

Technische Universität Graz
Erzherzog-Johann-Universität
INSTITUT FÜR
VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINEN
UND THERMODYNAMIK

Evaluierung von Feinstaub-Maßnahmen in steirischen Sanierungsgebieten im Winter 2006/07

Erstellt im Auftrag vom

Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Report Nr. I-18/2007 Rex-Em 32/06/679 vom 19.9.2007

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.

Evaluierung von Feinstaub-Maßnahmen in steirischen Sanierungsgebieten im Winter 2006/07

Freigegeben	Univ. Prof. Dr. Helmut Eichlseder		
Erstellt	Dipl.-Ing. Martin Rexeis ao. Univ. Prof. Dr. Stefan Hausberger Mag. Marlene Hinterhofer ao. Univ. Prof. Dr. Peter Sturm	19.9.2007	

J:\TE-Em\Projekte\I_32_06_Evaluierung_PM10_Stmk\Endbericht_Evaluierung_PM10_Winter06-07_finale.doc

INHALT

Abkürzungsverzeichnis	5
1 Aufgabenstellung	7
2 Grundlagen	7
2.1 Straßenverkehr	7
2.1.1 Verkehrsaufkommen und KFZ-Verkehrsleistungen	7
2.1.2 Abschätzung der Verlagerung von Verkehrsleistung durch Tempolimits	9
2.1.3 Emissionsausstoß	11
2.2 Grundlagen Winterdienst	14
3 Tempolimits 100/80	16
3.1 Die Maßnahme	16
3.2 KFZ-Verkehrsleistung.....	16
3.3 Tempolimit von 100 km/h auf bestimmten Autobahnabschnitten.....	17
3.3.1 Analyse von Geschwindigkeitsverteilungen	17
3.3.2 Veränderung des Emissionsniveaus	23
3.3.3 Maßnahmeneffekt in den Sanierungsgebieten	25
3.4 Tempo 80 auf Freilandstraßen.....	26
4 Nachrüstung von Partikel-Katalysatoren	28
5 Fahrbeschränkungen im Sanierungsgebiet Graz	31
5.1 Die Maßnahme	31
5.2 Vom Fahrverbot betroffene Flottenanteile.....	32
5.3 Vorschlag zur weiteren Vorgehensweise	33
5.4 Durchgeführte Arbeiten.....	34
6 Optimierung des Winterdienstes	38
6.1 Streumiteleinsatz	38
6.2 Immissionsbelastungen	40
7 Fördermaßnahmen zur Minimierung der Hausbrandemissionen	42
7.1 Fördermaßnahme des Magistrates Graz.....	42
7.2 Emissionsverminderung aufgrund der Umstellung der Heizanlagen.....	43
7.3 Veränderung der Immissionssituation aufgrund der Umstellung der Heizanlagen .	44
8 Zusammenfassung	47
8.1 Tempolimits 100/80	47

8.2	Nachrüstung von Partikel-Katalysatoren	48
8.3	Fahrbeschränkungen im Sanierungsgebiet Graz	49
8.4	Winterdienst	49
8.5	Fördermaßnahmen zur Minimierung der Hausbrandemissionen	50
8.6	Summenwirkungen.....	50
9	Literatur	52

Abkürzungsverzeichnis

A+S	Autobahnen- und Schnellstraßennetz
AGR	Abgasrückführung
B+L	Bundes- und Landesstraßennetz
BAU	„Business As Usual“-Szenario (Trendentwicklung)
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
Diesel	Fahrzeuge mit Dieselmotor
DPF	Diesel-Partikelfilter
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
EURO	Europäische Abgasvorschriften für Straßenfahrzeuge
FVT	Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH
GLOBEMI	Globales Emissionsinventurmodell zur automatisierten Bilanzierung von Verbrauchs-, Emissions- und Verkehrsdaten in größeren Gebieten (Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU-Graz)
HC	Kohlenwasserstoffe
hzG	höchstzulässiges Gesamtgewicht
IG-L	Immissionsschutzgesetz Luft
JMW	Jahresmittelwert
KFG	Kraftfahrgesetz
KFZ	Kraftfahrzeug
LH	Landeshauptmann
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug
MIV	Motorisierter Individualverkehr (Pkw und Motorrad)
NEMO	Network Emission Modell“ (am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU-Graz entwickeltes Simulationsmodell zur Berechnung der Verkehrsemissionen auf Straßennetzen)
NMV	Nicht motorisierter Verkehr
NO	Stickstoff-Monoxid
NO ₂	Stickstoff-Dioxid
NO _x	Stickoxide (Summe aus NO und NO ₂)

Otto	Fahrzeuge mit Ottomotor (benzinbetrieben)
ÖV	öffentlicher Verkehr
PKW	Personenkraftwagen
PM	Particulate Matter
PM10	Partikel, die einen gröbenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50% aufweist
PM-Kat	Partikel-Katalysator
RFK	„Russfilter-Katalysator“ oder ähnliche Nachrüstlösung zur Partikelminderung im Abgas
SNF	Schweres Nutzfahrzeug
StVO	Straßenverkehrsordnung
TMW	Tagesmittelwert

1 Aufgabenstellung

Infolge der Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte nach Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L), speziell bei PM 10, wurden für den Winter 2006/2007 Maßnahmen zur Emissionsminderung gesetzt.

In der hier vorliegenden Arbeit wurden die Maßnahmen bezüglich ihrer Wirkungen auf Schadstoffemissionen und PM 10 Luftgüte in steirischen Sanierungsgebieten evaluiert.

Folgende Maßnahmen werden in der vorliegenden Arbeit untersucht:

- 1) Tempolimits von 100 km/h (auf bestimmten Autobahnabschnitten) sowie von 80 km/h (generell auf Bundesstraßen)
- 2) Nachrüstung von Diesel-PKW und schweren Nutzfahrzeugen mit Partikel-Katalysatoren
- 3) Fahrbeschränkungen im Sanierungsgebiet „Großraum Graz“
- 4) Optimierung des Winterdienstes
- 5) Fördermaßnahmen zur Minimierung der Hausbrandemissionen

2 Grundlagen

Nachfolgend werden die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Datengrundlagen und Simulationsmodelle beschrieben.

2.1 Straßenverkehr

2.1.1 Verkehrsaufkommen und KFZ-Verkehrsleistungen

Die Daten bezüglich KFZ-Verkehrsleistungen und Zusammensetzung der Fahrzeugflotte in den steirischen Sanierungsgebieten wurden schon für die im Jahr 2006 durchgeführte Voruntersuchung von Maßnahmenwirkungen [2] erhoben und konnten mit geringfügigen Aktualisierungen auch in der vorliegenden Arbeit verwendet werden.

Die Daten zu Fahrleistung und Zusammensetzung des Straßenverkehrs im Stadtgebiet von Graz für den Winter 2006/2007 im Trendszenario, d.h. ohne Umsetzung von bestimmten Maßnahmen, wurden im Wesentlichen dem Emissionskataster Graz (Bezugsjahr 2003) [3] entnommen. Die Hochrechnung dieser Verkehrszahlen auf das Jahre 2006 erfolgte mittels Prognose aus [4], wobei in der Hochrechnung der Verkehrszahlen nach Fahrzeugkategorie (PKW und LNF, Straßengüterverkehr sowie Busse) und Straßenkategorie (d.h. innerorts, außerorts und Autobahn) unterschieden wurde.

Die Fahrleistung der im Trendszenario im ÖV verkehrenden Linienbusse wurde gegenüber den Angaben aus [3] weiters um 10% erhöht, da im Winter 2006/07 auch an Tagen ohne Vorliegen von Grenzwertüberschreitungen ein erweitertes ÖV-Angebot geplant war.¹

¹ Genaue Zahlen liegen nicht vor. In der Voruntersuchung [2] war von einem um 40% erweiterten ÖV-Angebot ausgegangen worden.

Fahrleistung und Verkehrszusammensetzung des Straßenverkehrs der im Sanierungsgebiet Graz ebenfalls enthaltenen 7 Umlandgemeinden im Süd-Osten von Graz wurden aus den Bevölkerungszahlen geschätzt.

Die vom Land Steiermark gelieferten Informationen zur Anzahl der mit Russfilter-Katalysatoren (RFK) nachgerüsteten Fahrzeuge wurden in die Berechnungen übernommen².

Tabelle 2-1 enthält die im Trendszenario für den Winter 2006/2007 im Großraum Graz berechneten KFZ-Verkehrsleistungen unterschieden nach Fahrzeugschichten sowie Straßenkategorie (im Innerorts-Verkehr bzw. auf Autobahnen).

Tabelle 2-1: Fahrleistung des KFZ-Verkehrs im Feinstaub-Sanierungsgebiet Graz für das Vergleichsszenario „Business As Usual“ nach Feinstaub-relevanten Fahrzeugschichten, Winter 2006/07

Durchschnittliche Kfz- Fahrleistung in 1000 Kfzkm pro Tag		Feinstaub Sanie- rungsgebiet Großraum Graz	Feinstaub Sanie- rungsgebiet Großraum Graz
		<u>Innerortsverkehr</u>	<u>Autobahn</u>
PKW	Otto	1 066.88	356.95
	Diesel mit DPF	380.86	127.43
	Diesel mit RFK	315.03	105.40
	Diesel EURO4	50.67	16.95
	Diesel sonstige	1 007.72	337.16
LNF	Otto	25.85	8.07
	Diesel mit DPF	-	-
	Diesel mit RFK	53.94	16.84
	Diesel EURO4	-	-
	Diesel sonstige	181.23	56.57
LKW	vor EURO 1 (ohne RFK)	7.06	5.01
	EURO 1 (ohne RFK)	8.49	8.04
	EURO 2 (ohne RFK)	26.35	28.97
	EURO 3 (ohne RFK)	66.85	84.54
	ab EURO4	19.06	25.66
	mit RFK	5.15	2.44
Reisebusse		14.56	14.96
Linienbusse		33.01	-
Summen		3 262.74	1 194.98
Summe Straßenverkehr			4 457.72

An einem durchschnittlichen Tag im Winter 2006/2007 werden im Sanierungsgebiet Graz demnach rund 4.5 Mio. Kfz-Kilometer gefahren. Rund 85% davon entfallen auf PKW, knapp 8% auf leichte Nutzfahrzeuge (LNF), rund 6% auf LKW sowie insgesamt rund 1.5% auf den Busverkehr. Auf den Autobahnen ist der durchschnittliche Schwerverkehrsanteil mit knapp 13% dabei deutlich höher als auf den Innerortsstraßen (4%).

² Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmungen mit dem in der Voruntersuchung geschätzten Anteil der Fahrleistung von nachgerüsteten PKW im Sanierungsgebiet Großraum Graz (Schätzung Voruntersuchung: 12%; aktuelle Zahlen: 11% der Fahrleistung aller PKW).

Von der Fahrleistung der PKW entfallen Ende 2006 knapp über 60% auf Fahrzeuge mit Dieselmotor, bei LNF liegt dieser Anteil mit rund 90% noch deutlich höher. Die von Diesel PKW geleisteten Kfz-Kilometer werden jeweils zu rund 20% von Fahrzeugen mit DPF bzw. RFK gefahren, knapp mehr als die Hälfte entfällt noch auf Fahrzeuge ohne DPF oder RFK.

In der Steiermark wurde von IBV-Fallast eine Reihe von Verkehrserhebungen als Grundlage für Verkehrsuntersuchungen durchgeführt. Die Untersuchungsgebiete liegen hauptsächlich im Zentralraum Graz, in den südlichen Bezirken (Graz-Umgebung, Leibnitz, Radkersburg, Hartberg) und im Bereich des Mur- und Mürztals. Aus diesen Arbeiten resultiert ein Verkehrsmodell, das weite Gebiete sehr detailliert abbildet und für das restliche Landesgebiet das Landesstraßennetz und das hochrangige Bundesstraßennetz beinhaltet.

Mit den entsprechenden Grundlagenergänzungen, wie sie in der Beschreibung der Methodik im folgenden Abschnitt erklärt sind, konnten die Verkehrsleistungen steiermarkweit sehr gut abgeschätzt werden. Die Verkehrsleistungen für die vorgegeben Untersuchungsgebiete (Sanierungsgebiete) konnten aus diesem Gesamtverkehrsmodell durch Selektion der entsprechenden Straßenabschnitte ermittelt werden (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Fahrleistung des KFZ-Verkehrs in den Sanierungsgebieten Mur-Mürz-Furche, Mittleres Murtal und Mittelsteiermark im Trendszenario

Durchschnittliche Kfz-Fahrleistung [1000km pro Tag]	Sanierungsgebiet		
	Mur-Mürz-Furche	Mittleres Murtal	Mittelsteiermark
PKW	3 076.25	1 278.63	12 754.95
LNF	255.44	106.13	1 051.43
LKW	403.17	145.69	1 298.69
Busse	55.90	24.12	216.06
Summe Straßenverkehr	3 790.75	1 554.57	15 321.13

2.1.2 Abschätzung der Verlagerung von Verkehrsleistung durch Tempolimits

Der nachfolgende Text ist aus [2] übernommen:

Für die Steiermark liegt dem Bearbeiter beinahe flächendeckend ein Modell des Verkehrsangebotes (Straßengraph) vor. Die Kategorisierung erfolgt in die Straßenklassen Autobahnen und Schnellstraßen, Landesstraßen (L und B) sowie Gemeindestraßen. Die Dichte des Wegenetzes ist allerdings unterschiedlich. Vor allem im Zentralraum Graz, im Bereich Bruck/Mur sowie in den südlichen Bezirken ist das Wegenetz sehr detailliert im Verkehrsmodell abgebildet, in den restlichen Bezirken grobmaschiger.

Die Verkehrsnachfrage liegt für die Gebiete mit detailliertem Straßengraph auch als detaillierte Matrix der Verkehrsbeziehungen vor. Um eine steiermarkweite Abbildung der Verkehrsnachfrage im Verkehrsmodell zu erhalten wurde folgende Vorgangsweise gewählt:

- Als Ausgangsmatrix für die Kalibrierung des Verkehrsmodells wurde die Pendlermatrix aus dem Jahr 2001 herangezogen, damit wurden die Quell-Zielbeziehungen gemeindeweise aufbereitet. Der Binnenverkehr innerhalb der Gemeinden wird außerhalb des Großraums Graz nicht abgebildet. Diese Verkehrsanteile sind allerdings szenarienspezifisch nicht relevant, da durch die Reduktion der zulässigen Höchstgeschwin-

digkeiten auf 100 bzw. 80 km/h keine signifikanten Verlagerungswirkungen für den Binnenverkehr in den Gemeinden zu erwarten sind.

- Die Verkehrsbelastungen als Grundlage für die Kalibrierung wurden soweit vorhanden aus aktuellen Verkehrszählungen verwendet (Raum Bruck/Mur, Semmering, Packabschnitt der A2, Knittelfeld – Neumarkt, Liezen, Grazer Zentralraum, Bezirke Leibnitz und Radkersburg, Raum Hartberg) und mit den Ergebnissen aus Dauerzählstellen bzw. Daten aus dem Verkehrsserver Steiermark ergänzt. Der Anteil des Schwerverkehrs wurde ebenfalls aus diesen Datenquellen entnommen.
- Je nach Straßenkategorie wurde ein straßenspezifischer Anteil f_T an „nichtverlagerbarem Transitverkehr“ definiert. Diese Anteile wurden aus den vorhandenen Ergebnissen von durchgeführten Verkehrsbefragungen und den dabei berichteten Fahrtweiten an rund 30 Befragungsquerschnitten in der Steiermark ermittelt.
- Der steiermarkweite Straßengraph wurde über die Landesgrenzen hinaus für das A- und S-Netz sowie für die wichtigsten Landesstraßen ergänzt um großräumige Verlagerungswirkungen berücksichtigen zu können (z.B. A2 – S6 bis Seebenstein, A2 bis Klagenfurt usw.).
- Mit diesen Datengrundlagen wurde das steiermarkweite Verkehrsmodell für den Analyseverkehr kalibriert, damit wird der Bestand in einer vertretbaren Genauigkeit abgebildet. Ein Vergleich der im Verkehrsmodell ermittelten Verkehrsbelastungen mit den gezählten Verkehrsbelastungen ergibt eine Übereinstimmung von 90 bis 95%. Im Nahbereich von Kalibrierquerschnitten werden naturgemäß noch größere Übereinstimmungen erreicht
- Für das Szenario „Geschwindigkeitsreduktion“ mit Tempo 100 auf dem A- und S-Netz sowie Tempo 80 im restlichen Straßennetz wurden im Verkehrsmodell die jeweiligen Höchstgeschwindigkeiten streckenspezifisch herabgesetzt, sofern nicht bereits im Bestand niedrigere zulässige Höchstgeschwindigkeiten vorgesehen sind und damit eine neue Umlegung der Verkehrsströme gerechnet. Damit wird die Wegewahl des verlagerbaren Anteils am Gesamtverkehr unter den geänderten Randbedingungen simuliert. Diese Umlegung der Verkehrsströme wurde nur für den Binnenverkehr in der Steiermark, sowie den Quell- und Zielverkehr in Bezug auf die Steiermark durchgeführt. Vom nichtverlagerbaren Anteil wird angenommen, dass er dieselben Routen wie im Bestand benutzt.
- Für die Weganteile, die als Zufahrtsstrecke zum Landesstraßennetz (L und B) sowie zum hochrangigen Straßennetz dienen und auf dem Gemeindestraßennetz abgewickelt werden, kann ebenfalls angenommen werden, dass sie außer im Großraum Graz nicht im relevanten Ausmaß verändert werden. Für den Großraum Graz liegt jedoch das Straßennetz so detailliert im Verkehrsmodell vor, dass die Verlagerungen im untergeordneten Straßennetz durch das Wegewahlmodell detailliert abgebildet werden.
- Für jeden Streckenabschnitt im Straßengraph ergibt sich damit ein Faktor F_i , der das Verhältnis der Verkehrsbelastungen im Bestand 130/100 gegenüber den Belastungen im Szenario Geschwindigkeitsreduktion 100/80 beschreibt. Je nach Zu- oder Abnahme durch das Szenario ist dieser Faktor F_i größer oder kleiner als 1.
- Die Gesamtverkehrsbelastungen je Streckenabschnitt i im Szenario 100/80 werden damit folgendermaßen ermittelt:

$$KFZ_{100/80i} = (KFZ_{130/100,i} - KFZ_{130/100,Transit,i}) * F_i + KFZ_{130/100,Transit,i}$$

Von der Ausgangsbelastung wird der nichtverlagerbare Transitverkehr abgezogen, der restliche Verkehr wird entsprechend der Verlagerungswirkungen hochgerechnet oder abgewertet und der nichtverlagerbare Transitverkehr wird wieder der ursprünglichen Route zugeschlagen.

Die Ermittlung der Verkehrsbelastungen erfolgt getrennt nach Pkw und Lkw.

- Anschließend werden die Auswirkungen auf die Fahrleistungen getrennt nach den jeweiligen Maßnahmengebieten für das Straßennetz im Verkehrsmodell quantifiziert.
- In jenen Bereichen, für die das Verkehrsmodell detailliert vorliegt, wurden repräsentative Anteile der Verkehrsleistungen im untergeordneten Straßennetz ermittelt. Diese Anteile wurden auch für jene Bereiche der Steiermark herangezogen, für die im Verkehrsmodell nur die Straßen des A- und S-Netzes, sowie die Landesstraßen abgebildet sind.

2.1.3 Emissionsausstoß

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 (Fahrzeuggeschwindigkeit über der Zeit bzw. Strecke, üblicherweise definiert durch Durchschnittsgeschwindigkeit und sog. „Dynamikparameter“, die das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten beschreiben), 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“) und Antriebsart (Otto, Diesel) unterteilt wird.

Die Emissionsberechnung erfolgt in dieser Arbeit mit dem am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik entwickelten Simulationsmodell „NEMO“ (Network Emission Model) [5]. Dieses Kapitel gibt eine kurze Einführung in die zugrunde liegende Methodik.

2.1.3.1 Emissionsmodell NEMO

NEMO 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 ([6] bis [13]) und GLOBEMI (automatisierte Bilanzierung von Verbrauchs-, Emissions- und Verkehrsdaten in größeren Gebieten, [14]).

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“.

