
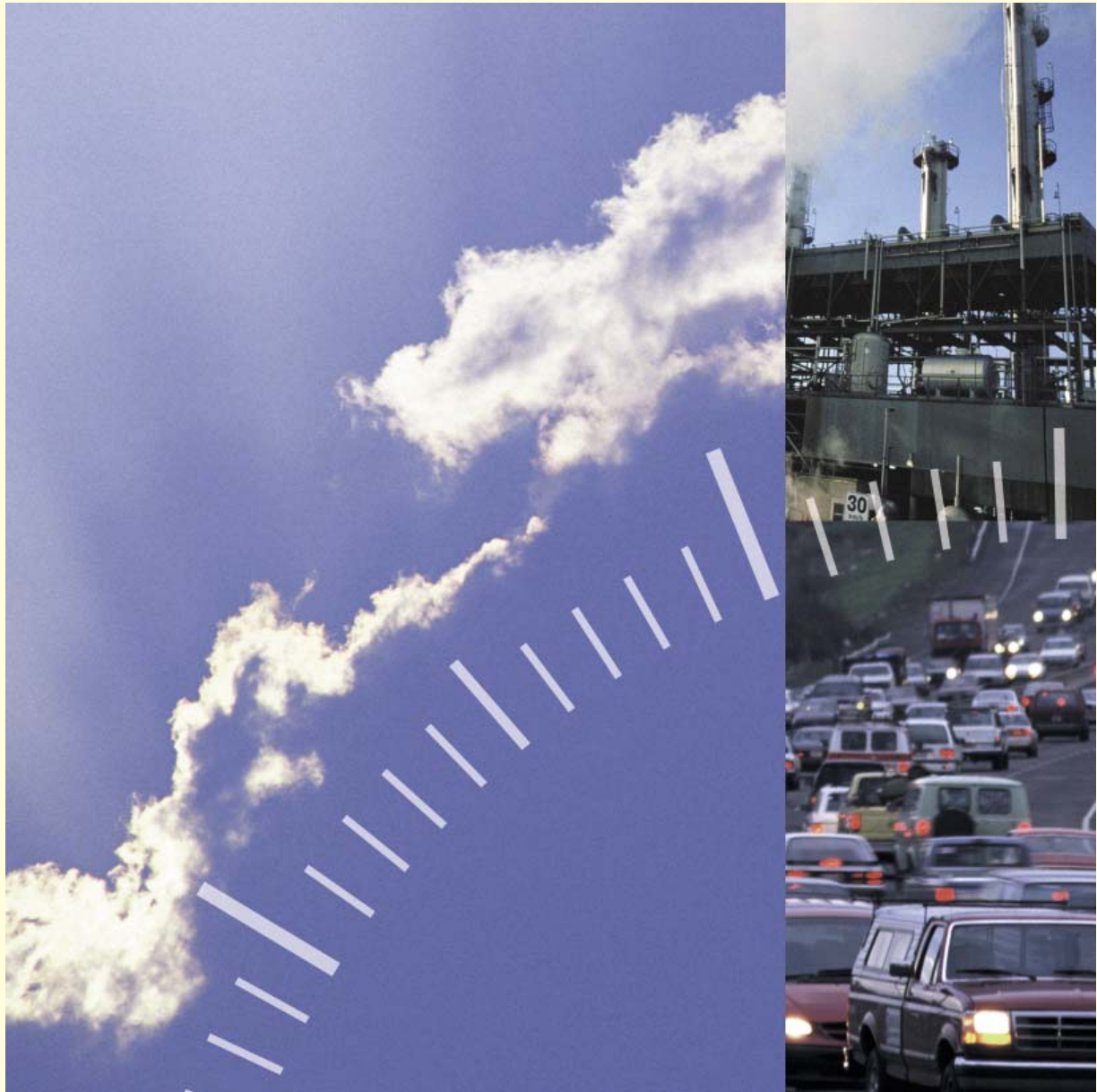


Emissionsmindernde Maßnahmen im Straßenverkehr

 Übersicht und Ansätze zur Bewertung
(Aktualisierung März 2005)



IMPRESSUM

Herausgeber

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU)
76157 Karlsruhe · Postfach 21 07 52
www.lfu.baden-wuerttemberg.de

Bearbeitung

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Referat 33 – Luftqualität, Lärm, Verkehr
Dr. Werner Scholz
Dipl.-Ing. Ursula Mielicke
Dr. Dieter Ahrens

Erscheinungsdatum

März 2005

Emissionsmindernde Maßnahmen im Straßenverkehr

- Übersicht und Ansätze zur Bewertung -

Inhaltsübersicht

Einleitung	3
1. Analyse der Emittentenstruktur im Bereich Straßenverkehr in Baden-Württemberg ..	5
1.1 Kraftfahrzeugbestand	5
1.2 Entwicklung der Schadstoffklassen	8
1.3 Fahrleistungen.....	11
1.4 Dynamischer Kraftfahrzeugbestand	12
1.5 Summarische Emission in Baden-Württemberg und in einigen Stadtkreisen	14
2. Emissionsfaktoren und Emissionen	16
2.1 Gültigkeit und Erfassungsgrenzen von NO _x - und PM ₁₀ -Emissionsfaktoren.....	16
2.2 Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs.....	18
2.2.1 Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Straßenkategorie	19
2.2.2 Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Verkehrssituation	22
2.2.3 Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Emissionsstufe	25
der Kraftfahrzeuge	
3. Maßnahmen	28
3.1 Auswahl möglicher Maßnahmen	28
3.2 Wirksamkeit der verkehrsbeschränkenden Maßnahmen	30
Verkehrsbeschränkungen, Verkehrsverbote	31
Verkehrslenkung	44
Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung	52
Förderung alternativer Verkehrsmittel	54
Integrierte Verkehrskonzepte	58
Fahrzeugtechnik.....	59
Maßnahmen im Bereich Aufwirbelung / Abrieb	60
4. Literatur	63
5. Maßnahmen-Kurzübersicht	65

Verzeichnis der Abkürzungen

ao	Außerorts
BAB	Bundesautobahn
22. BImSchV	22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 11. September 2002
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
CRT	'Continuously Regenerating Trap', Partikelfiltersystem für Nutzfahrzeuge
Euro 1	Europäische Abgasvorschrift für PKW, LNfz, SNfz und Busse (ab 1992)
Euro 2	Europäische Abgasvorschrift für PKW, LNfz, SNfz und Busse (ab 1995/6)
Euro 3	Europäische Abgasvorschrift für PKW, LNfz, SNfz und Busse (ab 2000/01)
Euro 4	Europäische Abgasvorschrift für PKW, LNfz, SNfz und Busse (ab 2005/06)
Euro 5	Europäische Abgasvorschrift für schwere Motorwagen (ab 2008)
Fz-km	Fahrzeugkilometer (Einheit für die Fahrleistung)
GKat	Geregelter Katalysator
HBEFA 1.2	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 1.2 vom Jan. 1999
HBEFA 2.1	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 2.1 vom 27. Feb. 2004
io	Innerorts
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
LBus	Linienbus
LKW	Lastkraftwagen
LNfz	Leichte Nutzfahrzeuge
LZ	Lastzug, Anhängerzug
NFz	Nutzfahrzeuge
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickstoffoxide (Summe NO +NO ₂)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Part	Partikel
PKW	Personenkraftwagen
PM ₁₀	Schwebstaub der Größenklasse <10µm
RBus	Reisebus
SNfz	Schwere Nutzfahrzeuge (= LKW, Last- und Sattelzüge)
StLa	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
UKat	Ungeregelter Katalysator

Einleitung

Eine kritische Durchsicht des LfU-Berichtes „Emissionsmindernde Maßnahmen im Straßenverkehr – Handbuch zur Beurteilung der Wirksamkeit“ aus dem Jahr 1996 ergab, dass eine grundsätzliche Neubewertung der Maßnahmen erfolgen muss. Die seinerzeitigen Überlegungen gehen von einem Stand Anfang bis maximal Mitte der 90er Jahre aus. Diese Aktualisierung geschah mit der Fortschreibung durch den entsprechenden LfU-Bericht vom Januar 2004. Darin konnten Verkehrs- und Emissionsdaten mit **Stand 2002** berücksichtigt werden. Seitdem haben sich wesentliche Veränderungen ergeben:

- Die **Zusammensetzung der PKW-Flotte** hat sich weiter verändert zu einem deutlich höheren Dieselanteil;
- die **Emissionsfaktoren** wurden 2004 gründlich überarbeitet mit z.T. drastischen Erhöhungen bei den LKW-Emissionen.

Damit haben die Komponenten CO und Benzol weiter an Bedeutung verloren, während NO_x- und besonders Partikel-Emissionen zunehmend wichtiger geworden sind. Dies hat Auswirkungen auf das Spektrum der möglichen Maßnahmen und die davon betroffenen Fahrzeugkategorien, insbesondere auf die schweren Nutzfahrzeuge (SNfz), die leichten Nutzfahrzeuge (LNfz) und die Diesel-PKW.

Die Beurteilungskriterien (LfU-Bericht von 1996, Kap. 2.3) bezüglich Wirkung und Wirkungszeitpunkt wurden unter den Anforderungen der 22. BImSchV ebenfalls neu definiert. Unter einer Einstufung der "Wirkung" als "groß" sind Änderungen der Schadstoffemissionen von mehr als 20-30 % zu bezeichnen (ehemals >10%), als unbedeutend solche <5 %. Auch der "Wirkungszeitpunkt" ist neu festzulegen. Unter der Notwendigkeit einer raschen Umsetzung kommen nur noch Maßnahmen mit dem Zeitpunkt "sofort" bzw. "mittelfristig" mit einem Zeithorizont von maximal wenigen Jahren in Frage.

Im seinerzeitigen Bericht von 1996 wurden 42 mögliche Maßnahmen untersucht.

Die Bewertung gemäß der Fortschreibung von 2004 kam zum Ergebnis, dass viele Maßnahmen dem Themenkreis "**Verkehrspolitik**" zugeordnet werden müssen und für die vorliegende Vollzugsproblematik der 22. BImSchV bzw. BImSchG nicht relevant sind. Diese Maßnahmen haben, wenn überhaupt, Wirkungszeitpunkte im Bereich von Jahrzehnten (z. B. Güterverlagerung auf die Schiene). Folgende Maßnahmen zählen nach unserer Einschätzung zum Bereich "Verkehrspolitik" und werden deshalb nicht weiter verfolgt:

- 3.1.3 Raumplanung
- 3.1.4 Güterlagerung auf Schienenverkehr, Güterzentralen
- 3.3.1 ÖPNV-Förderung
- 3.3.1 Fahrrad-Förderung
- 3.3.2 Fußgänger-Förderung
- 3.4 Förderung des Umweltbewusstseins
- 3.1.1 Sonntagsfahrverbot: ganzjährig

Ebenso sind im Bericht des Jahres 1996 verschiedene Maßnahmen betrachtet worden, die unter dem Gesichtspunkt der Emissionsminderung von "kontraproduktiv" bis maximal "mittel" in ihrer Wirkung zu beurteilen sind und einen relativ langen Zeithorizont haben. Dies betrifft vor allem Maßnahmen zur Reduzierung des Parkplatzangebots in den Innenstädten mit der Absicht, Umsteigeeffekte zugunsten des ÖPNV zu induzieren. Ob sich mit solchen Aktivitäten tatsächlich Immissionsminderungen realisieren lassen, ist nach heutiger Erkenntnis eher fraglich.

Aus diesen Gründen werden auch die folgenden Maßnahmen nicht weiter untersucht:

- 3.1.2 Reduzierung der Stellplätze
- 3.1.2 Umwandlung von Dauer- in Kurzzeitparkplätze
- 3.1.2 Parkraumbewirtschaftung
- 3.1.2 Stellplatzbeschränkung
- 3.1.2 Parkhäuser, Sammelgaragen
- 3.2.8 Spielstraßen
- 3.2.9 Umweltampeln

Folgende weitere Einschränkung ist zu beachten:

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz sieht in §47 sowohl Luftreinhalte- als auch Aktionspläne vor, die unter anderem Maßnahmen beinhalten können, welche den Kraftfahrzeugverkehr beschränken oder verbieten.

In dem vorliegenden Bericht werden nur Maßnahmen behandelt, die für **Luftreinhaltepläne** geeignet sind. Das Thema Aktionspläne ist nicht Gegenstand dieses Berichts. Inwieweit die einzelnen Maßnahmen auch für Aktionspläne geeignet sind, wird hier nicht untersucht.

1. Analyse der Emittentenstruktur im Bereich Straßenverkehr in Baden-Württemberg

An straßennahen Messstellen in Baden-Württemberg wurden in den letzten Jahren Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte für Stickstoffdioxid (NO₂) und für Partikel (PM₁₀) gemäß der 22. BImSchV gemessen. Bei unveränderter Situation ist nicht auszuschließen, dass es an diesen und evtl. weiteren Messstellen auch in den kommenden Jahren zu Grenzwertüberschreitungen kommen kann.

Kritische Grenzwerte sind hier vor allem

- der seit 1.1.2005 gültige Tagesmittelwert für PM₁₀ von 50 µg/m³, der nicht mehr als 35mal pro Jahr überschritten werden darf, sowie
- der Jahresmittelwert für NO₂ von 40 µg/m³, gültig ab 1.1.2010.

Im Falle von Grenzwertüberschreitungen ist es erforderlich, die Immissionssituation durch geeignete Maßnahmen zu verbessern.

Die kritischen Messstellen befinden sich hauptsächlich an stark frequentierten Innerortsstraßen. Der Nahverkehr dürfte hier einen wesentlichen Anteil am Verkehrsaufkommen ausmachen. Allerdings handelt es sich zum Teil auch um Bundesstraßen oder Durchgangsstraßen, die zusätzlich von regionalem und Fernverkehr genutzt werden.

Eine Bewertung von konkreten Maßnahmen und ihrer Wirksamkeit setzt eine genaue Analyse der Emittentenstruktur vor Ort unter Einschluss aller Emittentengruppen (Verkehr, Industrie, Gewerbe und Gebäudeheizungen) voraus. Zur groben Einschätzung der Wirkung von denkbaren verkehrlichen Maßnahmen können die durchschnittlichen Emissionsstrukturen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg zu Grunde gelegt werden.

Im Folgenden werden daher die für eine solche grobe Einschätzung wesentlichen Bestandsdaten und Emissionsstrukturen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg dargestellt. Teilweise musste auf bundesweite Daten zurückgegriffen werden.

1.1 Kraftfahrzeugbestand

Gesamtbestand

Am 1.1.2004 waren in Baden-Württemberg 7.384.358 Kraftfahrzeuge (Kfz) zugelassenen. Abb. 1.1.1 gibt die Verteilung auf die verschiedenen Kraftfahrzeugtypen wieder.

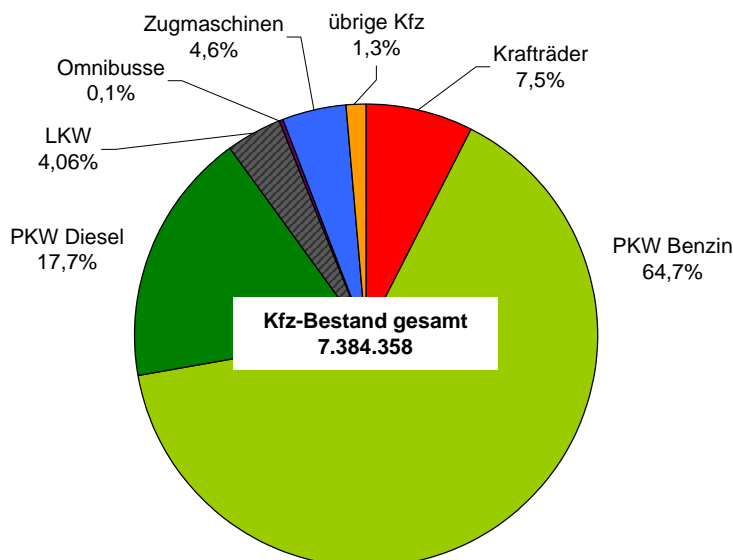


Abb. 1.1.1: Kraftfahrzeugbestand in Baden-Württemberg am 1.1.2004 [StaLa, 2004a]

Auf die Regierungsbezirke verteilt sich der Kraftfahrzeugbestand gemäß Tabelle 1.1.1. Im Stadtkreis Stuttgart sind 12,5% der zugelassenen Fahrzeuge des Regierungsbezirks zugelassen, in Karlsruhe 9% beziehungsweise in Mannheim 10% des Regierungsbezirks Karlsruhe.

Regierungsbezirk	Kraftfahrzeugbestand						Gesamt
	PKW	LKW	Omnibusse	Zugmaschinen	Krafträder	übrige Kfz	
Stuttgart	2.342.944	108.694	3.464	112.889	202.377	34.536	2.804.904
Karlsruhe	1.516.650	76.004	2.021	55.071	129.170	22.959	1.801.875
Freiburg	1.202.760	63.524	2.133	84.164	119.227	22.268	1.494.076
Tübingen	1.021.348	51.417	2.017	85.721	104.577	18.423	1.283.503
Baden-Württemberg	6.083.702	299.639	9.635	337845	555351	98186	7384358

Tab. 1.1.1: Bestand an Kraftfahrzeugen nach Regierungsbezirken am 1.1.2004 [StaLa, 2004a]

PKW-Bestand nach Antriebsart

Aufgrund der deutlich höheren Partikel- und Stickstoffoxid-Emissionen ist der Anteil der Diesel-PKW an der Gesamtzahl der PKW von Bedeutung. Am 1.1.2004 lag der Anteil der Diesel-Pkw bei 21,5% des gesamten PKW-Bestands in Baden-Württemberg (insgesamt 6.083.702 Fahrzeuge). Ein Anteil in dieser Höhe war von älteren Prognosen nicht erwartet worden. Hierdurch sind auch bisherige Prognosen über die zukünftige Emissionssituation auf Basis dieser älteren Annahmen zweifelhaft geworden.

