

INSTITUT FÜR  
VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINEN  
UND THERMODYNAMIK

A-8010 GRAZ (Telefonvorwahl [++43/316])

Innfeldgasse 21/A Tel.: 873-7580 Fax 873-8080  
e-mail: institut@vkmb.tu-graz.ac.at <http://fvkma.tu-graz.ac.at>

VORSTAND: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut EICHLSEDER



Technische Universität Graz  
Erzherzog-Johann-Universität

# Berechnung der emissionsseitigen Auswirkungen der Einführung einer durchgehenden 100 km/h Beschränkung auf der A 12 zwischen Imst und Landeck/Zams

Erstellt im Auftrag der

Tiroler Landesregierung

Report Nr. I-13/2005 Rex-Em12/05/679 vom 26.08.2005

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und  
Hinzufügen, veröffentlicht werden.

Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden,  
so ist vorher die schriftliche Genehmigung der Ersteller einzuholen.

**Berechnung der emissionsseitigen  
Auswirkungen der Einführung einer  
durchgehenden 100 km/h Beschränkung auf der A 12 zwischen  
Imst und Landeck/Zams**

Freigegeben	Univ. Prof. Dr. Helmut Eichlseder	26.8.2005	
Erstellt	D.I. Martin Rexeis	26.8.2005	

## INHALT

1	Aufgabenstellung .....	4
2	Grundlagen Emissionsberechnung .....	4
2.1	Emissionsmodell NEMO.....	4
2.2	Das Emissionsmodell PHEM .....	6
3	Datengrundlage .....	8
3.1	Betrachtete Strecke.....	8
3.2	Verkehrsmengen und Flottenzusammensetzung .....	11
4	Ergebnisse .....	11
5	Literatur.....	14

# 1 Aufgabenstellung

Auf der A 12 zwischen Imst und Landeck/Zams bestehen mehrere Tunnelabschnitte mit einem Tempolimit von 100 km/h. Es soll berechnet werden, wie sich ein durchgängiges Tempolimit von 100 km/h auf die Abgasemissionen des Verkehrs auswirken wird. Dabei soll auch der Effekt des Wegfallens der in der „Ist-Situation“ auftretenden Beschleunigungen bei den Übergängen zwischen Tempo 100 und Tempo 130 berücksichtigt werden, ein Effekt, der bei kurzen Abschnitten die Gesamtemissionen deutlich beeinflussen könnte.

## 2 Grundlagen Emissionsberechnung

Die Schadstoffemissionen des Verkehrs auf einem Straßenabschnitt ergeben sich aus der Multiplikation von Emissionsfaktoren (Einheit: g pro km) mit dem Verkehrsaufkommen (Einheit: Fahrzeuge pro Tag bzw. pro Stunde) und der Streckenlänge. Die Berechnung wird getrennt für einzelne Flottensegmente durchgeführt, danach wird die Summe für den gesamten Verkehr gebildet.

Der Emissionsfaktor eines bestimmten Fahrzeuges ist im Wesentlichen vom Fahrzyklus bzw. der Verkehrssituation (Straßentyp, Tempolimit und Verkehrsdichte), der Steigung des betrachteten Straßenstücks sowie durch Kaltstartanteile bestimmt. Bei der Berechnung der Emissionen eines Straßenstücks ist weiters die Zusammensetzung des Verkehrs von entscheidender Bedeutung, wobei die Flotte in Fahrzeugkategorien (z.B. PKW, Solo LKW) sowie in Emissionsstandards (Abgasgesetzgebung, nach denen die Fahrzeuge erstzugelassen wurden, z.B. „EURO 3“) unterteilt wird.

Die Emissionsberechnung erfolgte in dieser Arbeit mit den Modellen NEMO (Network Emission Model) sowie PHEM (Passenger car and Heavy duty Emission Model) des Institutes. Dieses Kapitel gibt eine kurze Einführung in die beiden Emissionsmodelle.

### 2.1 Emissionsmodell NEMO

Um eine Berechnung der Emissionen auf Straßennetzwerken entsprechend dem aktuellen Stand der Wissenschaft durchführen zu können und eine flexible und effiziente Abbildung verschiedener Verkehrsszenarien (wie z.B. geänderte Tempolimits oder Fahrverbote für bestimmte Flottensegmente) zu ermöglichen, wurde am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik das Emissionsmodell NEMO („Network Emission Model, [1]) entwickelt. Es verknüpft eine detaillierte Berechnung der Flottenzusammensetzung mit fahrzeugfeiner Emissionssimulation. Das Programm ist konsistent mit den ebenfalls am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik entwickelten Modellen PHEM (siehe Abschnitt 2.2) und GLOBEMI (automatisierte Bilanzierung von Verbrauchs-, Emissions- und Verkehrsdaten in größeren Gebieten, [9]) sowie der aktuellen Ausgabe des Handbuchs für Emissionsfaktoren, Version 2.1A [10].

