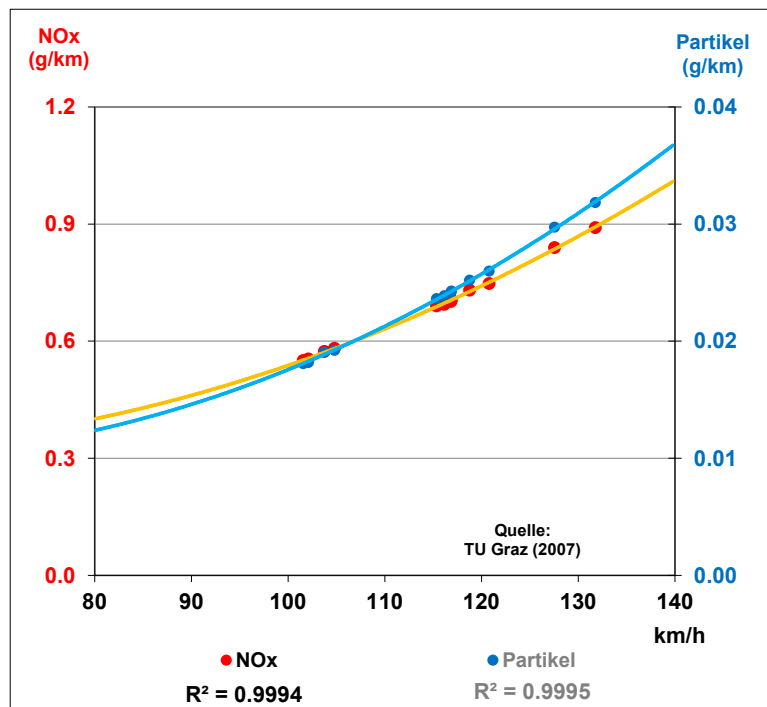


Abbildung 1: Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emissionsfaktoren für Stickoxide (NOx) und Partikelmasse (PM10 primär) gemäss TU Graz (2007).

Empirische Ausbreitungsmodellierung in Quellnähe

Das Verhältnis zwischen erzeugter Immission (I) und ursächlicher Emission (E) wird von der Topographie der Umgebung und den meteorologischen Ausbreitungsbedingungen bestimmt. Der von Oekoscience entwickelte Modellansatz geht empirisch von diesem Verhältnis aus, welches für jede Halbstunde aus Messungen (Luftschadstoffe, Verkehr) bestimmt wird. Für jeden Zeitraum sind somit die realen Ausbreitungsbedingungen über das I/E-Verhältnis (= τ [Tau]) empirisch bekannt und müssen nicht über Annahmen parametrisiert werden. Dabei muss ein zeitlich variabler, also dynamischer Hintergrund berücksichtigt werden (entsprechend den von früheren und anderen Emissionen herrührenden Immissionen).

Im Falle des NO₂ muss berücksichtigt werden, daß dieser Stoff zu einem grossen Teil erst in der Atmosphäre aus NO entsteht. Die Verhältnisse zwischen NO, NO₂, Ozon und anderen oxidierenden Luftschadstoffen sind sehr komplex, was zur Folge hat, daß sich Änderungen beim Gesamtstickoxid NOx in nicht proportionalen Änderungen beim NO₂ nieder schlagen; diese hängen auch von den meteorologischen Bedingungen ab. Auch hier verfolgt das Modell von Oekoscience einen empirischen Ansatz, der den veränderlichen Konversionsverhältnissen sowie den je nach Fahrzeugkategorie unterschiedlichen Anteilen direkt emittierten NO₂ dynamisch folgt und nicht auf einer statischen Näherungsformel beruht. In Abb. 2 wird der Volumenanteil von NO₂ am gesamten NOx je Halbstunde für Vomp im 2004 gezeigt. Dieser Anteil kann für eine bestimmte NOx-Konzentration um bis zu einem Faktor 5 variieren. Der Gebrauch einer statischen Näherung zur Berechnung des NO₂-Anteils nur aus der NOx-Konzentration (wie z.B. die Näherung von Romberg 1996) würde zu erheblichen Fehlern führen. Im Tau-Modell folgen die berechneten Werte dynamisch den aktuellen, natürlich unter Berücksichtigung der Änderungen im NOx.