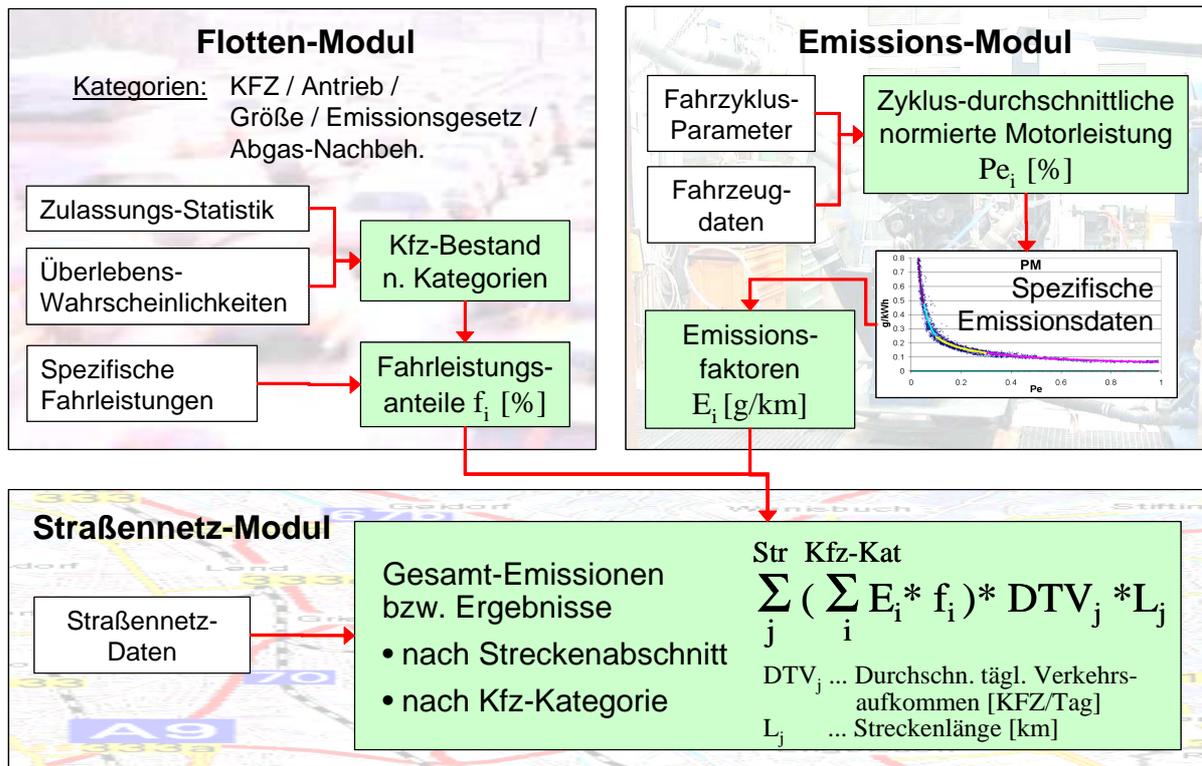
Für den Emissionsausstoß auf Straßennetzwerken sind die Fahrleistungsanteile der einzelnen Fahrzeugschichten relevant. Die Berechnung dieser Anteile erfolgt in Abhängigkeit von Bezugsjahr und Straßenkategorie nach folgendem Schema:

- (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 anhand von mit dem Modell PHEM aufbereiteten Daten aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 2.1 („HBEFA“) [15]. Weiters wurden auch aktuelle, noch nicht im HBEFA enthaltene Messdaten in das Modell eingearbeitet (siehe dazu auch nähere Erläuterungen auf der nächsten Seite)

Die gesamten Emissionen auf einem Streckenstück ergeben sich aus den Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeugschichten multipliziert mit den entsprechenden Emissionsfaktoren. Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung des Emissionsmodells NEMO.

NEMO Network Emission Model



Option: Verknüpfung mit Ausbreitungsmodell GRAL

Abbildung 1: Schema Emissionsmodell NEMO

In der Berechnung der Emissionsfaktoren für PKW wurden aktuelle Emissionsmessungen an Dieselfahrzeugen nach EURO 3 sowie EURO 4 mitberücksichtigt [16]. Diese Daten sind in der letzten Version des HBEFA noch nicht enthalten. Im HBEFA wurden die Emissionsniveaus von Dieselfahrzeugen der Emissionsstandards EURO 3 und EURO 4 aus den Messungen für EURO 2 Diesel-PKW und der Absenkung der Grenzwerte in der Gesetzgebung für EURO 3 und EURO 4 gegenüber den Bestimmungen für EURO 2 abgeschätzt. So wurden Abnahmen der NO_x-Emissionsfaktoren von 25% von EURO 2 auf EURO 3 bzw. 50% auf von EURO 2 auf EURO 4 prognostiziert. Messungen auf dem Rollenprüfstand konnten diese Emissionsabnahmen zwar im Typprüfzyklus (NEDC) bestätigen, in realen Fahrzyklen und insbesondere bei Autobahnfahrt zeigten sich jedoch keine bzw. nur geringfügige Reduktionen der Stickoxidemissionen im Vergleich der neuen Diesel-PKW mit den EURO 2 Vorgängermodellen.

Unter Berücksichtigung dieser aktualisierten Datengrundlage für Diesel-PKW nach EURO 3 und EURO 4 (die Ende 2006 einen Anteil von rund 45% an der Fahrleistung der österreichischen PKW-Flotte haben) ergibt sich für den PKW-Flottenmix für das Jahr 2006 ein um ca. 10% höheres NO_x-Emissionsniveau sowie ein um rund 10% geringerer Ausstoß an motorischem PM10 bei Autobahnfahrt als bei Verwendung des alten Datenstandes.

2.1.3.2 Modellierung der Auswirkung von Tempolimits auf das Emissionsniveau bei PM10

2.1.3.2.1 Motorisches PM10

Die Abschätzung der Auswirkung verschiedener Geschwindigkeitsniveaus bei Autobahnfahrt auf den Emissionsausstoß von Diesel-PKW für motorisches PM10 ist nach derzeitigem Datenstand sehr unsicher. Bisher wurde basierend auf den Daten der letzten Ausgabe des HBEFA bei einer Absenkung der Durchschnittsgeschwindigkeit von 130 km/h auf 110 km/h von einer Reduktion der PM10-Abgasemissionen von rund 20% im Mittel der Diesel-PKW ausgegangen. Aktuelle Messungen auf Rollenprüfständen sowie entsprechende Simulationsrechnungen konnten diese Abnahmen für PKW der Emissionsstandards EURO 3 und EURO 4 allerdings nicht bestätigen. Für eine solide quantitative Neubewertung des Unterschiedes von T130 und T100 bezüglich motorischer PM10 Emissionen bei PKW ist die Datenlage allerdings noch nicht ausreichend³. Es wird daher in der vorliegenden Arbeit weiter mit dem Datenstand gemäß HBEFA gerechnet. Dabei ist aber darauf hinzuweisen, dass das Reduktionspotenzial für die motorischen Partikelemissionen durch die Absenkung des Tempolimits dabei eventuell überschätzt wird.

2.1.3.2.2 PM10 aus Aufwirbelungs- und Abriebsprozessen

Die Wiederaufwirbelung von Staub ist jener Emissionsanteil des Straßenverkehrs, der mit der größten Unsicherheit behaftet ist. Die Größenordnung dieser Emissionen liegt im Vergleich zu den Abgas- und Abriebemissionen mindestens auf gleichem Niveau. Vor allem der Zustand von Fahrbahn und Straßenrand spielt für die Menge an aufgewirbeltem Staub eine große Rolle. Wichtige Einflussgrößen auf Wiederaufwirbelung sind die Witterung (Straßenstaub wird bei Nässe gebunden), Windverhältnisse (bestimmen die Staubmenge, die von außen auf die Straße eingebracht wird) Verkehrsstärke (die Menge des pro Fahrzeug aufgewirbelten Staubes nimmt bei steigender Verkehrsstärke ab, da sich ein Anteil des Straßenstaub-Belags bereits in Schwebelage befindet) sowie natürlich auch die Fahrzeuggeschwindigkeit (aerodynamische Effekte).

In der vorliegenden Arbeit werden standardmäßig Emissionsfaktoren für PM₁₀ aus Abrieb und Aufwirbelung verwendet, die aus Angaben in [17] abgeleitet wurden. Eine modellmäßige Quantifizierung des Einflusses verschiedener Tempolimits auf die nichtmotorischen PM10 Emissionen ist anhand der zurzeit international verfügbaren Untersuchungen nicht durchführbar. Es erscheint jedoch plausibel, dass die Absenkung sowie Vergleichsmäßigung der Fahrzeuggeschwindigkeiten, wie sie durch eine Absenkung der höchstzulässigen Geschwindigkeit eintreten, tendenziell zu geringeren Partikelemissionen aus Aufwirbelungs- sowie Abriebsprozessen führen.

2.2 Grundlagen Winterdienst

Der Winterdienst trägt über das Ausbringen von Salz und Splitt beträchtlich zur PM10 Belastung bei. Immissionsseitig ist diese Emission vor allem in der gröberen Staubfraktion PM10-PM1 zu finden. Naheliegender wäre nun auf Basis des Verbrauches von Streumaterial und der lokalen Immissionsveränderung die Maßnahmenwirksamkeit zu bewerten. Im Winter 2005/06 erfolgte bereits eine Umstellung von Splitt auf verstärkte Salzstreuung im Süden von Graz. Im

³ Die Messung und Modellierung von Partikelemissionen ist grundlegend komplexer als die Betrachtung der gasförmigen regulierten Schadstoffkomponenten.

Winter 2006/07 wurde im Bereich Graz Zentrum nachgezogen. Im restlichen Grazer Stadtgebiet wurde die Streustrategie nicht verändert.

Da der Streumittelverbrauch jedoch in erster Linie von den meteorologischen Bedingungen abhängig ist, ist eine „Normierung“ auf unabhängige Größen notwendig. Als relativ konstante Größe während der beiden Winter kann die NO_x Emission betrachtet werden. NO_x wird in erster Linie vom Straßenverkehr emittiert und der hat sich innerhalb der letzten beiden Winter nicht gravierend verändert.

Auf Basis der Immissionsmessdaten der Stationen Graz Nord, Mitte und Süd die von der Steiermärkischen Landesregierung betrieben werden, können grundlegende Trends in der Winterimmissionssituation abgeschätzt werden. Die betrachteten Immissionsmessstellen wurden so gewählt, dass sich eine Messstelle in jenem Gebiet befindet, das bis jetzt nicht auf differenzierten Winterdienst umgestellt wurde (Graz Nord). Graz Mitte befindet sich in jenem Bereich, der im Winter 2006/07 umgestellt wurde und Graz Süd war bereits 2005/06 von der Umstellung betroffen.

Aufgrund dieser Datenbasis erfolgt die durchgeführte Betrachtung in erster Linie qualitativ. Die angeführten Immissionsreduktionen bei Feinstaub können nicht eindeutig dem veränderten Winterdienst zugeschrieben werden.

Um den Einfluss unterschiedlicher Verkehrsbelastungen in den Betrachtungen zu minimieren wurde zur Abschätzung der Veränderung das $\text{PM}_{10}/\text{NO}_x$ Verhältnis herangezogen. Da davon ausgegangen werden kann, dass der Großteil der gemessenen NO_x Konzentration unmittelbar auf die Verkehrsbelastung zurückzuführen ist wird, so der Einfluss unterschiedlicher Verkehrsstärken minimiert.

3 Tempolimits 100/80

3.1 Die Maßnahme

Vom 15.12.2006 bis 14.03.2007 wurden in den steirischen Sanierungsgebieten im Rahmen der IG-L Maßnahmenverordnung folgende Tempolimits verordnet:

1. auf nachstehenden Autobahnabschnitten (in beide Richtungen): 100 km/h
 - a) Südautobahn A 2: Abschnitt zwischen km 150,400 und km 193,250 (von der Anschlussstelle Sinabelkirchen bis zur Anschlussstelle Lieboch)
 - b) Phyrnautobahn A 9: Abschnitt zwischen km 165,100 und km 214,200 (vom Abprung der S 35 bis zur Anschlussstelle Leibnitz)
2. auf Freilandstraßen, ausgenommen Autobahnen und Autostraßen: 80 km/h.

Die Geschwindigkeitsbeschränkungen galten nicht, wenn nach anderen Rechtsvorschriften bereits niedrigere oder gleiche Höchstgeschwindigkeiten angeordnet waren.

Abweichend zu der hier untersuchten tatsächlich verordneten Variante wurde in der Vorstudie [1] die Maßnahmenwirkung eines generellen Tempolimit von 100 km/h auf dem A+S Netz in allen Sanierungsgebieten abgeschätzt.

Die Maßnahmenwirkungen durch die Verordnung von Tempolimits auf den lokalen Emissionsausstoß ergeben sich einerseits durch die Veränderung des Emissionsniveaus der Fahrzeuge bei veränderter Fahrgeschwindigkeit sowie durch Verlagerungseffekte im Straßennetz (von Autobahn zu untergeordneten Straßen bzw. umgekehrt) und der Veränderung der Gesamtfahrleistungen des Straßenverkehrs in den betrachteten Gebieten.

3.2 KFZ-Verkehrsleistung

Die Auswirkungen der auf den obenstehend beschriebenen Autobahnabschnitten der A 2 und der A 9 verordneten verschärften Tempolimits auf die Verteilung der Kfz-Verkehrsleistungen in den Sanierungsgebieten wurde mit dem in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen Verkehrsmodell abgeschätzt. Dabei ergaben sich lediglich geringfügige Verlagerungen der Verkehrsmengen, die im Bereich der Größenordnung der Modellunsicherheiten liegen.

Bereits in der Vorstudie, in der in von einem generellen Tempolimit von 100 km/h auf dem A+S Netz in allen Sanierungsgebieten ausgegangen worden war, lag der emissionsseitige Maßnahmeneffekt durch die Veränderung der Geschwindigkeitsniveaus deutlich über den emissionsseitigen Veränderungen aufgrund der Verlagerungen in den KFZ-Verkehrsleistungen.

Es wurde daher wegen der nunmehr deutlich reduzierten Anzahl an Autobahnabschnitten mit T100 in der Berechnung der Maßnahmenwirkung von konstanten KFZ-Verkehrsleistungen ausgegangen.

3.3 Tempolimit von 100 km/h auf bestimmten Autobahnabschnitten

3.3.1 Analyse von Geschwindigkeitsverteilungen

Für die Evaluierung des Effektes der Verschärfung des Tempolimits von 130 auf 100 km/h auf das Fahrverhalten liegen für das betroffene Gebiet Daten für die Autobahnquerschnitte bei Laßnitzhöhe (A 2 bei km 170.7, Zählstelle 6059) sowie bei Wundschuh (A9 bei km 195.2, Zählstelle 6070) vor. Diese Zählstellen registrieren nicht nur die Anzahl der Fahrzeuge sondern zeichnen auch die Fahrzeuggeschwindigkeiten auf. Die Zählstelle auf der A 2 liegt rund 1,5 Kilometer westlich der Abfahrt Laßnitzhöhe in der Steigungspassage (Fahrtrichtung Wien), die Zählstelle auf der A 9 bei Wundschuh befindet sich knapp mehr als einen Kilometer südlich des Endes der permanenten 100 km/h Beschränkung auf der A9 südlich von Graz. Bei der Zählstelle Wundschuh ist die Zählstelle durch entsprechende Hinweisschilder und Bodenmarkierungen („Fahrstreifen nicht wechseln“) gekennzeichnet, die Zählstelle auf der A 2 ist nicht beschildert.

Der Beobachtungszeitraum für die Analyse der Geschwindigkeitsverteilungen für das Tempolimit von 130km/h umfasst die Periode von Sonntag, 01. Oktober 2006 bis Donnerstag, 30. November 2006. Die Daten für die Geschwindigkeitsverteilungen bei dem Tempolimit von 100 km/h wurden von Montag, 1. Jänner 2007 bis Mittwoch, 28. Februar 2007 aufgezeichnet.

Die Zählstellen ermöglichen in der Erfassung der Verkehrsmengen eine Zuordnung der registrierten Fahrzeuge zu acht verschiedenen Fahrzeugklassen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Fahrzeugkategorien in der Verkehrsmengenerfassung

Fahrzeugkategorie	Kürzel
Motorrad	Mot
PKW	Pkw
PKW mit Anhänger	PmA
„Lieferwagen“ d.h. leichte Nutzfahrzeuge	Lfw
LKW ohne Anhänger („Solo LKW“)	LoA
LKW mit Anhänger	LmA
Sattelfahrzeug	Sat
Bus	Bus
sonstige KFZ	Son

Die Zählstellendaten zu den Fahrzeuggeschwindigkeiten liegen weniger detailliert vor. In den Geschwindigkeitsverteilungen kann nur zwischen zwei verschiedenen „Fahrzeugklassen“ unterscheiden werden:

Klasse 1: Mot + Pkw + Son

Klasse 2: Lfw + PmA + Bus + LoA + LmA + Sat

Unmittelbar betroffen von der untersuchten Maßnahme sind Fahrzeuge mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht („hzG“) kleiner gleich 3.5t, für die das bisher verordnete Tempolimit von 130 km/h auf 100 km/h reduziert wurde. In diese Fahrzeuggruppe fallen Personenkraftwagen (ohne Anhänger), leichte Nutzfahrzeuge („Lieferwagen“) sowie Motorräder. Für LKW sowie Last- und Sattelzüge galt in beiden Beobachtungszeiträumen eine höchstzulässige Ge-

schwindigkeit von 80 km/h, für Busse galt in beiden Beobachtungszeiträumen ein Tempolimit von 100 km/h.

Für die Analyse des Effekts der Verschärfung des Tempolimits auf die Verteilung der Fahrzeuggeschwindigkeiten können daher direkt nur die Geschwindigkeitsverteilungen der Fahrzeugklasse 1 herangezogen werden, da beide in dieser Klasse relevanten Fahrzeugkategorien „Motorräder“ und „Pkw“ (ohne Anhänger) von der Verschärfung des Tempolimits betroffen sind. Der Anteil von „sonstigen KFZ“ (d.h. Kraftfahrzeugen, die von der Zählstelle nicht eindeutig klassifiziert werden konnten) an der Fahrzeugklasse 1 ist mit kleiner 1% vernachlässigbar. In vergleichbaren Untersuchungen [18], [19] für das Land Tirol, für die eine detailliertere Aufschlüsselung der Geschwindigkeitsverteilungen nach Fahrzeugkategorien verfügbar war, wurde festgestellt, dass auf den dort betrachteten Autobahnquerschnitten die Absenkung des Tempolimits von 130 km/h auf 100 km/h nur Auswirkungen auf die davon direkt betroffenen Fahrzeugkategorien besitzt. Das Fahrverhalten von LKW (Tempolimit 80 km/h) sowie Bussen (Tempolimit 100 km/h) wurde dadurch nicht beeinflusst.

In der Auswertung der Geschwindigkeitsverteilungen werden Fahrzeuge, die von den Zählstellen mit Geschwindigkeiten kleiner als 60 km/h erfasst wurden, der Geschwindigkeitsklasse zwischen 80-89 km/h zugeordnet, um nicht durch Einzelereignisse (Stau, Pannen, starker Regen etc.) den zu evaluierenden Effekt der Tempolimits zu verfälschen⁴.

In Abbildung 2 sind die Geschwindigkeitsverteilungen für Fahrzeuge < 3.5t hzG für T130 sowie T100 auf der A 2 bei Laßnitzhöhe gegenübergestellt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit im Beobachtungszeitraum für T130 betrug 123 km/h bei einer Standardabweichung⁵ von knapp 19 km/h. Rund 37% der Fahrzeuge < 3.5t hzG waren bei T130 schneller als gesetzlich erlaubt unterwegs. Durch die Einführung von Tempo 100 sank die Durchschnittsgeschwindigkeit um 18 km/h auf 105,1 km/h. Auch die Streuung der gemessenen Geschwindigkeiten nahm ab (Standardabweichung von rund 12 km/h). Die gesetzlich erlaubte Höchstgeschwindigkeit wird bei T100 allerdings von der Mehrheit der Fahrzeuge (67%) überschritten.

⁴ Der Einfluss dieser Nachbearbeitung auf das Ergebnis ist allerdings gering (Veränderung der Durchschnittsgeschwindigkeiten im Bereich von einem Zehntel km/h), da ohnehin auf beiden betrachteten Autobahnquerschnitten in beiden Beobachtungszeiträumen nur sehr wenige Fahrzeuge mit Geschwindigkeiten kleiner 60 km/h erfasst wurden. Durch den milden, niederschlagsarmen Winter 2006 kann auch von einem sehr geringeren Einfluss der Witterung auf die Fahrzeuggeschwindigkeiten ausgegangen werden.

⁵ Statistischer Kennwert für die Streuung von einzelnen Werten um ihren Mittelwert

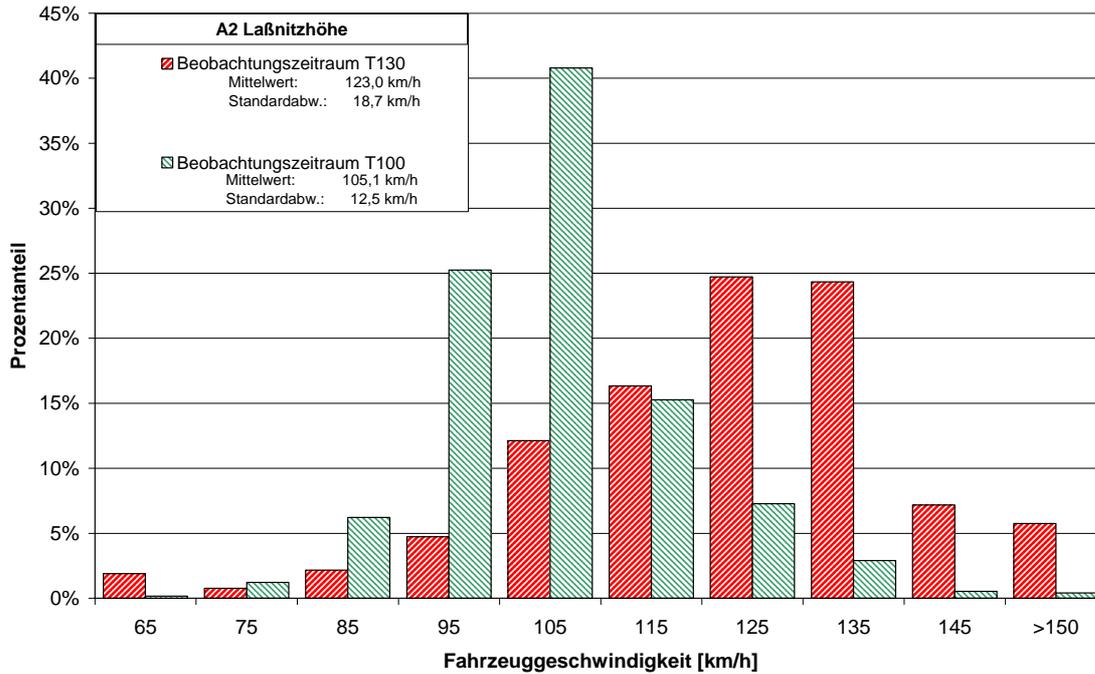


Abbildung 2: Geschwindigkeitsverteilung Fahrzeuge < 3.5t hzG, A 2 Laßnitzhöhe

Abbildung 3 zeigt die Durchschnittsgeschwindigkeit aller Fahrzeuge < 3.5t hzG auf der A 2 bei Laßnitzhöhe über der Tageszeit. Im Beobachtungszeitraum für T130 ist in den Nachtstunden eine Abnahme der Durchschnittsgeschwindigkeiten um 5 bis 10 km/h erkennbar. Im Beobachtungszeitraum für T100 ist die durchschnittliche Fahrzeuggeschwindigkeit über der Tageszeit praktisch konstant.