Die steigende Beliebtheit der Dieselfahrzeuge zeigt sich auch durch den Anteil an den neu zugelassenen PKW in Baden-Württemberg (Stichtag jeweils der 1.1 des Folgejahres):

Zulassungsjahr	Anteil der Diesel-PKW an Neuzulassungen
1990	14,4%
1995	18,3%
2000	35,5%
2001	40,5%
2002	43,8%
2003	45,3%

Tab 1.1.2 Anteil Diesel-PKW an Neuzulassungen in Baden-Württemberg [StaLa, 2004a]

Im HBEFA 2.1 liegt für die Prognose der Emissionen ein bundesweiter Diesel-PKW-Anteil im Jahr 2005 mit 23% zugrunde. Die prognostizierte Entwicklung zeigt Abbildung 1.1.2. Danach wird ein stetig wachsender Dieselanteil erwartet, der beispielsweise 2010 einen Anteil von 32% am PKW-Bestand erreichen könnte. Nach den Daten des Kraftfahrtbundesamtes ist allerdings eine derart starke Zunahme gegenwärtig nicht zu erwarten.

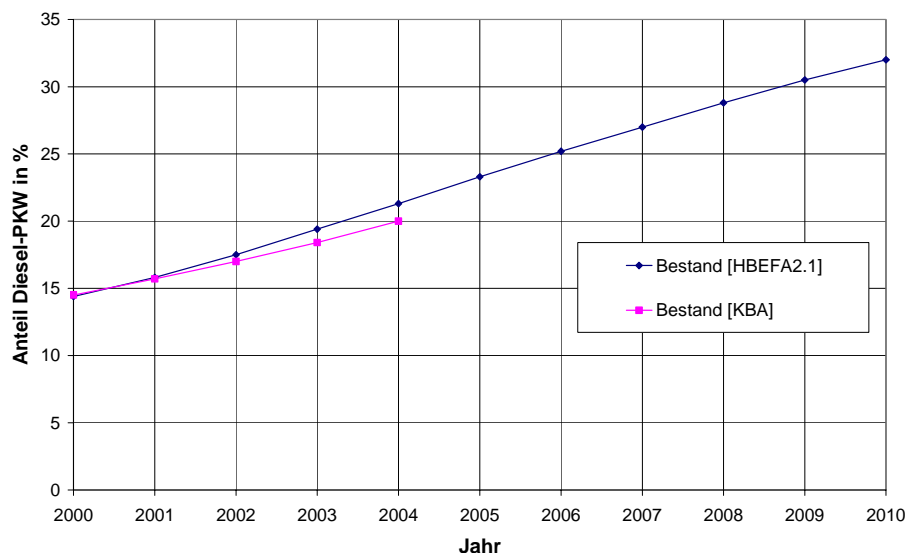


Abb. 1.1.2: Entwicklung des bundesweiten Diesel-PKW-Anteils nach „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Vers. 2.1“ (HBEFA 2.1) sowie Angaben des Kraftfahrt-Bundesamtes [KBA, 2004a und 2005]

Leichte Nutzfahrzeuge (LNfz): Eine Fahrzeugklasse mit Zuordnungsschwierigkeiten

Aufgrund der Unfallstatistiken und im Hinblick auf die Emissionen gilt ein besonderes Augenmerk den sogenannten leichten Nutzfahrzeugen (LNfz), die sich zunehmender Beliebtheit erfreuen. Hierunter fallen Transporter und Lieferwagen wie zum Beispiel Mercedes Sprinter, Iveco Daily, der VW Transporter oder LT in der Größenklasse von 2,6 bis 4,6t zulässigem Gesamtgewicht. Es handelt sich vorwiegend um Dieselfahrzeuge. Teilweise werden diese Fahrzeuge als PKW, teilweise als LKW zugelassen. Dies ist den Fahrzeugen nicht ohne weiteres anzusehen. Die LNfz werden in den Statistiken nicht als eigene Gruppe ausgewiesen.

Das "Handbuch Emissionsfaktoren" (HBEFA 2.1) unterscheidet zwischen PKW einschließlich der Kleinbusse und Wohnmobile, den LNfz, die lediglich die LKW bis 3,5t umfassen, den SNfz <7,5t, den SNfz >7,5t und den Omnibussen.

Die Statistiken der Bundesrepublik Deutschland weisen bis 3,5t zulässigem Gesamtgewicht in den Bereichen PKW, Omnibusse und sonstige Kfz (vorwiegend Wohnmobile) insgesamt 45,5 Mio. Kfz aus. Für LKW <3,5t wird eine Anzahl von 1,9 Mio. angegeben, im Bereich der Zugmaschinen (allerdings einschließlich Traktoren) rund 854.000 Fahrzeuge. LKW, Zugmaschinen und sonstige Kfz mit einem zulässigen Gesamtgewicht im Bereich zwischen 3,5 und 7,5t belaufen sich auf 1,4 Mio. Fahrzeuge, über 7,5t zulässigem Gesamtgewicht auf rund 682.000 Kfz. Die Anzahl der Omnibusse >3,5t zulässigem Gesamtgewicht beträgt rund 84.000 [KBA, 2004a].

In Baden-Württemberg dürften die Anteile an den einzelnen Kfz-Beständen in ähnlicher Größenordnung liegen. Für LKW <3,5t wird ein Anteil von 68,9% (bundesweit 72,5%), für LKW von 3,5 bis 7,5t ein Anteil von 16,8% (bundesweit 14,7%) und für LKW >7,5t ein Anteil von 14,2% (bundesweit 12,8%) genannt [StaLa, 2004a].

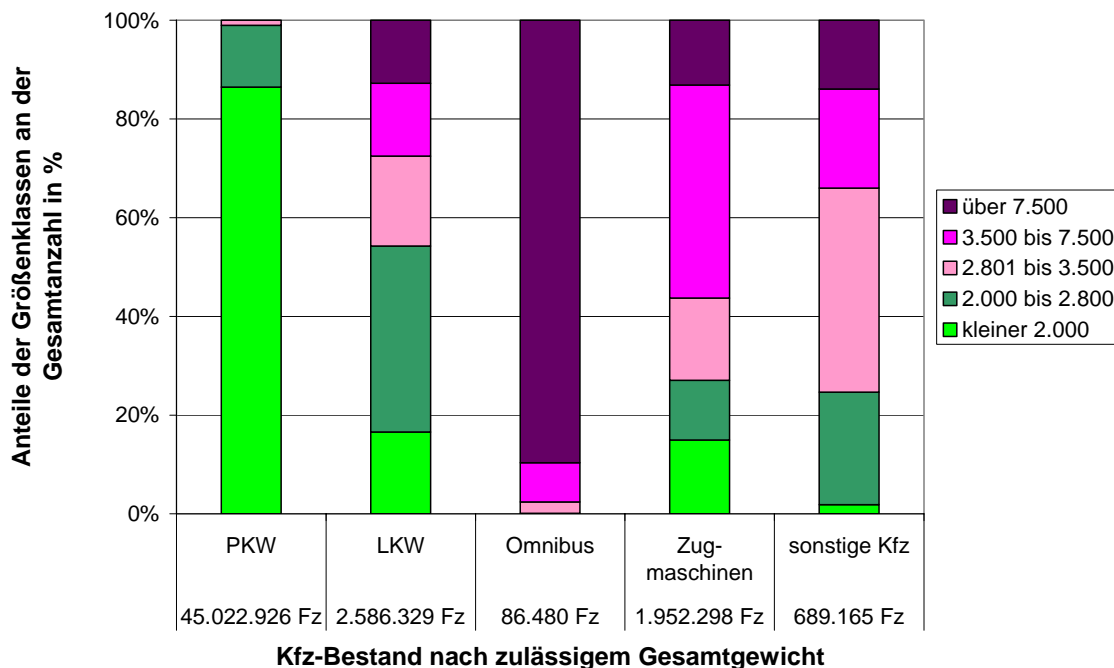


Abb. 1.1.3: Bundesweite Anteile der Größenklassen (zulässiges Gesamtgewicht in kg) am Bestand der PKW, LKW, Omnibusse, Zugmaschinen und sonstigen Kfz [KBA, 2004a]

1.2 Entwicklung der Schadstoffklassen

Europäische und nationale Gesetzgebung haben in den vergangenen Jahren erreicht, dass die Emissionen, insbesondere der Benzin-PKW, deutlich vermindert worden sind. So emittiert ein Altfahrzeug in der Gruppe der Benzin-PKW etwa 10mal soviel Kohlenmonoxid und mehr als 30mal so viel Stickstoffoxide wie ein nach Euro 3 zugelassenes Fahrzeug.

Personenkraftwagen (PKW)

Für die Gruppe der PKW mit Benzin- und Dieselmotoren zeigen die Abb. 1.2.1 (Benzin-PKW) und 1.2.2 (Diesel-PKW), dass der Anteil der PKW ohne beziehungsweise mit bedingter Schadstoffminderung am Bestand der Kraftfahrzeuge in Baden-Württemberg stark abgenommen hat.

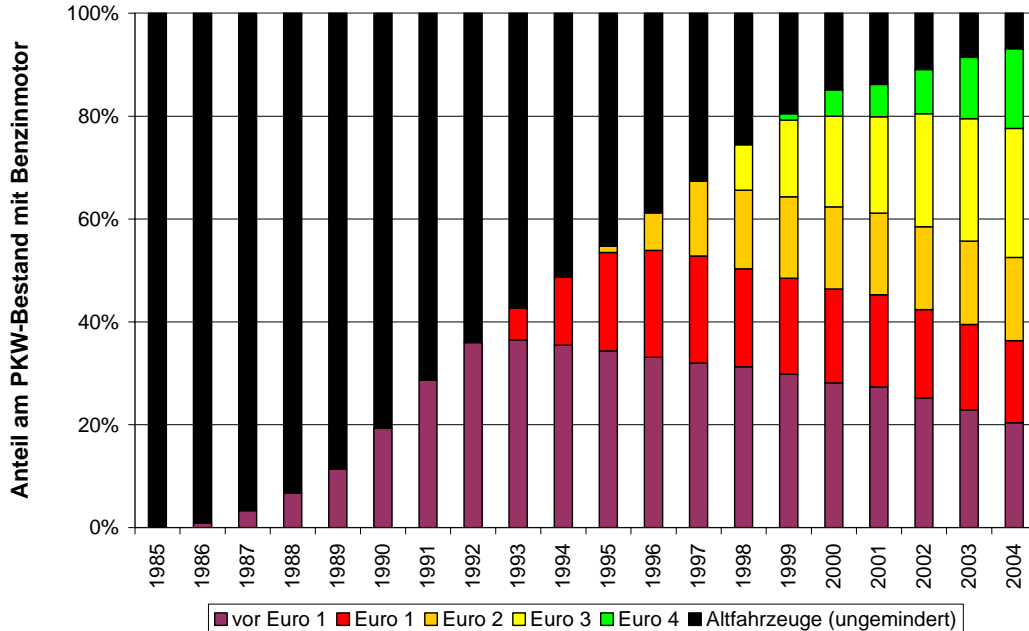


Abb. 1.2.1: Anteile der Schadstoffklassen am **PKW-Bestand mit Benzinmotor** in Baden-Württemberg (Stand jeweils am 1. Juli, ab 2001 jeweils 1. Januar des Jahres). [StaLA, 2005a]

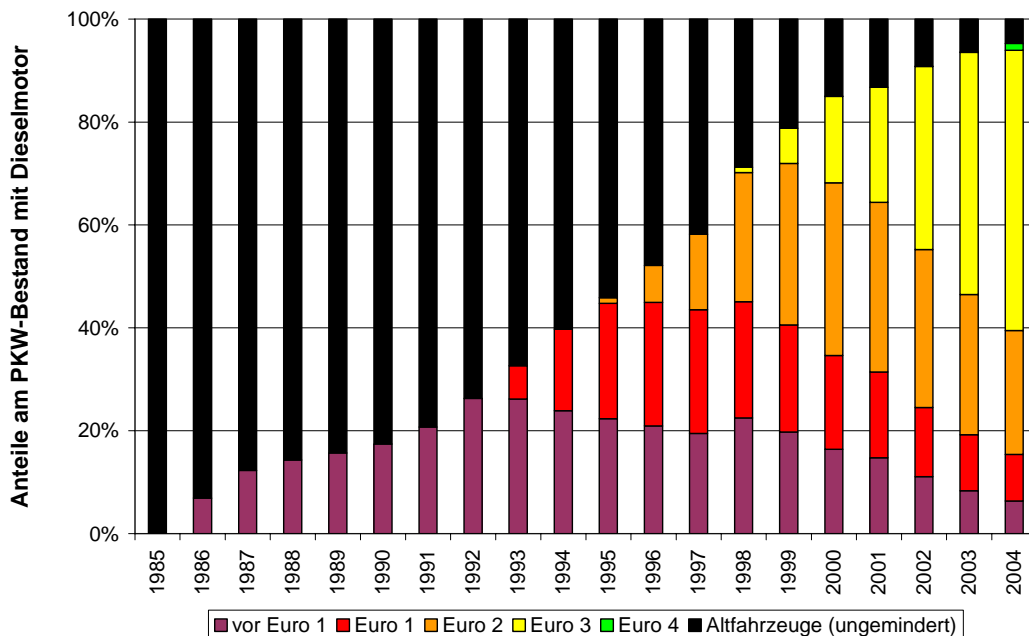


Abb. 1.2.2: Anteile der Schadstoffklassen am **PKW-Bestand mit Dieselmotor** in Baden-Württemberg (Stand jeweils am 1. Juli, ab 2001 jeweils 1. Januar des Jahres). [StaLA, 2005a]

Am 1.1.2004 belief sich der Anteil dieser Altfahrzeuge am PKW-Bestand in Baden-Württemberg nur noch auf 6,4% (Diesel- und Benzinfahrzeuge zusammengenommen) gegenüber 8,2% am 1.1.2003 (Abb. 1.2.3).

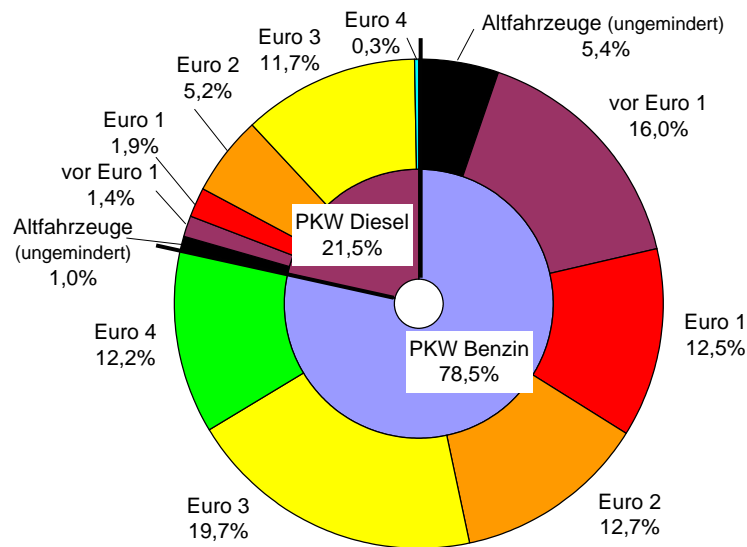


Abb. 1.2.3: Anteile der Schadstoffklassen am PKW-Bestand in Baden-Württemberg am 1.1.2004 [StLa, 2005a]

Leichte und schwere Nutzfahrzeuge (LNfz und SNfz)

Auf Bundesebene zeigten die verschiedenen Fahrzeugkategorien aus dem Nutzfahrzeugbereich - mit Ausnahme der Sattelzugmaschinen - deutlich geringere Anteile an schadstoffarmen Fahrzeugen als die PKW (Stand ebenfalls 1.1.2004). Sie konzentrierten sich im Wesentlichen auf die Schadstoffklassen Euro 1 bis 3 (Tab.1.2.1).

Fahrzeugkategorie	Anzahl	davon schadstoffarm in %					
		insgesamt	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5
LKW <3,5t	1.875.093	69,2	31,2	24,5	13,2	0,26	0,00
LKW <7,5t	380.733	57,4	11,5	30,8	15,1	0,01	0,00
LKW >7,5t	330.503	58,7	11,1	31,4	16,2	0,01	0,00
Ackerschlepper	1.773.079	0,4	0,2	0,2	0,1	0,00	0,00
Sattelzugmaschinen	179.219	91,4	5,4	46,2	39,8	0,01	0,00
Omnibusse	86.480	45,4	1,9	29,5	13,9	0,01	0,00
übrige Kfz	689.165	31,0	9,0	14,0	7,8	0,12	0,00
Summe NFz	5.314.272	41,0	13,9	17,3	9,7	0,11	0,00

Tab. 1.2.1: Anteile der verschiedenen Schadstoffklassen an der Gesamtanzahl der Fahrzeuge in den entsprechenden Fahrzeugkategorien am 1.1.2004 in der Bundesrepublik Deutschland [KBA, 2005b]

1.3 Fahrleistungen

Ausschlaggebend für die Emissionen im Land ist nicht die Zusammensetzung des Fahrzeugbestands, sondern die jeweils gefahrenen Kilometer pro Jahr, die sogenannte Fahrleistung. Sie ist definiert als Produkt aus der Anzahl der Fahrzeuge und den zurückgelegten Kilometern im betrachteten regionalen Raum und Zeitraum. Ihre Maßeinheit ist der Fahrzeugkilometer (Fz-km).

Gesamte Jahresfahrleistung

Die gesamte Jahresfahrleistung betrug im Jahre 2003 in Baden-Württemberg 90.566 Mill. Fz-km. Den größten Anteil hieran hatten die PKW mit 87,3% (Abb. 1.3.1).