Der verwendete Steuerparameter ist die vom Leichtverkehr aktuell erzeugte Immission, welche nicht direkt meßbar ist. Sie ist mit Hilfe des τ -Verhältnisses aber berechenbar, für jede Halbstunde nämlich gleich dem Produkt von τ und Pkw-Emission:

$$I_{aPKW} = \tau * E_{aPKW}$$

mit I_{aPKW} : Von den Pkw in der aktuellen Halbstunde erzeugte Immission

τ : Transferfaktor

E_{aPKW} : Von den PKW in der aktuellen Halbstunde freigesetzte Emission.

Die Verfügung einer Geschwindigkeitsreduktion für Pkw erfolgt zu Zeiten der höchsten Werte für I_{aPKW} . Würden die Zeiten einer Geschwindigkeitsreduktion (x% der Gesamtzeit) zufällig übers Jahr ausgewählt, so wäre der erreichte Reduktionseffekt bei den Immissionen ebenfalls im Mittel x% des möglichen

Gesamteffektes (wenn die Geschwindigkeitsreduktion immer gelten würde). Dank der immissionsklimatischen Steuerung ist der erreichte Effekt bei kleineren x-Werten aber 2 – 3-mal höher.

Mit dieser Art von Steuerung ist die zu erwartende Akzeptanz langfristig höher als bei einer permanenten Tempo 100-Verfügung einzuschätzen.

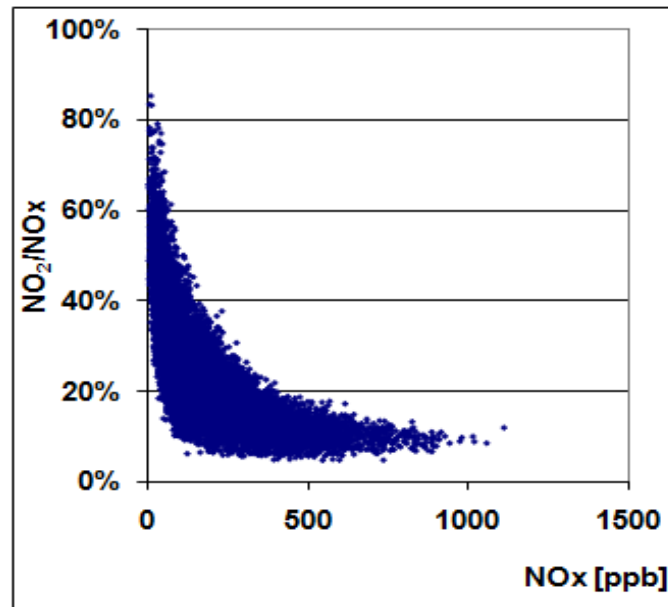


Abbildung 2: Volumenanteil von NO₂ am NO_x gegen NO_x-Konzentration, Vomp (Tirol, Österreich), 2004, Halbstundenwerte.

Steuerungsparameter

Grundsätzlich kann jede Luftschadstoffkomponente zur flexiblen Geschwindigkeitsbegrenzung verwendet werden, wenn sie kontinuierlich gemessen werden kann und wenn ihre Emissionsfaktoren für den Strassenverkehr bekannt sind. Wir empfehlen die Verwendung von Stickoxiden (NO_x oder NO₂). NO_x ist eine Leitsubstanz, deren Verhalten typisch für viele andere Schadstoffkomponenten in Strassennähe ist. Als Beispiel werden mittlere Tagesgänge der Konzentrationen verschiedener Komponenten an einem Autobahnstandort im Schweizerischen Mittelland (Reiden, 2007) gezeigt.