NEMO gliedert die Flotte in sog. Fahrzeugschichten, die durch folgende Merkmale charakterisiert sind:

- Fahrzeugkategorie (z.B. PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Solo LKW, ...)
- Antriebsart (Benzin, Diesel sowie optional zusätzlich alternative Antriebe wie z.B. Erdgas)
- Größenklasse (Unterscheidungsmerkmal: Hubraum oder höchstzulässiges Gesamtgewicht)
- Emissionsklasse (Gesetzgebung, nach der das Fahrzeug erstzugelassen wurde, z.B. EURO 1, EURO 2, ...)
- Zusätzlich (nachgerüstete) Abgasnachbehandlungssysteme (z.B. Partikel-Katalysator)

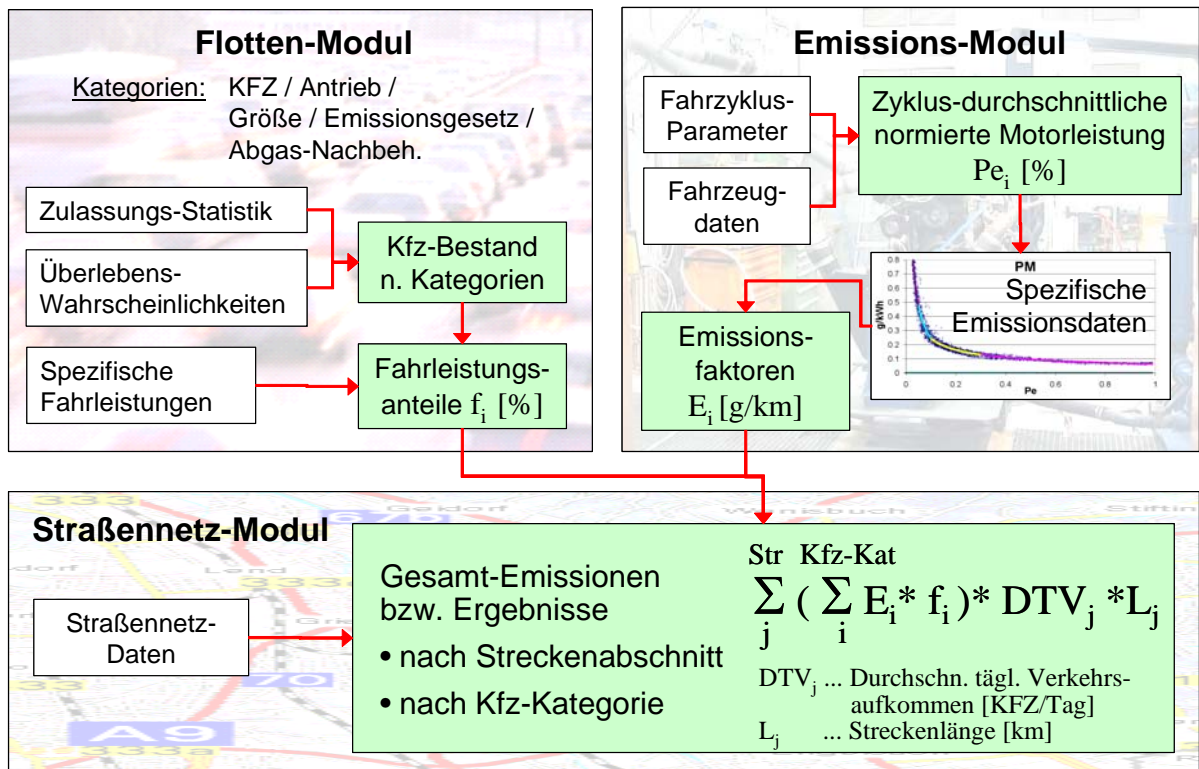
Eine Fahrzeugschicht ist z.B. „Solo LKW mit Dieselmotor, höchstzulässiges Gesamtgewicht zwischen 7.5 und 15 Tonnen, erstzugelassen nach EURO 3 ohne zusätzliche Abgasnachbehandlung“.

Für den Emissionsausstoß auf Straßennetzwerken sind die Fahrleistungsanteile der einzelnen Fahrzeugschichten relevant. Die Berechnung dieser Anteile erfolgt in Abhängigkeit von Bezugsjahr und Straßenkategorie nach folgendem Schema:

- (1) Hochrechnung des Kfz-Bestandes nach dem Jahrgang der Erstzulassung, Motortyp und sonstigen Unterscheidungsmerkmalen (Hubraum oder zulässiges Gesamtgewicht) aus der Bestandsstruktur des Vorjahres mittels alters- und fahrzeuggrößeabhängigen Ausfallwahrscheinlichkeiten.
- (2) Abschätzung der spezifischen Jahresfahrleistungen der Kfz nach Zulassungsjahrgängen und sonstigen Unterscheidungsmerkmalen mittels alters- und hubraum- bzw. masseabhängigen Fahrleistungsfunktionen.