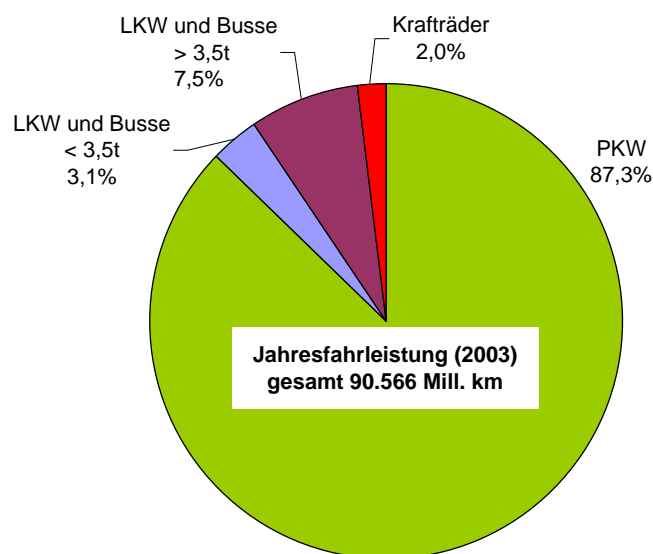


Abb. 1.3.1: Gesamte Jahresfahrleistung in Baden-Württemberg nach Fahrzeugkategorien im Jahr 2003 (vorläufige Zahlen; [StaLa, 2005b])

Fahrleistung bezogen auf die Straßenkategorien

Im Jahr 2003 verteilte sich die Jahresfahrleistung in Baden-Württemberg folgendermaßen auf die einzelnen Straßenkategorien:

- **Innerörtliche** Straßen wurden mit 28,6% der gesamten Jahresfahrleistung belastet.
- Auf **Außerörtliche** Straßen entfiel mit 47,4% der größte Anteil der Jahresfahrleistung.
- Die **Bundesautobahnen** weisen mit 24,0% an der Jahresfahrleistung den geringsten Anteil auf, begründet in der vergleichsweise geringeren Länge dieser Straßenkategorie.

Straßenkategorien	Fahrleistung in %				Summe
	PKW	SNfz und Busse <3,5t	SNfz und Busse >3,5t	Krafträder	
innerorts	90,7	2,9	4,3	2,1	100
außerorts	88,7	2,9	5,8	2,7	100
BAB	80,6	3,9	14,9	0,6	100

Tab. 1.3.1: Prozentuale Aufteilung der Fahrleistungen in Baden-Württemberg nach Straßenkategorien und Fahrzeugarten im Jahr 2003 [StaLa, 2005b]

1.4 Dynamischer Kraftfahrzeugbestand

Kfz-Bestandsstatistiken, wie sie in Abschnitt 1.2 behandelt wurden, machen eine Aussage über die Anteile der einzelnen Fahrzeugkategorien am Gesamtbestand ("statischer Bestand"). Damit ist noch nicht die für die Emission relevante Fahrleistung berücksichtigt – der Berufskraftfahrer mit einem Diesel-PKW nach Euro 3 fährt mehr als z.B. der Rentner mit einem Otto-PKW nach Euro 1. Gewichtet man die Fahrzeugkategorien nach ihren Anteilen an der gesamten Fahrleistung, so erhält man den sogenannten **dynamischen Kraftfahrzeugbestand**.

Für den dynamischen Kraftfahrzeugbestand in Baden-Württemberg liegen Berechnungen auf der Basis der Bestände im Jahr 2000 vor [UMEG, 2004]. Diese beinhalten z.B. bereits die realitätsnäheren und gegenüber älteren Schätzungen deutlich höheren Anteile der Diesel-PKW am PKW-Bestand, wie sie auch dem HBEFA 2.1 zugrunde liegen [IFEU, 2004]. Zur Verfügung stehen die Basisdaten für 2000 und die Prognosen für 2005 (Tab. 1.4.1).

Die Bedeutung der Altfahrzeuge mit hohen Emissionen im PKW- und LNfz-Bereich war demnach bereits im Jahr 2000 gering und nimmt voraussichtlich bis 2005 weiterhin deutlich ab. Der Anteil der SNfz ohne Emissionsminderung betrug 2000 noch 27,5%, nimmt voraussichtlich jedoch bis 2005 auf 8% ab. Lediglich bei den Krafträdern entfallen erhebliche Anteile auf die stärker mit Emissionen belasteten Bauarten. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass sie häufig nur saisonal und mit geringen Fahrleistungen betrieben werden.

Für die beispielhafte Darstellung des dynamischen PKW-Bestands im Jahr 2003 (Abb. 1.4.1) wurden die Werte zwischen den Basisdaten für 2000 und der Schätzung für 2005 linear interpoliert (Tab. 1.4.1, vgl. auch Abb. B2.2 in Kapitel 3).

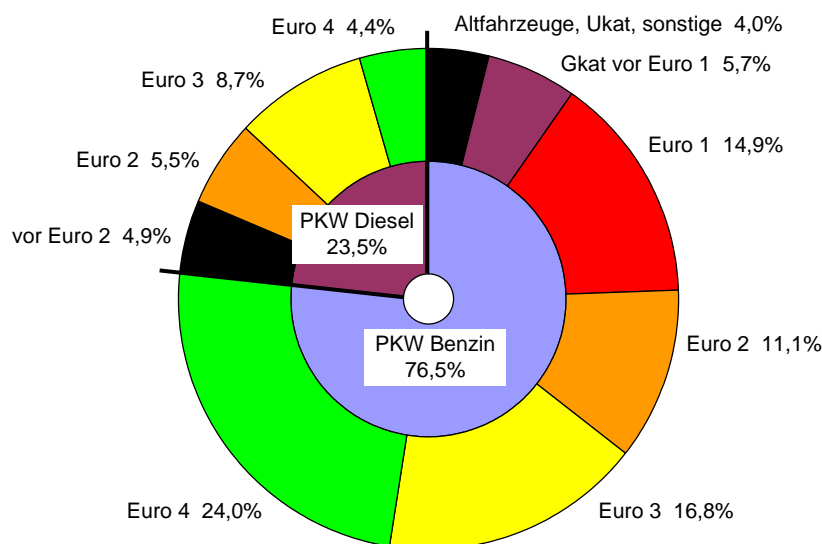


Abb. 1.4.1: Anteile der PKW-Fahrzeugschichten nach Emissionsstufen am dynamischen Bestand Baden-Württembergs (2003, alle Verkehrssituationen) [UMEG/AVISO, 2004; eigene Berechnungen]

Jahr		2000	2001	2002	2003	2004	2005
PKW							
Benzinmotor	konv., UKAT, sonstig red.	6,9%	5,9%	4,9%	4,0%	3,0%	2,0%
	Gkat vor Euro 1	10,4%	8,8%	7,3%	5,7%	4,2%	2,6%
	Gkat Euro 1	22,3%	19,8%	17,4%	14,9%	12,4%	9,9%
	Gkat Euro 2	15,6%	14,1%	12,6%	11,1%	9,7%	8,2%
	Gkat Euro 3	18,3%	17,8%	17,3%	16,8%	16,3%	15,8%
	Gkat Euro 4	6,2%	12%	18%	24%	30%	35,9%
Dieselmotor	vor Euro 2	7,8%	6,8%	5,8%	4,9%	3,9%	2,9%
	Euro 2	7,9%	7,1%	6,3%	5,5%	4,7%	3,9%
	Euro 3	4,6%	6,0%	7,3%	8,7%	10,1%	11,4%
	Euro 4	0,0%	1,5%	3,0%	4,4%	5,9%	7,4%
	Euro 5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Summe		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Leichte Nutzfahrzeuge							
Benzinmotor	konv., UKAT, sonstig red.	4,3%	3,73%	3,17%	2,61%	2,05%	1,5%
	Gkat gesamt	7,6%	7,59%	7,61%	7,63%	7,65%	7,7%
Dieselmotor	vor Euro 1	24,2%	21,3%	18,3%	15,4%	12,5%	9,6%
	Euro 1	44,2%	38,6%	33,0%	27,4%	21,8%	16,2%
	Euro 2	19,6%	17,1%	14,6%	12,0%	9,5%	7,0%
	Euro 3	0,2%	6,9%	13,5%	20,2%	26,9%	33,6%
	Euro 4	0,0%	4,9%	9,8%	14,7%	19,6%	24,6%
	Euro 5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Summe		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Schwere Nutzfahrzeuge							
Dieselmotor	vor Euro 1	27,5%	23,7%	19,8%	15,9%	12,1%	8,2%
	Euro 1	17,5%	15,4%	13,3%	11,2%	9,1%	7,0%
	Euro 2	51,9%	47,3%	42,6%	38,0%	33,4%	28,8%
	Euro 3	3,0%	10,5%	18,0%	25,5%	33,0%	40,4%
	Euro 4	0,0%	3,1%	6,2%	9,3%	12,4%	15,6%
	Euro 5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Summe		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Krafträder							
Benzinmotor	vor EU 1	94,8%	86,4%	77,9%	69,5%	61,0%	52,6%
	EU 1	5,2%	10,1%	15,1%	20,1%	25,0%	30,0%
	EU 2	0,0%	3,5%	7,0%	10,5%	14,0%	17,4%
Summe		100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tab. 1.4.1: Anteile der Schadstoffklassen an den einzelnen dynamischen Beständen der Fahrzeugkategorien in Baden-Württemberg (alle Verkehrssituationen, Basisjahr 2000, Prognose bis 2005 linear interpoliert)

1.5 Summarische Emission in Baden-Württemberg und in einigen Stadtkreisen

Mit dem Emissionskataster Baden-Württemberg, das regelmäßig aktualisiert wird [UMEG, 2002], liegen hochaufgelöste Emissionsberechnungen für den Bereich Verkehr sowie für die anderen Emittentengruppen vor.

Die Darstellung der Anteile der PKW, leichten und schweren Nutzfahrzeuge an Bestand, Fahrleistung und den hier relevanten Emissionen (Abb. 1.5.1) verdeutlicht die Beiträge der Fahrzeuggruppen zu der landesweiten Summe der Emissionen des Straßenverkehrs. So haben die schweren Nutzfahrzeuge einen Anteil von 6,4% am Bestand und 7,7% an der Fahrleistung, sind aber für 49% der Partikel- und 58% der Stickstoffoxid-Emissionen verantwortlich.

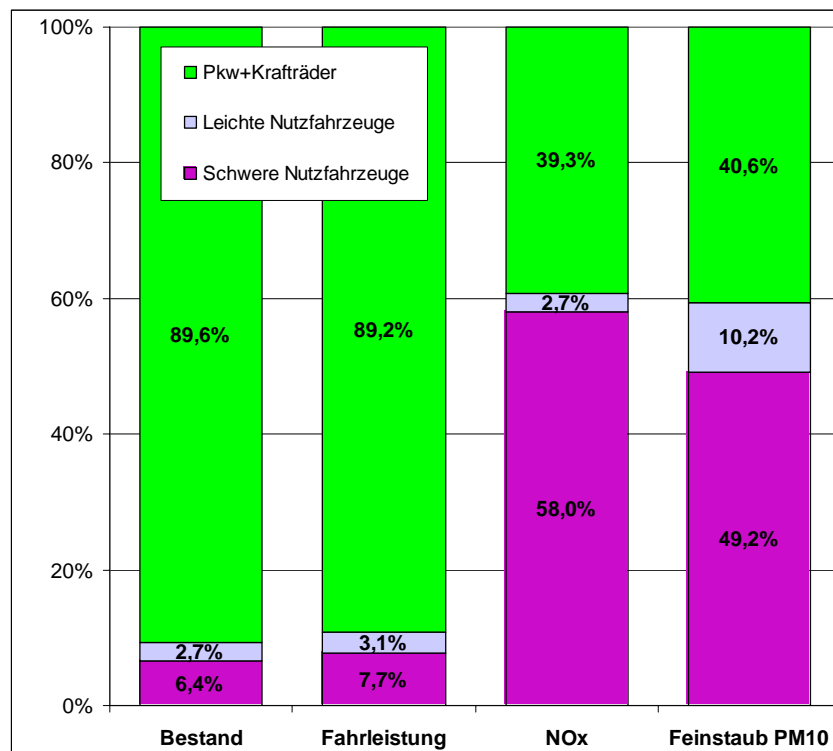


Abb. 1.5.1: Bestand, Fahrleistung und NO_x- bzw. PM₁₀-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2000, aufgeschlüsselt nach den Gruppen PKW + Kraftfahrzeuge, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge [UMEG, 2002]

Den Berechnungen liegen korrigierte Emissionsfaktoren der UMEG zugrunde, die die Unterschätzungen der SNfz im HBEFA 1.2 ausgleichen sollen.

Summarische Verkehrsemissionen in den Innerortsbereichen großer Stadtkreise

Nähere Informationen zur spezifischen Situation in den Innenstadtbereichen ergeben sich aus den Detaildaten des Emissionskatasters zu den Stadt- und Landkreisen. Die folgenden vier Tabellen (Tab. 1.5.1) weisen die summarischen Verkehrsemissionen für den Innerortsbereich großer Stadtkreise aus. Mit der Auswahl der Kategorien "Innerorts Linien- und Flächenquellen" werden die Straßen mit Bebauung und damit der städtische Siedlungsbereich erfasst. Die bebauungsfern liegenden Linienquellen "Außerorts" und "BAB" innerhalb der

Stadtkreise wurden für diese Übersicht nicht berücksichtigt. Die Daten beziehen sich auf das Jahr 2002. Ihnen liegen die aktuellen Emissionsfaktoren des HBEFA 2.1 zugrunde.

Es wird deutlich, dass die schweren Nutzfahrzeuge (SNfz) trotz eines eher niedrigen Anteils an der Fahrleistung mit ihrer NO_x- und Partikelemission in der gleichen Größenordnung liegen wie die PKW. Durch die Aktualisierung des "Handbuchs Emissionsfaktoren" ist die NO_x-Emission der SNfz noch um etwa 10% gestiegen, während ansonsten Abnahmen im Vergleich zu 2000 zu verzeichnen sind. In zwei Stadtkreisen (Mannheim, Freiburg) liegt nun der Beitrag der SNfz an der NO_x-Emission über demjenigen der PKW. Damit ist im Fall von verkehrsbeschränkenden Maßnahmen hier ein hohes Minderungspotential gegeben.

Summarische Verkehrsemissionen im Innerortsbereich großer Stadtkreise (Linien- und Flächenquellen); Bezugsjahr 2002.

Stadtkreis Stuttgart , Bereich Innerorts (Straßen mit Bebauung)				Stadtkreis Mannheim , Bereich Innerorts (Straßen mit Bebauung)			
	Fahrleistung Mio Fz-km/a	NO _x t/a	PM ₁₀ t/a		Fahrleistung Mio Fz-km/a	NO _x t/a	PM ₁₀ t/a
PKW	1695	629	32	PKW	898	379	15
LNfz	33	25	2	LNfz	19	14	1
SNfz	48	409	12	SNfz	50	412	13
Krad	41	5	2	Krad	20	2	1

Stadtkreis Karlsruhe , Bereich Innerorts (Straßen mit Bebauung)				Stadtkreis Freiburg , Bereich Innerorts (Straßen mit Bebauung)			
	Fahrleistung Mio Fz-km/a	NO _x t/a	PM ₁₀ t/a		Fahrleistung Mio Fz-km/a	NO _x t/a	PM ₁₀ t/a
PKW	773	310	14	PKW	620	275	12
LNfz	27	20	2	LNfz	19	14	1
SNfz	29	247	8	SNfz	34	296	9
Krad	18	2	1	Krad	18	2	1

Tab. 1.5.1: Summarische Verkehrsemissionen im Innerortsbereich großer Stadtkreise. Bezugsjahr 2002, HBEFA 2.1 [UMEG, 2005]

Der vergleichsweise geringe Anteil der leichten Nutzfahrzeuge (LNfz) an Fahrleistung und Emissionen dürfte seine Ursache in der bislang unbefriedigenden statistischen Erfassung dieser Fahrzeugklasse haben: Teilweise sind diese Fahrzeuge als PKW oder sonstige Kfz zugelassen, zum Teil auch als SNfz (vgl. Kap. 1.1). Aufgrund des starken Zuwachses dieser Fahrzeugklasse in den vergangenen Jahren ist real von einem größeren Anteil der LNfz an den Emissionen auszugehen.

2. Emissionsfaktoren und Emissionen

2.1 Gültigkeit und Erfassungsgrenzen von NO_x- und PM₁₀-Emissionsfaktoren

Berechnet werden die Emissionen des Verkehrs mit dem "Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs" (HBEFA). Die derzeit aktuelle Version 2.1 stammt vom Februar 2004.

Im weiteren Text wird hierfür die Abkürzung HBEFA 2.1 verwendet.

NO_x-Emissionen des Verkehrs:

Der Straßenverkehr ist der Hauptverursacher von Stickstoffoxid-Emissionen; sein Anteil an der gesamten NO_x-Emission lag 2000 im landesweiten Durchschnitt bei 58% [UMEG, 2004]. In stark verkehrsbelasteten Gebieten kann dieser Anteil noch deutlich höher liegen.

Im Abgas (Primäremission) liegen die Stickstoffoxide zunächst überwiegend als NO (Stickstoffmonoxid) vor, das in der Atmosphäre zu NO₂ (Stickstoffdioxid) oxidiert wird. Zur Erfassung der Gesamtemission wird üblicherweise die Summe NO + NO₂ = NO_x (Stickstoffoxide) gebildet; nur diese Größe wird auch vom HBEFA 2.1 angegeben. Der Grenzwert der 22. BImSchV bezieht sich allerdings auf NO₂, da dies die stabilere und toxikologisch relevante Komponente ist. Die zunehmende Ausrüstung der Diesel-PKW mit Oxidationskatalysatoren zusammen mit ihrem steigenden Anteil an der Flotte führt zu einer erhöhten NO₂-Primäremission, die sich vor allem im Innenstadtbereich negativ auf die NO₂-Immission auswirkt.