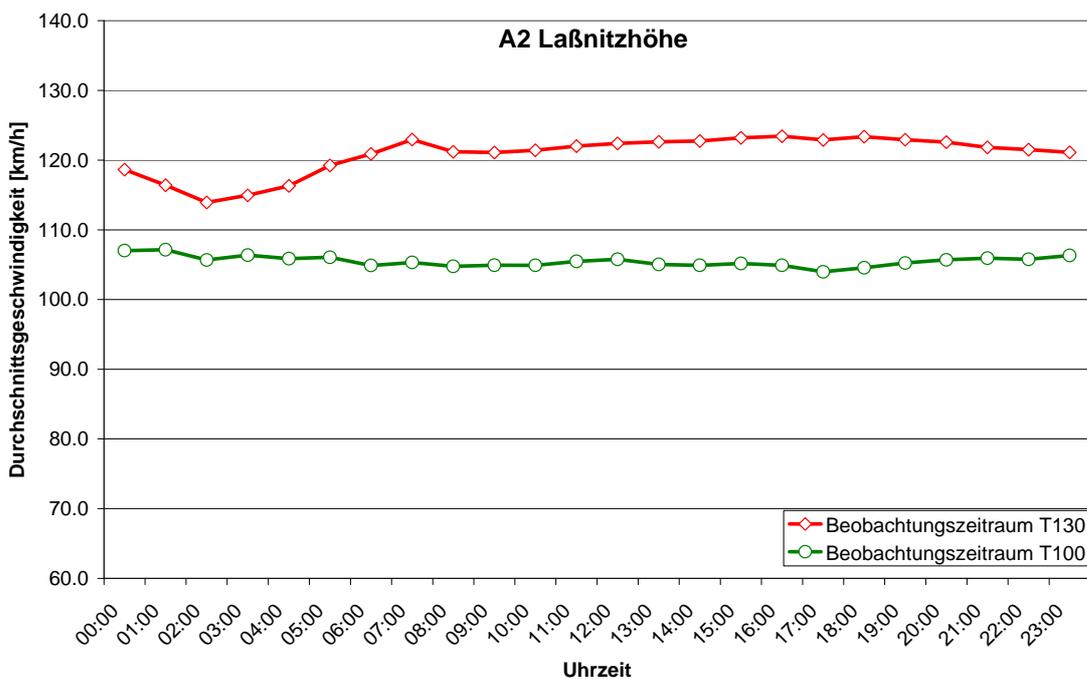


Abbildung 3: Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fahrzeuge < 3.5t hzG, A 2 Laßnitzhöhe

In Abbildung 4 werden die Verteilung der Fahrzeuggeschwindigkeiten für T130 sowie T100 auf der A 9 bei Wundschuh verglichen. Für den Beobachtungszeitraum für Tempo 130 ergibt sich eine Durchschnittsgeschwindigkeit von knapp 117 km/h (rund 6 km/h langsamer als auf der A 2 bei Laßnitzhöhe). Die Streuung der Fahrzeuggeschwindigkeiten ist bei einer Standardabweichung von 15,8 km/h bei Wundschuh für T130 ebenfalls geringer als bei Laßnitzhöhe. Rund 18% der Fahrzeuge fahren schneller als gesetzlich erlaubt. Die Herabsetzung der höchstzulässigen Geschwindigkeit von 130 auf 100 km/h bewirkt eine Absenkung der Durchschnittsgeschwindigkeit auf knapp mehr als 100 km/h. Die Differenz der Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen T130 und T100 ist damit in Laßnitzhöhe und Wundschuh mit jeweils ca. 17 km/h sehr ähnlich. Der Anteil der Fahrzeuge, die die erlaubte Höchstgeschwindigkeiten überschreiten, steigt in Wundschuh bei T100 auf knapp unter 50%, wobei der größte Teil der Fahrzeuge < 3.5t hzG in einem Geschwindigkeitsbereich von 100 bis 110 km/h unterwegs ist.

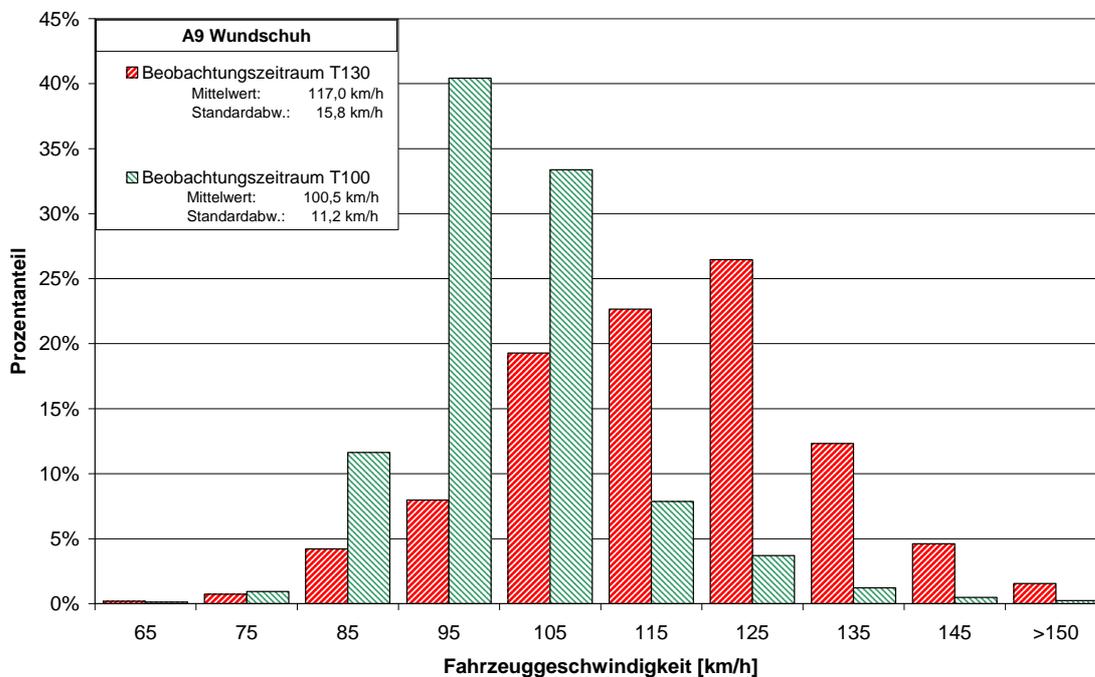


Abbildung 4: Geschwindigkeitsverteilung Fahrzeuge < 3.5t hzG, A 9 Wundschuh

Abbildung 5 zeigt den Tagesgang der Durchschnittsgeschwindigkeiten von Fahrzeugen < 3.5t hzG für die A 9 bei Wundschuh. Sowohl in der Morgenspitze als auch weniger ausgeprägt in der Abendspitze zeigen hier sich gegenüber den restlichen Tageszeiten reduzierte Fahrzeuggeschwindigkeiten.

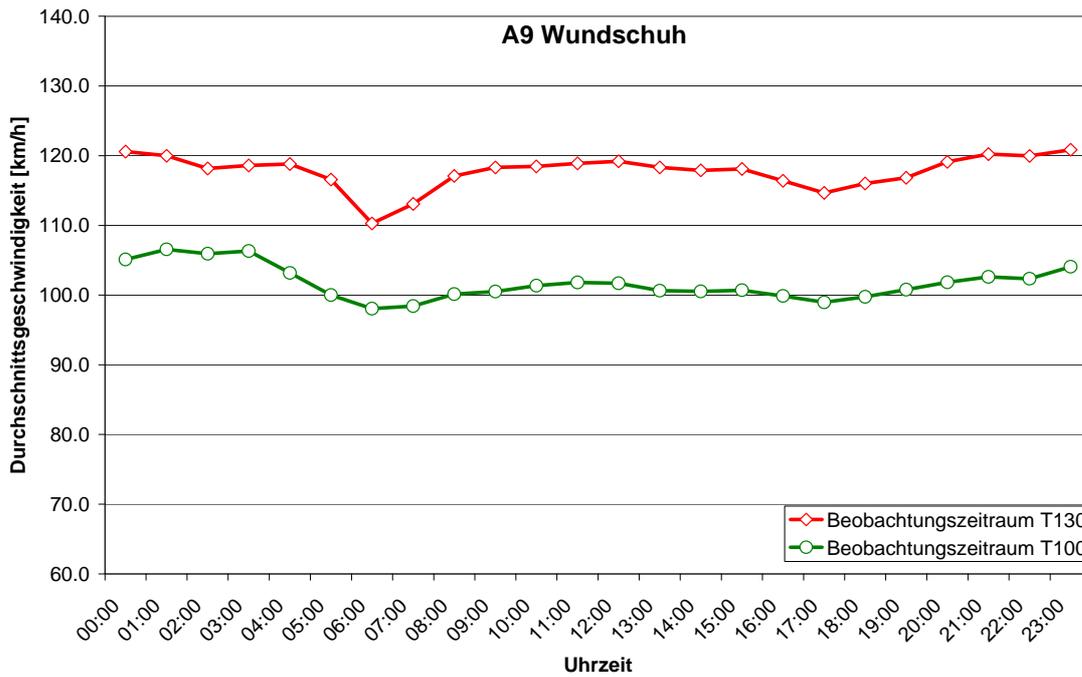


Abbildung 5: Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fahrzeuge < 3.5t hzG, A 9 Wundschuh

Tabelle 4 fasst die hier betrachteten Geschwindigkeitsverteilungen für die A2 und die A9 und die Ergebnisse für drei in [18] und [19] analysierte Querschnitte der Inntalautobahn A12 zusammen. Bei einem Tempolimit von 130 km/h bewegen sich demnach die Durchschnittsgeschwindigkeiten von Fahrzeugen < 3.5t hzG in einem Bereich von 115 bis 123 km/h. Die Streuung der einzelnen Fahrzeuggeschwindigkeiten liegt dabei auf allen untersuchten Querschnitten in einem relativ ähnlichen Bereich (Standardabweichungen von 15 bis knapp 19 km/h). Nach Verordnung von Tempo 100 wurden Durchschnittsgeschwindigkeiten von 100 bis 107 km/h beobachtet, die Standardabweichungen der Geschwindigkeiten der Einzelfahrzeuge reduzieren sich auf 10 bis rund 13 km/h. Somit führt die Verschärfung des Tempolimits von 130 auf 100 km/h je nach betrachtetem Querschnitt zu einer Absenkung der durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit im Bereich von 10 bis 20 km/h. Ebenso nimmt die Streuung der Fahrzeuggeschwindigkeiten ab (Reduktion der Standardabweichungen von knapp 2 bis zu mehr als 6 km/h), d.h. die Geschwindigkeitsunterschiede der einzelnen Fahrzeuge werden geringer.

Tabelle 4: Vergleich Geschwindigkeitsverteilungen von Fahrzeugen < 3.5t hzG bei T130 und T100 auf verschiedenen Autobahnquerschnitten

Autobahnquerschnitt			A 2 Laß-nitzhöhe	A 9 Wundschuh	A 12 Imst*		A 12 Vomp	A 12 Kundl
Tempo 130	Beobachtungs-zeitraum	[Mo-nat/Jahr]	10/06 - 11/06		01/05	05/05	10/06	
					jeweils von 05:00 bis 22:00 Uhr			
	Durchschnitts-geschwindigkeit	[km/h]	123.0	117.0	117.0	117.0	115.6	120.8
	Standard-abweichung	[km/h]	18.7	15.8	14.8	15.0	15.3	15.6
Tempo 100	Beobachtungs-zeitraum	[Mo-nat/Jahr]	01/07 - 02/07		01/06	05/06	11/06 - 12/06 **	
					jeweils von 05:00 bis 22:00 Uhr			
	Durchschnitts-geschwindigkeit	[km/h]	105.1	100.5	107.0	104.4	101.6	101.1
	Standard-abweichung	[km/h]	12.5	11.2	13.2	12.6	12.2	10.2
Maßnah-men-wirkung	Durchschnitts-geschwindigkeit	[km/h]	-17.9	-16.5	-10.0	-12.6	-14.0	-19.7
	Standard-abweichung	[km/h]	-6.2	-4.6	-1.6	-2.4	-3.1	-5.4

* für diese Zählstelle liegen die Geschwindigkeitsverteilungen nur für den Gesamtverkehr vor; die Kennwerte für Fahrzeuge < 3.5t wurden näherungsweise mittels Abzug der aus dem durchschnittlichen Schwerverkehrsanteil ermittelten Anzahl der langsamsten Fahrzeuge aus den Geschwindigkeitsverteilungen für den Gesamtverkehr abgeschätzt

** einzelne Tage mit Verkehrsbehinderungen aus dem Datensatz entfernt

Die Berechnung des Maßnahmeneffekts des Tempolimits auf den Emissionsausstoß in den steirischen Sanierungsgebieten wurde anhand der durchschnittlichen Geschwindigkeitsverteilungen aus den auf der A2 und der A9 ermittelten Werten vorgenommen (durchschnittliche Verteilungen siehe Abbildung 6). Die Durchschnittsgeschwindigkeit für PKW und LNF bei T130 beträgt demnach 120 km/h (Standardabweichung 17,6 km/h), bei T100 wird von einer mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit von knapp 103 km/h ausgegangen (Standardabweichung 12 km/h).

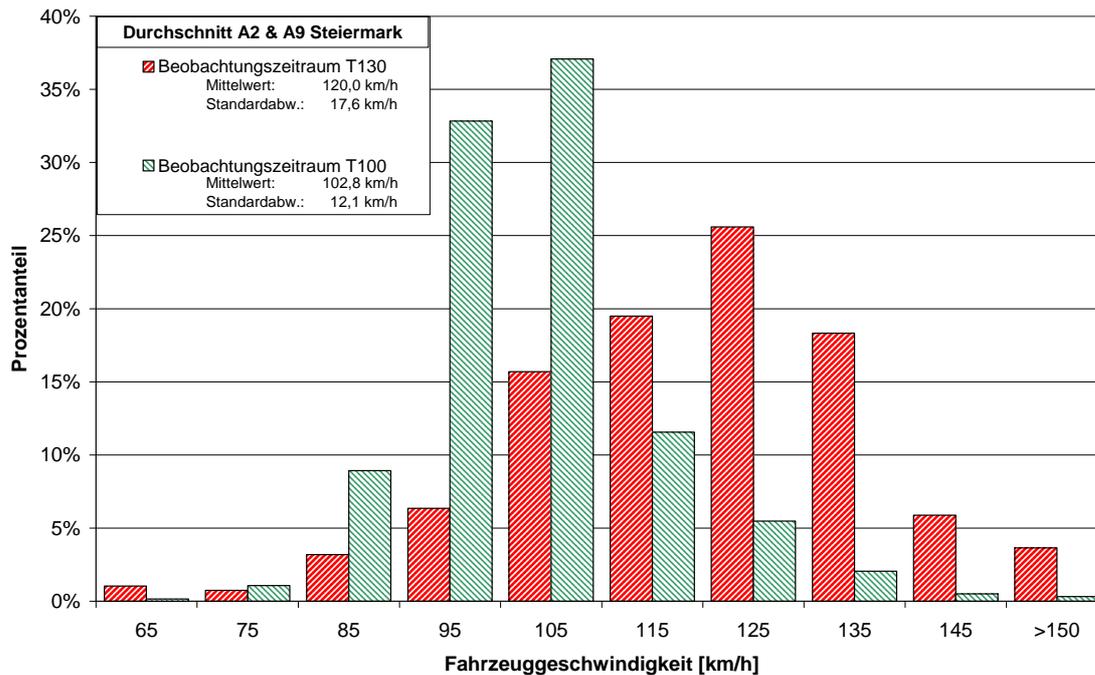


Abbildung 6: In der Emissionsberechnung verwendete durchschnittliche Geschwindigkeitsverteilung Fahrzeuge < 3.5t hzG für die A2 und die A 9

3.3.2 Veränderung des Emissionsniveaus

Nachfolgend wird der emissionsseitige Effekt für die beiden Fahrzeugkategorien PKW und leichte Nutzfahrzeuge diskutiert. Emissionsminderungen ergeben sich einerseits aus dem verringerten Luftwiderstand bei reduzierten Fahrzeuggeschwindigkeiten sowie aus der emissionsseitigen Optimierung von PKW und LNF auf den gesetzlichen Typprüfzyklus „NEDC“, der lediglich Fahrzeuggeschwindigkeiten bis 120 km/h beinhaltet. Bei höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten werden die Fahrzeuge üblicherweise von Herstellerseite auf Kraftstoffverbrauch und Leistungsentfaltung vor allem zu Ungunsten der NO_x -Emissionen ausgelegt [16].

Abbildung 7 zeigt die Veränderung des Kohlendioxid-Ausstoßes von PKW sowie LNF bei T100 gegenüber T130. Durch die Herabsetzung des Tempolimits kommt es für beide betrachteten Fahrzeugkategorien zu einer Reduktion der CO_2 -Emissionen von rund 15%. Der Maßnahmeneffekt auf den Kraftstoffverbrauch entspricht ungefähr den Ergebnissen für den CO_2 -Ausstoß. Auf einem Autobahnabschnitt mit einem typischen Schwerverkehrsanteil von 15% sinkt damit der streckenbezogenen CO_2 -Ausstoß um rund 10%.

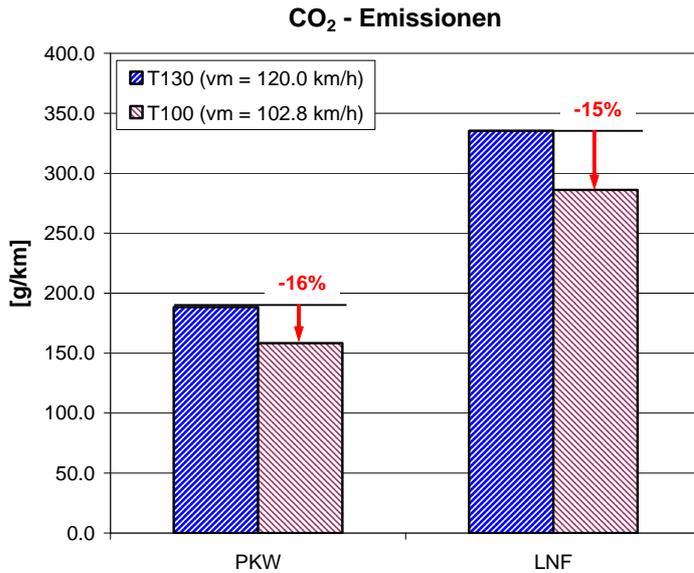


Abbildung 7: Veränderung CO₂-Ausstoß von PKW und LNF bei T100 gegenüber T130 im Beobachtungszeitraum

In Abbildung 8 ist die Veränderung des NO_x-Ausstoßes von PKW und LNF bei T100 gegenüber T130 dargestellt. Für PKW wurde eine Reduktion der NO_x-Emissionen von 24% berechnet. Bei leichten Nutzfahrzeugen ist der Maßnahmenereffekt durch die Herabsetzung des Tempolimits aufgrund des höheren Anteils an Diesel-Fahrzeugen innerhalb der LNF-Flotte mit knapp mehr als 30% noch größer. Auf einem Autobahnabschnitt mit einem typischen Schwerverkehrsanteil von 15% führt dies zu einer Abnahme des Gesamtemissionsniveaus bei NO_x von rund 11% (unter Annahme der Fahrzeugtechnologie gemäß Flottenzusammensetzung des Jahres 2006).