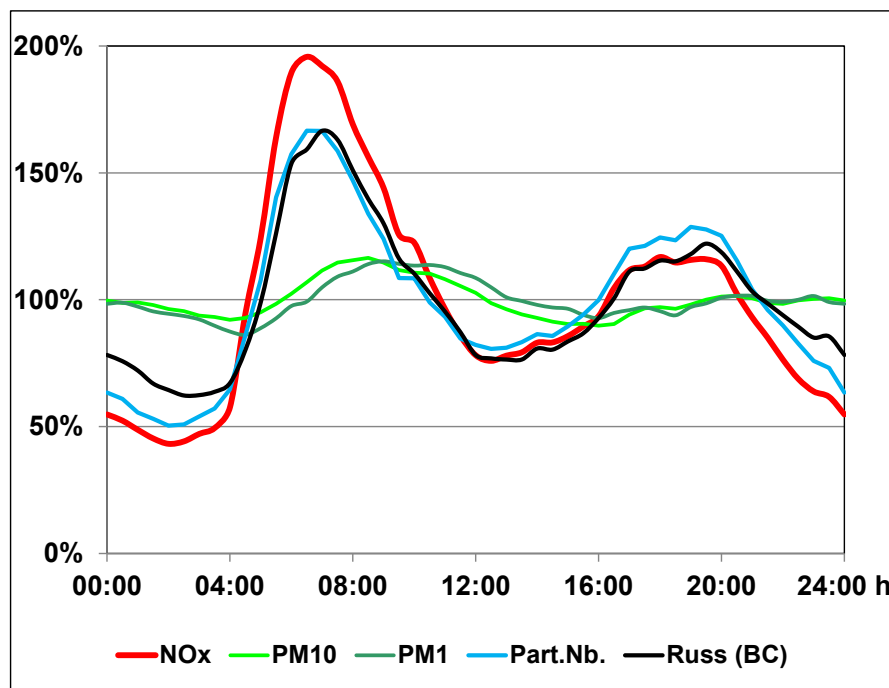


Abbildung 3: Mittlere relative Tagesgänge verschiedener Luftschadstoffkomponenten bei Reiden (nahe Autobahn A2 im Schweizerischen Mittelland), 2007. 100% = Jahresmittel je Komponente.

Russ und Partikelanzahl korrelieren sehr gut mit NO_x, PM₁ und PM₁₀ tun dies nicht: Die Partikelmasse hat noch andere wichtige Quellen außer dem Strassenverkehr; die gesamte Partikelanzahl jedoch wird vor allem durch ultrafeine Partikel mit Durchmessern bis etwa 50 nm bestimmt, welche nicht viel zur Partikelmasse beitragen, welche aber stark mit dem Strassenverkehr und dem NO_x korreliert sind.

Eine auf NO_x basierende Tempo 100-Schaltung macht auch als Massnahme gegen PM₁₀-Belastung Sinn, da die Stickoxide des Strassenverkehrs einen wichtigen Vorläufer der sekundären Nitratbildung darstellen und außerdem die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emission von primären Partikeln und von NO_x ziemlich parallel verläuft. Bisweilen wird NO₂ als Steuerungsparameter verwendet, weil die gesetzlichen Grenzwerte für NO₂ gelten.

Zusätzliche Regelungen

Der Algorithmus kann mit zusätzlichen Regelungen zur Tempo 100-Schaltung ergänzt werden. Beispielsweise kann Tempo 100 verordnet werden, wenn die PM₁₀-Konzentrationen an bestimmten Messstellen der Region über einem bestimmten Wert liegen. Dies macht allerdings nur dann Sinn, wenn andere wichtige Verursacher partikelgebundener Luftverschmutzung ebenfalls in die Massnahmen einbezogen werden, also insbesondere der Schwerverkehr, die Feuerungen, und je nach Situation auch andere Quellen. Als zweites Beispiel kann ein anhaltendes Tempo 100 verhängt werden, um Überschreitungen des NO₂-Kurzzeitgrenzwertes zu verringern, wenn sich dies schon am frühen Morgen ankündigt. In einigen Regionen ist dies der Fall; allerdings hätte in diesen Fällen bislang immer sowieso "normales" Tempo 100 gegolten.

Anforderungen der Bundesverordnung

Gemäss Bundesverordnung muss ein flexibles Tempolimit mindestens so häufig geschaltet werden, dass der lufthygienische Effekt gleich demjenigen eines permanenten Tempolimits im Winterhalbjahr ist oder 75% des Effektes eines ganzjährig permanenten Tempolimits erreicht.



Abbildung 4: Beispiel einer immissionsgesteuerten Tempo 100-Anzeige im Inntal, Tirol. "IG-L": Immissionsschutzgesetz Luft.