Für sämtliche Fahrzeugschichten werden von NEMO für die auf den einzelnen Streckenabschnitten gegebenen Fahrzyklen und Fahrbahnlängsneigungen die entsprechenden Emissionsfaktoren simuliert. Grundlage ist dabei die Ermittlung der zyklusdurchschnittlichen normierten Motorleistung aus Fahrzeugdaten sowie Kinematik-Parametern, welche die Dynamik des Fahrzyklus beschreiben. Die Abbildung des spezifischen Emissionsverhaltens der verschiedenen Motorkonzepte erfolgt mit Hilfe des Modells PHEM (für Schwere Nutzfahrzeuge) bzw. mittels mit dem Modell PHEM aufbereiteter Daten aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren (für PKW und leichte Nutzfahrzeuge sowie Motorräder). Bei der Berechnung der Partikelemissionen werden zusätzlich zu den Auspuffemissionen noch die Emissionen aus Reifen- und Bremsenabrieb sowie aus Aufwirbelung von Straßenstaub berücksichtigt. Während sich die Schadstoffkomponenten, die direkt aus dem motorischen Abgas stammen, für den Flottendurchschnitt modellmäßig sehr gut quantifizieren lassen, ist die Wiederaufwirbelung von Staub jener Emissionsanteil des Straßenverkehrs, der mit der größten Unsicherheit behaftet ist. Im Modell NEMO werden Emissionsfaktoren verwendet, die aus Angaben in [11] abgeleitet wurden (siehe Tabelle 1). Die gesamten Emissionen auf einem Streckenstück ergeben sich dann aus den Fahrleistungen der einzelnen Schichten multipliziert mit deren Emissionsfaktoren. Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung des Emissionsmodells NEMO.

# NEMO Network Emission Model



Option: Verknüpfung mit Ausbreitungsmodell GRAL

**Abbildung 1:** Schema Emissionsmodell NEMO

Mit dem Modell NEMO wurden in der gegenständlichen Arbeit die Emissionsniveaus der Fahrzeugflotte auf der A12 bei den verschiedenen Tempolimits und Fahrbahnlängsneigungen berechnet. Aufgrund der relativ geringen Gesamtlänge der betrachteten Autobahnabschnitte wurde auch der Effekt des Wegfallens der der Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge zwischen Streckenabschnitten verschiedenen Tempolimits näher betrachtet. Diese Abschätzung erfolgte mit dem Modell PHEM.

## 2.2 Das Emissionsmodell PHEM

Das Programm PHEM („Passenger car and Heavy duty vehicle Emission Model“, z.B. [2] bis [8]) wurde und wird im Rahmen internationaler Kooperationen entwickelt und stellt den Stand der Technik zur detaillierten Simulation von Energieverbrauch und Emissionen von PKW und Nutzfahrzeugen dar. Die entsprechenden Projekte sind das Update des Handbuchs Emissionsfaktoren (Deutschland/Schweiz/Österreich Kooperation), ARTEMIS, ein Projekt im 5. EU Forschungsprogramm (<http://www.trl.co.uk/artemis/introduction.htm>) und COST 346 (<http://www.cordis.lu/cost-transport/src/cost-346.htm>). Durch Zusammenarbeit aller drei Projekte wurde eine umfangreiche Datenbasis aus neuen und schon bestehenden Messungen zusammengeführt.

Das Modell berechnet für einen gegebenen Fahrzyklus (Geschwindigkeitsverlauf und Fahrbahnlängsneigung über der Zeit) die erforderliche Motorleistung in 1 Hz Frequenz aus den Fahrwiderständen und den Verlusten im Antriebsstrang. Die Motordrehzahl wird aus Reifendurchmesser, Achs- und Getriebeübersetzung sowie einem Fahrer-Gangwechselmodell simuliert. Die Emissionen werden dann entsprechend der aktuellen Motorleistung und Motordrehzahl aus Kennfeldern normierten Formates interpoliert. Das normierte Format stellt Motoren unterschiedlicher Leistungsklassen vergleichbar dar. Die Motordrehzahl ist zwischen Leerlauf (=0) und Nenn Drehzahl (=1) normiert, die Leistung zwischen Leerlauf und Nennleistung. Die Verbrauchs- und Emissionswerte werden mittels Division durch die Motornennleistung normiert (ähnlich dem in der Typprüfung relevanten Wert g/kWh, bei diesem wird

aber durch die jeweilige Leistung des Messpunktes dividiert, was aber bei Einschluss des Leerlaufes nicht möglich ist).

Ein wesentliches Instrument um eine hohe Modellgenauigkeit zu erreichen ist die für PHEM entwickelte Methode der Dynamikkorrektur. Diese Methode transformiert das Emissionsniveau der Emissionskennfelder, die ja stationär am Motorprüfstand gemessen sind, auf das Niveau, das in den jeweiligen transienten Fahrabschnitten zu erwarten ist. Für die Dynamikkorrektur wurde eine empirisch-statistische Methode verwendet, die eine rasche Bearbeitung der vielen Messwerte erlaubt. Es werden dabei die wesentlichsten Unterschiede des Emissionsverhaltens in stationärem und dynamischem Motorbetrieb von Nutzfahrzeugen und Diesel-PKW infolge

- der Trägheit des Turboladers
- der Trägheit der Ladeluftkühlung
- der meist unterschiedlich programmierten Motorsteuerung

auf einfache Dynamikparameter zurückgeführt. Diese können direkt aus dem Verlauf der Motorleistung und der Motordrehzahl im jeweiligen Zyklus berechnet werden. Neben den Emissionen im betriebswarmen Zustand können mit dem Modell auch Kaltstartemissionen simuliert werden, so dass jede in der Realität auftretende Betriebsituation erfasst werden kann.