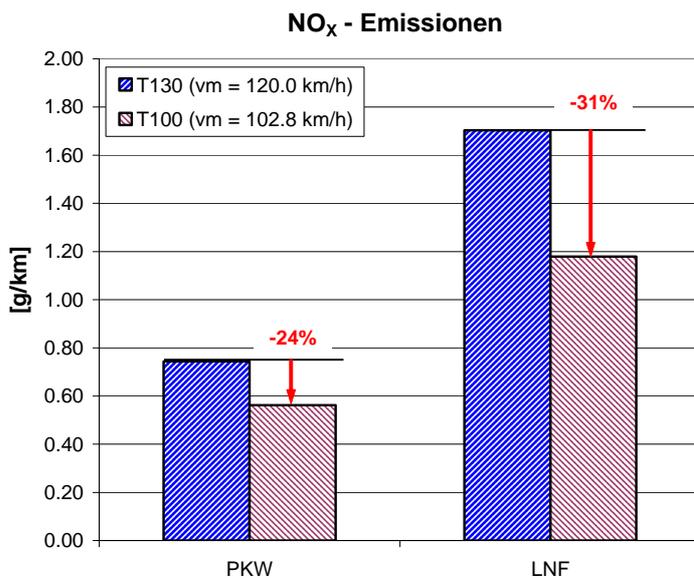


Abbildung 8: Veränderung NO_x-Ausstoß von PKW und LNF bei T100 gegenüber T130 im Beobachtungszeitraum

Abbildung 9 zeigt die berechnete Maßnahmenwirkung für den Ausstoß an motorischem PM₁₀. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Einschätzung des Effektes von verschiedenen Tempolimits auf den Ausstoß an motorischen PM₁₀ für PKW und leichte Nutzfahrzeuge derzeit aufgrund nicht ausreichender Emissionsmessungen zu diesem Thema problematisch erscheint (näheres dazu siehe Abschnitt 2.1.3.2.1). Anhand der Daten aus der aktuellen Version des HBEFA wurde eine Emissionsreduktion bei motorischen Partikeln von rund 30% berechnet. Für einen Autobahnabschnitt mit einem typischen Schwerververkehrsanteil von 15% würde dies eine Verminderung des Emissionsniveaus bei motorischem PM₁₀ von rund 18% bedeuten. Das Gesamtemissionsniveau bei PM₁₀ des betrachteten Autobahnteilstücks inkl. Partikel aus Abrieb und Aufwirbelung gehen damit um rund 9% zurück.

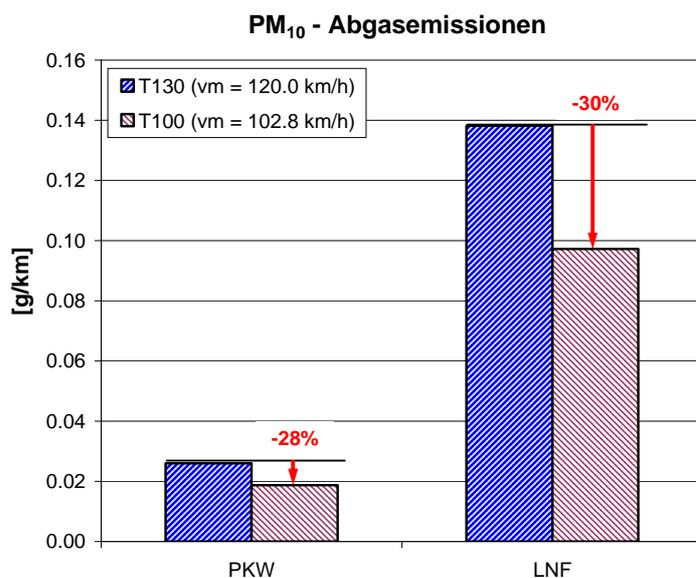


Abbildung 9: Veränderung Ausstoß an motorischem PM₁₀ von PKW und LNF bei T100 gegenüber T130 im Beobachtungszeitraum; **Anmerkung:** Zu den Unsicherheiten in der Abschätzung des Maßnahmeneffektes bei motorischem PM₁₀ siehe Abschnitt 2.1.3.2.1

Eine modellmäßige Quantifizierung des Einflusses verschiedener Tempolimits auf die nicht-motorischen PM₁₀ Emissionen ist anhand der zurzeit international verfügbaren Untersuchungen nicht durchführbar.

3.3.3 Maßnahmeneffekt in den Sanierungsgebieten

Tabelle 5 fasst die Maßnahmenwirkungen durch das im Winter 2006/07 auf bestimmten Autobahnabschnitten verordnete verschärfte Tempolimit auf den Emissionsausstoß zusammen.

Gegenüber T130 ergeben sich demnach in den betroffenen drei Monaten für den Großraum Graz Emissionsreduktionen von rund 1 200 Tonnen CO₂, knapp 8 Tonnen Stickoxiden sowie ca. 400 kg Partikel aus motorischem Abgas. Dies entspricht einer relativen Emissionsabnahme aus dem Straßenverkehr von 1,3% für CO₂, 1,8% bei NO_x sowie 2,6% für Partikel aus dem Fahrzeugabgas. Bezogen auf die Partikelgesamtemissionen (d.h. inklusive PM₁₀ aus Abrieb- und Aufwirbelungsprozessen) des gesamten Verkehrssektors (d.h. inklusive der Emissionen von mobilen Maschinen und Geräten) ergibt sich für den Großraum Graz in den Wintermonaten durch Tempo100 eine Emissionsreduktion von ca. 0,8%.

Das im Winter 2006/07 auf rund 90 Kilometern zusätzlich verordnete Tempo 100 in den Sanierungsgebieten Mittelsteiermark sowie Mittleres Murtal bewirkt Emissionsreduktionen von rund 5 000 Tonnen CO₂, 30 Tonnen NO_x sowie knapp 1,5 Tonnen motorische Partikel. Rund 90% der Emissionsminderungen entfallen dabei aufgrund der weitaus größeren Anzahl an betroffenen Kfz-Kilometern auf das Sanierungsgebiet Mittelsteiermark. Der relative Maßnahmeneffekt ist in der Mittelsteiermark und im Mittleren Murtal jedoch sehr ähnlich: Tempo 100 bewirkt demnach eine Abnahme des Schadstoffausstoßes des Straßenverkehrs von ca. 2% sowohl bei CO₂ als auch bei NO_x sowie rund 3% für motorischen Partikel. Bezogen auf die Summe der Partikelemissionen aus dem gesamten Verkehrssektor liegt die Maßnahmenwirkung bei rund 0,8%.

Die Angaben zu Auswirkungen von Tempolimits auf motorischem PM10 sind allerdings unsicher. Die Effekte von geändertem Tempolimits auf PM10 aus Abrieb- und Aufwirbelungsprozessen sind derzeit nicht quantifizierbar (zu den Unsicherheiten siehe Abschnitt 2.1.3.2).

Tabelle 5: Maßnahmenwirkungen auf den Emissionsausstoß durch T100 auf bestimmten Autobahnabschnitten

	CO ₂		NO _x		PM10 Abgas (Anmerkung: Zu den Unsicherheiten in der Abschätzung des Maßnahmeneffektes siehe Abschnitt 2.1.3.2)		
	[kg/3Monate]	Reduktion bezogen auf CO2 Straßenverkehr	[kg/3Monate]	Reduktion bezogen auf NOx Straßenverkehr	[kg/3Monate]	Reduktion bezogen auf PM10-Abgas aus Straßenverkehr	Reduktion bezogen auf Summe PM10 (Abgas + Aufwirbelung) Verkehrssektor (Straße + Off-Road)
Großraum Graz	-1 197 933	-1.3%	-7 729	-1.8%	-384	-2.6%	-0.8%
Mittelsteiermark	-4 548 042	-1.7%	-27 109	-1.9%	-1 280	-2.8%	-0.7%
Mittleres Murtal	-597 455	-2.0%	-3 569	-2.2%	-161	-3.3%	-0.9%

Da eine Verschärfung des Tempolimits lokal sehr stark unterschiedlich wirkt, kann keine pauschale Quantifizierung der Immissionswirkungen angegeben werden. Unter der Annahme eines typischen Schwerverkehrsanteils von 15% sowie eines typischen Beitrags der lokalen verkehrsbedingten Immissionen an den Gesamtmissionen von ca. 50 % bei PM10 kann in unmittelbarer Nähe der vom Tempo 100 betroffenen Autobahnabschnitte immissionsseitig über längere Zeiträume betrachtet eine Reduktion von ca. 4-5 % bei den PM10-Konzentrationen erwartet werden. Bei den Stickoxidemissionen sind bei typischen 80% Anteil der lokalen verkehrsbedingten Immissionen an stark befahrenen Straßen an den in unmittelbarer Autobahnnähe in der Luft gemessenen NO_x-Konzentrationen durchschnittlichen Verbesserungen der Luftgüte um ca. 9% bei NO_x sowie rund 5% bei NO₂ zu erwarten.

3.4 Tempo 80 auf Freilandstraßen

Außerhalb von Ortsgebieten und abseits des A+S-Netzes sind neben dem Tempolimit noch mehrere andere Einflussgrößen auf das Fahrverhalten und damit auch auf den Emissionsausstoß der Fahrzeuge wesentlich:

- Kurvigkeit und Ausbauzustand der Straße

- Vorhandensein von Steigungs- bzw. Gefällepassagen
- Verkehrsstärke
- Schwerverkehrsanteil am Verkehrsaufkommen (Wechselwirkung mit vorher angeführten Einflussgrößen durch mehr oder weniger Möglichkeiten für Überholvorgänge)

Weiters ist auf Freilandstraßen vor allem bei Betrachtung der Fahrzeugkategorie PKW der individuelle Einfluss der einzelnen Fahrer als sehr groß einzuschätzen, so kann z.B. bei der Zügigkeit der Beschleunigungs- und Bremsvorgänge sowie beim Schaltverhalten der verschiedenen Fahrer von einer großen Streubreite ausgegangen werden.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass für PKW bei Fahrten mit konstanten Geschwindigkeiten im für Freilandstraßen relevanten Geschwindigkeitsbereich von ca. 60 bis 100 km/h das durchschnittliche Emissionsniveau bei sinkendem Geschwindigkeitsniveau tendenziell ebenfalls abnimmt. Die Größe dieses Effektes ist je nach betrachtetem Fahrzeugkonzept und Emissionskomponente sehr unterschiedlich und kann vor allem durch die Gangwahl stark beeinflusst werden. Weiters ist durch eine Verschärfung der Tempolimits auf Freilandstraßen auch eine Abnahme der Anzahl und der Länge von Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen (z.B. am Übergang zwischen kurvigen Passagen und geraden Streckenabschnitten) zu erwarten, was ebenso tendenziell zu Emissionsreduktionen führt.

Derzeit sind international keinerlei grundlegende Untersuchungen zur Beschreibung der komplexen Zusammenhänge zum Fahrverhalten auf Freilandstraßen verfügbar. Dementsprechend ist bereits die Quantifizierung des durchschnittlichen Emissionsniveaus auf Freilandstraßen (im Gegensatz zur Modellierung von Autobahnstreckenabschnitten) mit durchaus beträchtlichen Unsicherheiten behaftet. Als noch viel problematischer ist die Quantifizierung des Effektes von verschärften Tempolimits auf Freilandstraßen einzustufen. Geschwindigkeitsmessungen vor bzw. nach Einführung von T80 (analog zu den vorliegenden Daten von T100 auf Autobahnen) sind für das untergeordnete Netz zurzeit nicht verfügbar. Demnach kann in der vorliegenden Arbeit keine Evaluierung des emissionsseitigen Effektes von Tempo 80 auf Freilandstraßen angegeben werden

Eine fundierte Bewertung des emissionsseitigen Potenzials dieser Maßnahme könnte anhand folgender Datenbasis durchgeführt werden:

1. Vorliegen eines detaillierten Straßengraphen verknüpft mit den Werten für reale Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den einzelnen Streckenabschnitten. Zurzeit ist das Wegenetz im für diese Arbeit herangezogenen Verkehrsmodell des Verkehrsbüros IBV-Fallast lediglich verknüpft mit Durchschnittsgeschwindigkeiten errechnet aus dem Tempolimit und Abminderungsfunktionen aufgrund der lokalen Verkehrsstärke. Alle anderen oben angeführten Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten sind aktuell nicht berücksichtigt. Die Eingabe von realen Geschwindigkeiten (basierend auf Testfahrten mit GPS-Messungen) in das Modell ist möglich, jedoch liegen zurzeit keine ausreichenden Daten vor.
2. Abschätzung der Auswirkungen des verschärften Tempolimits auf das Fahrverhalten anhand von:
 - a. Fahrverhaltensdaten aus Testfahrten (GPS-Messungen für einige repräsentative Straßenabschnitte, auf denen im Basisszenario Tempo 100 verordnet ist, jeweils vor und nach Verordnung von Tempo 80)
 - b. Geschwindigkeitsverteilungen auf repräsentativen Querschnitten von Bundes- und Landesstraßen (evtl. ermittelt aus den automatischen Verkehrszählstellen analog zu den Daten bei der Evaluierung der Tempolimits auf dem Autobahn-

netz. Laut Auskunft der Fachabteilung 18A ist die Möglichkeit der Erfassung der Fahrzeuggeschwindigkeiten bei einigen Verkehrszählstellen auf Bundes- bzw. Landesstraßen in der Steiermark zwar aus technischer Sicht möglich, jedoch werden diese Daten zurzeit nicht aufgezeichnet bzw. ausgewertet.)

In der Vorstudie wurde eine kombinierte Abschätzung für eine flächendeckende Verordnung von Tempo 100 auf dem A+S Netz sowie Tempo 80 auf Freilandstraßen anhand des Verkehrsmodells des Verkehrsbüros IBV-Fallast durchgeführt. Dadurch konnte eine Vorabschätzung der emissionsseitigen Effekte durch das verminderte Geschwindigkeitsniveau auf Autobahnen sowie durch lokale Verlagerungseffekte auf dem Straßennetz (von Autobahn zu untergeordnetem Straßennetz und umgekehrt) abgegeben werden. Auf die entsprechenden Unsicherheiten bezüglich Auswirkungen auf das Fahrverhalten auf Freilandstraßen wurde hingewiesen. Eine isolierte Angabe des emissionsseitigen Effektes von Tempo 80 auf Freilandstraßen ist auf diese Weise nicht möglich.

4 Nachrüstung von Partikel-Katalysatoren

Durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung wurde das Nachrüsten von Fahrzeugen mit Partikelkatalysatoren („PM-Kat“) seit 1.1.2005 mit einem Betrag von 300 Euro (für Fahrzeuge mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht kleiner oder gleich 3.5 t, d.h. PKW und LNF) bzw. 700 Euro (Fzge > 3.5 t höchstzulässiges Gesamtgewicht, „schwere Nutzfahrzeuge“) gefördert. Unterstrichen wurde diese Maßnahme bei PKW durch die Ausnahme von mit PM-Kats nachgerüsteten Dieselfahrzeugen von den Fahrbeschränkungen für Personenkraftwagen und Kombinationskraftwagen mit Dieselmotoren in den Wintermonaten.

Durch diese Maßnahmen konnten steiermarkweit bis Mai 2007 26.800 mit PM-Kats nachgerüstete Fahrzeuge < 3.5t sowie 173 nachgerüstete schwere Nutzfahrzeuge verzeichnet werden.

Die Abschätzung der Auswirkungen auf den Emissionsausstoß in den steirischen Sanierungsgebieten wurde anhand folgender Daten bzw. Annahmen vorgenommen:

1. Der Abscheidegrad der PM-Kats bei PKW wurde mit 30% der Partikelmasse angesetzt, diese Größenordnung ergab sich bei den entsprechenden Messungen im Projekt „TOP“ [20]. Bei ungünstiger Einbaulage (großer Abstand zum Motor) kann auch deutlich weniger Partikelminderung auftreten. Bei schweren Nutzfahrzeugen wurde in der Berechnung ein mittlerer Abscheidegrad von 50% verwendet. In einschlägigen Untersuchungen (z.B. [21], [22]) wurden an LKW sowie Bussen Partikelreduktionen im Rahmen von 30% (bei Betrieb mit fossilem Diesel) bis hin zu 70% (Betrieb mit Biodiesel) gemessen. Einige schwere Nutzfahrzeuge wurden auch mit „echten“ Wall-Flow-Filtern (Abscheidegrad über 95%) nachgerüstet.
2. In der Maßnahmenabschätzung angenommen, dass die 26 800 bei Fahrzeuge < 3.5t geförderten PM-Kats im Wesentlichen bei PKW nachgerüstet wurden. Leichte Nutzfahrzeuge waren erstens nicht von den angekündigten Fahrverboten betroffen, zweitens waren auch nicht für alle gängigen LNF-Typen entsprechende PM-Katalysatoren lieferbar.
3. Eine räumliche Zuordnung der nachgerüsteten Fahrzeuge nach Bezirken bzw. Sanierungsgebieten liegt nicht vor. Es wird daher in der Maßnahmenabschätzung davon ausgegangen, dass alle nachgerüsteten PKW einen Großteil ihrer jährlichen Fahrleistung (Annahme: 75%) innerhalb der steirischen Sanierungsgebiete abwickeln. Bei mit PM-Kats nachgerüsteten schweren Nutzfahrzeugen wird angenommen, dass die nach-

gerüsteten Fahrzeuge im Einsatz bei lokalen Busflotten bzw. kleinräumig operierenden Betreibern (Verteiler-LKW) im Einsatz sind und somit 100% der Jahresfahrleistung auf die Sanierungsgebiete entfallen.

4. Die Werte für die durchschnittliche Fahrleistung eines Fahrzeuges in Kilometer pro Jahr wurden aus den Daten der österreichischen Luftschadstoffinventur [23] entnommen. Demnach kann im Durchschnitt bei PKW von rund 14 000, bei Verteiler-LKW von ca. 35 000 sowie bei Bussen von rund 60 000 zurückgelegten Kilometern pro Jahr ausgegangen werden.
5. Im von Fahrbeschränkungen für Personenkraftwagen und Kombinationskraftwagen mit Dieselmotoren in den Wintermonaten betroffenen Gebiet „Großraum Graz“ kann davon ausgegangen werden, dass das lokale Verkehrsgeschehen von rund 250 000 Einzelfahrzeugen abgewickelt wird (lokaler Bestand ca. 120 000 PKW, dazu noch rund 125 000 regelmäßig einpendelnde Fahrzeuge [24]). Auf Grundlage der mit dem Modell NEMO für den Winter 2006/07 berechneten Zusammensetzung der Fahrzeugflotte nach Antrieb (Benzin, Diesel) sowie Emissionsstandard (z.B. EURO 3, EURO 4) und der Annahme, dass der überwiegende Anteil der mit PM-Kat nachgerüsteten Fahrzeuge im Großraum Graz betrieben wird, kann geschlossen werden, dass hier knapp 25% der nachrüstfähigen⁶ PKW mit einer geförderten Partikelreinigung nachgerüstet wurden.

Tabelle 6 zeigt den berechneten Maßnahmeneffekt durch die Förderung bei der Nachrüstung von Partikelkatalysatoren in Kombination mit der Ankündigung von Fahrverboten für Dieselfahrzeuge vor EURO 4 ohne PM-Kat. Demnach kann durch diese Maßnahmen in den steirischen Sanierungsgebieten von einer Reduktion des Ausstoßes an motorischen Partikel im Laufe eines Kalenderjahres von knapp mehr als 4t ausgegangen werden. Rund drei Viertel der Emissionsminderung dürften davon auf den Großraum Graz entfallen. Bezogen auf den Ausstoß an motorischem PM10 des Straßenverkehrs im Winter 2006/07 bedeutet dies eine Reduktion des entsprechenden Emissionsniveaus um ca. 1,6% (Durchschnitt über alle steirischen Sanierungsgebiete) bzw. knapp 5% (Großraum Graz). Stellt man den Maßnahmeneffekt dem Gesamtausstoß des Verkehrssektors (Straßenverkehr + Off-Road) an Partikeln (inkl. PM10 Emissionen aus Aufwirbelungsprozessen und Abrieb) gegenüber, so ergeben sich Absenkungen im Emissionsniveau von rund einem halben Prozent (Durchschnitt über alle steirischen Sanierungsgebiete) sowie ca. 1,5% (Großraum Graz).

Tabelle 6: Maßnahmenwirkung durch Nachrüstung von Diesel-PKW und schweren Nutzfahrzeugen mit Partikel-Katalysatoren

	Emissionsminderung PM10-Abgas [t/a]	Reduktion bezogen auf PM10-Abgas aus Straßenverkehr	Reduktion bezogen auf Summe PM10 (Abgas + Aufwirbelung) aus dem Verkehrssektor (Straße + Off-Road)
Summe Sanierungsgebiete	4.1	-1.6%	-0.4%
Großraum Graz	2.8	-4.8%	-1.3%

⁶ Nachrüstfähig sind dabei Dieselfahrzeuge ab EURO 2, die nicht schon einen Serienpartikelfilter haben. Von den insgesamt rund 250 000 PKW, die regelmäßig im Großraum Graz verkehren, entsprachen im Winter 2006/07 ca. 100 000 Fahrzeuge den Nachrüstkriterien.

Die Änderung der Partikelanzahl durch einen PM-Kat liegt etwa in der Größenordnung der Senkung der Partikelmasse, siehe auch [20]. Die Gesamtanzahl der in den Sanierungsgebieten bzw. im Großraum Graz emittierten Partikel wurde bislang nicht berechnet. Wegen der deutlich höheren Anteile des PKW-Verkehrs an der Partikelanzahl als an der Partikelmasse des Gesamtverkehrs sind die Effekte auf die Partikelanzahlemissionen des Verkehrs jedenfalls höher einzuschätzen. Für genauere Aussagen dazu müsste die Partikelanzahl in den Kfz-Emissionskataster integriert werden, was von der Datenverfügbarkeit prinzipiell möglich wäre. Die Auswirkungen der Nachrüstung der Fahrzeugflotte mit Partikelkatalysatoren auf CO₂-emissionen sowie gasförmigen Schadstoffemissionen von NO_x, HC, und CO sind vernachlässigbar.