3 – Immissionsmessstellen: Anforderungen und Anbindung

Die speziellen messtechnischen Anforderungen an die in den Algorithmus eingebundenen Messstationen können am Beispiel Salzburg wie folgt zusammengefasst werden:

- Tägliche Funktionskontrolle nur während der Nachtstunden;
- Die Wartung des NO_x-Messgerätes soll nur bei guter Luftqualität erfolgen (z.B. zwischen 12:00 und 15:00);
- Anschaffung eines NO_x-Reservegeräts sowie einer Reserve-Datenerfassung für diese Messstelle, um Ausfälle möglichst gering zu halten;
- Halbstündliches Überwachungsskript, das prüft ob der Datenabruf funktioniert hat; wenn nicht, Benachrichtigung des Bereitschaftsdienstes;

- "Alarmierungsplan" mit der ASFiNAG bei technischen Problemen (Kontaktinformationen);
- Passwortgesicherter Web-Zugang um den aktuellen Status der VBA-Anlage anzuschauen.

Bei Ausfall oder Pannen wird je nach Bundesland nach 24 oder 48 Stunden ganzjährig oder im Winterhalbjahr permanent Tempo 100 angeordnet.

Die Daten der Immissionsmessstellen müssen regelmässig und zeitnah an die Asfinagzentrale in Wien übermittelt werden, denn sie werden für den Algorithmus benötigt. Im Wesentlichen gibt es dazu bislang zwei Arten der Anbindung:

- Variante 1: Übertragung per FTP

In dieser Variante werden die Daten halbstündlich von der Station abgerufen und per FTP auf den Server der Asfinag übermittelt. Die Datenübertragung von der Messstation zur Zentrale muss jederzeit vom Land gewährleistet sein.

- Variante 2: Übertragung über das Datennetz der Asfinag

In dieser Variante greift die Asfinag die Messwerte am Stationsrechner ab und übermittelt sie auf ihrem Netz an ihre Zentrale in Wien und dann weiter in die Messnetzzentrale des Bundeslandes.

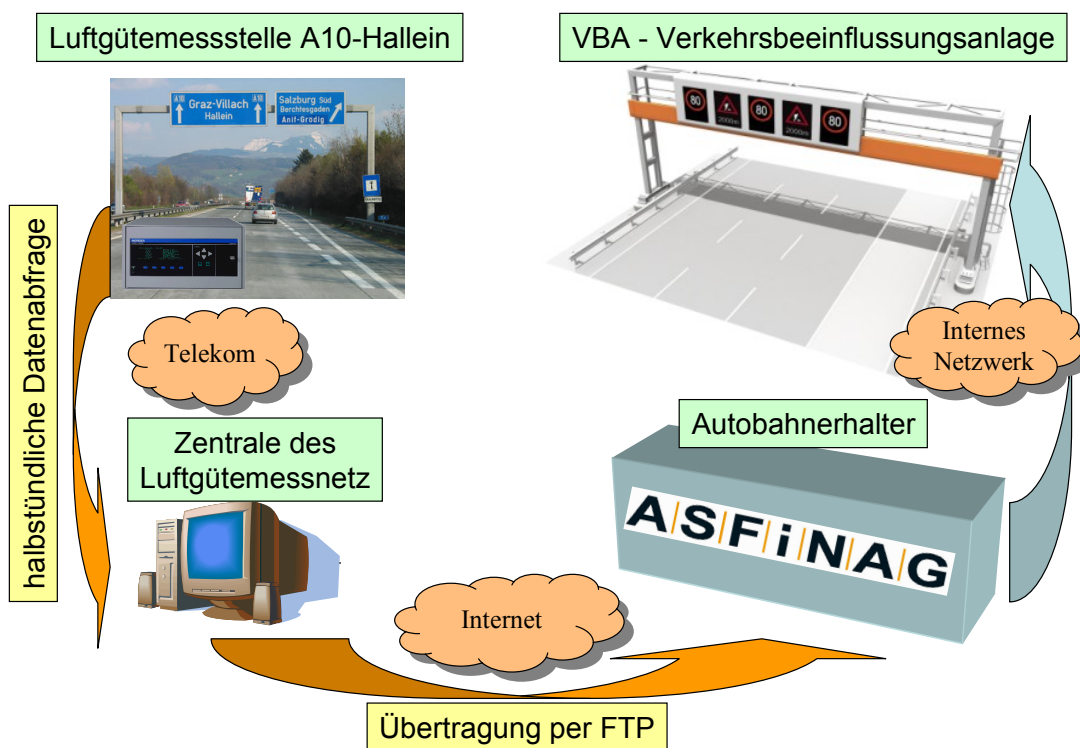


Abbildung 5: Beispiel von Variante 1: Übertragung per FTP. Beispiel Salzburg.