Dem HBEFA 2.1 liegen im Wesentlichen statistische Daten der Jahre 2000 und 2001 und neuere Emissionsmessungen für NO_x zugrunde. Gegenüber dem HBEFA 1.2 ergeben sich hieraus insbesondere für Diesel-PKW und SNfz wesentliche Veränderungen [Knörr, 2004; IFEU, 2004]. So wurden die Anteile der **Diesel-PKW** an der Gruppe der PKW deutlich nach oben korrigiert, die Ergebnisse von Emissionsmessungen an Fahrzeugen der Euro-Klassen 2 und 3 führten zu wesentlich höheren Emissionsfaktoren, z.B. im Innerortsbereich um 25 bis 36%. Für **SNfz** wird nun berücksichtigt, dass das Emissionsverhalten deutlich vom jeweiligen Betriebspunkt abhängt und damit wesentlich höhere Emissionsfaktoren realistisch sind. Bislang waren die NO_x-Emissionsfaktoren der schweren Nutzfahrzeuge deutlich unterschätzt worden. Insbesondere die Euro 2- und Euro 3-SNFz zeigen bei weitem nicht die erhoffte Absenkung der Emissionsfaktoren.

Sowohl für Diesel-PKW als auch für SNfz gilt: Euro 2-Fahrzeuge emittieren mehr NO_x als Euro 1-Fahrzeuge. Erst Euro 3-Fahrzeuge erreichen wieder das Emissionsniveau der Euro 1-Fahrzeuge.

Zusammenfassend ergibt sich als Konsequenz aus dem neuen HBEFA 2.1 für die Prognose der NO_x-Emissionen [IFEU 2004], dass

- die Absenkraten zukünftig geringer ausfallen als bisher angenommen;
- sie erst 2005 den bisher bereits für 2000 berechneten Wert erreichen werden;
- dieser 5-jährige Rückstand auch bis 2010 und darüber hinaus bestehen bleibt.

PM₁₀-Emissionen des Verkehrs:

Bei den vom Straßenverkehr verursachten Feinstaubemissionen ist zu unterscheiden zwischen

- **auspuffbedingten Emissionen**, vor allem durch das Abgas der Dieselmotore, und
- **nicht auspuffbedingten Emissionen** durch Straßenbelags-, Reifen-, Brems- und Kupplungsabrieb sowie deren Aufwirbelung.

Dieser Verkehrsbeitrag überlagert sich der PM₁₀-Hintergrundbelastung, die neben primär emittierten Partikeln auch aus sekundären, aus der Gasphase gebildeten Aerosolen besteht.

Die Berechnung der **auspuffbedingten Emissionen** erfolgt mit dem HBEFA 2.1. Nach Angaben des UMEG-Emissionskatasters tragen die Abgase des Straßenverkehrs im landesweiten Durchschnitt 28% zu den gesamten anthropogenen PM₁₀-Emissionen bei (Bezugsjahr 2000).

Zusammenfassend ergibt sich für die auspuffbedingte Partikelemission als Konsequenz aus den neuen Emissionsfaktoren [IFEU 2004]:

- Das Gesamtniveau liegt deutlich höher als bisher angenommen.
- Große Differenzen zwischen neueren und bisherigen Prognosen treten vor allem wegen der höheren Anteile der Diesel-PKW auf.
- Der Eintritt von Minderungen verzögert sich um etliche Jahre.

Die Quantifizierung des Beitrags der **nicht auspuffbedingten Emissionen** ist bislang nicht zufriedenstellend möglich und derzeit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Anscheinend sind die Komponenten Straßenabrieb und Aufwirbelung innerstädtisch von großer Bedeutung; auch der Reifenabrieb liefert nennenswerte Beiträge zur PM₁₀-Belastung, wenngleich der überwiegende Teil des Reifenabriebs gröber als PM₁₀ ist. Dagegen liegt der Bremsenabrieb vor allem im Feinstaubbereich.

Eine Quantifizierung dieser Einzelbeiträge für Baden-Württemberg wird in [Pregger u. Friedrich, 2003] für Gesamtstaub und die Feinstaubfraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} vorgenommen wobei allerdings für die Abriebs- und Aufwirbelungskomponenten von einer erheblichen Unsicherheit auszugehen ist.

Ergebnisse aus Messungen und Berechnungen für die stark verkehrsbelastete, eng bebaute Göttinger Straße in Hannover zeigen, dass sich der Verkehrsbeitrag an PM₁₀ dort aus 20% durch das Abgas und 80% durch Abrieb, Schmutz und Wiederaufwirbelung zusammensetzt [Lohmeyer 2003], wobei allerdings die besondere Art der Straßendecke (Flüsterasphalt) zu berücksichtigen ist.

Eine Studie im Auftrag des schweizerischen BUWAL geht für die Schweiz im Jahr 2000 von einer jährlichen Feinstaub(PM₁₀)-Emission des Straßenverkehrs von 4500 t aus, die sich aus etwa 40% primärer Abgasemission und 60% durch Abrieb und Aufwirbelung zusammensetzen [BUWAL, 2003]. Für 2005 wird aufgrund gegenläufiger Tendenzen bei den Kompo-

zenten ein Abgasanteil von nur noch 30% prognostiziert. Hierbei ist allerdings der geringe Diesel-PKW-Anteil am PKW-Bestand von nur 8% (2002) gegenüber rund 20% in Baden-Württemberg zu berücksichtigen.

In jedem Fall stellen die Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung einen wesentlichen Teil der gesamten primären PM₁₀-Emissionen des Straßenverkehrs dar. Unter Schweizer Verhältnissen sind sie an Standorten mit geringer Störung der Fahrdynamik nach den Ergebnissen der Studie etwa gleich hoch wie die direkten Auspuffemissionen, an Standorten mit hohen Störungen, z.B. durch Lichtsignale oder Staus sogar höher. Messkampagnen in Deutschland zeigen ähnliche Emissionsfaktoren von PM₁₀. Sie zeigen auch, dass insbesondere der Zustand der Fahrbahn und des Straßenrands eine große Rolle spielen kann. Im Extremfall können die Beiträge aus Aufwirbelung und Straßenabrieb bei einer Straße mit schadhaftem Belag und/oder unbefestigten, staubigen Straßenrändern ein Vielfaches derjenigen einer gut befestigten Straße mit intaktem Belag ausmachen.

Hinsichtlich der Bewertung der toxikologischen Wirkung von Partikeln aus Abrieb und Aufwirbelung, die eine von den Auspuffemissionen völlig verschiedene Charakteristik bezüglich Korngrößen und chemischer Zusammensetzung aufweisen, bestehen derzeit noch beträchtliche Wissenslücken.

Die aktuellen Bestrebungen der EU, zukünftig die Fraktion PM_{2,5} immissionsseitig zu regeln, werden die Bedeutung der meist größeren Partikel aus der Aufwirbelung relativieren und den Schwerpunkt stärker auf die kleineren Partikel der Motoremissionen legen.

2.2 Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs

Das HBEFA 2.1 ermöglicht die Berechnung von Emissionsfaktoren für eine Vielzahl von Abgaskomponenten in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp, der Verkehrssituation und weiteren Randbedingungen.

Für die Einschätzung der Wirksamkeit der in Kapitel 3 beschriebenen Maßnahmen werden die Emissionsfaktoren für Stickstoffoxide (NO_x) und Partikel nach Kraftfahrzeugarten (Fahrzeugkategorien) und für folgende Parameter beschrieben:

- Straßenkategorien (gewichtete Verkehrssituationen auf innerörtlichen und außerörtlichen Straßen sowie Bundesautobahnen),
- verschiedene Verkehrssituationen im innerörtlichen Bereich mit zugehörigen Geschwindigkeiten,
- verschiedenen Emissionsstufen der Kraftfahrzeuge.

Für die Bewertung der folgenden Berechnungen ist zu beachten:

- **Kaltstartzuschläge** können im Innenstadtbereich durchaus eine wichtige Rolle spielen, werden jedoch im Weiteren vereinfachend nicht in die Betrachtungen einbezogen. Sie können mit HBEFA 2.1 nur für PKW und leichte Nutzfahrzeuge unter verschiedensten

Bedingungen berechnet werden. Unter definierten Standardbedingungen von z.B. Temperatur, Fahrtweiten, Fahrverhalten ergeben sich folgende Werte pro Start:

	Emissionsfaktoren in g/Start	
	NO _x	Partikel
PKW Benzin	0,506	0
PKW Diesel	0,143	0,061
LNfz Benzin	1,673	0
LNfz Diesel	0,230	0,028

- Im HBEFA 2.1 sind mittlere Werte für die **Längsneigungen** der Straßen in den gewichteten Verkehrssituationen enthalten. Für die einzelnen Verkehrssituationen können sie gewählt werden. In den folgenden Auswertungen wurden die Standardbedingungen mit Längsneigung ± 0 angesetzt.
- Für SNfz und Busse wurde nicht zwischen leer und vollbeladen unterschieden, sondern ein mittlerer **Beladungszustand** angenommen.
- Da **Dieselfußfilter** für PKW bislang kaum im Einsatz sind, wurde von der entsprechenden Wahlmöglichkeit im HBEFA 2.1 kein Gebrauch gemacht.
- **Klimaanlagen** wurden nicht berücksichtigt. Sie haben einen etwas höheren Kraftstoffverbrauch und damit höhere Emissionen zur Folge. Da ihr Anteil stark gestiegen ist, würden sie auch in den Berechnungen für 2005 zu höheren Emissionsfaktoren insbesondere für NO_x führen (Benzin-PKW plus 8-11%, Diesel-PKW plus 5-6%). Auf die Emissionsfaktoren für Partikel wirken sie sich kaum aus.

Insgesamt ist daher davon auszugehen, dass die im Folgenden dargestellten Werte der Emissionsfaktoren eher eine Untergrenze darstellen, zumal neuere Untersuchungen zeigen, dass die durchschnittliche Fahrleistung der Diesel-PKW höher ist als bisher angenommen. Der Anteil Innerorts dürfte um 5-6 Prozentpunkte über dem Wert von 26% in der Tabelle 2.2.1.1 liegen. Dies führt zu einem entsprechenden Anstieg der spezifischen Emissionen bei NO_x und Partikeln [IFEU, 2004].

2.2.1 Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Straßenkategorie

Auf allen drei Straßenkategorien - innerörtliche und außerörtliche Straßen sowie Bundesautobahnen - sind unterschiedlichste Verkehrssituationen anzutreffen, die zu sehr verschiedenen gefahrenen Geschwindigkeiten und Emissionsfaktoren führen (vgl. Kap. 2.2.2). Die im Folgenden dargestellten Werte sind jeweils gewichtete Mittelwerte über die auftretenden Verkehrssituationen je Straßenkategorie.

Fahrgeschwindigkeiten

Die zu häufigem Stop an Haltestellen gezwungenen Linienbusse werden sowohl im innerörtlichen wie im außerörtlichen Bereich mit den niedrigsten Fahrgeschwindigkeiten angesetzt (23 bzw. 39 km/h). Für die anderen Fahrzeugkategorien liegen die Geschwindigkeiten innerorts zwischen 27 und 34 km/h, auf außerörtlichen Straßen zwischen 71 und 76 km/h. Auf Autobahnen fahren die SNfz im Durchschnitt am langsamsten mit 82 km/h, am schnellsten die PKW mit 118 km/h.

Den beiden Kategorien der SNfz werden für die verschiedenen Verkehrssituationen jeweils annähernd gleiche Geschwindigkeiten hinterlegt, ebenso den Kategorien LNfz und PKW.

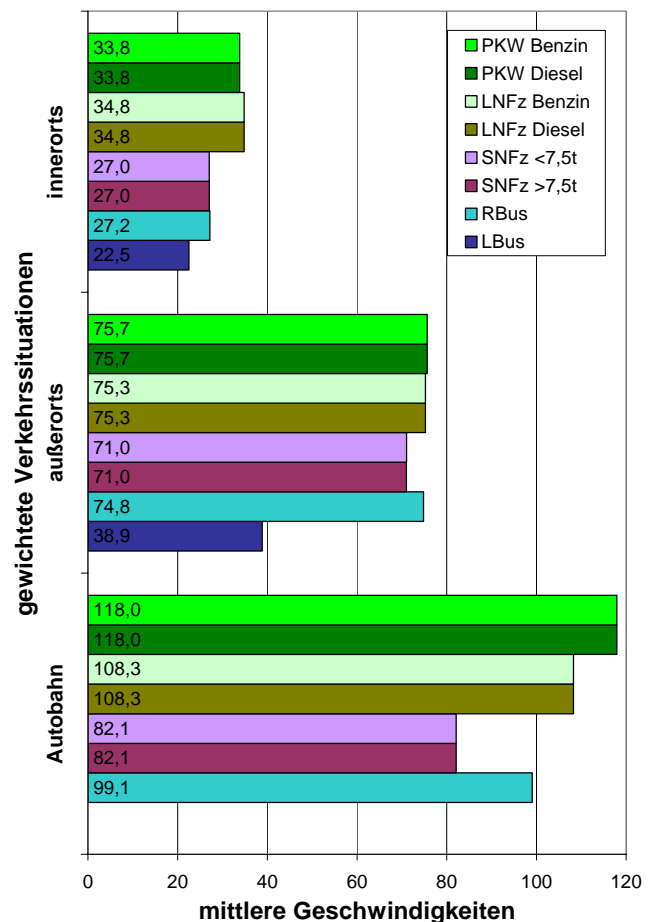


Abb. 2.2.1.1: Mittlere Geschwindigkeiten nach Straßen- und Fahrzeugkategorien (HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005)

Emissionsfaktoren für NO_x und PM₁₀

Für die angeführten Fahrzeugkategorien gibt die folgende Darstellung (Abb. 2.2.1.2) die durchschnittlichen Emissionsfaktoren für Stickstoffoxide und Partikel wieder. Den Grafiken liegen die in Tab. 2.2.1.1 aufgeführten Anteile von Benzin- und Dieselmotoren in den Fahrzeugkategorien PKW und LNfz für das Bezugsjahr 2005 zu Grunde.

Die SNfz <7,5t zulässiges Gesamtgewicht interessieren als selbständige Kategorie. Ihre Anteile an der gesamten Fahrzeugkategorie der SNfz sind ebenfalls aus Tab. 2.2.1.1 zu entnehmen. Beide Größenklassen werden im Folgenden getrennt ausgewiesen. Kraftfahrzeuge werden wegen ihres geringen Anteils nicht berücksichtigt.

Fahrsituation	PKW		LNfz		SNfz	
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	<7,5t	>7,5t
Innerorts	73,8	26,2	14,2	85,8	37,9	62,1
Außerorts	73,9	26,1	12,4	87,6	24,2	75,8
Autobahn	69,8	30,2	10,8	89,2	9,0	91,0

Tab. 2.2.1.1: Anteile der Benzin- und Dieselmotoren an den Fahrzeugkategorien PKW und LNfz sowie Aufteilung der SNfz nach zulässigem Gesamtgewicht, jeweils in % (HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005)

Die Abbildungen 2.2.1.2 zeigen für alle Straßenkategorien die überdurchschnittlich hohen Emissionsfaktoren der Busse und SNfz >7,5t sowohl für NO_x als auch für Partikel. Dies führt trotz eines geringeren Anteils am dynamischen Kraftfahrzeugbestand zu hohen Anteilen an der Gesamtemission. Die SNfz >7,5t und Busse emittieren auf innerörtlichen Straßen deutlich mehr als auf den anderen Straßenkategorien, was zu einer verschärften Immissionsituation bei einem hohen Anteil von SNfz innerorts beitragen kann.

SNfz <7,5t weisen deutlich geringere NO_x-Emissionen als SNfz >7,5t auf, liegen aber noch wesentlich höher als LNfz und PKW.

Die Emissionsfaktoren der LNfz liegen etwas höher als diejenigen der PKW, insbesondere hinsichtlich der Partikelemissionen. Besonders deutlich wird dies auf Autobahnen.

PKW-Diesel erreichen auf Autobahnen etwas höhere Partikel-Emissionen als innerorts und außerorts, bei der NO_x-Emission sind kaum Unterschiede in den Straßenkategorien ausgewiesen.

Für Benzin-Fahrzeuge (PKW und LNfz) wird grundsätzlich von keinen Partikelemissionen ausgegangen. Aufgrund der Ausrüstung mit Gkat sind die NO_x-Emissionsfaktoren für die Benzin-PKW die niedrigsten aller Fahrzeugkategorien und unterscheiden sich auch nach Straßenkategorien nur geringfügig.