In der Vorstudie [2] wurde für Maßnahmen im Sanierungsgebiet Großraum Graz, in denen eine weitgehend gleichmäßige Verteilung der Maßnahmeneffekte auf den Emissionsausstoß angenommen wurde, eine Methodik zur Abschätzung der luftgüteseitigen Potenziale vorgestellt. Dieser Ansatz basiert auf chemischen Analysen der PM₁₀-Messungen von einer Verkehrsnahen Messstelle (Don Bosco) und einer Messstelle abseits von Hauptverkehrsstraßen („Hintergrundmessung“, Bockberg), aus denen der Anteil des lokalen Verkehrsgeschehens an der gesamten straßennahen PM₁₀-Belastung abgeleitet wurde. Die Analysen wurden an den PM₁₀-Proben von Tagen mit straßennahen PM₁₀-Belastungen größer 50 µg/m³ („Überschreitungstagen“) durchgeführt, dementsprechend können auch nur Aussagen über die luftgüteseitigen Maßnahmenpotenziale für Tage mit erhöhter Feinstaubbelastung angegeben werden. An diesen analysierten Überschreitungstagen im Jahr 2004 betrug die durchschnittliche PM₁₀-Belastung an der Messstelle Don Bosco 77,1 µg/m³, davon entfielen gemäß chemischer Analysen rund 6 µg/m³ auf Partikel aus motorischem Abgas. Durch die Nachrüstung von Diesel-PKW und schweren Nutzfahrzeugen mit Partikel-Katalysatoren im Großraum Graz kann mit einer durchschnittlichen Verbesserung der Immissionsbelastung von PM₁₀ an Überschreitungstagen von 0,2 µg/m³ bzw. relativ rund 0,3% gerechnet werden.

5 Fahrbeschränkungen im Sanierungsgebiet Graz

5.1 Die Maßnahme

Für Personenkraftwagen (Klasse M1) und Kombinationskraftwagen (Klasse M1), die mit Dieselmotoren angetrieben werden und kein Partikelreinigungssystem besitzen, wurde vom 15. Dezember 2006 bis einschließlich 14. März 2007 in der Zeit zwischen 5 Uhr und 21 Uhr ein Fahrverbot im Sanierungsgebiet „Großraum Graz“ ausgenommen Autobahnen und Autostraßen sowie bestimmten Zufahrts- und Abfahrtsstraßen zu Park-and-ride-Plätzen verordnet, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt waren:

1. der PM10-Tagesmittelwert von $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an fünf aufeinanderfolgenden Tagen an zumindest zwei im Sanierungsgebiet gelegenen Messstellen überschritten war, und
2. auf Grund meteorologischer und sonstiger immissionsrelevanter Parameter eine hohe Wahrscheinlichkeit bestand, dass dieser PM10-Tagesmittelwert auch weiterhin überschritten wird.

Das Fahrverbot galt dann ab dem sechsten Tag der andauernden hohen PM10-Belastung.

Die wichtigsten von diesem Fahrverbot ausgenommenen Fahrzeuge waren:

- a) Fahrzeuge die über einen Nachweis verfügen, dass sie mindestens die Abgasgrenzwerte für Partikel in der Höhe von maximal $0,025 \text{ g}/\text{km}$ (d.h. den „EURO 4 Grenzwert für Partikelemissionen im NEDC) einhalten.
- b) Einsatzfahrzeuge, Fahrzeuge im öffentlichen Dienst bzw. von Hilfsdiensten bzw. Fahrzeuge, die zu Aufrechterhaltung der Infrastruktur zwingend notwendig sind.
- c) Fahrten, wenn neben dem Fahrzeuglenker / der Fahrzeuglenkerin mindestens eine weitere Person gleichzeitig befördert wurde.

Damit entspricht die für den Winter 2006/07 für das Sanierungsgebiet Großraum Graz verordnete Variante der Fahrbeschränkungen keinem in der Vorstudie untersuchten Szenario.

Die für das Inkrafttreten der Fahrverbote notwendigen luftgüteseitigen Voraussetzungen wurden im Winter 2006/07 nie erfüllt, dementsprechend kann die Wirksamkeit der Fahrverbote in der vorliegenden Arbeit nicht evaluiert werden. Nachdem auch für den Winter 2007/08 für das Sanierungsgebiet Großraum Graz Fahrbeschränkungen in einer ähnlichen Form angekündigt wurden, werden in diesem Kapitel erste Erkenntnisse aus den Vorarbeiten sowie ein potenzieller Ansatz zur Evaluierung von zukünftigen Fahrverbotsszenarien erläutert.

Konkret wird in diesem Kapitel auf folgende Punkte eingegangen:

- 1) Eine Bestimmung der vom Fahrverbot im Winter 2006/07 betroffenen Anteile der Fahrzeugflotte sowie eine Hochrechnung der Verhältnisse für den Winter 2007/08
- 2) Eine grundsätzliche Beschreibung des vorab geplanten Ansatzes zur emissions- und immissionsseitigen Evaluierung von potenziellen Fahrverbotstagen im Winter 2006/07
- 3) Eine Dokumentation der bereits im Winter 2006/07 durchgeführten Arbeiten.

5.2 Vom Fahrverbot betroffene Flottenanteile

Mit dem Modell NEMO wurde der Anteil der PKW -Flotte berechnet, der aufgrund der technischen Spezifikationen (d.h. ohne Berücksichtigung der Ausnahmegenehmigungen aufgrund der Art des Fahrzeugeinsatzes bzw. des Besetzungsgrades, siehe Punkte b) und c) Abschnitt 5.1) im Winter 2006/07 von den Fahrverboten betroffen war. Auf Grundlage der berechneten Zusammensetzung der Fahrzeugflotte nach Antrieb (Benzin, Diesel) sowie Emissionsstandard (z.B. EURO 3, EURO 4) und der Annahme, dass der überwiegende Anteil der 26.800 mit PM-Kat nachgerüsteten Fahrzeuge im Sanierungsgebiet Großraum Graz betrieben wird, kann geschlossen werden, dass im Großraum Graz knapp 25% der nachrüstfähigen⁷ PKW mit einer geförderten Partikelreinigung nachgerüstet wurden. Damit waren im Winter 2006/07 36% des lokalen PKW-Bestandes an Tagen mit Fahrbeschränkungen gemäß IG-L von den Fahrverboten betroffen. Dies deckt sich sehr gut mit den Erhebungen der Ziviltechnikergesellschaft Sammer&Partner, in denen auf Basis von Erhebungen der Polizei an knapp 300 PKW im Frühjahr 2007 ein von den angekündigten Fahrverboten betroffener Fahrzeuganteil von 38% ermittelt wurde [25]. Auch bezüglich des Anteils an Benzinfahrzeugen bzw. an Fahrzeugen mit Dieselpartikelfilter (DPF) decken sich Berechnung und Befragung sehr gut. Tabelle 7 gibt eine Gegenüberstellung von berechneter und erhobener Zusammensetzung der Fahrzeugflotte.

Tabelle 7: Zusammensetzung der PKW-Flotte

PKW	Berechnung NEMO	Befragung Frühjahr 2007	Berechnung NEMO
	Winter 2006/07	Basis: 299 kontrollierte PKW Quelle: [24]	Prognose Winter 2007/08
Benzinfahrzeuge	38%	36%	35%
Dieselfahrzeug mit DPF (Originalfilter)	14%	10%	21%
Diesel EURO4 ohne DPF	2%	4%	2%
Diesel mit RFK (nachgerüstet)	11%	12%	11%
Diesel sonstige (vom Fahrverbot betroffen)	36%	38%	31%

Der Anteil der gemäß IG-L Maßnahmenverordnung von den Fahrverboten betroffenen Fahrzeuge nimmt im Laufe der Zeit ab. Grund ist die Tatsache, dass pro Jahr ca. 10% der Flotte durch Neufahrzeuge ersetzt werden, und jedes neuzugelassene Fahrzeug die EURO 4 Grenzwerte einhalten muss und damit nicht mehr von den IG-L Fahrverboten erfasst wird. Mit dem Modell NEMO wurde eine Hochrechnung des im nächsten Winter (2007/08) von den Fahrverboten betroffenen Anteils der PKW unter folgenden Annahmen durchgeführt:

⁷ Nachrüstfähig sind dabei Dieselfahrzeuge ab EURO 2, die nicht schon einen Serienpartikelfilter haben

- Es wird von keinen nennenswerten Ausfällen bei den mit RFK nachgerüsteten Fahrzeugen ausgegangen.
- Weiters wird angenommen, dass aufgrund des Auslaufens der Förderungen sowie eines zu erwartenden Sättigungseffektes kaum mehr zusätzliche Nachrüstungen gegenüber Winter 2006/07 durchgeführt werden

Unter diesen Voraussetzungen wurde ein von Fahrverboten gemäß IG-L betroffener Anteil der PKW-Flotte von 31% berechnet. Eine Prognose der Veränderungen der Verkehrsmengen an Fahrverbotstagen im nächsten Winter kann allerdings allein anhand dieser Zahl nicht vorgenommen werden. Dazu wäre von Seiten der Verkehrsplanung eine Abschätzung der Auswirkungen der in der Verordnung der Fahrbeschränkungen für den nächsten Winter enthaltenen Ausnahmegenehmigungen aufgrund der Art des Fahrzeugeinsatzes bzw. des Besetzungsgrades durchzuführen.

5.3 Vorschlag zur weiteren Vorgehensweise

Da die Stadt Graz mit dem großflächigen Fahrverbot eine Vorreiterrolle bei derartigen Maßnahmen einnimmt, stehen international noch keine fundierten Analysen zur Verfügung, aus denen die erforderlichen Arbeitsschritte bei der Evaluierung einer solchen Maßnahme genau vorgegeben werden können. Untenstehend wird die für den Winter 2006/07 geplante Vorgehensweise bei der Evaluierung als Rahmen zum Verständnis der Beschreibung der bereits durchgeführten Arbeiten sowie als Grundlage für die Diskussion über Vorgehensweise für den Winter 2007/08 beschrieben.

Grundlagenuntersuchungen im Bereich Don Bosco

Es werden die Verkehrsmengen und das Fahrverhalten im Basiszustand und bei in Kraft befindlichem Fahrverbot im Bereich der Luftgütemessstelle Don Bosco erhoben. Anhand dieser Daten werden eventuelle Einflüsse der geänderten Verkehrsmengen und der Verkehrszusammensetzung auf Fahrzustände und damit die Emissionsniveaus der Einzelfahrzeuge untersucht. Die Verkehrsmengenerhebungen werden mit den Fahrverhaltensuntersuchungen zeitlich und räumlich koordiniert.

Das Fahrverhalten wird anhand von Messfahrten eines PKW, der mit On-Board Messaufbau für Geschwindigkeit, Drehzahl und Kupplungssignal ausgestattet wird, aufgenommen. Der PKW wird zwei Tage ohne Fahrbeschränkung und zwei Tage mit Fahrbeschränkung im Bereich der Messstelle Don Bosco im Verkehr „mitschwimmen“. Die Messfahrten werden nach Straßenkategorie und Verkehrsaufkommen in „Verkehrssituationen“ kategorisiert. Danach werden mit dem Emissionsmodell PHEM des Institutes die mittleren Emissionen für jede Verkehrssituation anhand der gemessenen Geschwindigkeitsverläufe berechnet.

Mit den im gleichen Zeitraum erfassten Verkehrsmengen bzw. der Änderungen der Verkehrsmengen infolge der Fahrbeschränkung werden dann die gesamten Verkehrsemissionen im Bereich Don Bosco mit und ohne Fahrbeschränkung straßenfein berechnet. Damit erfolgt dann die immissionsseitige Berechnung der Auswirkungen im Bereich Don Bosco ergänzt durch die Datenauswertung (Immissionen) in diesem Bereich.

Ermittlung der Maßnahmenwirkung im Sanierungsgebiet Graz

Ergibt die Grundlagenuntersuchung signifikante Veränderungen der Emissionsfaktoren der Einzelfahrzeuge durch die Fahrbeschränkungen, so wird deren Allgemeingültigkeit für das

gesamte Sanierungsgebiet Graz analysiert⁸ und die Ergebnisse in der weiteren Berechnung verwendet.

Mit den Änderungen der Verkehrsmengen infolge der Fahrbeschränkungen werden dann die Änderungen der Emissionen im Sanierungsgebiet Graz berechnet. Die Berechnung erfolgt dabei nach verschiedenen Gebietstypen (z.B. Stadtzentrum, Randbereich, etc.) sofern die erhobenen Daten regionale Unterschiede aufweisen.

Damit erfolgt dann die immissionsseitige Berechnung der Auswirkungen im Bereich Graz Süd ergänzt durch die Datenauswertung (Immissionen) im diesem Bereich. Auf Basis der Emissionsveränderungen im Streckennetz erfolgt die immissionsseitige Abschätzung der Maßnahmenwirkung auch für das gesamte Stadtgebiet.

5.4 Durchgeführte Arbeiten

Im Winter 2006/07 wurden im Zuge der geplanten Evaluierung der Fahrverbote im Bereich Don Bosco vom Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik Messfahrten zur Erhebung des Fahrverhaltens sowie damit koordiniert vom Ingenieurbüro Sammer und Partner ZT GmbH Erhebungen der Verkehrsmengen für einen Tag im Basisszenario (Dienstag, 16. Jänner 2007) durchgeführt. Die Arbeiten für einen zweiten Tag ohne Fahrverbote sollten erst nach Vorliegen der Ergebnisse für einen ersten Fahrverbotstag erfolgen. Die Dokumentation der vom Ingenieurbüro Sammer und Partner ZT GmbH erhobenen Verkehrsmengen erfolgt in einem getrennten Bericht.

Abbildung 10 gibt einen Überblick über den emissions- sowie immissionsseitig modellierten Bereich Don Bosco. Das im Detail abgebildete Gebiet hat eine Ausdehnung von rund zwei mal zwei Kilometern. Die Hauptverkehrsstraßen im Modellgebiet wurden für die Aufzeichnung des Fahrverhaltens für die Simulation von exakten, kleinräumig gültigen Emissionsfaktoren in 7 Streckenabschnitte eingeteilt⁹:

Bereich „Nord“ (Zufahrt bzw. Abfahrt zur Kreuzung)

Streckenabschnitt 1: Kärntnerstraße Teil Nord

Streckenabschnitt 2: Alte Poststraße

Bereich Kreuzung

Streckenabschnitt 3: Durchfahrt Kärntnerstraße

Streckenabschnitt 4: Durchfahrt Kärntnerstraße – Harterstr. bzw. umgekehrt

Streckenabschnitt 5: Durchfahrt Kärntnerstraße – Alte Postst. bzw. umgekehrt

Bereich „Süd“ (Zufahrt bzw. Abfahrt zur Kreuzung)

Streckenabschnitt 6: Kärntnerstraße Teil Süd

Streckenabschnitt 7: Harterstraße

⁸ Wegen der selektiven Fahrbeschränkung für ältere Diesel-PKW ändert sich der Flottenemissionsfaktor jedenfalls gegenüber dem Ist-Zustand, in der Fahrverhaltensaufnahme wird zusätzlich der Effekt auf die nicht von der Fahrbeschränkung betroffenen Kfz-Kategorien untersucht.

⁹ In der Berechnung der Emissionen für das im Detail modellierte Gebiet wird der Peter Roseggerstraße das Fahrverhalten der Harterstraße zugewiesen. Die Emissionen auf den Nebenstraßen werden die anhand eines Fahrzyklusses aus vorangegangenen Untersuchungen [26] simuliert.

Die Messfahrten zur Erfassung des Fahrverhaltens auf den sieben Streckenabschnitten wurden durch wiederholtes Befahren von drei definierten Routen durchgeführt. Die Fahrer hatten den Auftrag, im Verkehr „mitzuschwimmen“ bzw. ihrem eigenen Fahrstil entsprechend möglichst „natürlich“ zu fahren, falls keine direkt voranfahrenden Fahrzeuge vorhanden sind. Die Umkehrpunkte der Routen (Umdrehen inklusive Brems- bzw. Beschleunigungsphasen) wurden vor der Analyse des Fahrverhaltens aus dem Datensatz entfernt.

Abbildung 11 zeigt die Durchschnittsgeschwindigkeiten der am 16. Jänner ermittelten Fahr- geschwindigkeitsverläufe auf den sieben Streckenabschnitten. Jeder Punkt entspricht einem Fahrzyklus, insgesamt wurden 384 Fahrzyklen aufgezeichnet. Im Bild ist weiters jeweils die mittlere Geschwindigkeit aller auf einem bestimmten Streckenabschnitt aufgenommenen Zyklen angegeben.

Die höchsten Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den Einzelfahrten wurden auf den auf der Kärntnerstraße befindlichen Streckenabschnitten (3 und 6) erfasst. Das niedrigste Geschwindigkeitsniveau wurde bei der Durchfahrt von der Kärntnerstraße Richtung Alte Poststraße bzw. umgekehrt beobachtet (Streckenabschnitt 5). Generell ist die Streuung der Durchschnittsgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrzyklen um den entsprechenden Mittelwert sehr groß. Die Ursache ist vor allem in der zum Zeitpunkt der Zyklusaufzeichnung auftretenden Ampelschaltung bzw. dem momentanen Verkehrsaufkommen zu suchen. Nur auf Streckenabschnitt 7 (Harterstraße südlich des Kreuzungsbereichs) kommt es dagegen zu vergleichsweise kleinen Schwankungen der Durchschnittsgeschwindigkeiten. Genauere Analysen inklusive Einbeziehung der Verkehrszahlen sind erst nach Vorliegen der des kompletten Datensatzes (jeweils zwei Messtrage für das Basisszenario sowie den Fahrverbotsfall) geplant.

In Abbildung 12 sind beispielhaft die mit dem Emissionsmodell PHEM simulierten PM10-Emissionsfaktoren für Diesel-PKW des Emissionsstandards „EURO 3“ dargestellt. Tendenziell verursachen niedrigere Durchschnittsgeschwindigkeiten bei für Stadtverkehr typischen Fahrmustern höhere streckenspezifische Emissionen.