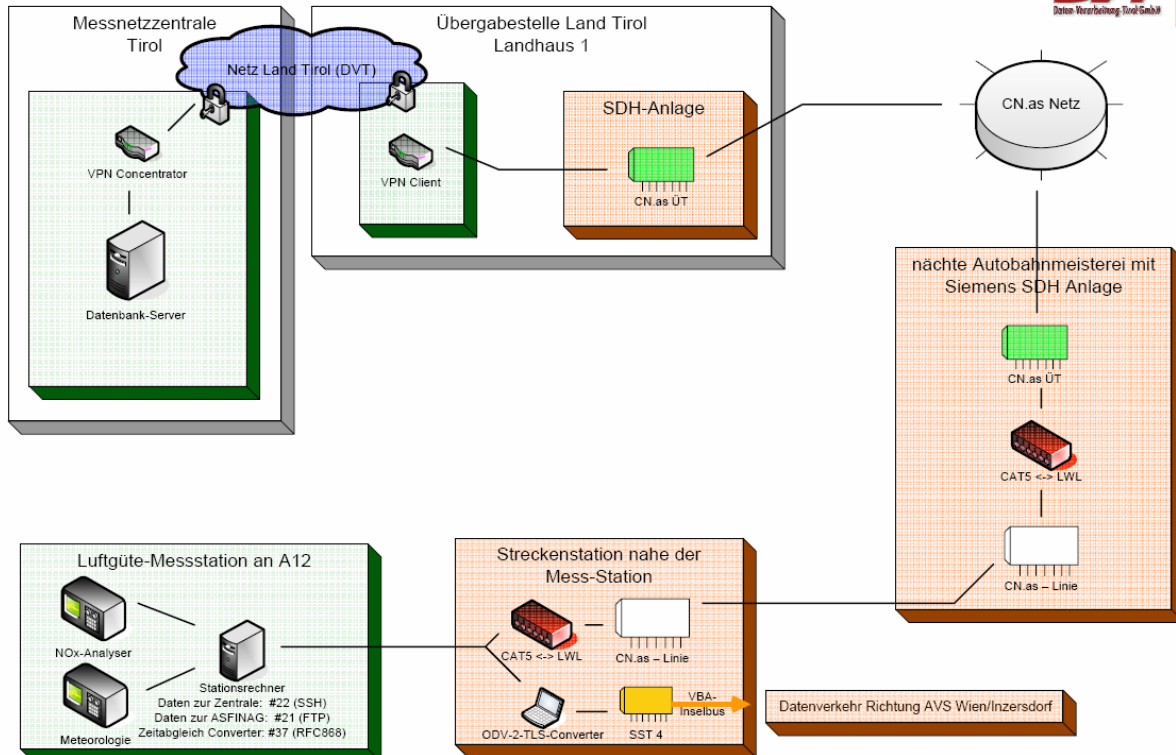


Abbildung 6: Beispiel von Variante 2: Übertragung per Datennetz der Asfinag. Beispiel Tirol.

4 – Strecken mit immissionsgesteuerter Geschwindigkeitsbegrenzung in Österreich

Abb. 7 zeigt die zurzeit in Österreich mit immissionsgesteuerter Geschwindigkeitsbegrenzung eingerichteten Autobahnstrecken. In Niederösterreich wird vermutlich 2010 noch eine weitere Strecke südlich von Wien dazukommen. Die Strecken in der Steiermark arbeiten mit einem anderen Modell für den Transferfaktor Tau.



Abbildung 7: Karte der Autobahnstrecken mit immissionsgesteuerter Geschwindigkeitsbegrenzung in Österreich. Quelle: Asfinag, Wien.

5 – Ergebnisse des ersten Betriebsjahres bei Kundl (A12, Tirol)

Ein erstes Betriebsjahr einer immissionsgesteuerten Geschwindigkeitsbegrenzung konnte für ein etwa 80 km langes Teilstück der A12 in Tirol ausgewertet werden. Es war in zwei Teilstücke unterteilt, wobei jede Strecke über eine eigene Verkehrserfassung (Anzahl und Geschwindigkeit je Fahrzeugkategorie) und Immissionsmessung verfügte. Im Folgenden wird die Evaluation für das östliche Teilstück im Bereich Kundl zusammengefasst.