Die momentan verfügbaren Modelleingabedaten basieren auf 102 vermessenen Nutzfahrzeugmotoren sowie 20 PKW<sup>1</sup>. Abbildung 2-2 zeigt ein Schema des Modells.

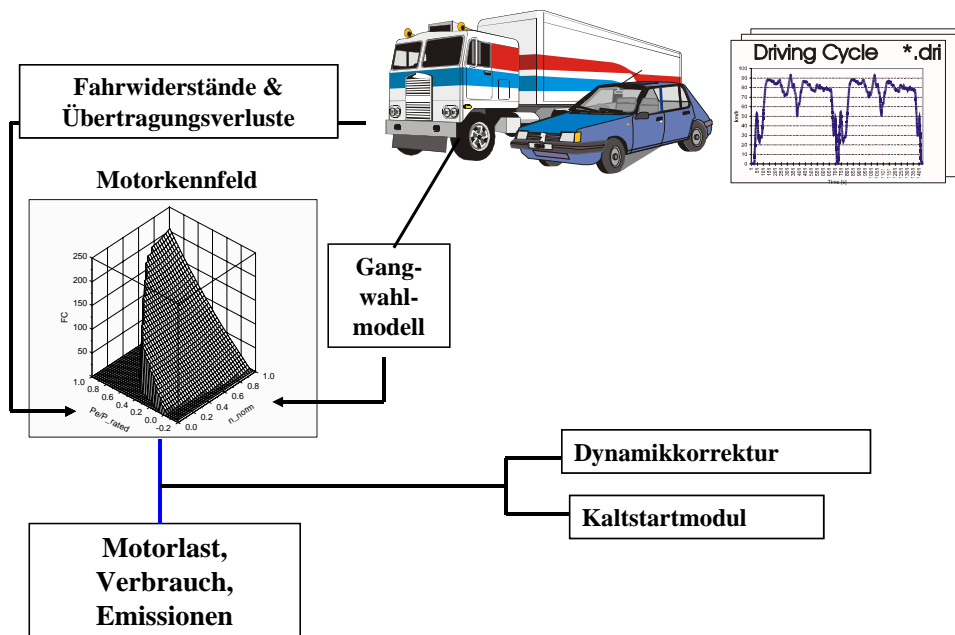


Abbildung 2-2: Schematische Darstellung des Modells PHEM

<sup>1</sup> Die Modelldatenbank enthält PKW-Messungen ab dem Emissionsstandard EURO 2 (Baujahr 1995 und neuer). Die Ergebnisse für ältere Fahrzeuggenerationen wurden aus der Umlegung der Simulationsergebnisse mit Hilfe von Verhältnisfaktoren, die dem HBEFA2.1 entnommen wurden, ermittelt.

### 3 Datengrundlage

Im folgenden Abschnitt werden die Berechnungsgrundlagen erläutert.

#### 3.1 Betrachtete Strecke

Betrachtet werden beide Fahrrichtungen der Inntalautobahn A 12 vom Roppener Tunnel / Portal West (Anschlussstelle Imst) bis zum Perjen Tunnel / Portal Ost (Anschlussstelle Zams / Landeck). Auf diesem Streckenabschnitt der Inntalautobahn von rund 13.5 Kilometern Länge gilt tagsüber (d.h. von 5 Uhr früh bis 22 Uhr) für PKW und Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) ein Tempolimit von 130 km/h, das durch zwei Passagen mit einem Tempolimit von 100 km/h unterbrochen wird. Diese zwei Passagen sind der Milser Tunnel (knapp 2 Kilometer Länge) sowie die Galerien Starckenbach (knapp 1 Kilometer Länge). In der Zeit von 22:00 bis 5:00 Uhr besteht auf der A 12 ein Tempolimit von 110 km/h für PKW und LNF, 90 km/h für Busse sowie 60 km/h für LKW.

Tabelle 1 fasst für die Emissionsberechnung für den Ist-Zustand relevanten Streckendaten zusammen. Die realen Durchschnittsgeschwindigkeiten der verschiedenen Fahrzeugkategorien wurden dabei soweit vorhanden dem HBEFA2.1 entnommen bzw. für Busse bei einem Tempolimit von 90 km/h sowie LKW bei einem Tempolimit von 60 km/h jeweils 5 km/h über dem Tempolimit geschätzt. Die reale Durchschnittsgeschwindigkeit von LNF bei einem Tempolimit von 130 km/h wurde abweichend vom HBEFA2.1 (dort 115 km/h) gleich wie für PKW mit 130 km/h angesetzt.

Tabelle 2 zeigt die entsprechenden Daten für die Berechnungsvariante „Tempo 100“. Auf knapp 11 Kilometern (das sind rund 80% der betrachteten Gesamtstrecke) kommt es damit zu einer Temporeduktion für PKW und LNF. Der Schwerverkehr ist von dieser Maßnahme nicht betroffen.