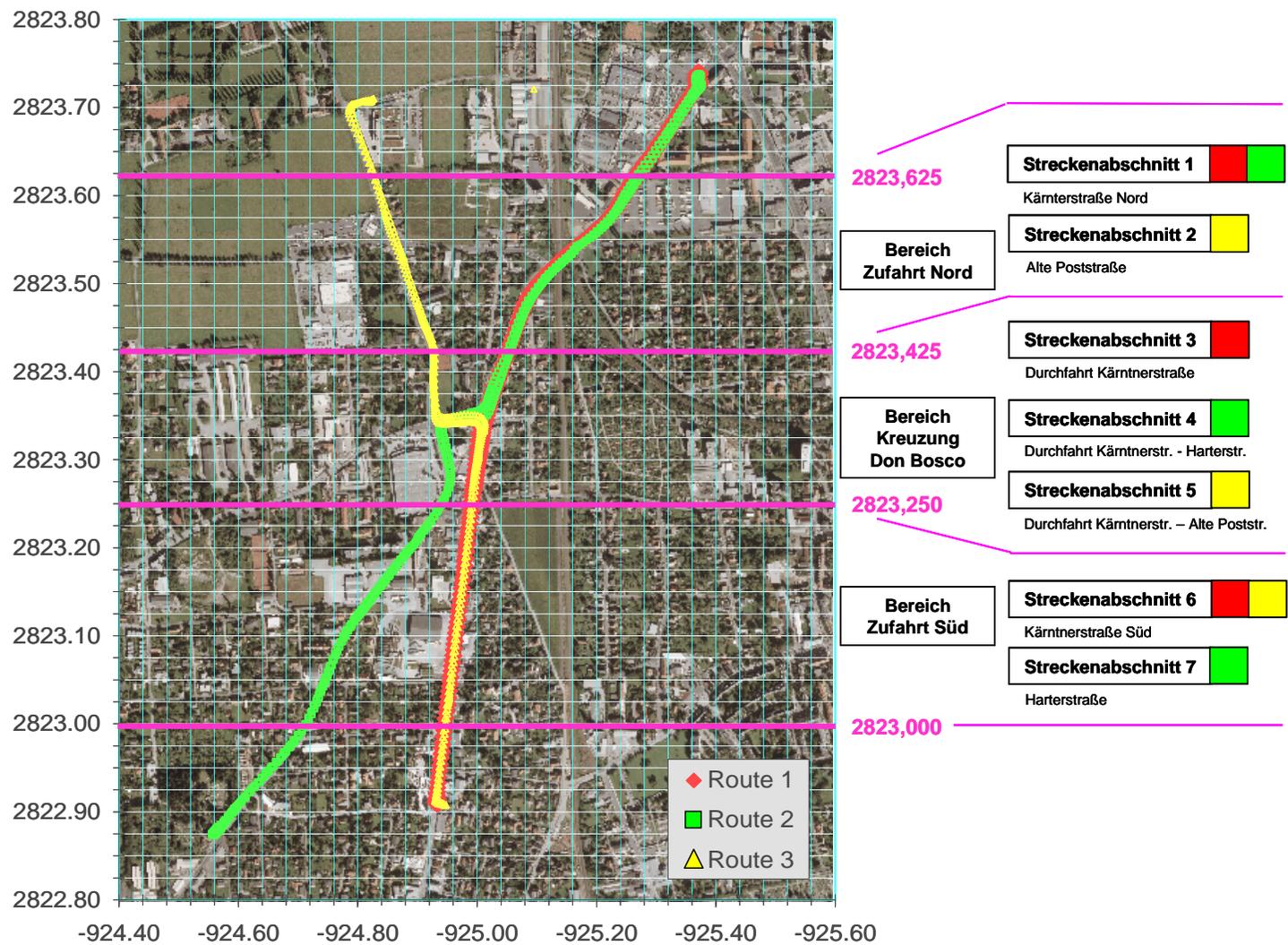


Abbildung 10: Einteilung Streckenabschnitte Bereich Don Bosco

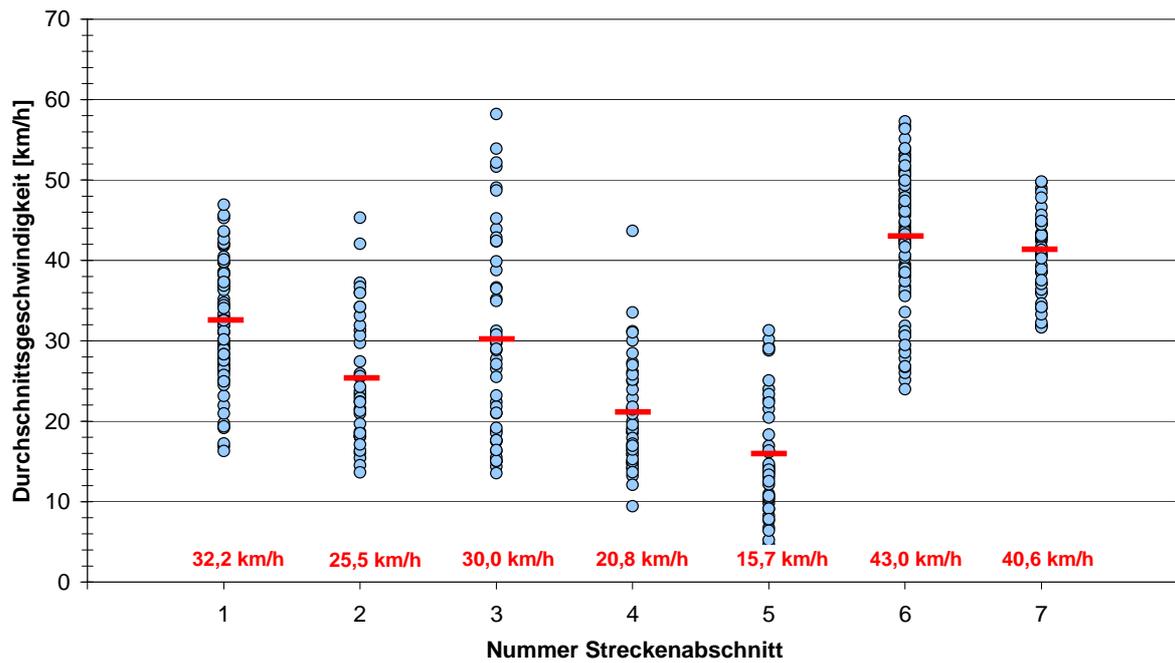


Abbildung 11: Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den sieben untersuchten Streckenabschnitten im Bereich Don Bosco

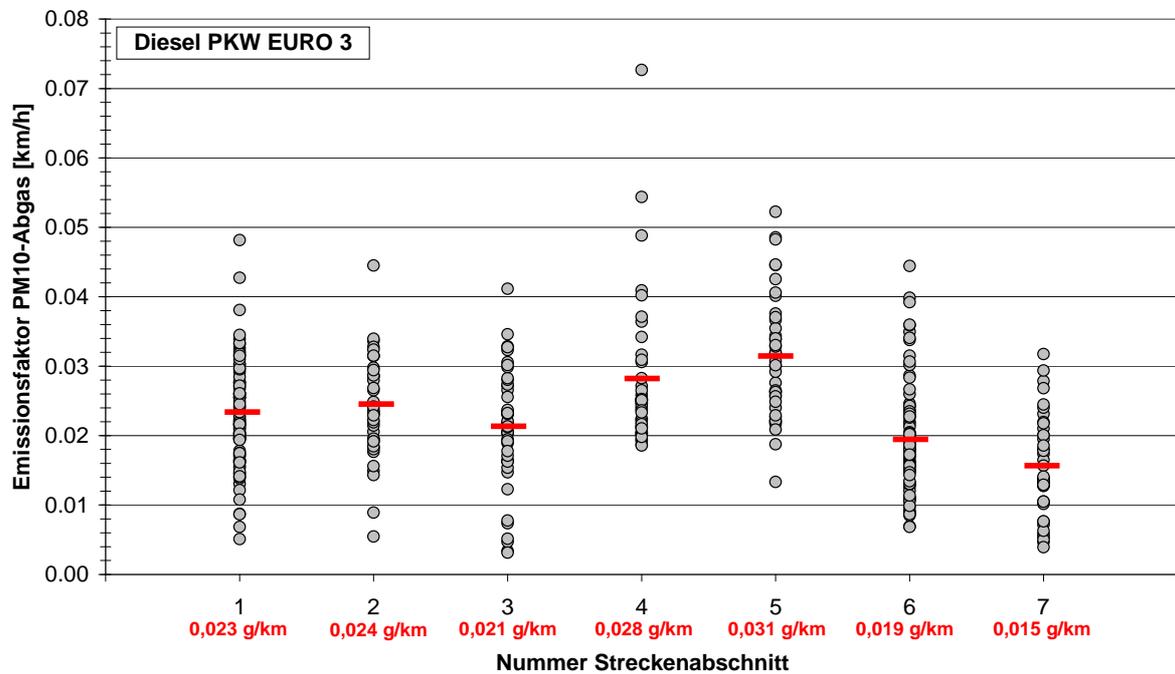


Abbildung 12: Simulierte Emissionsfaktoren für motorische Partikelemissionen von EURO 3 Diesel-PKW auf den sieben untersuchten Streckenabschnitten im Bereich Don Bosco

Der Abschluss der Analysen der Fahrverhaltensdaten und der daraus resultierenden Emissionsfaktoren ist erst nach Vorliegen des kompletten Datensatzes (jeweils zwei Messtrage für das Basisszenario sowie den Fahrverbotsfall) geplant. Die für eine Evaluierung von Fahrverboten kritischen Punkte bei der Auswertung der Daten stellen sich möglicherweise erst nach Vorliegen erster Messungen von Fahrverbotstagen heraus.

Die Erhebungen zur Beschreibung des Bestandsfalls (d.h. des Basiszustandes ohne Vorliegen von Fahrbeschränkungen) müssten allerdings für den Bereich Graz Don Bosco für den Winter 2007/08 wiederholt werden, da aufgrund der Fertigstellung der Bahnunterführung Kärntnerstraße im Bereich der Hohenstaufergasse (im Winter 2006/07 war dieser Bereich nur pro Fahrtrichtung einspurig befahrbar, die Einfahrt Wetzelsdorfer-Straße Richtung Kärntnerstraße war gesperrt) signifikante Veränderung der Veränderung der Verkehrsströme und des Zusammenhanges zwischen Fahrverhalten und Verkehrsmengen zu erwarten sind.

6 Optimierung des Winterdienstes

6.1 Streumiteleinsatz

In Graz wird im Rahmen des Winterdienstes Salz / Feuchtsalz bzw. Basaltsplitt eingesetzt. Vor 2005/06 wurden nur Hauptverkehrsstraßen, Durchzugsstraßen und Straßen, die mit öffentlichen Verkehrsmitteln befahren werden, mit Salz gestreut. Auf den restlichen Straßen wurde bei Bedarf Streusplitt aufgebracht. Grundsätzlich ist das Ziel der Grazer Wirtschaftsbetriebe im Zuge der Einführung des differenzierten Winterdienstes auf allen ebenen Straßen im Stadtgebiet Feuchtsalz mit möglichst geringer Dosierung (5-15 g/m²) auszubringen. Dafür ist jedoch die Anschaffung von modernsten Streugeräten notwendig. Die Wirtschaftsbetriebe werden, sofern die dafür notwendigen Gerätschaften finanziert werden können, bis zum Winter 2008/09 den Umstieg von Split auf Salz/Feuchtsalz Streuung mit Ausnahme der Gehsteige bzw. Gehwege und Bergstraßen vollzogen haben.

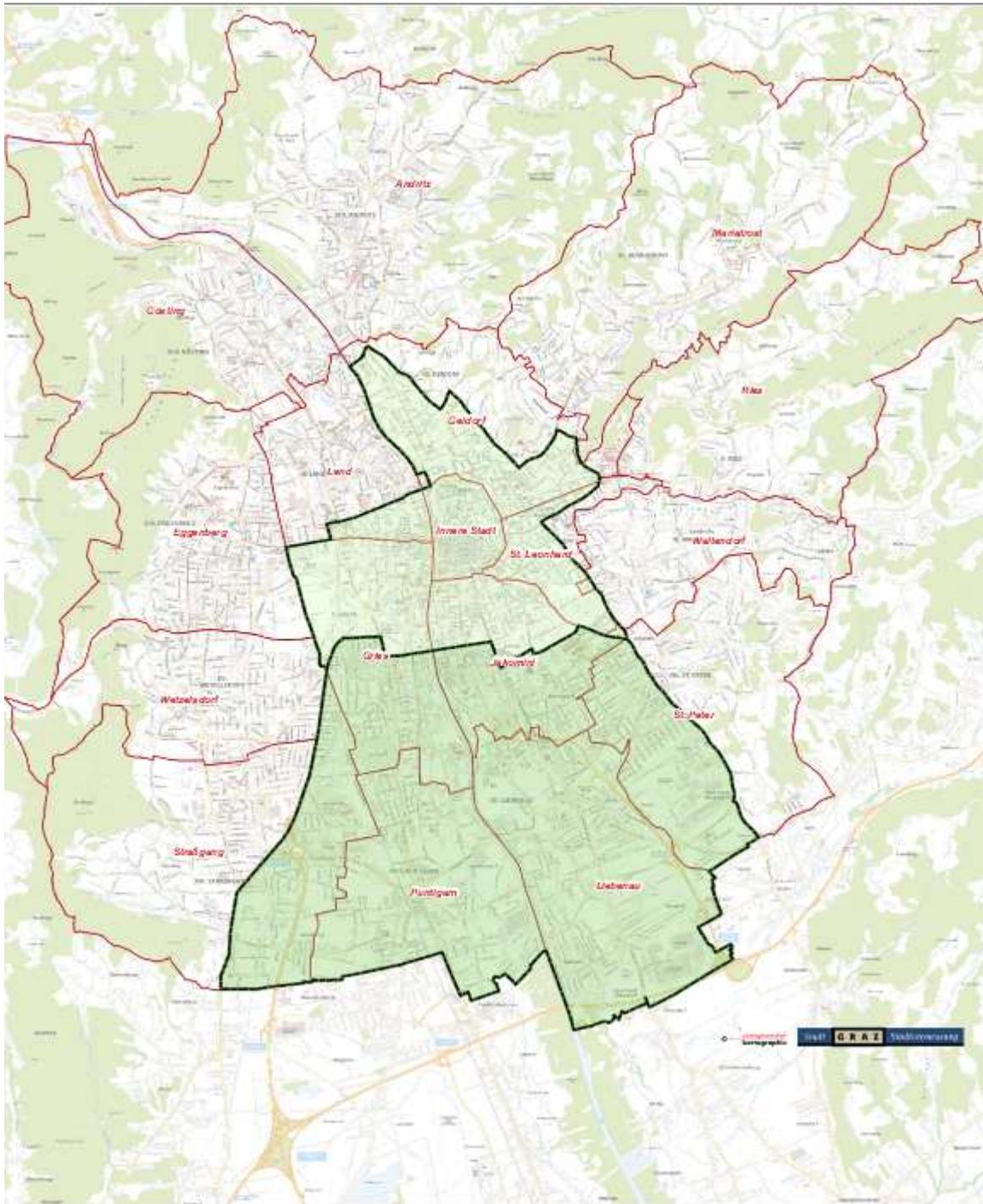


Abbildung 13 Gebiete mit differenziertem Winterdienst. Dunkelgrün markiert sind jene Gebiete die 2005/06 umgestellt wurden (Graz Süd). Hellgrün jene deren Umstellung 2006/07 erfolgt ist (Graz Zentrum).

Abbildung 13 zeigt jene Gebiete die bis zum Winter 2006/07 auf differenzierten Winterdienst umgestellt wurden.

Folgende Aussagen konnten die Grazer Wirtschaftsbetriebe über die eingesetzten Streumengen (Basaltsplitt bzw. Salz) tätigen. Die angeführten Daten beziehen sich auf das gesamte Grazer Stadtgebiet und können den einzelnen Bezirken nicht zugeordnet werden.

Tabelle 8: Eingesetzte Streumengen im Grazer Stadtgebiet

Zeitraum	Streumengen in [t]	
	Basaltsplitt	Salz
Winter 2005/06	5870	2310
Winter 2006/07	913	697

Anzumerken ist, dass die deutlichen Unterschiede der eingesetzten Streumengen vor allem aufgrund des sehr milden Winters 2006/07 zustande gekommen sind.

6.2 Immissionsbelastungen

Die Auswirkungen der geänderten Winterstrategie lassen sich nun über die Immissionsmessungen der Stationen Graz Nord, Graz Mitte und Graz Süd ableiten.

Abbildung 14 zeigt den zeitlichen Verlauf des Verhältnis PM10 zu NO_x an den drei betrachteten Landesmessstellen. Die Messstelle Nord befindet sich in jenem Gebiet, das bis dato noch nicht auf differenzierten Winterdienst umgestellt wurde, Süd in jenem, das 2005/06 umgestellt wurde und Mitte wurde erstmals im Winter 2006/07 auf differenzierten Winterdienst umgestellt. Nachstehende Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf des Verhältnis PM10 zu NO_x an den drei betrachteten Landesmessstellen. Die Darstellung basiert auf den Tagemittelwerten, die dann auf Wintermittelwerte zusammengefasst wurden.

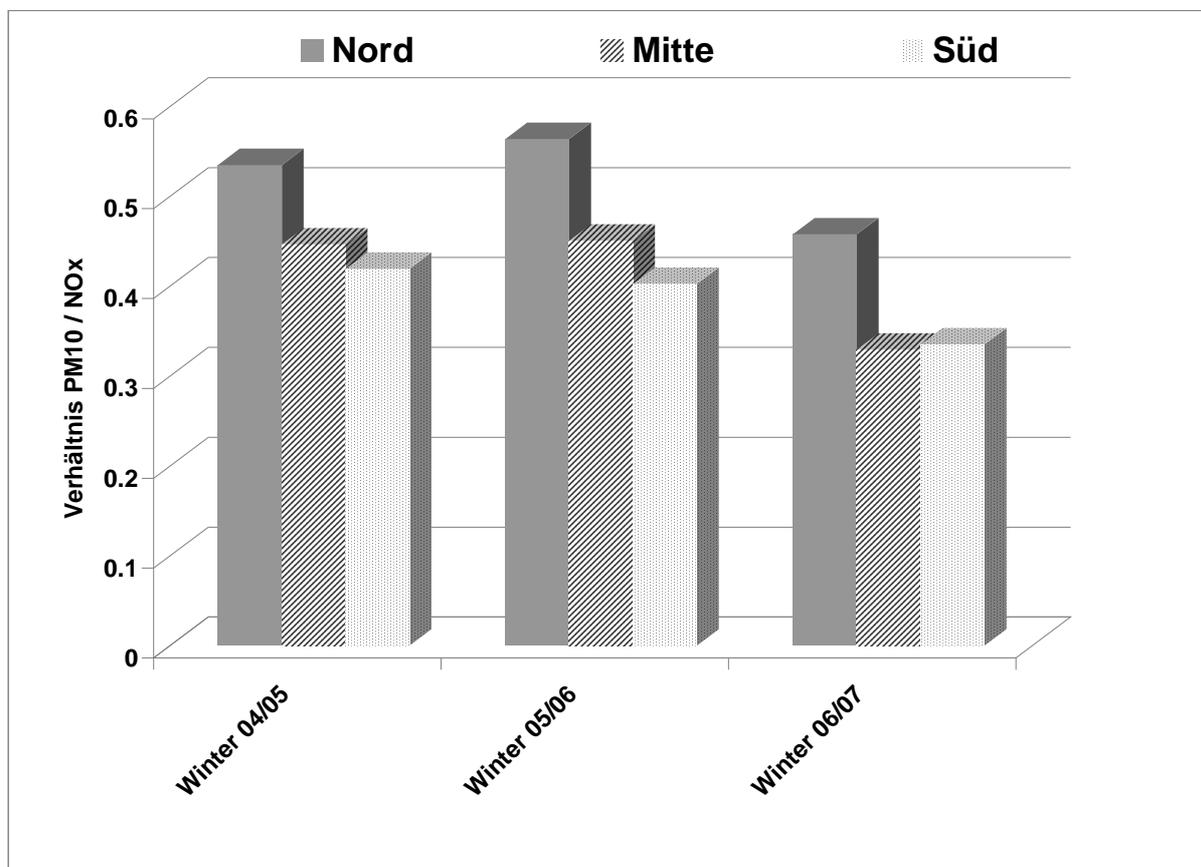


Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf von PM10 / NO_x vom Winter 2004/05 bis 2006/07.

Tabelle 9 zeigt den Trend basierend auf der Auswertung des PM10/NO_x Verhältnisses. Dabei wird jeweils die Veränderung gegenüber dem unmittelbar vorhergehenden Winter angegeben.

Tabelle 9: Veränderung von PM10 / NO_x

Zeitraum	Prozentuelle Veränderung		
	Graz Nord	Graz Mitte	Graz Süd
Winter 2003/04 -> Winter 2004/05	+7 %	+1 %	+6 %
Winter 2004/05 -> Winter 2005/06	+5 %	+1 %	-4%*
Winter 2005/06 -> Winter 2006/07	-23 %	-37 %*	-20 %*

* bereits auf differenzierten Winterdienst umgestellt

Der Winter 2005/06 zeichnete sich durch eine relativ lange Periode mit geschlossener Schneedecke aus, während im Jahr 2006/07 ein sehr warmer Winter ohne Schnee vorlag. Die meteorologischen Unterschiede dieser Winter werden durch die Normierung aus NO_x ausgeglichen, sodass jede Veränderung der PM10/NO_x Verhältnisses vorwiegend auf eine geänderte PM10 Emission zurückzuführen ist.

2005/06 zeigte sich bei Graz Nord und Graz Mitte ein Anstieg dieses Verhältnisses, während Graz Süd eine Abnahme aufwies. Relativ gesehen ergibt sich bei Graz Süd eine ca. 10%-ige Reduktion gegenüber Graz Nord bzw. 5% gegenüber Graz Mitte.

Durch den sehr milden Winter 2006/07 konnte bei allen drei Messstellen eine deutliche Reduktion des NO_x/PM10 Verhältnisses betrachtet werden. Da die meteorologischen Unterschiede bereits durch die Normierung auf NO_x berücksichtigt wurden, ist die PM10 Reduktion eindeutig auf eine Verringerung der Feinstaubemissionen zurückzuführen. Feinstaubemissionen betreffen den Hausbrand gleichermaßen, wie die Streumittelausbringung. Unter der groben Annahme, dass sich die Hausbrandemissionen in gesamt Graz in ähnlicher Weise reduziert haben, bleibt die gegenüber dem Vorjahr geänderte Streustrategie in Graz Mitte als alleinige Variable übrig. Die relative Veränderung von Graz Mitte zu Graz Nord beträgt ca. minus 14%. Im Winter 2005/06 war hier bei einer unveränderten Streustrategie ein relativer Unterschied von minus 4% zu verzeichnen. Der Unterschied in Graz Süd beträgt nur minus 17%, wobei im Vorwinter ein Plus von 5% zu verzeichnen war.

Aus dieser Analyse ist erkennbar, dass durch die Umstellung auf Feuchtsalzaufbringung qualitativ eine merkliche Reduktion der PM10-Belastung nachgewiesen werden kann. Die quantitative Beurteilung ist nicht so problemlos ableitbar, da die Feinstaubemissionen des Hausbrandes nicht gleich verteilt über Graz vorliegen und somit lokale Änderungen im Emissionsverhalten im Winter 2006/07 gegenüber 2005/06 bzw. 2004/05 auch immissionsseitig lokal unterschiedlich sind. Als grobe Abschätzung lassen sich jedoch immissionsseitig Verbesserungen durch die geänderte Streustrategie in der Größenordnung von 10% des verkehrsbedingten PM10-Anteils angeben. Umgelegt auf den Winter 2006/07¹⁰ ergibt sich damit durch die Maßnahme eine Reduktion der PM Emissionen in der Größenordnung von ca. 3 Tonnen. Eine Ausdehnung der Umstellung der Streustrategie auf das gesamte Grazer Stadtgebiet würde demnach PM10-Emissionsminderungen von ca. 7 Tonnen ergeben.