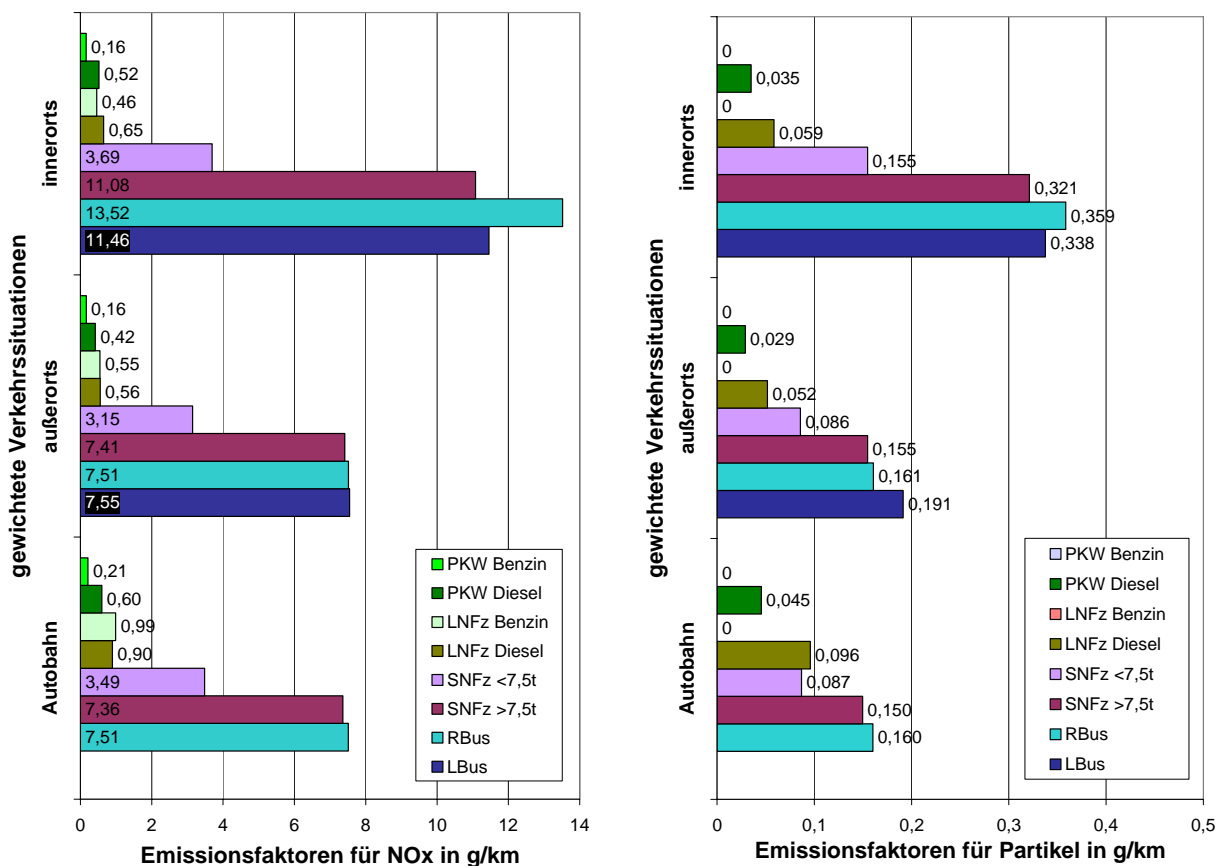


Abb.: 2.2.1.2: Durchschnittliche Emissionsfaktoren für Stickstoffoxid und Partikel nach Straßen- und Fahrzeugkategorien / -schichten (HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005)

2.2.2 Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Verkehrssituation

Für die Straßenkategorien - innerörtliche und außerörtliche Straßen sowie Bundesautobahnen - sind im HBEFA 2.1 eine Vielzahl unterschiedlicher Verkehrssituationen mit Fahrmustern in Abhängigkeit von den Fahrzeugkategorien hinterlegt.

Da die Probleme hinsichtlich der Einhaltung der 22. BImSchV vor allem im innerörtlichen Bereich auftreten, werden im Folgenden die Innerorts-Verkehrssituationen näher betrachtet. Die im HBEFA 2.1 für innerörtliche Straßen gebildeten Verkehrssituations-Gruppen reichen von der komfortablen Hauptverkehrsstraße mit einem Tempolimit oberhalb von 50 km/h bis hin zum Stadtkernverkehr mit starken Verkehrsstörungen und "Stop and Go". Innerhalb der einzelnen Gruppen wird zwischen Straßen ohne beziehungsweise mit geringen bis hin zu Straßen mit starken Störungen unterschieden.

Für eine übersichtlichere Darstellung wurden für die Abbildungen 2.2.2.1 bis 2.2.2.5 die folgenden Verkehrssituationen ausgewählt:

Stop and Go	innerörtliche Straße mit sehr starker Störung
Kern	Straße im Stadtkern mit starker Störung
Nebenstraße	Nebenstraße im Ortsbereich, geschlossene Bebauung
Lichtsignalanlage	Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage und mittlerer Störung
Hauptverkehrsstraße	vorfahrtsberechtigter Hauptverkehrsstraße mit mittlerer Störung
Hauptverkehrsstraße mit >50km/h	Hauptverkehrsstraße mit Tempolimit über 50km/h und mittlerer Störung

Die Emissionsfaktoren für NO_x und Partikel liegen für SNfz und Busse deutlich über denjenigen der PKW und LNfz. Sie werden daher in getrennten Diagrammen mit unterschiedlichem Maßstab dargestellt. Auf die Darstellung der Emissionsfaktoren für LNfz in der Verkehrssituation "Stop and Go" wurde derzeit aufgrund von Datenunsicherheiten verzichtet.

Die **NO_x-Emissionsfaktoren** für Diesel-PKW und LNfz sind auf den gewählten Hauptverkehrsstraßen ohne Lichtsignalanlagen annähernd gleich (Abb. 2.2.2.2). Mit zunehmender Behinderung des Verkehrsflusses, d.h. bei zunehmender Störung durch Lichtsignalanlagen, im Stadtkernbereich und bei "Stop and Go" steigen sie, bedingt durch die häufigeren Beschleunigungsvorgänge, merklich an. Auch Nebenstraßen mit dichter Bebauung weisen höhere Emissionsfaktoren auf.

Diesel-Fahrzeuge liegen mit ihren NO_x-Emissionen über den Benzin-Fahrzeugen, die LNfz liegen höher als die PKW.

SNfz und Busse (Abb. 2.2.2.3) zeigen vergleichbare Kurvenverläufe wie die Diesel-PKW und Diesel-LNfz, allerdings liegen die Werte für die einzelnen Beispielsituationen wesentlich höher als für die kleineren Fahrzeuge. SNfz <7,5t weisen in dieser Gruppe die geringsten, RBusse die höchsten Emissionsfaktoren auf. SNfz >7,5t und LBusse liegen auf etwa gleichem Niveau.

Für die **Partikel-Emissionsfaktoren** der Dieselfahrzeuge (Abb. 2.2.2.4 und 2.2.2.5) sind die Abhängigkeiten bezüglich zunehmender Störung bzw. dichter Bebauung in Nebenstraßen als auch bezüglich der Fahrzeugarten tendenziell mit denjenigen der NO_x-Faktoren vergleichbar.

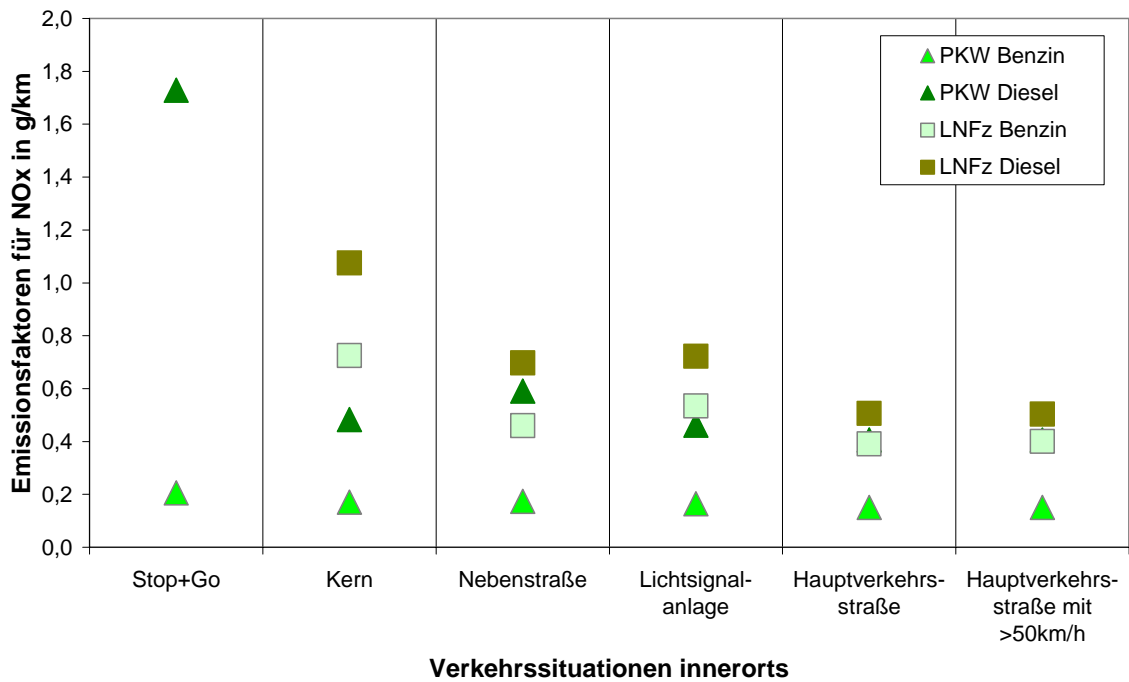


Abb. 2.2.2.2: Emissionsfaktoren für Stickstoffoxide (NO_x) in Abhängigkeit von Verkehrssituationen innerorts für die Fahrzeugkategorien PKW und LNfz (HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005)

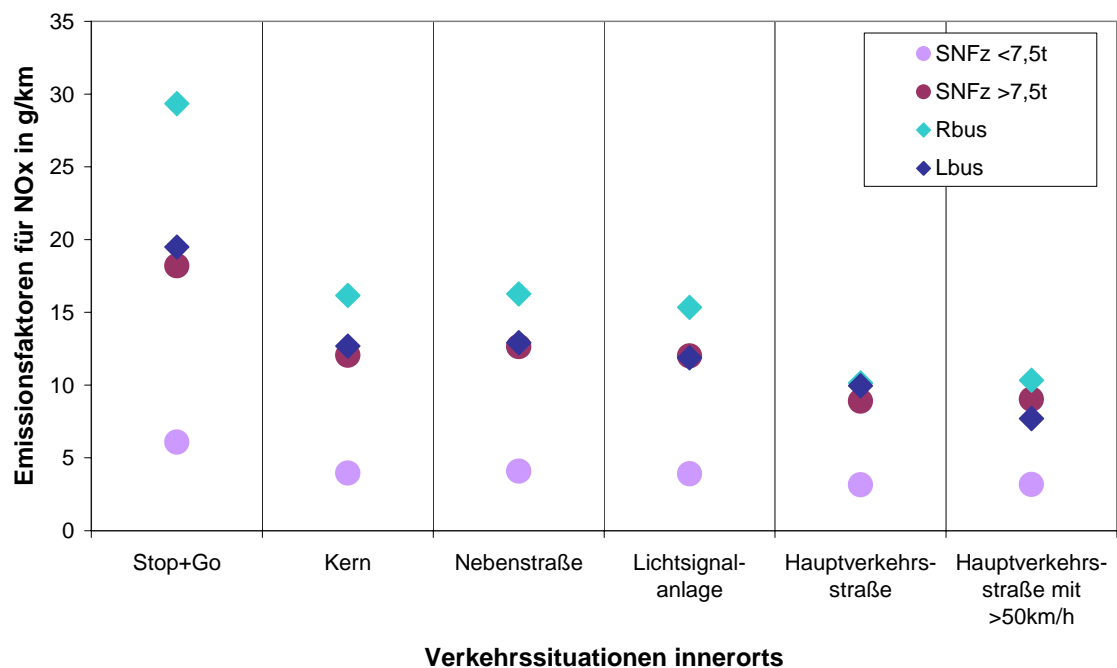


Abb. 2.2.2.3: Emissionsfaktoren für Stickstoffoxide (NO_x) in Abhängigkeit von Verkehrssituationen innerorts für die Fahrzeugkategorie SNfz <7,5 t, SNfz >7,5t und Busse (HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005)

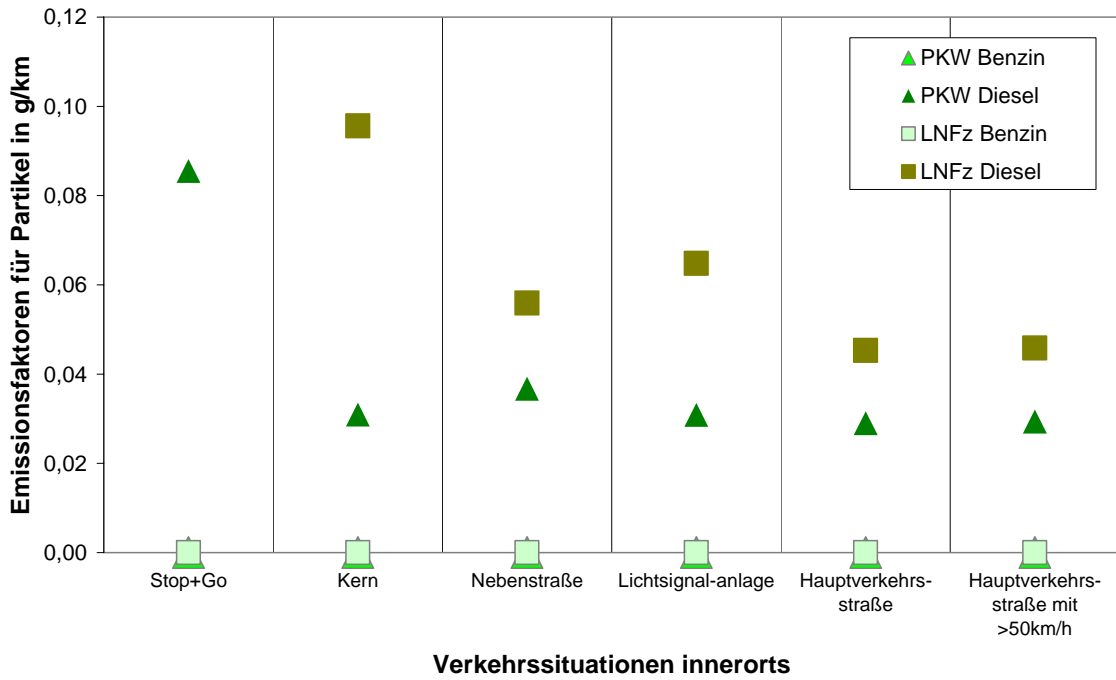


Abb. 2.2.2.4: Emissionsfaktoren für Partikel in Abhängigkeit von Verkehrssituationen innerorts für die Fahrzeugkategorien PKW und LNFz (HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005)

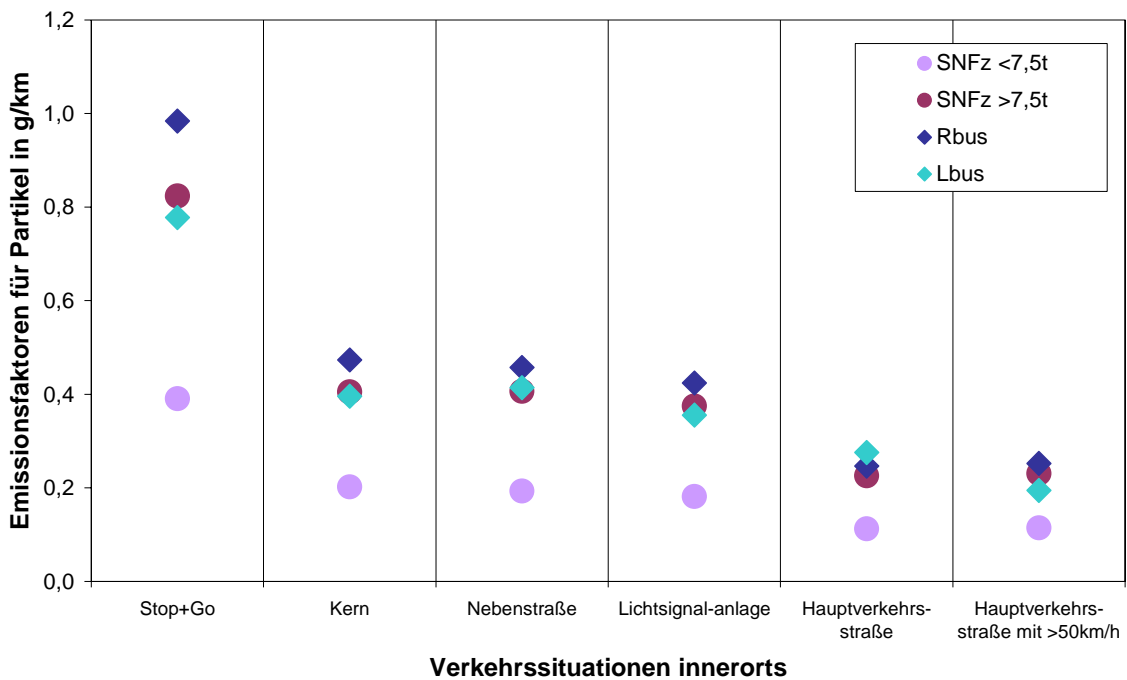


Abb. 2.2.2.5: Emissionsfaktoren für Partikel in Abhängigkeit von Verkehrssituationen innerorts für die Fahrzeugkategorie SNfz <7,5 t, SNfz >7,5t und Busse (HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005)

2.2.3 Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Emissionsstufe der Kraftfahrzeuge

In Abb. 2.2.3.1 und 2.2.3.2 sind beispielhaft die durchschnittlichen Emissionsfaktoren für gewichtete Verkehrssituationen **innerorts** in Abhängigkeit von den Fahrzeugkategorien und deren Emissionsstufen für das Jahr 2005 dargestellt.

Die Emissionsfaktoren der schweren Nutzfahrzeuge liegen um ein Mehrfaches über denen der PKW; dementsprechend liefern SNfz auch bei relativ niedrigem Anteil am Verkehrsaufkommen hohe Beiträge zur NO_x-Gesamtemission auf den Straßen. Insofern ist die möglichst genaue Erfassung des Schwerverkehrsanteils entscheidend für die Zuverlässigkeit einer Emissionsabschätzung.

Deutlich zu erkennen sind die erheblichen Minderungen der Emissionsfaktoren der Fahrzeuge nach neueren Euro-Normen gegenüber den Altfahrzeugen, allerdings auch die höheren NO_x-Emissionsfaktoren für Euro 2-SNfz und -Busse gegenüber den entsprechenden Euro 1-Fahrzeugen. Wie bereits im Kapitel 2.1 beschrieben, erreichen hier erst die Euro 3-Fahrzeuge wieder das Emissionsniveau der Euro 1-Fahrzeuge.

Für Benzin-Fahrzeuge (PKW und LNfz) errechnet sich eine Minderung der **NO_x-Emissionsfaktoren** nach Euro 4 um 97 bzw. 95% gegenüber den Altfahrzeugen, für die Dieselfahrzeuge von 37 bis 61%. Die entsprechende Minderung der **Partikel-Emissionsfaktoren** für Dieselfahrzeuge liegt zwischen 83 und 95%.