Häufigkeit von "Tempo 100"

Der mittlere Tagesgang der Häufigkeit der Tempo 100-Schaltung wird in Abbildung 8 gezeigt, zusammen mit dem Aufkommen des Leichtverkehrs. Die Entscheidung des Algorithmus zu Tempo 100 hatte immer eine Zeitdifferenz einer halben Stunde zur Realität, weil er sich ja auf die Daten der letzten gemessenen Halbstunde abstützen musste. Dies ist nun durch ein Prognosemodul korrigiert, welches ortsspezifisch eine Prognose für das Verkehrsaufkommen und die Ausbreitungsbedingungen der nächsten Halbstunde macht. Über Mittag nimmt die Schalthäufigkeit trotz anwachsenden Verkehrs ab, weil die Ausbreitungsbedingungen besser werden. Da auf dieser Strecke nach NO₂ geschaltet wird, ist am Abend die Schalthäufigkeit im Jahresmittel viel höher als am Morgen, weil dann die NO₂-Immissionen und die Beiträge des Leichtverkehrs dazu am höchsten sind und die Atmosphäre schon wieder stabiler wird.

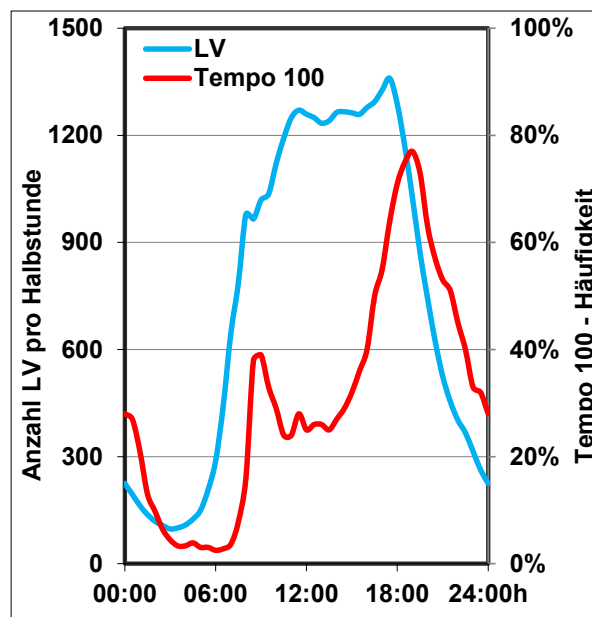


Abbildung 8: Häufigkeit von "Tempo 100" und Aufkommen des Leichtverkehrs, mittlerer Tagesgang, Kundl, A12, Tirol, Nov 2007 – Okt 2008.

"Real world"-Geschwindigkeiten des Leichtverkehrs

Auf Tirols Autobahnen gilt tagsüber (5 – 22 h) Tempo 130 oder eben Tempo 100, nachts Tempo 110 oder Tempo 100. In Realität betrug die Durchschnittsgeschwindigkeit des Leichtverkehrs tagsüber 120 km/h (bei "Tempo 130") bzw. 107 km/h (bei "Tempo 100"), nachts 113 km/h (bei "Tempo 110") bzw. 109 km/h (bei "Tempo 100"). Die Abbildung 9 zeigt den mittleren Tagesgang der Geschwindigkeit des Leichtverkehrs. Die Differenz zwischen realem "Tempo 130" und "Tempo 100" betrug also 13 km/h, und nicht die theoretischen 30 km/h. Manche Massnahmenmodelle überschätzen dadurch den Effekt einer Geschwindigkeitsreduktion. Auf der anderen Seite kann die durch eine Temporeduktion sich ergebende Homogenisierung des Verkehrsflusses Reduktionen in den Emissionen an Schadstoffen und Lärm bewirken, die schwer zu fassen sind. Jedenfalls braucht es ein gutes Kontrollkonzept für die Geschwindigkeiten, gemäss bisherigen Erfahrungen liegt da noch ein Verbesserungspotential.