¹⁰ Annahmen: Maßnahme über ca. 4 Monate wirksam; rund 40% der Kfz-Verkehrsleistung in Graz von der Umstellung der Streustrategie im Winter 2006/07 betroffen

7 Fördermaßnahmen zur Minimierung der Hausbrandemissionen

7.1 Fördermaßnahme des Magistrates Graz

Ziel der Fördermaßnahmen ist es die Feinstaub-Emissionen durch Förderung der Umstellung von Einzelofenheizungen mit festen und flüssigen Brennstoffen auf Anlagen für leitungsgebundene Energieträger wie Fernwärme und Erdgas zu verringern. Ausgehend von der tatsächlichen Luftbelastungssituation wurde der Austausch in der Stadt Graz vorrangig in den Bezirken Straßgang, Puntigam, Liebenau und Jakomini gefördert.

Zuschüsse werden gewährt, wenn die Anlage einer ständigen Nutzung dient und die bisherige Raumheizung zur Gänze mit festen Brennstoffen oder mit flüssigen Brennstoffen in einer Feuerungsanlage, die auch für die Verfeuerung fester Brennstoffe konstruiert ist, erfolgt. Die genutzte Anlage muss vor dem 1.1.1994 errichtet worden sein. Um für eine Förderung in Frage zu kommen, muss die bestehende Anlage durch Fernwärme oder eine moderne Erdgasheizung mit Brennwerttechnik ersetzt werden. Sind nachweislich weder ein Fernwärme- noch ein Erdgasanschluss zum Einreichzeitpunkt oder innerhalb eines Jahres möglich können auch Umstellungen auf Erd- oder Grundwasserwärmepumpen, Pelletsheizungen bzw. Ölbrennwertsysteme gefördert werden. Darüber hinaus gilt die Förderung für BewohnerInnen der Stadt Graz, welche die sozialen Kriterien der Brennstoffaktion des Sozialamtes der Stadt Graz erfüllen.

Das Ausmaß der Förderung beträgt 30 bis 100 % der anerkannten Investition. Der Zuschuss beträgt inkl. USt maximal 120 € / m² Wohnnutzfläche. Bei Haushalten mit bis zu 2 Personen werden maximal 70 m² Wohnnutzfläche anerkannt, für jede weitere im Haushalt lebende Person werden zusätzlich 15 m² Wohnnutzfläche anerkannt.

Zwischen 16.6.2005 und 20.6.2007 wurden insgesamt 148 Umstellungen von Einzelofenheizungen gefördert. Der Großteil der Wohnungen wurde vor der Umstellung mit Öl beheizt, Tabelle 10 zeigt die Brennstoffverteilung der zur Umstellung geförderten Heizungssysteme.

Tabelle 10: Brennstoffverteilung vor Umstellung der betroffenen Heizungsanlagen

Brennstoff	Anzahl der Heizungsanlagen	Prozentuale Aufteilung
Öl	91	61,5 %
Kohle	50	33,8 %
Holz	3	2,0 %
Unbekannt	4	2,7 %

Von den betroffenen Wohnungen wurden 144 auf Fernwärme umgestellt (das entspricht 97,3 %), lediglich bei 4 Wohnungen (2,7 %) erfolgte eine Umstellung auf Gas.

7.2 Emissionsverminderung aufgrund der Umstellung der Heizanlagen

Für die Berechnung der Emissionsverminderung werden die PM₁₀ Emissionen der alten Anlage berechnet und davon die Emissionen der neuen Anlage in Abzug gebracht. Die Berechnung der Emissionen basiert auf folgendem Ansatz:

$$\text{Emission}_{(\text{PM}_{10})} [\text{kg/a}] = \text{Energiebedarf}_{(\text{Gradtageszahl})} [\text{TJ/m}^2.\text{a}] * \text{Wohnnutzfläche} [\text{m}^2] * \text{Emissionsfaktor} [\text{kg/TJ}]$$

Als Ausgangsbasis zur Berechnung des Energiebedarfes der Heizung wird ein jährlicher Energiebedarf von 90 kWh pro Quadratmeter Wohnnutzfläche bei einer Gradtageszahl von 3500 angenommen [27]. Dieser wird mit einem für das ganze Land einheitlichen, durchschnittlichen Faktor für die Wärmedämmung von 1,5 für Gebäude, die vor 1991 errichtet wurden bzw. 1,0 für Gebäude die nach 1991 errichtet wurden, multipliziert [27]. Da das Baujahr der geförderten Wohnungen nicht bekannt ist aber angenommen werden kann, dass hauptsächlich ältere Wohnungen betroffen sein werden, wurde einheitlichen der Faktor 1,5 berücksichtigt. Der Berechnungszeitraum wurde mit Mai 2006 bis April 2007 festgelegt. In dieser Zeitspanne wurde in Graz eine Gradtageszahl von 2216 erreicht. Unter Berücksichtigung dieser oben beschriebenen Ausgangsdaten ergibt sich damit für Grazer Wohnungen ein Energiebedarf von 85,5 kWh/m².a.

Basierend auf diesem berechneten Energiebedarf wurden die vor der Umstellung freigesetzten Emissionsmengen für die einzelnen Haushalte berechnet. Die eingesetzten Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 11) wurden dem Grazer Emissionskataster entnommen und sind damit für die Grazer Wohnungssituation repräsentativ [28]. Jenen Wohnungen, deren Heizungsart vor der Umstellung unbekannt ist, wird eine Kohle bzw. Ölheizung zugeordnet. Daher werden die Emissionen mit einem Mittelwertemissionsfaktor zwischen Kohle und Öl berechnet.

Tabelle 11: Emissionsfaktoren PM₁₀ für private Haushalte in Graz [28]

Brennstoff	Emissionsfaktor [kg/TJ]
Öl	0,274
Kohle	190,628
Holz	35,372
Unbekannt*	95,451

* für jene Haushalte deren Brennstoff vor der Umstellung nicht bekannt ist, wurde ein Mittelwert aus Öl und Kohle verwendet.

Durch die Umstellung auf Gas bzw. Fernwärme kann eine 100% Einsparung der Emissionen im Grazer Stadtgebiet erzielt werden. Tabelle 12 zeigt welche Einsparungsmengen durch die Umstellung erzielt werden konnten.

Tabelle 12: Emissionseinsparung PM₁₀ durch Heizungsumstellung

Brennstoff	Emissionseinsparung [kg/a]	Anteile [%]
Öl	0,4	0,2
Kohle	162,0	93,8
Holz	1,7	1,0
Unbekannt*	8,6	5,0
Gesamt	172,7	100

Wie Tabelle 12 zeigt, trägt vor allem die Umstellung alter Kohle Einzelöfen positiv zur Verbesserung der Emissionssituation bei.

7.3 Veränderung der Immissionsituation aufgrund der Umstellung der Heizanlagen

Basierend auf den Emissionsberechnungen wurde der PM_{10} Immissionsbeitrag der einzelnen Wohnungen vor der Umstellung berechnet. Dieser entspricht direkt der eingesparten Emissionsmenge. Für die Berechnung der Verbesserung immissionsseitig wurden ausgehend von der Emissionsberechnung die Wohnungen verortet (siehe Abbildung 15) und mit einheitlichen Parametern für die Heizungsanlage versehen (siehe Tabelle 13).

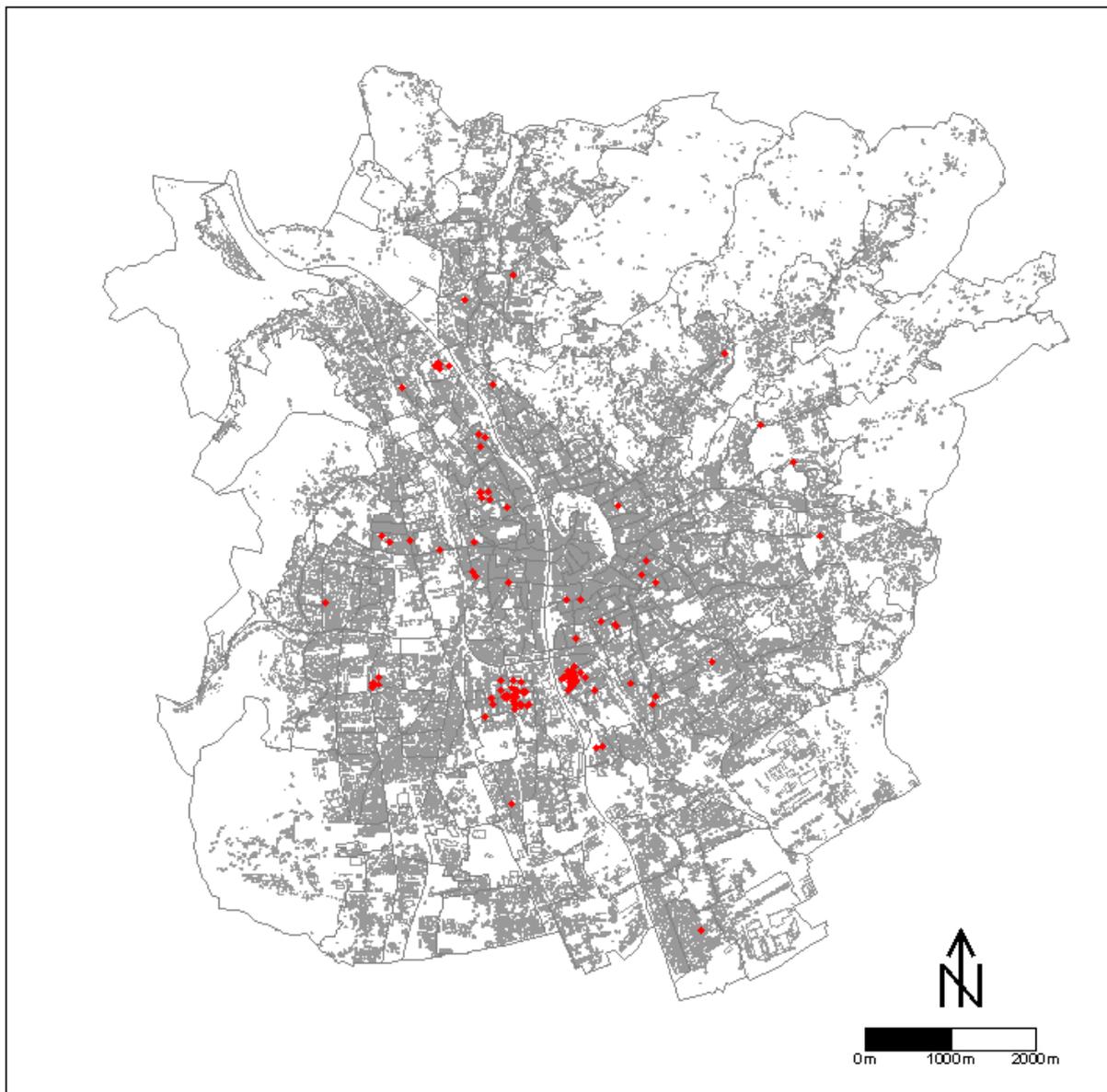


Abbildung 15: Räumliche Verteilung der geförderten Heizungsumstellung in Graz.

Tabelle 13: Parameter zur Berechnung der Punktquelle

Höhe Kamin [m]	10
Durchmesser Kamin [m]	0,3
Geschwindigkeit Abgasstrom [m/s]	0,1
Temperatur Abgasstrom [°C]	10

Nachstehende Abbildungen zeigt die erzielte Verbesserung der Immissionsituation während der Wintermonate Anfang November bis Ende März. In Abbildung 16 ist der Wintermittelwert dargestellt, Abbildung 17 zeigt den Tagesmaximalwert für die berücksichtigten Wintermonate.

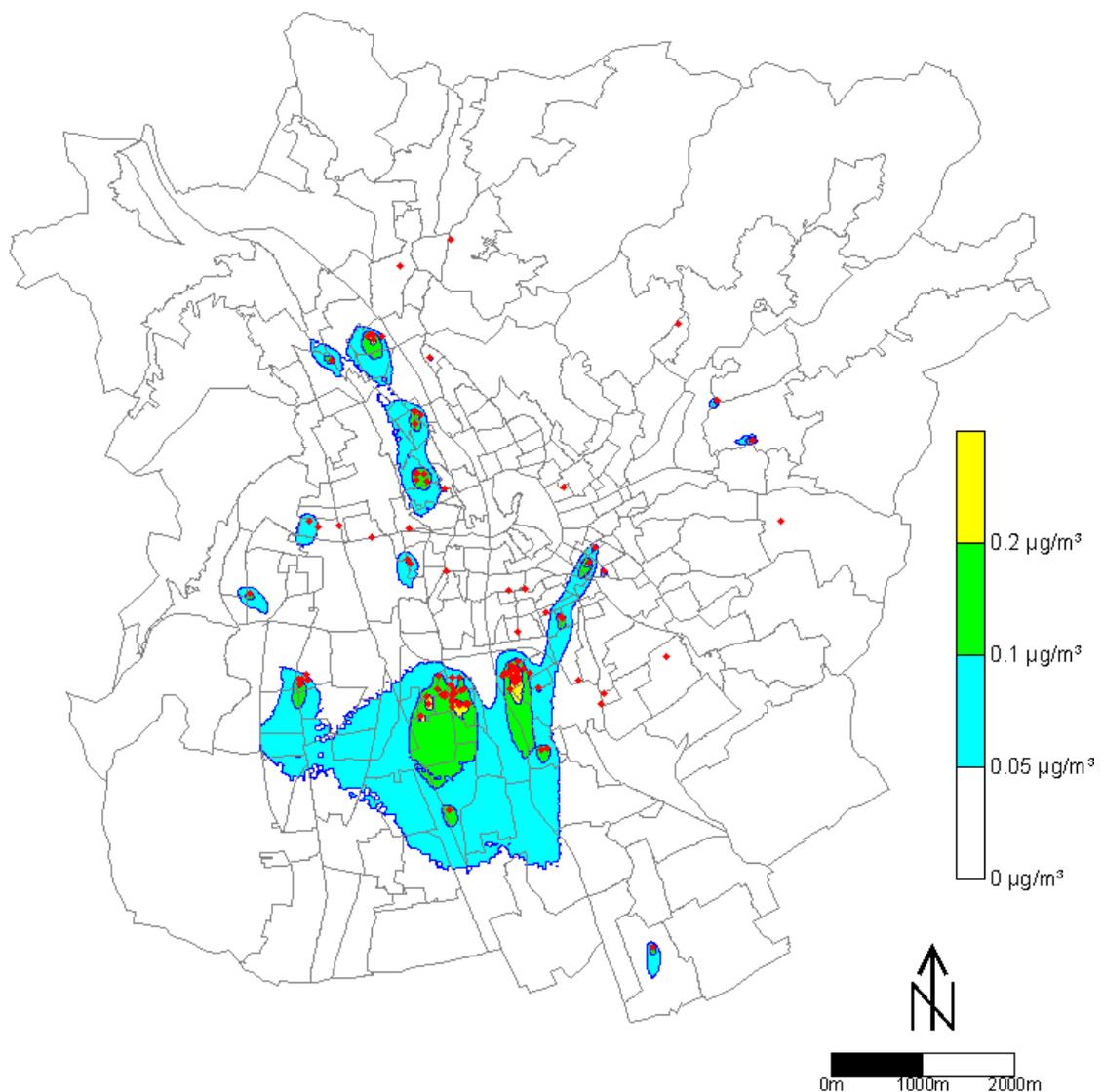


Abbildung 16: PM₁₀ Immissionsverbesserung durch die geförderten Heizungsumstellung. Dargestellt ist der Wintermittelwert (November-März) in [µg/m³]. Die höchste kleinräumige Entlastung beläuft sich auf 0,42 µg/m³.

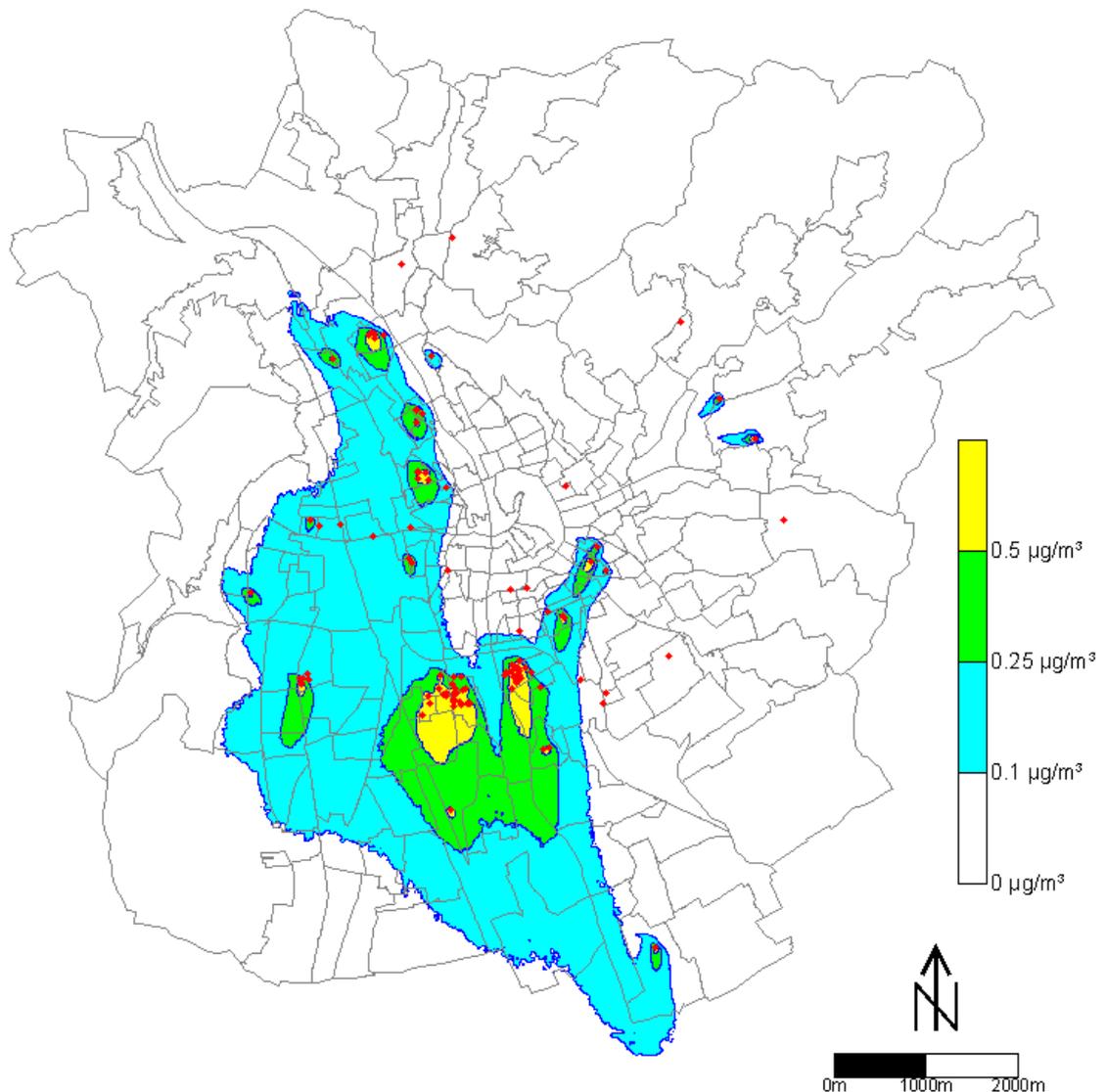


Abbildung 17: PM₁₀ Immissionsverbesserung durch die geförderten Heizungsumstellung. Dargestellt ist der Tagesmaximalwert in den Monaten November bis März in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Die höchste kleinräumige Entlastung beläuft sich auf $1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Wie die Darstellungen zeigen, haben die bis jetzt durchgeführten Umstellungen bezogen auf das Grazer Stadtgebiet lokal unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesamt-Feinstaubsituation. Vor allem jene Gebiete die sehr gut belüftet sind (Nord- und Ostgraz) zeigen kaum bis keine Änderung der Immissionsituation. Anders stellt sich die Situation in jenen Bereichen dar, die eine schlechtere Durchlüftung besitzen (im Süden und vor allem Westen der Landeshauptstadt). Hier wurden in jenen Bereichen, in denen auf sehr kleiner Fläche zahlreiche Wohnungen umgerüstet wurden, Verbesserungen erzielt. So lassen sich in unmittelbarer Nähe zu den einzelnen Objekten Reduktionen der PM₁₀ Immissionsbelastung von bis zu $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf den Wintermittelwert und $1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf den Tagesmaximalwert abschätzen.

8 Zusammenfassung

Infolge der Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte nach Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L), speziell bei PM 10, wurden für den Winter 2006/2007 Maßnahmen zur Emissionsminderung gesetzt. In der hier vorliegenden Arbeit wurden die Maßnahmen bezüglich der Wirkungen auf Schadstoffemissionen und PM 10 Luftgüte in steirischen Sanierungsgebieten evaluiert.

8.1 Tempolimits 100/80

Vom 15.12.2006 bis 14.03.2007 wurde auf Autobahnabschnitten mit durchschnittlichen Verkehrsstärken größer als 30 000 Fahrzeugen pro Tag ein Tempolimit von 100 km/h verordnet. Weiters galt in demselben Zeitraum in den steirischen Sanierungsgebieten auf Freilandstraßen generell Tempo 80 km/h.

Für die Evaluierung des Effektes der Verschärfung des Tempolimits auf Autobahnen wurden Geschwindigkeitsmessungen auf der A 2 bei Laßnitzhöhe sowie auf der A 9 bei Wundschuh analysiert. Auf der A 2 wurde eine Absenkung der durchschnittlichen Geschwindigkeit von Fahrzeugen <3,5t höchstzulässigem Gesamtgewicht von 123 km/h auf 105 km/h beobachtet. In Wundschuh sank das Niveau der Durchschnittsgeschwindigkeit aufgrund der Verschärfung des Tempolimits von 117 km/h auf 105 km/h.