**Tabelle 1:** Streckendaten und Fahrzeuggeschwindigkeiten für den Ist-Zustand

Straßenabschnitt	Fahrt- richtung	von km	bis km	Länge [km]	durchschn. Steigung	Tageszeit	Tempolimit [km/h]			Durchschnittsgeschwindigkeiten [km/h]		
							PKW und LNF	Busse	LKW, Last- und Sattel- züge	PKW und LNF	Busse	LKW, Last- und Sattel- züge
Roppener Tunnel - Milser Tunnel	Landeck	131.65	136.50	4.850	0.3%	Tag (05-22)	130	100	80	130.0	102.9	86.1
		131.65	136.50	4.850		Nacht (22-05)	110	90	60	120.0	95.0	65.0
	Innsbruck	136.85	132.00	4.850	-0.3%	Tag (05-22)	130	100	80	130.0	103.0	86.2
		136.85	132.00	4.850		Nacht (22-05)	110	90	60	120.0	95.0	65.0
Milser Tunnel (2-röhrig)	Landeck	136.50	138.55	2.050	0.6%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	102.9	85.9
		136.50	138.55	2.050		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
	Innsbruck	138.50	136.85	1.650	-0.6%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	103.0	86.2
		138.50	136.85	1.650		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
Abschnitt Milser Tunnel - Galerien Starkenbach	Landeck	138.55	139.35	0.800	0.9%	Tag (05-22)	130	100	80	130.0	102.8	85.7
		138.55	139.35	0.800		Nacht (22-05)	110	90	60	120.0	95.0	65.0
	Innsbruck	139.35	138.50	0.850	-0.9%	Tag (05-22)	130	100	80	130.0	103.0	86.2
		139.35	138.50	0.850		Nacht (22-05)	110	90	60	120.0	95.0	65.0
Galerien Starkenbach (2- röhrig)	Landeck	139.35	140.15	0.800	0.6%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	102.9	85.9
		139.35	140.15	0.800		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
	Innsbruck	140.40	139.35	1.050	-0.4%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	103.0	86.2
		140.40	139.35	1.050		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
Galerien Starkenbach - Ende A12 - Perjentunnel	Landeck	140.15	145.40	5.250	0.3%	Tag (05-22)	130	100	80	130.0	102.9	86.1
		140.15	145.40	5.250		Nacht (22-05)	110	90	60	120.0	95.0	65.0
	Innsbruck	145.40	140.40	5.000	-0.3%	Tag (05-22)	130	100	80	130.0	103.0	86.2
		145.40	140.40	5.000		Nacht (22-05)	110	90	60	120.0	95.0	65.0

**Tabelle 2:** Streckendaten und Fahrzeuggeschwindigkeiten für das „Tempo 100“-Szenario

Straßenabschnitt	Fahrt- richtung	von km	bis km	Länge [km]	durchschn. Steigung	Tageszeit	Tempolimit [km/h]			Durchschnittsgeschwindigkeiten [km/h]		
							PKW und LNF	Busse	LKW, Last- und Sattel- züge	PKW und LNF	Busse	LKW, Last- und Sattel- züge
Roppener Tunnel - Milser Tunnel	Landeck	131.65	136.50	4.850	0.3%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	102.9	86.1
		131.65	136.50	4.850		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
	Innsbruck	136.85	132.00	4.850	-0.3%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	103.0	86.2
		136.85	132.00	4.850		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
Milser Tunnel (2-röhrig)	Landeck	136.50	138.55	2.050	0.6%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	102.9	85.9
		136.50	138.55	2.050		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
	Innsbruck	138.50	136.85	1.650	-0.6%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	103.0	86.2
		138.50	136.85	1.650		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
Abschnitt Milser Tunnel - Galerien Starkenbach	Landeck	138.55	139.35	0.800	0.9%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	102.8	85.7
		138.55	139.35	0.800		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
	Innsbruck	139.35	138.50	0.850	-0.9%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	103.0	86.2
		139.35	138.50	0.850		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
Galerien Starkenbach (2- röhrig)	Landeck	139.35	140.15	0.800	0.6%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	102.9	85.9
		139.35	140.15	0.800		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
	Innsbruck	140.40	139.35	1.050	-0.4%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	103.0	86.2
		140.40	139.35	1.050		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
Galerien Starkenbach - Ende A12 - Perjentunnel	Landeck	140.15	145.40	5.250	0.3%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	102.9	86.1
		140.15	145.40	5.250		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0
	Innsbruck	145.40	140.40	5.000	-0.3%	Tag (05-22)	100	100	80	110.0	103.0	86.2
		145.40	140.40	5.000		Nacht (22-05)	100	90	60	110.0	95.0	65.0

### 3.2 Verkehrsmengen und Flottenzusammensetzung

In Tabelle 3 sind die den Berechnungen zugrunde liegenden Verkehrsmengen dargestellt. Die Daten entstammen im Wesentlichen der automatischen Straßenverkehrszählung des Jahres 2004 sowie einer Umlegung der händischen ECE-Zählung des Jahres 2000 auf das Jahr 2004 und wurden vom Land Tirol zur Verfügung gestellt. Die Aufteilung zwischen PKW und Leichten Nutzfahrzeugen erfolgte durch das Modell NEMO anhand der Durchschnittswerte für Autobahnen in Österreich.