Bei **SNfz und Omnibussen** sind diese Minderungen absolut gesehen besonders relevant, auch wenn sie deutlich geringer ausfallen als von der Gesetzgebung beabsichtigt.

Der Anteil an Altfahrzeugen (vor Euro 1) wird im HBEFA 2.1 im gewichteten innerörtlichen Verkehr für SNfz <7,5t mit einem Anteil von 6,2% und für SNfz >7,5t von 5,9% angenommen. In ähnlicher Größenordnung liegt die Emissionsstufe Euro 1 (4,2 und 4,6%), den Schwerpunkt bildet Euro 2 und 3. Starke Verschiebungen zu den Emissionsstufen 3 und 4 werden prognostiziert. Ähnliches gilt auch für die Busse, allerdings wird hier der Anteil der Altfahrzeuge noch mit 11,8% angenommen.

Für Benzin-**LNfz**-Altfahrzeuge setzt das HBEFA 2.1 0,8% Anteil und für Diesel-LNfz-Altfahrzeuge 7,7% an, mit stark abnehmender Tendenz. Der Schwerpunkt liegt im Jahr 2005 für die Benzin-LNfz bei den Fahrzeugen mit G-Kat (Euro 4) und für die Diesel-LNfz auf den Euro-Stufen 2 und 3. Diese Anteile werden sich deutlich zur Eurostufe 4 verschieben.

Der Bestand der Benzin-**PKW** verteilt sich im Jahr 2005 überwiegend auf die Eurostufen 3 und 4. Altfahrzeuge <Euro 1 spielen mit rund 3,1% nur noch eine untergeordnete Rolle im HBEFA 2.1, mit weiter abnehmendem Anteil. Diesel-PKW sind vorwiegend in den Eurostufen 3 und 4 vertreten, für Altfahrzeuge <Euro 2 liegt der Anteil lediglich noch bei 2,5%.

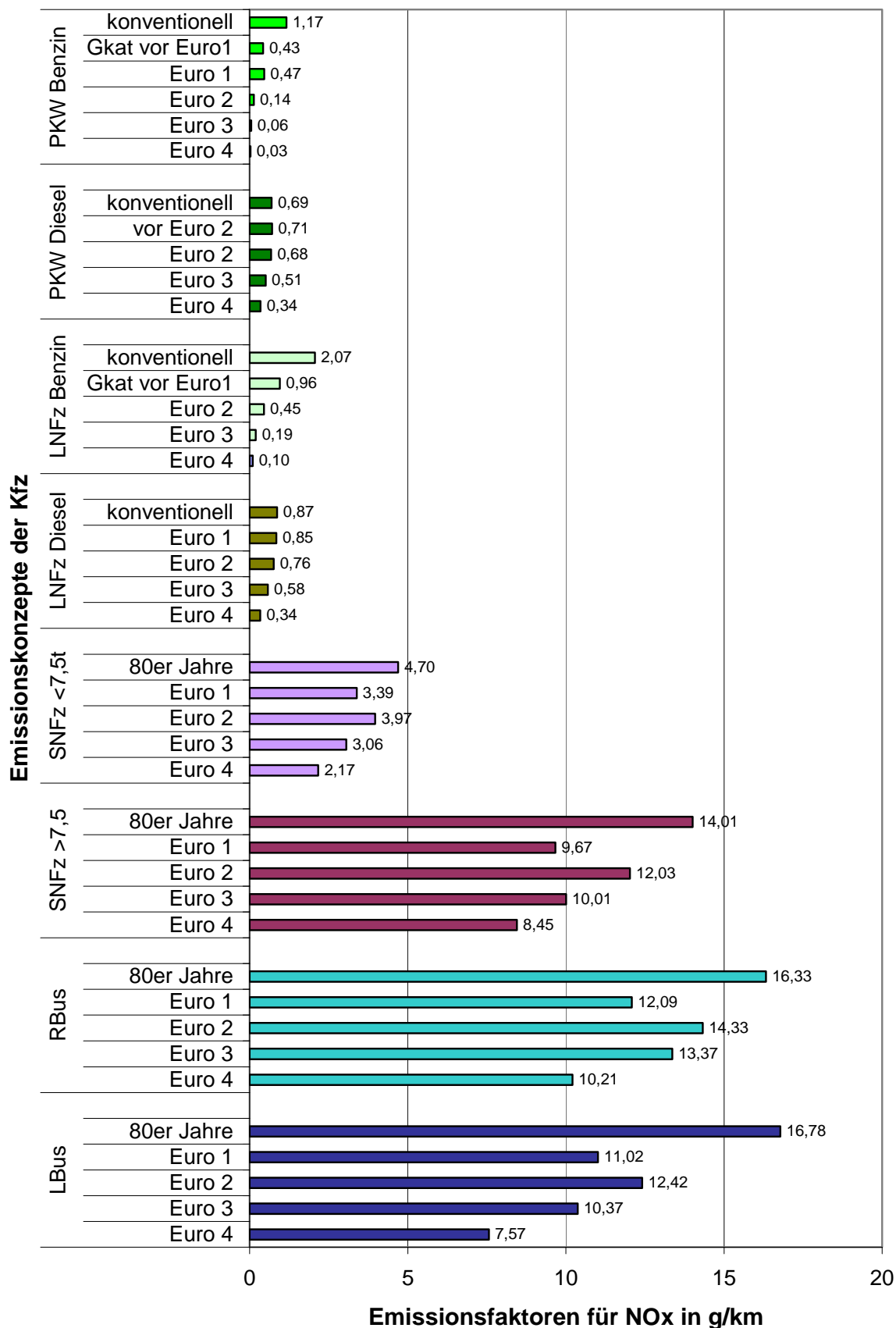


Abb. 2.2.3.1: Emissionsfaktoren für Stickstoffoxide (NO_x) nach Emissionskonzepten der Kfz (HBEFA 2.1, gewichtete Verkehrssituationen innerorts, Bezugsjahr 2005)

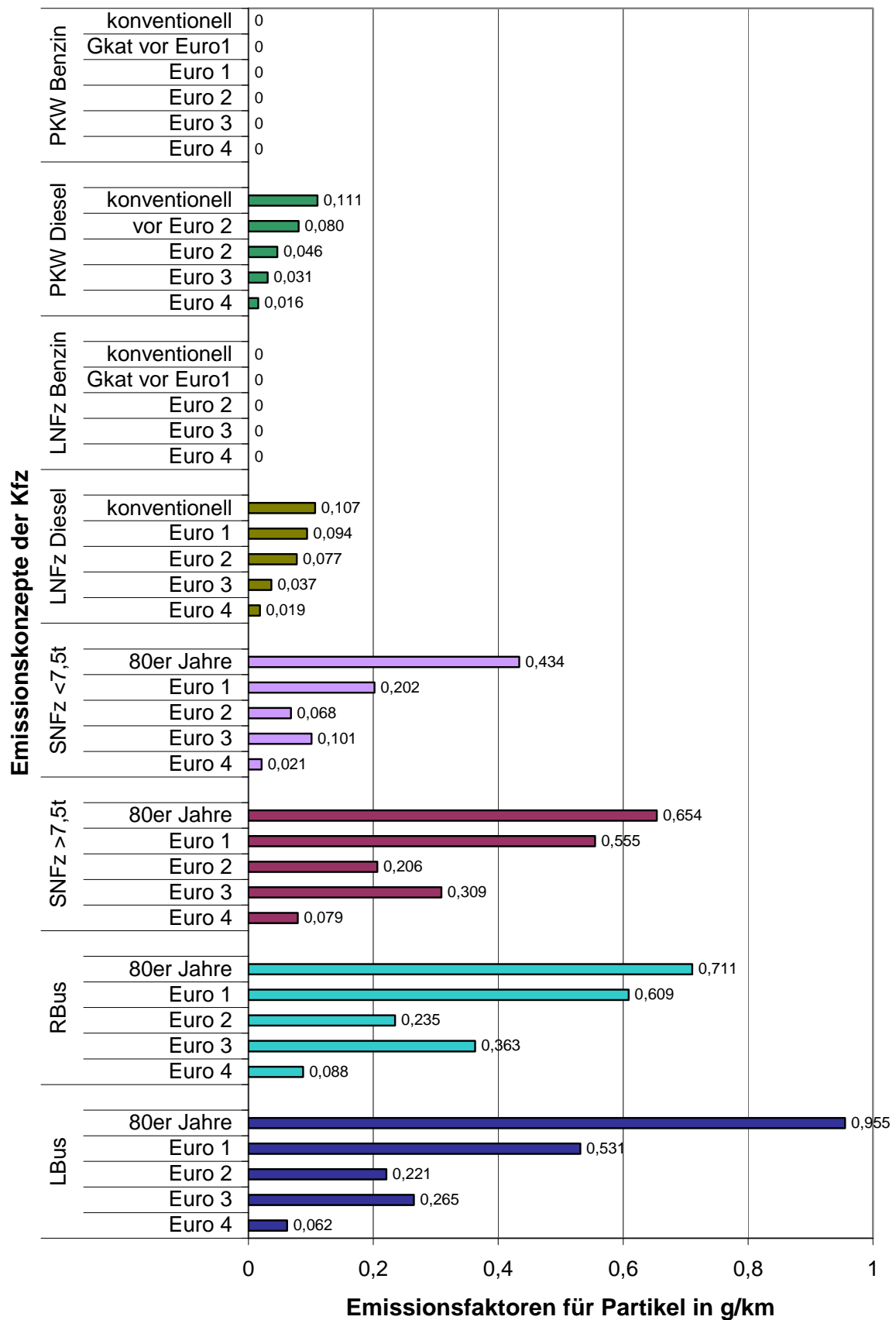


Abb. 2.2.3.2: Emissionsfaktoren für Partikel nach Emissionskonzepten der Kfz
(HBEFA 2.1, gewichtete Verkehrssituationen innerorts, Bezugsjahr 2005)

3. Maßnahmen

Die im Folgenden diskutierten Maßnahmen benötigen für ihre Umsetzung unterschiedliche Zeithorizonte. Hier sind im Wesentlichen zwei Kategorien zu unterscheiden:

Kurzfristige Maßnahmen

Beispiele dafür sind Tempolimits oder Fahrverbote für nicht schadstoffarme Kfz.

Mittelfristige Maßnahmen

Dies bezeichnet Maßnahmen, deren Realisierung einen Zeithorizont im Bereich von Monaten bis einigen Jahren erfordert und die damit nicht kurzfristig bei nachgewiesener Überschreitung von Grenzwerten umgesetzt werden können.

Hierzu gehören:

- Umstellung der ÖPNV-Busflotte bzw. ausgewählter Linien auf emissionsarmen Betrieb:
CRT-Filter oder Erdgas
- Einrichtung von Busspuren
- Einrichtung von Kreisverkehren
- Verbesserung des Straßenbelags.

3.1. Auswahl möglicher Maßnahmen

Zahlreiche Maßnahmen aus dem LfU-Bericht von 1996 "Emissionsmindernde Maßnahmen im Straßenverkehr" sind dem Themenkreis "Verkehrspolitik" zuzuordnen und sind damit für die vorliegende Vollzugsproblematik der 22. BImSchV bzw. des BImSchG nicht relevant, da sie nicht die hier diskutierten Anforderungen erfüllen. Insofern verbleibt aus dem damaligen Katalog des LfU-Berichts eine reduzierte Anzahl von kurz- und mittelfristigen Maßnahmen, die für die Zielsetzung Maßnahmenplanung als geeignet angesehen werden. Ergänzend wurden in der Aktualisierung des Berichts im Jahr 2004 weitere Maßnahmen und Spezifizierungen eingefügt. Damit ergibt sich der folgende Maßnahmenkatalog:

Maßnahmenkatalog in thematischer Gliederung

	Verkehrsbeschränkungen, Verkehrsverbote
B1	Tempolimit (Geschwindigkeitsbeschränkungen) - generell oder - für Fahrzeuggruppen (z.B. SNfz >7,5t)
B1.1	Verkehrsberuhigte Bereiche (Tempo 30-Zonen)
B2	Gebiets-, straßenbezogene Verkehrsverbote für - bestimmte Fahrzeug-/Motortypen (z.B. SNfz, Diesel-Kfz) - bestimmte Fahrzeuggruppen (z.B. <Euro 3)
B3	Tägliche Zeitfenster (z.B. für SNfz)
B4	Gebietsbezogene Straßennutzungsgebühren
B5	Überholverbot für SNfz auf Tangentenstraßen o.ä. im Ortsbereich
	Verkehrslenkung
L1	Verstetigung des Verkehrsflusses durch koordinierte Ampelschaltungen, "Grüne Welle"
L2	Pförtneranlagen
L3	Verkehrsleitsysteme
L4	Leitsysteme zu Parkhäusern und Parkplätzen
L5	Kreisverkehrsplätze
L6	Einbahnstraßenregelung
	Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung
V1	City-Logistik, Fahrtenkoordination
V2	Ausweisung von (neuen) Umgehungsstraßen
	Förderung alternativer Verkehrsmittel
Ö1	Anreize zum Umstieg auf ÖPNV (Erweiterung des ÖPNV-Angebots im Belastungsgebiet, Fahrpreisgestaltung)
Ö2	Busspuren
Ö3	Umstellung der ÖPNV-Busflotte auf emissionsarmen Betrieb: CRT-Filter oder Erdgas
IV	Integrierte Verkehrskonzepte
	Fahrzeugtechnik
T	Einsatz weitergehender emissionsarmer Technik
	Maßnahmen im Bereich Aufwirbelung / Abrieb
S1	Straßenreinigung
S2	Verbesserung des Straßenbelags

3.2 Bewertung der Wirksamkeit der Maßnahmen

Aufgrund der derzeit an vielen innerstädtischen Messpunkten erhöhten Immissionen besteht die Notwendigkeit, den für die Erstellung von Maßnahmenplänen verantwortlichen Behörden praxisrelevante Entscheidungshilfen in die Hand zu geben. Dafür ist eine Bewertung der Maßnahmen zur Reduzierung der PM₁₀- und NO₂-Belastung durch den Verkehr in städtischen Gebieten dringend erforderlich. Dabei sollen Kriterien wie Wirksamkeit, Kosten und Umsetzbarkeit Berücksichtigung finden. Aufgrund der zeitlichen Vorgaben ist die Bewertung von Maßnahmen bezüglich PM₁₀ besonders dringlich.

Die Prüfung von Maßnahmen muss unter folgenden Randbedingungen erfolgen [LAI-AK "Maßnahmenplanung", 2001]:

- Ist die Maßnahme kurzfristig realisierbar?
- Kann bis zu einem nahe liegenden Zeitpunkt (z. B. 2006) nachweislich die Immissionsbelastung signifikant verringert werden?
- Rechtfertigt das Minderungspotenzial den Einsatz der Maßnahme gegen eine bestimmte Verursachergruppe und ist die Verhältnismäßigkeit gewahrt?

Die Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehrsbereich ist ausschlaggebend für ihre Beurteilung. Leider gilt hier häufig die Aussage: "Hinsichtlich der Quantifizierung der Wirkungen von Minderungsmaßnahmen gibt es bisher kaum belastbare Informationen" [Zitat aus Lohmeyer et al., 2003].

Die Abschätzungen zur Wirksamkeit der im Folgenden vorgestellten Maßnahmen sind daher überwiegend qualitativ. In einem Textrahmen am Ende der Maßnahme erfolgt eine Einstufung der Wirkung in Kategorien der Art gering – mittel – groß und eine Einschätzung zur Berechenbarkeit der Minderungswirkung mit Hilfe des "Handbuchs Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs" (HBEFA) in seiner aktuellen Version 2.1 vom Februar 2004. Ferner wird der Aufwand für die Umsetzung der Maßnahme abgeschätzt.

Im konkreten Einzelfall "vor Ort" lässt sich die Auswirkung geplanter Maßnahmen gegebenenfalls durch entsprechend angepasste Berechnungen mit dem HBEFA abschätzen. Dies ist dann vorzugsweise eine Aufgabe für Experten.

Für eine erste Orientierung ist unter der Internetadresse www.hbefa.net eine stark vereinfachte Online-Version des Programms HBEFA 2.1 verfügbar. Die hier abrufbaren Emissionsfaktoren sind allerdings gewichtete Mittelwerte über Fahrzeugkategorien und Verkehrssituationen und geben nicht die Differenzierung des kompletten HBEFA wieder.

B1: Tempolimit (Geschwindigkeitsbeschränkungen)

- generell oder für Fahrzeuggruppen (z.B. SNfz >7,5t)

Geschwindigkeitsabhängigkeit der NO_x- und PM₁₀-Emissionen:

Aussagen zur Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emission bei ungestörter Fahrweise lassen sich aus dem "Handbuch Emissionsfaktoren" nicht ableiten, da dort die Fahrgeschwindigkeit immer mit einer entsprechenden Störung gekoppelt ist. Durch ein Tempolimit (evtl. in Verbindung mit einem Überholverbot) soll aber nur das Tempo vermindert, nicht die Störung erhöht werden. Insofern sind hier die in Abb. 2.2.2.2 – 2.2.2.5 dargestellten Abhängigkeiten von der Verkehrssituation nicht anwendbar.

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz [Rabl, 2003] hat Versuche mit 3 PKW und einem schweren Nutzfahrzeug durchgeführt zu der Frage, wie sich Tempo 30 und Tempo 50 mit Vorfahrt bzw. mit Rechts-vor-Links-Verkehr auf die Emissionen auswirken. Hier zeigte sich bei den Diesel-Fahrzeugen insbesondere bei den Partikelemissionen der Vorteil einer langsamen Fahrweise. Bei Tempo 30 ergaben sich gegenüber den entsprechenden Tempo-50-Zyklen Partikelminderungen von 45 - 70% (1 PKW, 1 SNfz). Bei den NO_x-Emissionen erweist sich gleichmäßige Fahrweise mit Tempo 30 bei dieselgetriebenen Fahrzeugen als emissionsmindernd. Bei den benzingetriebenen PKW liegen die NO_x-Emissionen bei beiden Geschwindigkeiten auf vergleichbarem Niveau, jedoch deutlich niedriger als beim Diesel-PKW.