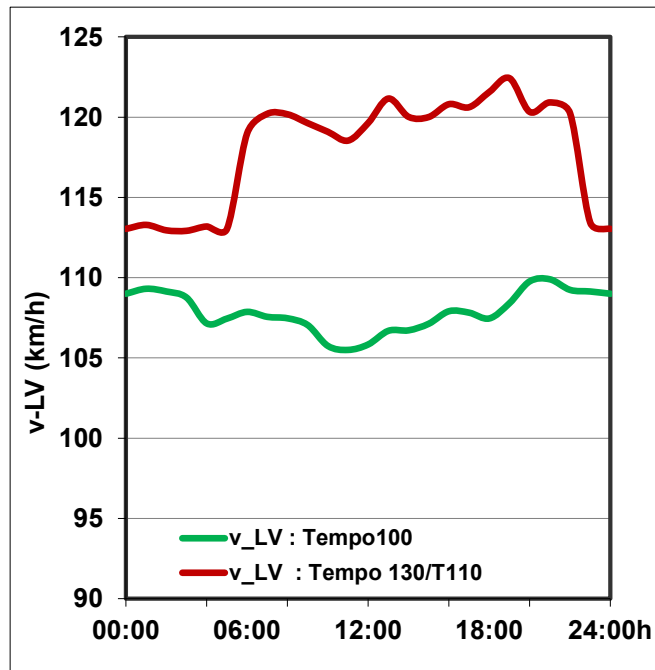


Abbildung 9: Durchschnittsgeschwindigkeit des Leichtverkehrs (Pkw, Lieferwagen, Motorräder) bei "Tempo130/110" bzw. "Tempo 100", mittlerer Tagesgang, Kundl, A12, Tirol, Nov 2007 – Okt 2008.

Beziehung zwischen "Tempo 100" und Meteorologie

Die atmosphärische Stabilität ist ein sehr wichtiger Parameter für die Ausbreitungsbedingungen. Tempo 100 war während Inversionsphasen viel häufiger als sonst (s. Abbildung 10). Der Einfluss der Windgeschwindigkeit war demgegenüber weniger gross, wenngleich auch hier eine höhere Schalzhäufigkeit bei schwächeren Winden zu erkennen war.

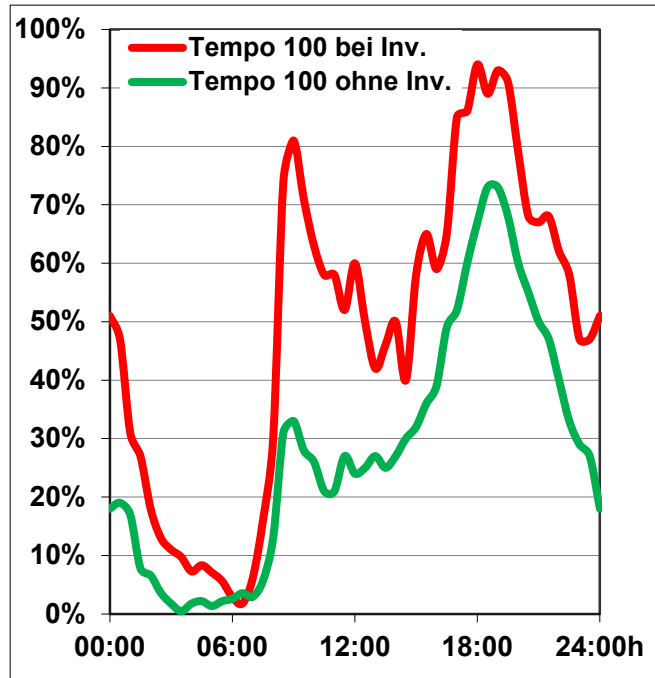


Abbildung 10: Häufigkeit von "Tempo 100" in Abhängigkeit von Inversionen, mittlerer Tagesgang, Kundl, A12, Tirol, Nov 2007 – Okt 2008.