Anhand dieser beobachteten Änderungen des Fahrverhaltens wurden die emissionsseitigen Änderungen simuliert. Für die von der Verschärfung des Tempolimits betroffenen Fahrzeugkategorien PKW und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) ergibt sich bei T100 gegenüber T130 eine Emissionsreduktion bei CO₂ von rund 15%. Bei NO_x-Emissionen kann durch die Maßnahme mit einer Abnahme von ca. 24% (PKW) sowie 31% (LNF) gerechnet werden. Der Rückgang des Ausstoßes an motorischen Partikeln bei T100 gegenüber T130 wurde bei PKW und LNF mit ca. 30% berechnet, die diesbezügliche Datenlage ist allerdings unsicher. Eine modellmäßige Quantifizierung des Einflusses verschiedener Tempolimits auf die nichtmotorischen PM10 Emissionen ist anhand der zurzeit international verfügbaren Untersuchungen nicht durchführbar. Auf einem Autobahnabschnitt mit einem typischen Schwerverkehrsanteil von 15% führen diese Emissionsreduktionen bei PKW und LNF zu einer Abnahme des Gesamtemissionsniveaus bei CO₂ um rund 10% sowie bei NO_x um rund 11%. Das Gesamtemissionsniveau bei PM10 eines typischen Autobahnabschnitts inkl. Partikel aus Abrieb und Aufwirbelung dürfte um etwas weniger als 10% zurückgehen.

Gegenüber dem Basisszenario mit T130 ergeben sich demnach in den betroffenen drei Monaten für den Großraum Graz Emissionsreduktionen von rund 1 200 Tonnen CO₂, knapp 8 Tonnen Stickoxiden sowie ca. 400 kg Partikel aus motorischem Abgas. Dies entspricht einer relativen Emissionsabnahme aus dem Straßenverkehr von 1,3% für CO₂, 1,8% bei NO_x sowie 2,6% für Partikel aus dem Fahrzeugabgas. Bezogen auf die Partikelgesamtemissionen (d.h. inklusive PM10 aus Abrieb- und Aufwirbelungsprozessen) des gesamten Verkehrssektors (d.h. inklusive der Emissionen von mobilen Maschinen und Geräten) ergibt sich für den Großraum Graz in den Wintermonaten durch Tempo100 eine Reduktion von ca. 0,8%.

Das im Winter 2006/07 in den Sanierungsgebieten Mittelsteiermark sowie Mittleres Murtal auf rund 90 Autobahnkilometern mit hohen Verkehrsstärken verordnete Tempo 100 bewirkt Emissionsreduktionen von rund 5 000 Tonnen CO₂, 30 Tonnen NO_x sowie knapp 1,5 Tonnen motorische Partikel. Rund 90% der Emissionsminderungen entfallen dabei aufgrund der weit-

aus größeren Anzahl an betroffenen Kfz-Kilometern auf das Sanierungsgebiet Mittelsteiermark. Der relative Maßnahmeneffekt ist in der Mittelsteiermark und im Mittleren Murtal jedoch sehr ähnlich: Tempo 100 bewirkt demnach eine Abnahme des Schadstoffausstoßes des Straßenverkehrs von ca. 2% sowohl bei CO₂ als auch bei NO_x sowie rund 3% für motorische Partikel. Bezogen auf die Summe der Partikelemissionen aus dem gesamten Verkehrssektor liegt die Maßnahmenwirkung bei rund 0,8%. Die Quantifizierung der Maßnahmenwirkung von Tempolimits auf Partikelemissionen ist aber unsicher.

Da eine Verschärfung des Tempolimits lokal sehr stark unterschiedlich wirkt, kann keine pauschale Quantifizierung der Immissionswirkungen angegeben werden. Unter der Annahme eines typischen Schwerverkehrsanteils von 15% sowie eines typischen Beitrags der lokalen verkehrsbedingten Immissionen an den Gesamtimmissionen von ca. 50% bei PM10 kann in unmittelbarer Nähe der vom Tempo 100 betroffenen Autobahnabschnitte immissionsseitig über längere Zeiträume betrachtet eine Reduktion von ca. 4-5% bei den PM10-Konzentrationen erwartet werden. Bei den Stickoxidemissionen sind bei typischen 80% Anteil der lokalen verkehrsbedingten Immissionen an stark befahrenen Straßen an den in unmittelbarer Autobahnnähe in der Luft gemessenen NO_x-Konzentrationen durchschnittliche Verbesserungen der Lüftgüte um ca. 9% bei NO_x sowie rund 5% bei NO₂ zu erwarten.

Der emissionsseitige Effekt von Tempo 80 auf Freilandstraßen kann in der vorliegenden Arbeit aufgrund fehlender Daten nicht evaluiert werden, tendenziell sind jedoch Emissionsabnahmen plausibel.

8.2 Nachrüstung von Partikel-Katalysatoren

Durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung wurde das Nachrüsten von Fahrzeugen mit Partikelkatalysatoren („PM-Kat“) seit 1.1.2005 mit einem Betrag von 300 Euro für PKW und LNF bzw. 700 Euro für schwere Nutzfahrzeuge gefördert. Unterstrichen wurde diese Maßnahme bei PKW durch die Ausnahme von mit PM-Kats nachgerüsteten Dieselfahrzeugen von den Fahrbeschränkungen für Personenkraftwagen und Kombinationskraftwagen mit Dieselmotoren in den Wintermonaten. Steiermarkweit konnten bis Mai 2007 26 800 mit PM-Kats nachgerüstete Fahrzeuge < 3.5t sowie 173 nachgerüstete schwere Nutzfahrzeuge verzeichnet werden.

Durch diese Maßnahmen kann in den steirischen Sanierungsgebieten von einer Reduktion des Ausstoßes an motorischen Partikeln im Laufe eines Kalenderjahres von knapp mehr als 4t ausgegangen werden. Rund drei Viertel der Emissionsminderung entfallen davon auf den Großraum Graz. Bezogen auf den Ausstoß an motorischem PM10 des Straßenverkehrs im Winter 2006/07 bedeutet dies eine Reduktion des entsprechenden Emissionsniveaus um ca. 1,6% (Durchschnitt über alle steirischen Sanierungsgebiete) bzw. knapp 5% (Großraum Graz). Stellt man den Maßnahmeneffekt dem Gesamtausstoß des Verkehrssektors (Straßenverkehr + Off-Road) an Partikeln (inkl. PM10 Emissionen aus Aufwirbelungsprozessen und Abrieb) gegenüber, so ergeben sich Absenkungen im Emissionsniveau von rund einem halben Prozent (Durchschnitt über alle steirischen Sanierungsgebiete) sowie ca. 1,5% (Großraum Graz). Durch die Nachrüstung von Diesel-PKW und schweren Nutzfahrzeugen mit Partikel-Katalysatoren im Großraum Graz kann mit einer durchschnittlichen Verbesserung der Immissionsbelastung von PM10 an Tagen mit erhöhter Feinstaubbelastung von 0,2 µg/m³ bzw. relativ rund 0,3% gerechnet werden.

8.3 Fahrbeschränkungen im Sanierungsgebiet Graz

Für PKW, die mit Dieselmotoren angetrieben werden und kein Partikelreinigungssystem besitzen, wurde vom 15. Dezember 2006 bis einschließlich 14. März 2007 in der Zeit zwischen 5 Uhr und 21 Uhr ein Fahrverbot im Sanierungsgebiet „Großraum Graz“ ausgenommen Autobahnen und Autostraßen sowie bestimmten Zufahrts- und Abfahrtsstraßen zu Park-and-ride-Plätzen verordnet, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt waren:

1. der PM10-Tagesmittelwert von $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an fünf aufeinanderfolgenden Tagen an zumindest zwei im Sanierungsgebiet gelegenen Messstellen überschritten war, und
2. auf Grund meteorologischer und sonstiger immissionsrelevanter Parameter eine hohe Wahrscheinlichkeit bestand, dass dieser PM10-Tagesmittelwert auch weiterhin überschritten wird.

Die für das Inkrafttreten der Fahrverbote notwendigen luftgüteseitigen Voraussetzungen wurden im Winter 2006/07 nie erfüllt, dementsprechend konnte die Wirksamkeit der Fahrverbote in der vorliegenden Arbeit nicht evaluiert werden. Nachdem auch für den Winter 2007/08 für das Sanierungsgebiet Großraum Graz Fahrbeschränkungen in einer ähnlichen Form angekündigt wurden, wurden in dieser Arbeit eine Bestimmung der vom Fahrverbot im Winter 2006/07 betroffenen Anteile der Fahrzeugflotte sowie eine Hochrechnung der Verhältnisse für den Winter 2007/08 durchgeführt.

Aufgrund der technischen Spezifikationen (d.h. ohne Berücksichtigung von Ausnahmegeheimigungen) waren im Winter 2006/07 rund 36% des lokalen PKW-Bestandes an Tagen mit Fahrbeschränkungen gemäß IG-L von den Fahrverboten betroffen. Dieser Anteil wird bis Winter 2007/08 durch die natürliche Flottenerneuerung auf ca. 31% zurückgehen.

8.4 Winterdienst

Der Winterdienst trägt über das Ausbringen von Salz und Splitt beträchtlich zur PM10 Belastung bei. In Graz wird im Rahmen des Winterdienstes Salz / Feuchtsalz bzw. Basaltsplitt eingesetzt. Vor 2005/06 wurden nur Hauptverkehrsstraßen, Durchzugsstraßen und Straßen, die mit öffentlichen Verkehrsmitteln befahren werden, mit Salz gestreut. Auf den restlichen Straßen wurde bei Bedarf Streusplitt aufgebracht. Grundsätzlich ist das Ziel der Grazer Wirtschaftsbetriebe im Zuge der Einführung des differenzierten Winterdienstes auf allen ebenen Straßen im Stadtgebiet Feuchtsalz mit möglichst geringer Dosierung ($5-15 \text{ g}/\text{m}^2$) auszubringen. Im Winter 2005/06 erfolgte bereits eine Umstellung von Splitt auf verstärkte Salzstreuung im Süden von Graz. Im Winter 2006/07 wurde im Bereich Graz Zentrum nachgezogen. Im restlichen Grazer Stadtgebiet wurde die Streustrategie nicht verändert.

Die von den Grazer Wirtschaftsbetrieben ausgebrachten Streumengen reduzierten sich von 5870t Basaltsplitt und 2310t Salz im Winter 2005/06 auf 913t Basaltsplitt und 697t Salz im Winter 2006/07. Dabei ist anzumerken, dass die deutlichen Unterschiede der eingesetzten Streumengen vor allem aufgrund des sehr milden Winters 2006/07 zustande gekommen sind.

Ein direkter Schluss von Änderungen im Verbrauch an Streumaterial auf die emissionsseitigen bzw. immissionsseitigen Auswirkungen auf die Feinstaubbelastung aus dem Winterdienst ist nicht möglich. Die Maßnahmenwirkung der geänderten Winterstrategie wurden daher über die Immissionsmessungen der Stationen Graz Nord, Graz Mitte und Graz Süd abgeschätzt. Die betrachteten Immissionsmessstellen wurden so gewählt, dass sich eine Messstelle (Graz Nord) in jenem Gebiet befindet, das bis jetzt nicht auf differenzierten Winterdienst umgestellt wurde. Graz Mitte befindet sich in jenem Bereich, der im Winter 2006/07 umgestellt wurde und Graz Süd war bereits 2005/06 von der Umstellung betroffen. Die quantitative Beurteilung

ist nicht so problemlos ableitbar, da die Feinstaubemissionen des Hausbrandes nicht gleich verteilt über Graz vorliegen und somit lokale Änderungen im Emissionsverhalten im Winter 2006/07 gegenüber 2005/06 bzw. 2004/05 auch immissionsseitig lokal unterschiedlich sind. Als grobe Abschätzung lassen sich jedoch immissionsseitig Verbesserungen durch die geänderte Streustrategie in der Größenordnung von 10% des verkehrsbedingten PM10-Anteils angeben. Umgelegt auf den Winter 2006/07 ergibt sich damit durch die Maßnahme eine Reduktion der PM Emissionen in der Größenordnung von ca. 3 Tonnen.

8.5 Fördermaßnahmen zur Minimierung der Hausbrandemissionen

Ziel der Fördermaßnahme des Magistrat Graz ist es, die Feinstaub-Emissionen durch Förderung der Umstellung von Einzelofenheizungen mit festen und flüssigen Brennstoffen auf Anlagen für leitungsgebundene Energieträger wie Fernwärme und Erdgas zu verringern. Das Ausmaß der Förderung beträgt 30 bis 100 % der anerkannten Investition. Zwischen 16.6.2005 und 20.6.2007 wurden insgesamt 148 Umstellungen von Einzelofenheizungen gefördert. Knapp 62% der Wohnungen wurde vor der Umstellung mit Öl beheizt, rund 34% waren mit Kohlefeuerungen ausgerüstet. Von den betroffenen Wohnungen wurden 144 auf Fernwärme umgestellt (das entspricht 97 %), lediglich bei 4 Wohnungen (3 %) erfolgte eine Umstellung auf Gas.

Der Betrachtungszeitraum für die Maßnahmenberechnung wurde mit Mai 2006 bis April 2007 festgelegt. Insgesamt wurde durch die Heizungsumstellung eine Reduktion von rund 170 kg PM10 für den Berechnungszeitraum ermittelt. Vor allem die Umstellung alter Kohle-Einzelöfen trägt positiv zur Verbesserung der Emissionssituation bei. Die bis jetzt durchgeführten Umstellungen haben bezogen auf das Grazer Stadtgebiet lokal unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesamt-Feinstaubsituation. Vor allem jene Gebiete die sehr gut belüftet sind (Nord- und Ostgraz) zeigen kaum bis keine Änderung der Immissionsituation. Anders stellt sich die Situation in jenen Bereichen dar, die eine schlechtere Durchlüftung besitzen (im Süden und vor allem Westen der Landeshauptstadt). Hier wurden in jenen Bereichen, in denen auf sehr kleiner Fläche zahlreiche Wohnungen umgerüstet wurden, Verbesserungen erzielt. So lassen sich in unmittelbarer Nähe zu den einzelnen Objekten Reduktionen der PM10 Immissionsbelastung von bis zu 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf den Wintermittelwert und 1,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf den Tagesmaximalwert abschätzen.

8.6 Summenwirkungen

Für das Sanierungsgebiet Großraum Graz wurde als kumulierte Maßnahmenwirkung der umgesetzten und hier untersuchten Maßnahmen eine Emissionsreduktion bei PM10 von rund 6,5 Tonnen im Laufe eines Kalenderjahres berechnet. Davon entfallen jeweils knapp 3 Tonnen auf die Umstellung des Winterdienstes und die Förderung der Partikelkatalysatoren (inkl. Ankündigung von Fahrverboten für Dieselfahrzeuge ohne Partikelreinigung), rund 0,4 Tonnen PM-Reduktion wurden für die drei Monate mit einem Tempolimit von 100 km/h auf den Grazer Autobahnabschnitten berechnet. Insgesamt ergibt sich eine Absenkung des PM10-Emissionsniveaus des Verkehrssektors (Straße + mobile Maschinen und Geräte) im Großraum Graz in den Wintermonaten um knapp 7%. Bezogen auf die Partikelemissionen des Verkehrssektors im Laufe eines Kalenderjahres beträgt die kumulierte Maßnahmenwirkung in Graz knapp 3%. Durch die Fördermaßnahmen zur Minimierung der Hausbrandemissionen im Stadtgebiet von Graz wurde eine Emissionsminderung bei Feinstaub von rund 0,2 Tonnen berechnet.

Bei Betrachtung aller steirischen Sanierungsgebiete beträgt die berechnete Summenwirkung der umgesetzten und untersuchten Maßnahmen rund 9 Tonnen Emissionsreduktion bei PM10 im Laufe eines Kalenderjahres. Rund 4 Tonnen davon entfallen auf die Förderung der Partikel-Katalysatoren inkl. Ankündigung von Fahrverboten, ca. 3 Tonnen auf die Umstellung des Winterdienstes in Graz sowie knapp 2 Tonnen auf die Verordnung von Tempo 100 km/h auf bestimmten Autobahnabschnitten von Mitte Dezember bis Mitte März. Insgesamt ergibt sich eine durchschnittliche Absenkung des PM10-Emissionsniveaus des Verkehrssektors (Straße + mobile Maschinen und Geräte) in den steirischen Sanierungsgebieten in den Wintermonaten um rund 6%. Bezogen auf die Partikelemissionen des Verkehrssektors im Laufe eines Kalenderjahres beträgt die kumulierte Maßnahmenwirkung ca. 1,5 %.

9 Literatur

- [1] LGBL., Stück 32, Nr. 131, ausgegeben am 10. November 2006
- [2] Rexeis M., Hausberger S., Röschel G., Fallast K., Puxbaum H.: Wirkung von Verkehrsmaßnahmen in steirischen Sanierungsgebieten; erstellt im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung; Bericht Nr. I-17/2006 Rex-Em 08/06/679 vom 24.7.2006
- [3] Sturm, P. J., Heiden, B., and Hinterhofer, M. (2004). Emissionskataster Graz 2001; Teilbericht Verkehr - Bezugsjahr 2003. Graz: Erstellt im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung.
- [4] Hausberger S.; Scenarios for the Transport Sector in Austria 1990 bis 2020, im Auftrag des Umweltbundesamtes Österreich, Graz-Wien, Dez. 2005;
- [5] 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
- [6] 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
- [7] Rexeis M., Hausberger S, Riemersma I., et.al.: COST 346 - Emissions and Fuel Consumption from Heavy Duty Vehicles; WG A: Vehicle Model – Final Report; University of Technology, Graz; 2005
- [8] Rexeis M., Hausberger S, Riemersma I., et.al.: Heavy duty vehicle emissions; Final Report of WP 400 in ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems); DGTREN Contract 1999-RD.10429; University of Technology, Graz; report no. : I 02/2005/Hb 20/2000 I680; 2005
- [9] Hausberger S., Rexeis M.: Emission Behavior of Modern Heavy Duty Vehicles in Real World Driving; International Journal of Environment and Pollution; 2004
- [10] Hausberger St., Rexeis M., Rodler J., Sturm P., Aktuelle Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge, ÖIAZ, (04/2003), 114 – 119
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA); Version 2.1 (28. Feb. 2004); <http://www.hbefa.net/>

- [16] Hausberger S., Kofler T.: Fuel Consumption and Emissions of Modern Vehicles; Part "Passenger Cars"; Project carried out under contract with BMLFUW: Report No. FVT-29/04-6770 from 30.1.2006
- [17] Gehrig, R., Hill, M., Buchmann, B., Imhof, D., Weingartner, E., Baltensperger, U., Purgart, 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.
- [18] Rexeis M.: Emissionsseitige Evaluierung des Tempolimits von 100 km/h in Tirol im Jahr 2006 auf der A 12 bei Vomp bzw. bei Kundl; erstellt im Auftrag der der Tiroler Landesregierung; Report Nr. I-11/2007 Rex-Em 02/07-679 vom 21.04.2007
- [19] Rexeis M: Evaluierung der emissionsseitigen Auswirkungen der Einführung einer durchgehenden 100 km/h Beschränkung auf der A 12 bei Imst anhand gemessener Geschwindigkeitsverteilungen; erstellt im Auftrag der Tiroler Landesregierung; Graz Mai 2005
- [20] Blassnegger J., Hausberger S.: T O P - Testverfahren und Optimierung für Partikelkatalysatoren; gefördert durch den Zukunftsfonds Steiermark; Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU-Graz; Graz, 2006
- [21] Hausberger S., Blassnegger J., Kofler T: Abgasnachbehandlung für Stadtbusse in Graz und Klagenfurt; Endbericht zu KAPA GS Aufgabe 4; EU-Life Projekt; LIFE04 ENV/AT/000006; Bericht Nr. I-13/2007 Hb-Em 27/03/691 vom 14.05.2007
- [22] Blassnegger J.: Emissionsminderungspotenziale durch optimierten Biodiesel und nachrüstbare Abgasnachbehandlung; Dissertation am Institut für Vkm und Thd, Graz 2005
- [23] Hausberger S.: Straßenverkehrsemissionen und Emissionen sonstiger mobiler Quellen Österreichs für die Jahre 1990 bis 2004; Erstellt im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH; Graz Dez. 2005
- [24] Sammer G., Röschel G., Gruber Ch.: Ermittlung der verkehrlichen Wirksamkeit von Maßnahmen bei Feinstaubüberschreitungen; Graz 2007
- [25] Sammer G., Röschel G., : Evaluierung der verkehrlichen Auswirkungen der Feinstaub-Maßnahmen im Winter 2006/2007, in Arbeit
- [26] Schodl B. 2005. Fahrverhaltensuntersuchung zur Emissionssimulation. Diplomarbeit, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz
- [27] Gross R., Foelsche-Trummer E., Sommer A. 2000: Der Salzburger Energie- und Emissionskataster (SEMIKAT) Grundlagen und Ergebnisse Basisjahr 1998, Amt der Salzburger Landesregierung, Salzburg Herbst 2000
- [28] Zelle K. 2007: Emissionskataster Graz – Hausbrand, private Haushalte, im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung, 2007