Insgesamt ergaben sich die höchsten Emissionen und der höchste Kraftstoffverbrauch beim Test Tempo 50 mit Rechts-vor-Links, aber auch der Test Tempo 30 mit Rechts-vor-Links ergab tendenziell höhere Abgas- und Verbrauchswerte. Allerdings ist für quantitative Aussagen die Zahl der untersuchten Fahrzeuge zu gering.

Aus diesen Ergebnissen folgert Rabl, dass eine Reduzierung der zulässigen Fahrgeschwindigkeit von 50 auf 30 km/h insbesondere dann ein geeignetes Mittel sein kann, wenn Partikel-Immissionen gesenkt werden müssen.

Zur Reduzierung der NO₂-Immissionen kann eine Geschwindigkeitsbeschränkung vor allem bei einem hohen Nutzfahrzeuganteil (LNfz, SNfz) auf dem fraglichen Straßenabschnitt nützlich sein. Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge sollen damit vermindert werden.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich mit Geschwindigkeitsbeschränkungen ohne Erhöhung der Störungen die Partikel- und NO_x-Emissionen gezielt und kurzfristig reduzieren lassen.

Für weitergehende Aussagen fehlen bisher Daten aus entsprechenden, statistisch aussagekräftigen Messreihen.

Ein **Tempolimit auf Ausfallstraßen** (50 statt 70 km/h) wirkt zwar nur lokal begrenzt (einige 100 Meter), ist aber für diesen Abschnitt wirkungsvoll, weil dann die Beschleunigung geringer ausfällt, z.B. hinter Ampel auf nur 50 km/h statt auf 70 km/h (Ortsendeproblem). Dadurch lassen sich insbesondere lokal erhöhte Partikelemission von SNfz und Bussen vermeiden.

Die tatsächliche Auswirkung eines Tempolimits auf die Immissionssituation wurde untersucht in der Beusselstraße in Berlin (1570 LKW/Tag), wo im Jahr 2002 für zwei Monate Tempo 30 anstelle von Tempo 50 vorgeschrieben wurde [Lutz, 2003]. Aufgrund geringer Befolgung reduzierte sich die durchschnittliche Geschwindigkeit um lediglich 10%. Dementsprechend wurde nur eine geringfügige Minderung der Gesamtbelastung gemessen:

Bei NO_x um $-3 \pm 2\%$ (Prognose: -4%), bei PM₁₀ um $-2 \pm 3\%$ (Prognose: -3%).

Polizeiliche Geschwindigkeitskontrollen an zwei Tagen erhöhten den Befolgungsgrad erheblich; Immissionsmessungen für diesen Zeitraum wurden nicht mitgeteilt.

Dies macht die Bedeutung von **Geschwindigkeitskontrollen** für die Einhaltung und damit die Effektivität von Tempolimits deutlich.

Tempolimit (Geschwindigkeitsbeschränkungen)
Wirkung: gering bis mittel
Berechenbarkeit: nicht direkt mit HBEFA berechenbar (nur über Änderung Verkehrssituation)
Aufwand für Umsetzung: gering. Problem: Überwachung der Maßnahme.

B1.1: Verkehrsberuhigte Bereiche (Tempo 30-Zonen)

Die Einrichtung von Tempo 30-Zonen ist in der StVO seit 1.2.2001 neu geregelt mit der Zielsetzung, den Kommunen die Ausweisung solcher Zonen zu erleichtern.

In Tempo 30-Zonen gilt grundsätzlich die Rechts-vor-links-Regelung; ferner darf es keine Mittelmarkierung, keine Fahrstreifenbegrenzungen, keine benutzungspflichtigen Radwege und keine Ampeln mit Ausnahme von Fußgängerampeln geben.

Mit diesen Regelungen ist zwangsläufig ein hoher Behinderungsgrad verbunden, der sich ungünstig auf die Emissionen auswirkt. Häufige Anfahr- und Bremsvorgänge und größere Fahrtanteile im 2. Gang führen zu erhöhten Emissionen. Damit sind Tempo 30-Zonen grundsätzlich zu unterscheiden von Geschwindigkeitsbeschränkungen auf bestimmten Strecken.

Für eine Emissionsminderung günstig ist eine langsame und gleichmäßige Fahrweise, wie bei Maßnahme B1 Tempolimit ausgeführt.

Eine solche Fahrweise wird eher mit der Ausweisung von Vorfahrtsstraßen in Verbindung mit einem reduzierten Tempo, etwa durch eine Tempo 40-Regelung oder durch eine entsprechend eingestellte Grüne Welle der Lichtsignalanlagen zu erreichen sein.

Verkehrsberuhigte Bereiche (Tempo 30-Zonen)
Wirkung: Situationsabhängig
Berechenbarkeit: nicht mit HBEFA berechenbar
Aufwand für Umsetzung: gering bis mittel

Bemerkungen zur Berechenbarkeit nach "Handbuch Emissionsfaktoren"

Tempo 30 ist kein berechenbarer Regel-Fahrzyklus nach HBEFA.

In den betreffenden Bereichen liegen die mittleren Fahrgeschwindigkeiten bereits deutlich unter 30 km/h: Sie werden von der Art der Straße, den Randanbauten und Verkehrstörungen geprägt. So wird sich auf einer Straße mit vielen Hindernissen (Baumscheiben, Blumenkübel, Parkbuchten...) sowie häufiger Rechts-vor-Links-Regelung eine andere Fahrweise einstellen als auf einer geraden überschaubaren Tempo 30-Straße. Die tatsächlichen Fahrgeschwindigkeiten und Emissionen können in Tempo 30-Zonen eine entsprechende Bandbreite aufweisen.

In der Abbildung B1.1.1 sind für drei mögliche Verkehrssituationen des HBEFA die Fahrgeschwindigkeiten und Emissionsfaktoren dargestellt. Erkennbar ist das Ansteigen der Emissionen mit zunehmendem Behinderungsgrad. Es wird daraus deutlich, dass die Emissionen von Tempo 30-Zonen nicht pauschal nach HBEFA berechnet werden können, sondern dass die örtliche Störungssituation von entscheidender Bedeutung ist.

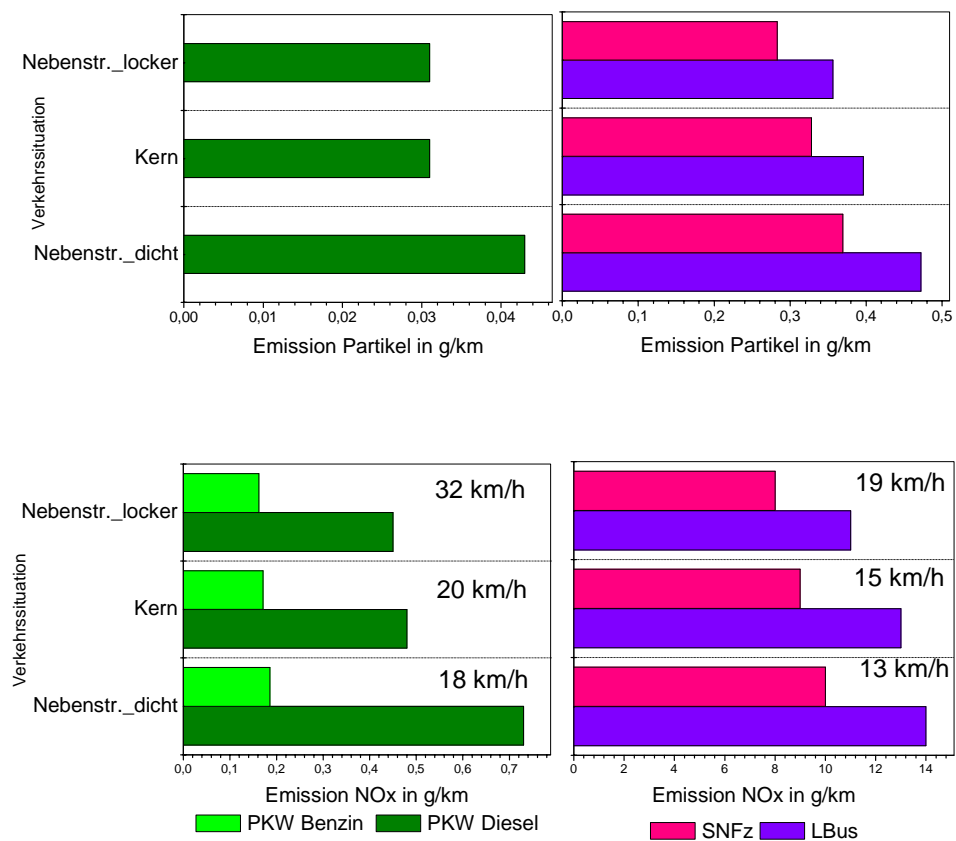


Abb. B1.1.1 Verschiedene Verkehrssituationen mit mittleren Fahrgeschwindigkeiten und Emissionsfaktoren in möglichen Tempo 30-Zonen.
Links: PKW, rechts: SNfz und LBus.
Nach HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005

B2: Gebiets-, straßenbezogene Verkehrsverbote für

- **bestimmte Fahrzeug-/Motortypen (z.B. SNfz, Diesel-Kfz)**
- **bestimmte Fahrzeuggruppen (z.B. <Euro 3)**

Fahrverbote und Verkehrsbeschränkungen für spezielle Fahrzeuggruppen können im Geltungsbereich der Maßnahmen zu deutlichen Minderungen der Emissionen führen. Auch der selektive Ausschluss hochemittierender Kfz kann eine überproportionale Emissionsminderung bewirken.

Selektive Fahrverbote gehen von der Tatsache aus, dass es innerhalb der Fahrzeugflotte große Unterschiede in der spezifischen Emission gibt, abhängig von Motor- und Abgasreinigungskonzept sowie der Fahrzeug- bzw. Motorgröße. Durch den Ausschluss bestimmter Fahrzeuggruppen lässt sich ein nennenswertes Emissionsminderungspotential erreichen, wenn diese Gruppen die stärksten Emittenten umfassen und einen wesentlichen Anteil an der lokalen Fahrleistung haben.

Fahrverbote für hochemittierende Fahrzeuggruppen entsprechen dem Verursacherprinzip, nach dem Maßnahmen die Verursacher nach ihrem Anteil an den Emissionen belasten sollen.

Damit Fahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung von Verkehrsverboten ganz oder teilweise ausgenommen werden können (§40 Abs.3 BImSchG), ist die Einführung einer Plakette zur amtlichen Kennzeichnung der Schadstoffstufe eines Fahrzeugs eine notwendige Voraussetzung.

Die Unterschiede in der Emission zwischen den verschiedenen Schadstoffstufen zeigen die Abb. 2.2.3.1 für NO_x und 2.2.3.2 für Partikel. Moderne Euro 4-Fahrzeuge weisen im Vergleich zu Altfahrzeugen Emissionsminderungen zwischen 40 und 97% auf. Absolut gesehen liegen die Emissionen der Schweren Nutzfahrzeuge und Busse in jedem Fall um ein Vielfaches über denen der PKW.

Um erhebliche Emissionsminderungen zu erreichen, bieten sich folgende Möglichkeiten an (wobei die angeführten Maßnahmen Beispielcharakter haben und an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden müssen):

Maßnahmen, die ohne Kennzeichnung der Fahrzeuge möglich sind:

- **Fahrverbot für alle leichten (LNfz) und schweren Nutzfahrzeuge (SNfz) und Busse.**
Mittlere bis hohe Wirksamkeit für PM₁₀ und NO_x, abhängig vom Anteil am Fahrzeugaufkommen. Problem einer Zuordnung der LNfz in der Überwachung.
- **Fahrverbot für schwere Nutzfahrzeuge (SNfz) >7,5t und Busse**
Mittlere bis hohe Wirksamkeit für PM₁₀ und NO_x, abhängig vom Anteil am Fahrzeugaufkommen.

Angesichts der massiven Unterschiede im Emissionsniveau zwischen PKW und SNfz bzw. Bussen bietet sich als Maßnahme von hoher Wirksamkeit ein generelles Fahrverbot für SNfz >7,5t und Busse an, sofern SNfz und Busse einen wesentlichen Anteil am lokalen Verkehrsaufkommen haben.

Dazu eine vereinfachte Beispielrechnung:

Aus HBEFA 2.1 erhält man die nachstehenden Emissionsfaktoren als gewichtete Mittelwerte für die Fahrzeugflotte 2005 und Innerortsverkehr:

Fahrzeugkategorie	Jahr	Land	Schadstoff	Verkehrssituation	Emissionsfaktor	Einheit
PKW	2005	D	NOx	ØIO	0.256	[g/FzKm]
LNF	2005	D	NOx	ØIO	0.625	[g/FzKm]
SNF	2005	D	NOx	ØIO	8.284	[g/FzKm]
LBus	2005	D	NOx	ØIO	11.456	[g/FzKm]
RBus	2005	D	NOx	ØIO	13.520	[g/FzKm]

Setzt man die Emissionsfaktoren von PKW und SNfz ins Verhältnis, so ergibt sich:

1 schweres Nutzfahrzeug emittiert ebensoviel NOx wie 32 PKW.

Anders ausgedrückt: Liegt der Anteil der SNfz am lokalen DTV bei 3%, so leisten PKW und SNfz gerade gleich große Beiträge zur gesamten NOx-Emission.

Entsprechend gilt für Innerorts-Verhältnisse:

1 Linienbus (LBus) emittiert ebensoviel NOx wie 45 PKW,

1 Reisebus (RBus) emittiert ebensoviel NOx wie 53 PKW.

In einer solchen Situation können mit einem Fahrverbot für LKW und Busse hohe Minderungen erreicht werden, obwohl vergleichsweise wenige Kraftfahrzeuge von einem Fahrverbot betroffen sind. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein geeigneter Ausweichstrecken.

Im Rahmen eines kurzzeitigen Maßnahmentests in der Beusselstraße in Berlin (ca. 1570 LKW/Tag) wurde für drei Wochen ein Durchfahrverbot für LKW über 3,5 t erlassen (Anlieger ausgenommen). Die Befolgung war mit etwa 35% Reduktion der LKW-Anzahl deutlich niedriger als erwartet. Dies führte zu folgender Minderung der Gesamtbelastung:
Bei NOx um $-20 \pm 10\%$ (Prognose: -13%), bei PM₁₀ um $-8 \pm 5\%$ (Prognose: -11%).
Es kam zu entsprechenden Verlagerungseffekten auf Ausweichstrecken [Lutz, 2003].

Maßnahmen, die eine Kennzeichnung der Fahrzeuge (Plakette) voraussetzen:

- **Fahrverbot für schwere Nutzfahrzeuge (SNfz) und Busse nach Euro-Stufen**

Eine Analyse der zeitlichen Entwicklung der Emissionsfaktoren über die Euro-Stufen ergibt:

Die **NOx-Emissionsfaktoren** der schweren Nutzfahrzeuge und auch der Busse zeigen – aufgrund der Umgehungsstrategien der Nutzfahrzeugindustrie – keine stetige Abnahme, sondern mit der Stufe Euro 2 wieder eine deutliche Zunahme in der Emission. Euro 3-

Fahrzeuge liegen in der Folge wieder etwa auf dem Niveau von Euro 1 (Abb. B2.1 und 2.2.3.1). Signifikante Sprünge im Emissionsniveau sind nicht zu verzeichnen.

Anders ist die Situation bei den **Partikel-Emissionsfaktoren**: Die Abnahmen sind sehr deutlich ausgeprägt, Euro 4-Fahrzeuge weisen im Vergleich zu Altfahrzeugen Emissionsminderungen von 88 bis 95% auf (Abb. B2.1 und 2.2.3.2). Die größte Abnahme ist von Euro 1 nach Euro 2 zu verzeichnen. Auch hier tritt eine Anomalie auf: Die Stufe Euro 3 liegt höher als Euro 2, allerdings deutlich unter Euro 1.

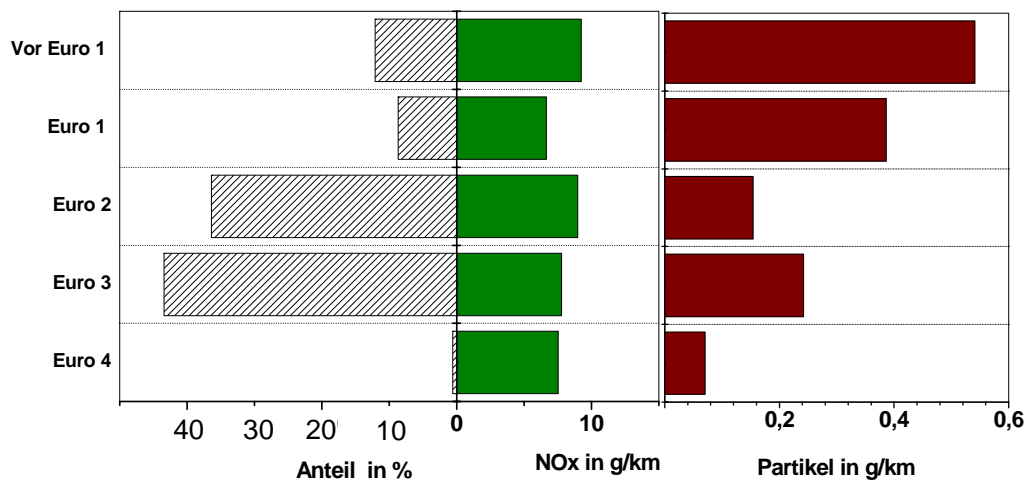


Abb. B2.1 Schwere Nutzfahrzeuge (SNfz): Dynamische Flottenanteile und Emissionsfaktoren (Deutschland, innerorts), differenziert nach Emissionsstufen für NOx und Partikel. Bezugsjahr 2005 nach HBEFA 2.1, Mittelwert über alle SNfz.