Lufthygienische Wirksamkeit der flexiblen Geschwindigkeitsbegrenzung

Die Bestimmung der lufthygienischen Wirksamkeit der flexiblen Geschwindigkeitsbegrenzung basierte auf den realen Fahrgeschwindigkeiten (auch des Schwerverkehrs). Um zunächst den Effekt eines permanenten Tempolimits zu bestimmen, wurden die Emissionen der Autobahn bei permanentem "Tempo 130" (120 km/h) bzw. permanentem "Tempo 100" (107 km/h) bzw. den entsprechenden Werten in der Nacht

errechnet. Die geänderten Emissionen wurden in geänderte NO_x- und NO₂-Immissionen transferiert (mit dem Tau-Modell, unter spezieller Beachtung der NO₂-Problematik, s. oben). Die Immissionsdifferenzen zeigen den Effekt der Geschwindigkeitsreduktion:

Tabelle 1: Lufthygienischer Effekt eines permanenten "Tempo 100" gegenüber permanentem "Tempo 130" für Kundl, Tirol, Nov 2007 – Okt 2008. "Mittel": Jahresmittel; "95%": Wert, der von 5% aller Halbstundenwerte überschritten wird.

Em. NO_x Mittel	Imm. NO_x Mittel	Imm. NO₂ Mittel	Imm. NO_x 95%	Imm. NO₂ 95%
-8%	-7%	-4%	-6%	-4%

Auf diesem Autobahnabschnitt kommt mehr als die Hälfte der NO_x-Emissionen vom Schwerverkehr, was mit ein Grund für den eher bescheidenen Effekt ist. Allerdings sind hier nur Effekte aufgrund der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emissionsfaktoren berechnet worden, andere Einflüsse wie z.B. die Homogenisierung des Verkehrsflusses blieben unberücksichtigt. Die Reduktion bei den NO_x-Immissionen ist beim permanenten Tempolimit etwas geringer als bei den NO_x-Emissionen, weil die Pkw-Flotte im Mittel bei etwas günstigeren Ausbreitungsbedingungen unterwegs ist als die Schwerverkehrsflotte, und wegen des Immissionshintergrundes, der nicht von der A12 stammt. Änderungen im NO₂ erfolgen meistens gedämpfter als beim NO_x.

Zur Abschätzung des Effektes des flexiblen "Tempo 100" wurde grundsätzlich gleich vorgegangen, wobei zu jeder Halbstunde die Emissionen je Temposchaltung bestimmt wurden. Tabelle 2 zeigt, dass bei einer ganzjährigen Schalthäufigkeit von rund 30% ein lufthygienischer Effekt von rund 60% im Vergleich zu einem permanenten Tempolimit erreicht werden konnte. Bei den Spitzenwerten (95%-Werte) konnten sogar etwa 75% des Effektes eines permanenten Tempolimits erreicht werden; dies deshalb, weil der Algorithmus speziell diejenigen Zeiten herausucht, zu welchen der Beitrag des Leichtverkehrs zur Luftverschmutzung am höchsten ist.

Tabelle 2: Effekt des flexiblen "Tempo 100" im Vergleich zum permanenten "Tempo 100".

Tempo 100 Häuf.	Imm. NO_x Mittel	Imm. NO₂ Mittel	Imm. NO_x 95%	Imm. NO₂ 95%
31%	55%	59%	51%	74%

6 - Fazit

Die flexible Geschwindigkeitsbegrenzung ist ein gangbarer Kompromiss zwischen den Verkehrs- und Umweltinteressen. Der verwendete Algorithmus ist robust und für eine langzeitliche "real world"-Anwendung geeignet. Das Verhalten der Tempo 100-Schaltung kann mit dem Verkehrsaufkommen und den atmosphärischen Bedingungen gut erklärt werden. Im Falle der A12 im Unterinntal in Tirol konnten mit einer Schalthäufigkeit von 30% von Tempo 100 etwa 60% des Immissionseffektes eines permanenten Tempolimits erreicht werden.

Literatur

- Dijkema M., S. van der Zee, B. Brunekreef & R. van Strien (2008): Air quality effects of an urban highway speed limit reduction. *Atmospheric Environment*, vol. 42, p. 9098–9105.
- INTERREG IIIc, Citeair (2007): Air Quality Management Guidebook, Case Study 4: 80 KM/H SPEED LIMIT ON A13 MOTORWAY IN OVERSCHIE, ROTTERDAM, p. 120 – 125.
- Romberg, E.; R. Bösing; A. Lohmeyer; R. Ruhnke & E. Röth, (1996): NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 56 Nr. 6, S.215-218.
- Thudium, J. (2007): Evaluation von Tempo 100 auf der Unterinntalautobahn im Winter 2006/07. www.tirol.gv.at/themen/umwelt/umweltrecht/100-kmh-luft/