**Tabelle 3:** Verkehrsmengen (jahresdurchschnittliche Kfz pro Tag)

	JDTV	PKW	Leichte Nutzfahrzeuge	Solo LKW	Last- und Sattelzüge	Reisebusse
Tag (05:00 bis 22:00)	17765	14531	1426	762	837	209
Nacht (22:00 bis 05:00)	1153	889	87	52	109	16

Als Bezugsjahr für die Berechnung der Flottenzusammensetzung innerhalb der einzelnen Fahrzeugkategorien nach Antriebsarten (d.h. Benzin und Diesel Fahrzeugen) sowie Emissionsstandards (z.B. EURO 3) wurde analog zum Bezugsjahr der Verkehrsmengen das Jahr 2004 gewählt.

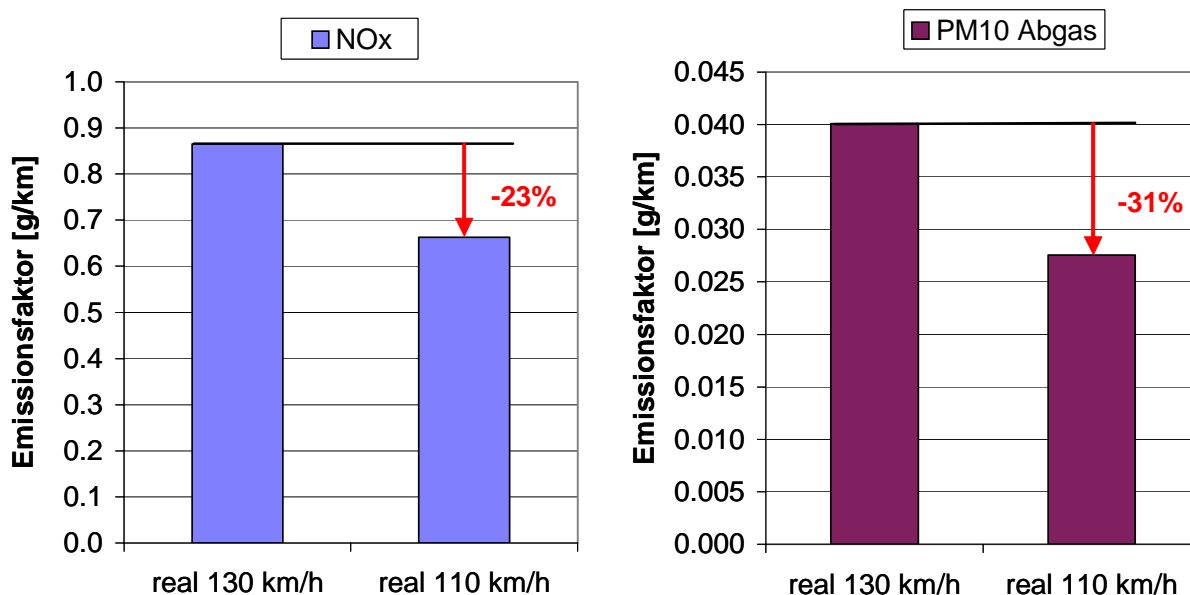
## 4 Ergebnisse

Ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau senkt auf Autobahnen wegen des mit dem Quadrat der Geschwindigkeit steigenden Luftwiderstandes sowie einer geringeren Fahrdynamik den streckenbezogenen Energieverbrauch und damit tendenziell auch die Emissionen. Diesem Effekt sind aber auch unterschiedliche Emissionsniveaus bei geänderten Motordrehzahlen und Motorleistungen sowie verschiedener Fahrdynamik überlagert.

Abbildung 3 zeigt die Emissionsfaktoren (d.h. die auf den Kilometer bezogenen Emissionen) für Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) und motorische Partikel für einen flottendurchschnittlichen PKW im Jahr 2004. Dargestellt sind die Ergebnisse für Autobahnfahrt bei realen Durchschnittsgeschwindigkeiten von 130 km/h bzw. 110 km/h (entspricht lt. HBEFA2.1 Tempolimits von 130 km/h bzw. 100 km/h). Der Emissionsausstoß reduziert sich durch das niedrigere Geschwindigkeitsniveau um 23 Prozent ( $\text{NO}_x$ ) bzw. 31 Prozent für motorische Partikel<sup>2</sup>. Für leichte Nutzfahrzeuge beträgt die Emissionsreduktion knapp über 30% sowohl für  $\text{NO}_x$  als auch für motorische Partikel.

<sup>2</sup> Im Jahr 2003 wurde am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik im Auftrag der Wirtschaftskammer Tirol eine Studie über die Emissionsbelastung auf der Inntalautobahn A12 bei Vomp durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden ebenfalls die Auswirkungen der Einführung eines Tempolimits von 100 km/h auf Autobahnen erörtert. Dabei ergab sich eine Emissionsreduktion für den durchschnittlichen PKW von 31 Prozent ( $\text{NO}_x$ ) bzw. 28 Prozent für motorische Partikel. Ursache für die Unterschiede zur aktuellen Studie sind:

- Bei der WK Studie wurde die Emissionsberechnung anhand vor Ort aufgenommener Geschwindigkeitsverläufe durchgeführt. Dabei ergab sich aufgrund der hohen Verkehrsbelastung sowie von Baustellenabschnitten ein Basiszyklus (d.h. für das Tempolimit 130 km/h) mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 113 km/h. Für das „Tempo 100“-Szenario wurde eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 97 km/h angenommen (ebenfalls inklusive eines Baustellenabschnitts).
- Eine aktualisierte Datenlage zum Emissionsverhalten moderner PKW aufgrund des Vorliegens neuer Messungen



**Abbildung 3:** Emissionsfaktoren NO<sub>x</sub><sup>3</sup> und PM10 Abgas für den Durchschnitts-Pkw Österreich 2004

Umgelegt auf den betrachteten Streckenabschnitt der A 12 unter Berücksichtigung der Verkehrsmengen und der Flottenzusammensetzung jeweils des Jahres 2004 ergibt sich somit zwischen den Tempolimits von 130 km/h bzw. 100 km/h pro Kilometer und durchschnittliche Stunde (von 05:00 bis 22:00) die Reduktion des Emissionsausstoßes nach Tabelle 4<sup>4</sup>. Das Gesamt-Emissionsniveau sinkt um rund 15 Prozent sowohl für CO<sub>2</sub> als auch Stickoxide sowie rund 25% für motorische Partikelemissionen.

**Tabelle 4:** Durchschnittliches Emissionsniveau (in Kilogramm pro Stunde und Kilometer) bei den Tempolimits 130 km/h sowie 100 km/h für einen durchschnittlichen Tag zwischen 5 und 22 Uhr; (durchschnittliche Fahrbahnlängsneigung 0.3% entspricht Abschnitt Roppener Tunnel bis Milser Tunnel, Beschleunigungs- und Verzögerungsphase an den Abschnittsgrenzen nicht inkludiert)

	jahresdurchschnittliches Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsniveau von 05:00 bis 22:00 Gesamtverkehr (PKW, LNF und SNF) in [kg/(km*h)]					
	Kraftstoff	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	CO	PM10 Abgas
Tempolimit 130 km/h	78.3	246.6	1.407	0.158	2.342	0.058
Tempolimit 100 km/h	67.7	213.2	1.198	0.135	1.287	0.044
Veränderung	-14%	-14%	-15%	-14%	-45%	-24%

An den Übergängen zwischen den verschiedenen Tempolimits im Ist-Zustand treten in der einen Fahrtrichtung Beschleunigungsvorgänge, in der Gegenrichtung Verzögerungen durch vom Gas-Gehen bzw. Bremsen auf. Dabei erfolgt eine teilweise Kompensation der Mehremissionen bei den beschleunigenden Fahrzeugen durch die Emissionsabnahme bei den verzögernden Fahrzeugen. Lokal (in einem Bereich von knapp einem halben Kilometer) erhöht sich durch diese dynamischen Vorgänge der fahrtrichtungsgemittelte Emissionsausstoß um rund 3% für CO<sub>2</sub>, 13% für NO<sub>x</sub>, 37% für motorisches Abgas

<sup>3</sup> Die Angabe des durchschnittlichen Emissionsniveaus von PKW für Stickoxide hat sich in den letzten Jahren deutlich erhöht. Grund dafür ist, dass bei neueren Diesel-PKW Abgasrückführung (AGR) zur Senkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen verwendet wird. AGR ist allerdings bei höheren Drehzahlen und Leistungen schwieriger beherrschbar, und war bei den meisten am Prüfstand vermessenen Fahrzeugen bei (im Typprüfzyklus nicht erfassten) höheren Geschwindigkeits- und Leistungsniveaus nicht aktiv.

<sup>4</sup> Berechnet anhand der durchschnittlichen Fahrbahnlängsneigung des Autobahnabschnittes Roppener Tunnel bis Milser Tunnel, Zusatzemissionen durch Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge an den Abschnittsgrenzen nicht inkludiert

sowie 65% für Kohlenwasserstoffe und mehr als 100% für Kohlenmonoxid.<sup>5</sup> An den Gesamtemissionen im betrachteten Streckenabschnitt von rund 13,5 Kilometer haben diese dynamischen Mehrmissionen einen relativ kleinen Anteil (0,5% CO<sub>2</sub>, 1,6% NO<sub>x</sub>, 4,5% motorisches Abgas, 7% HC, 14% CO).

Tabelle 5 zeigt die berechneten Gesamtemissionen (in Tonnen pro Jahr) für die A 12 zwischen Imst und Landeck/Zams für die beiden betrachteten Szenarien „2004 Ist-Zustand“ sowie „2004 durchgehendes Tempolimit 100 km/h“ sowie die Veränderung des Emissionsausstoßes durch die Einführung von Tempo 100. Das Emissionsniveau für die als besonders kritisch einzustufenden Schadstoffkomponenten NO<sub>x</sub> sowie PM10 verringert sich durch diese Maßnahme um 13% sowie 23% (motorische Partikel) bzw. 13% (Partikel gesamt inklusive PM10 aus Abrieb sowie Aufwirbelungsprozessen). Die Menge an emittierten CO<sub>2</sub> nimmt um 11% ab, Kohlenwasserstoffe sowie Kohlenmonoxid werden um knapp 20 bzw. knapp 50% reduziert. Die Reduktionen sind trotz Berücksichtigung der zusätzlichen Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen an den Übergängen zwischen den verschiedenen Tempolimits kleiner als die Effekte in Tabelle 4, da die Änderungen auch die Nachtstunden sowie die bereits bestehenden Tempo 100 Passagen im Ist-Zustand beinhalten.

**Tabelle 5:** Gesamtemissionen (in Tonnen pro Jahr) für die beiden Szenarien: „2004 Ist-Zustand“ sowie „2004 durchgehendes Tempolimit 100 km/h“, zusätzliche Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge an den Übergängen zwischen den verschiedenen Tempolimits berücksichtigt

	Fahrleistung [Mio. km]	Kraftstoff [t/a]	CO <sub>2</sub> [t/a]	NO <sub>x</sub> [t/a]	HC [t/a]	CO [t/a]	PM10 Abgas [t/a]	PM10 Gesamt [t/a]
2004 Ist-Zustand	93.7	7722.8	24326.7	140.9	16.6	248.0	5.8	10.5
2004 Szenario durchgehendes Tempolimit 100 km/h	93.7	6864.6	21623.5	122.5	13.7	131.0	4.5	9.1
<b>Veränderung</b>	---	<b>-11%</b>	<b>-11%</b>	<b>-13%</b>	<b>-18%</b>	<b>-47%</b>	<b>-23%</b>	<b>-13%</b>

Die emissionsmindernde Wirkung der Maßnahme „durchgehendes Tempo 100“ für die kritischen Emissionskomponenten NO<sub>x</sub> und motorische Partikel dürfte in den nächsten Jahren eher noch zunehmen. Grund dafür ist der weitere Anstieg des Fahrleistungsanteils der Dieselfahrzeuge am PKW und LNF-Verkehr.

<sup>5</sup> Bezugsgröße ist dabei das Emissionsniveau bei einem Tempolimit von 130 km/h. Die Ergebnisse sind sehr stark davon abhängig, wie schnell der Beschleunigungsvorgang durchgeführt wird. Die hier in der Simulation mit PHEM verwendeten Beschleunigungs- und Verzögerungszyklen für PKW und LNF wurden dem CADC-Zyklus (Common Artemis Driving Cycle) entnommen.

## 5 Literatur

- [1] Rexeis M., Hausberger S.: Calculation of Vehicle Emissions in Road Networks with the model “NEMO”; Transport&Airpollution Conference; ISBN: 3-902465-16-6, Graz 2005
- [2] Zallinger M., Le Anh T., Hausberger S.: Improving an instantaneous emission model for passenger cars; Transport&Airpollution Conference; ISBN: 3-902465-16-6, Graz 2005
- [3] Hausberger S., Rexeis M.: Emission Behavior of Modern Heavy Duty Vehicles in Real World Driving; International Journal of Environment and Pollution; 2004
- [4] Rexeis M., Hausberger S.: Verkehrsemissionen im Brennerkorridor; Endbericht im Auftrag des BMVIT und des BMLFUW; Graz; Jänner 2004
- [5] Hausberger St., Rexeis M., Rodler J., Sturm P., Aktuelle Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge, ÖIAZ, (04/2003), 114 – 119
- [6] Hausberger S.: Simulation of Real World Vehicle Exhaust Emissions; VKM-THD Mitteilungen; Heft/Volume 82; Verlag der Technischen Universität Graz; ISBN 3-901351-74-4; Graz 2003
- [7] Hausberger St., Rodler J., Sturm P., Rexeis M., Emission factors for heavy-duty vehicles and validation by tunnel measurements , Atmospheric Environment 37 (2003), 5237 – 5245
- [8] Hausberger S. et.al.: Update of the Emission Functions for Heavy Duty Vehicles in the Handbook Emission Factors for Road Traffic; Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics; Graz 2002
- [9] Hausberger S.: Globale Modellbildung für Emissions- und Verbrauchsszenarien im Verkehrssektor (Global Modelling of Scenarios Concerning Emission and Fuel Consumption in the Transport Sector); Dissertation am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU-Graz; Graz, 1997
- [10] Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) Version 2.1 (28. Feb. 2004); <http://www.hbefa.net/>
- [11] Gehrig, R., Hill, M., Buchmann, B., Imhof, D., Weingartner, E., Baltensperger, U., Purghart, B. G., Bürgisser, G., Dolecek, L., Evequoz, R., Hauser-Strozzi, E., Infanger, K., Jenk, H., Porchet, A., Sommer, H., Sprenger, P., Stauffer, J., and Vaucher, C. (2003). "Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs." PSI, EMPA, BUWAL, Schweiz.