Zur Minderung der PM10- und NOx-Belastung würden

Fahrverbote für SNfz <Euro 1

einen Anteil von etwa 12% der SNfz-Flotte (Deutschland, innerorts, Bezugsjahr 2005), aber einen höheren Anteil an den Emissionen erfassen.

- **Fahrverbote für PKW nach Euro-Stufen**

Die Verteilung des dynamischen PKW-Bestands in Baden-Württemberg auf die Abgasstufen für 2005 zeigt das folgende Diagramm (Abb. B2.2). Die detaillierte Bestandsstruktur der PKW, der LNfz und SNfz für die Jahre 2000 und 2005 in Baden-Württemberg (gesamt, nicht innerorts) ist in Tab. 1.4.1 in Kapitel 1 dargestellt.

Aus den Daten wird deutlich, dass es wenig wirksam ist, allein PKW-Altfahrzeuge vor Euro 1 auszusperren, da ihr Anteil an der PKW-Fahrzeugflotte bereits 2005 **unter 7%** liegt. In den nächsten Jahren nimmt die Effektivität dieser Maßnahme noch weiter ab.

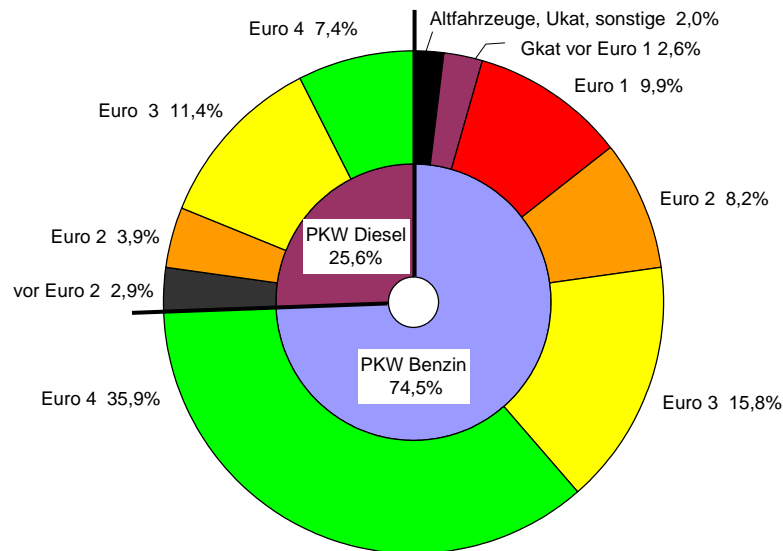


Abb. B2.2 Fahrleistungsgewichteter (dynamischer) PKW-Bestand in Baden-Württemberg 2005

Die zeitliche Entwicklung der Emissionsfaktoren über die Euro-Stufen bei PKW zeigt Abb. B2.3 im Detail. Für alle Fahrzeugklassen und Euro-Stufen sind die Emissionsfaktoren in den Abb. 2.2.3.1 und 2.2.3.2 in Kapitel 2 dargestellt. Das unterschiedliche Emissionsniveau von PKW gegenüber SNfz und Bussen wird in der geringeren Achsenskalierung der Abb. B2.3 im Vergleich zu Abb. B2.1 deutlich.

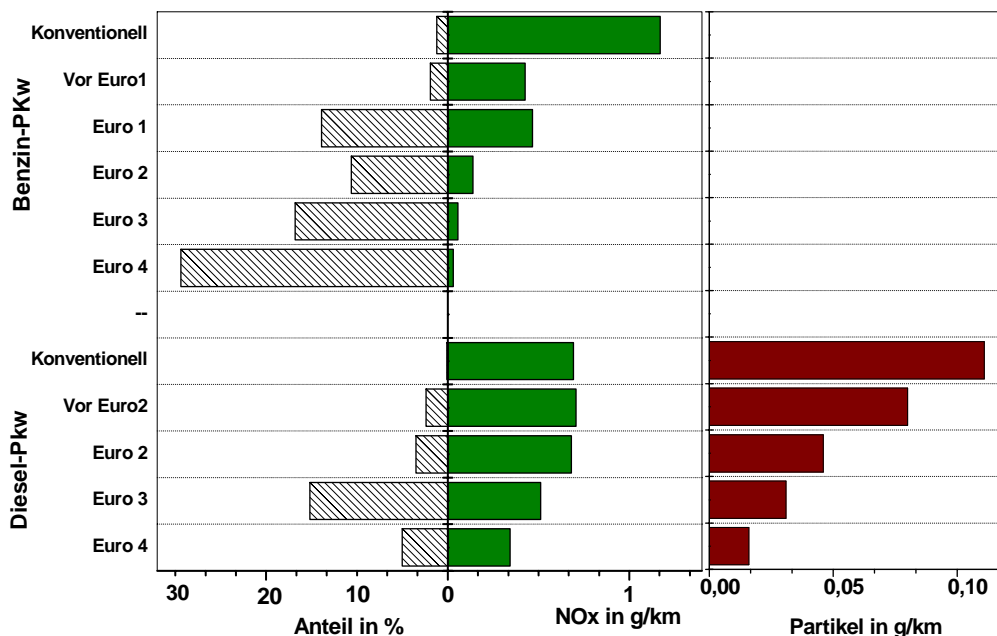


Abb. B2.3 Benzin- und Diesel-PKW: Dynamische Flottenanteile und Emissionsfaktoren (Deutschland, **innerorts**), differenziert nach Emissionsstufen für NOx und Partikel. Bezugsjahr 2005 nach HBEFA 2.1

Die **NOx-Emissionsfaktoren** der Benzin-PKW haben in zwei deutlichen Stufen (Konventionell → Vor Euro 1, Euro 1 → Euro 2) ein sehr niedriges Niveau erreicht. Dagegen zeigen Diesel-PKW bis Euro 2 ein ungefähr konstantes Niveau, seit Euro 3 eine allmähliche Abnahme. Damit haben Diesel-PKW nach Euro 3 hinsichtlich NOx ein vergleichbares Emissionsniveau wie Benziner nach Euro 1, während Diesel-PKW nach Euro 4 die 11-fache NOx-Emission aufweisen wie Benziner nach Euro 4.

Bei den **Partikel-Emissionsfaktoren** weist jede neue Euro-Stufe der Diesel-PKW deutlich verminderte Emissionen auf.

Der Kontrollaufwand ist bei Maßnahmen, die nach Schadstoffstufen differenzieren, als hoch einzuschätzen. Gleichzeitig entsteht bei dauerhaften Maßnahmen ein Anreiz zur Flottenverjüngung.

Verkehrsverbote, gebiets-, straßenbezogene
Wirkung: groß
Berechenbarkeit: gut berechenbar
Aufwand für Umsetzung: mittel: Hoher Überwachungsaufwand. Verlagerungseffekte.

Nicht für sinnvoll gehalten wird die Maßnahme:

- Beschränkung des Verkehrs auf Anwohnerverkehr -

Zum einen ist diese Maßnahme nicht ohne weiteres kontrollierbar, da sich der Anwohner- (oder Besucher-)Status nicht über das Kennzeichen ergibt. Als Grundlage für eine Kontrollierbarkeit wäre die Einführung einer "Anwohnerplakette" erforderlich.

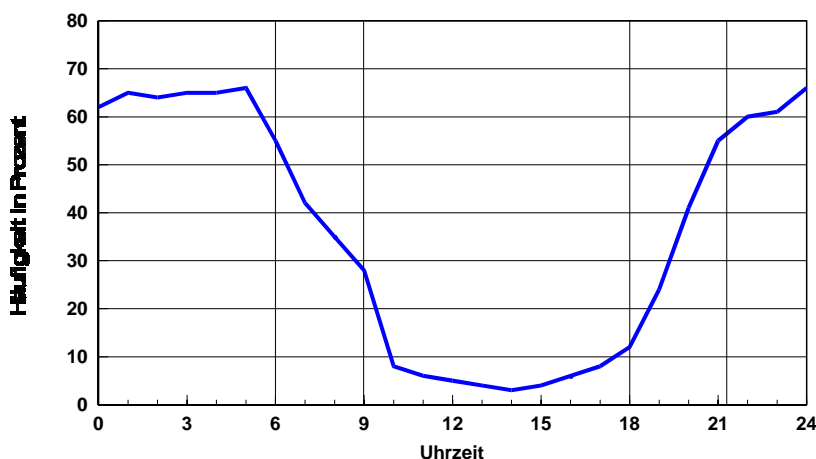
Zum anderen ist der Verkehr in den für eine solche Maßnahme in Frage kommenden Wohngebieten ganz überwiegend PKW-Verkehr; Nutzfahrzeuge werden damit kaum erfasst. Insofern wird die Wirkung auf die Emissionen gering bleiben.

B3: Tägliche Zeitfenster (z.B. für SNfz)

Zeitfenster, also zeitlich beschränkte Zufahrtsverbote in innerstädtische Bereiche z.B. für Nutzfahrzeuge des Anlieferverkehrs, bieten die Möglichkeit, kritische Belastungsspitzen während bestimmter Tageszeiten zu mindern.

Aus meteorologischer Sicht sind Zeitfenster besonders geeignet während ungünstiger Ausbreitungssituationen, wenn bodennahe Inversionen den Luftaustausch behindern und zu einer verminderten Verdünnung der Luftschadstoffe im Straßenbereich führen.

Wie sich aus Abb. B3.1 ersehen lässt, ist dies häufig frühmorgens und abends der Fall.



Mittlerer Tagesgang der Inversionen (am Erdboden aufliegend)
Häufigkeit im Jahresmittel
-Standort Rheinebene bei Karlsruhe-

Quelle: Forschungszentrum Karlsruhe

Abb. B3.1 Mittlerer Tagesgang der Inversionen, Häufigkeit im Jahresmittel.

Dies legt nahe, zeitliche Verbotsfenster beispielsweise für die Zeit von 6 bis 9 Uhr und/oder 18 bis 21 Uhr vorzusehen, was dann auch zu einer Verlagerung der vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeuge zu Zeiten außerhalb der Berufsverkehrsspitzen führt.

Zufahrtsverbote nachts sind unter Schadstoffemissionsgesichtspunkten uneffektiv wegen des dann meist geringen Anteils an schweren Nfz (Beispiel Pfinztalstudie im Rahmen der 23. BImSchV).

Die Städte Bozen, Meran, Brixen und Bruneck haben 2004 als vorbeugende Maßnahme zur Verbesserung der Luftqualität Verkehrsbeschränkungen zu den Stoßzeiten beschlossen. Es handelt sich um ein Fahrverbot für ältere Zweitaktmofas und Fahrzeuge, das vom 1. Dezember 2004 bis 1. April 2005 gilt und unabhängig von den gemessenen Luftwerten ist [Provinz Bozen - Südtirol, 2004].

Zeitraum	Tageszeiten der Fahrverbote	Vom Fahrverbot betroffene Fahrzeuge
01.12.2004–01.04.2005 von Montag bis Samstag	7 - 9 Uhr 12 - 14 Uhr 17 - 19 Uhr	Benzin- und Dieselfahrzeuge < 3,5 t (Auto und Nutzfahrzeuge) mit Erstimmatrikulation bis 31.12.1994
01.12.2004–01.04.2005 von Montag bis Samstag	7 - 9 Uhr 12 - 14 Uhr 17 - 19 Uhr	Zweitakt-Motorräder < 50 cm ³ mit Erstimmatrikulation bis 31.12.1999
01.12.2004–01.04.2005 von Montag bis Samstag	7 - 19 Uhr	Alle Fahrzeuge > 3,5 t. (LKW) mit Erstimmatrikulation bis 31.12.1994.

Zeitfenster (z.B. für LKW)
Wirkung: gering bis mittel , abhängig von Anzahl und Typ der betroffenen Fahrzeuge
Berechenbarkeit: Minderung berechenbar. Wirksamkeit hängt ab von der Lage des Zeitfensters
Aufwand für Umsetzung: gering

B4: Gebietsbezogene Straßennutzungsgebühren (low emission zones)

Die Einführung von Straßennutzungsgebühren in hochbelasteten innerstädtischen Zonen (low emission zones) zur Verminderung des Fahrzeugaufkommens ist erstmals 2003 in London realisiert worden.

Eine derartige Maßnahme kommt voraussichtlich nur für große Ballungsgebiete wie Stuttgart, evtl. auch Mannheim in Frage. Bei kleineren Städten dürfte sich das Kosten-/Nutzen-Verhältnis zunehmend verschlechtern.

Für London wurden umfangreiche Voruntersuchungen zu Effektivität, Kosten-/Nutzen-Verhältnis und Kosten pro angenommenen vermiedenen Todesfall durch Luftbelastung für eine große Zahl möglicher PM₁₀-Minderungsmaßnahmen durchgeführt [Mediavilla-Sahagun, 2003].

Interessanterweise stellte sich in dieser Studie die Strategie "Nachrüstung der Londoner Busse mit Partikelfilter" bzw. "Umstellung der Londoner Busse auf Erdgas" als eine der effektivsten Einzelmaßnahmen heraus.

Zu den konkreten Auswirkungen der in London eingeführten Straßennutzungsgebühr sind bislang keine Ergebnisse bekannt.

Gebietsbezogene Straßennutzungsgebühren
Wirkung: derzeit nicht bewertbar
Berechenbarkeit: nein
Aufwand für Umsetzung: hoch

B5: Überholverbot für SNfz auf Tangentenstraßen, Autobahnen o.ä. im Ortsbereich

Mit der spurweisen Trennung von PKW und LKW ist vor allem eine Verstetigung und Beschleunigung des Verkehrsflusses beabsichtigt. Für die LKW ist diese Maßnahme mit geringeren Geschwindigkeitsdifferenzen und im Mittel geringeren Geschwindigkeiten verbunden. Davon wird eine Reduzierung der spezifischen Emissionen der LKW erwartet. Diese Überlegung ist plausibel und unabhängig von der Schadstoffstufe des Fahrzeugs, da damit instationäre Fahrzustände wie starke Beschleunigungen mit dementsprechend erhöhten Emissionen vermieden werden.

Berechenbar nach HBEFA ist die Wirkung dieser Maßnahme nicht, wie bereits unter B1: "Tempolimit" dargelegt, da im Handbuch die Fahrtgeschwindigkeit immer mit einer entsprechenden Störung gekoppelt ist und eine langsamere und stetigere Fahrweise ohne zusätzliche Behinderung nicht enthalten ist. Dementsprechend lässt sich auch aus den Darstellungen der Emissionsfaktoren in Abb. 2.2.2.3 und 2.2.2.5 keine Minderung entnehmen. Die Größe der realisierbaren Emissionsminderung kann deshalb mit den vorliegenden Daten nicht beantwortet werden.

Bewertung der Wirkung: Gering, maximal einige Prozent bezogen auf die LKW-Emissionen; Wirkungszeitpunkt sofort.

Betroffene Fahrzeuggruppen: Schwere Nfz >7,5t, Reisebusse und Linienbusse auf Stadt- und Autobahnen.

Um eine Kompensation der LKW-Emissionsminderung durch eine Geschwindigkeitserhöhung beim PKW-Verkehr zu vermeiden, erscheint es sinnvoll, diese Maßnahme mit einem generellen Tempolimit zu koppeln.

Überholverbot für LKW auf Tangenten, Autobahnen o.ä. im Ortsbereich
Wirkung: gering
Berechenbarkeit: nicht mit HBEFA berechenbar
Aufwand für Umsetzung: gering. Problem der Kontrolle.

L1: Verstetigung des Verkehrsflusses durch koordinierte Ampelschaltungen, "Grüne Welle"

Eine Verflüssigung des Verkehrs mit einem Abbau der Behinderungen bei möglichst gleichmäßiger Fahrweise wirkt sich emissionsmindernd aus.

Aufgrund verbesserter Verkehrsdatenerfassungssysteme und deren Vernetzung ist es heute möglich, die Fahrzeugströme auch in größeren Quartieren verkehrsabhängig zu steuern. Diese sogenannte "adaptive Lichtsignalnetzsteuerung" erlaubt es, rechnergestützt die vorhandenen Kapazitäten des Hauptverkehrsstraßennetzes unter Einbeziehung der Nebenäste optimal zu nutzen. Solche vernetzten Steuerungsverfahren sind geeignet, den Verkehr insgesamt flüssiger zu gestalten und Staubildungen bei Verkehrsspitzen herabzusetzen. Dies wurde im Rahmen des Projekts MOBINET in München bestätigt, wo das Zusammentreffen von Messe- und Berufsverkehr heute signifikant weniger problematisch ist [ADAC, 2003].

Weitere Maßnahmen mit dieser Zielrichtung sind:

- Die Einführung einer "Grünen Welle" in Verbindung mit der Beschilderung: "Grüne Welle bei 50 km/h"
- Linksabbiegeverbot auf Hauptstraßen
- Optimierung der Ampelsteuerung eines Stadtviertels durch entsprechende Messfahrten
- Einsatz eines Verkehrsrechners neuer Generation zur dynamischen Ampelsteuerung
- rechnergesteuerte Abstimmung zwischen ÖPNV-Bevorrechtigung und Kfz-Rückstau

Bevorrechtigung des ÖPNV:

Versuche des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz [Rabl, 2003] zu dem Aspekt "Grüne Welle und Trambahnbeschleunigung" ergaben, dass es bei kurzfristiger und nur gelegentlicher Bevorzugung von Trambahnen oder Bussen nicht zu erheblichen Störungen und wesentlichen Emissionserhöhungen im allgemeinen Verkehrsablauf kommt.

Verstetigung des Verkehrsflusses, "Grüne Welle"
Wirkung: gering bis mittel
Berechenbarkeit: nach HBEFA berechenbar über Verkehrssituationen mit weniger Störungen oder über den Stauanteil
Aufwand für Umsetzung: gering bis mittel

Berechnungsbeispiele nach HBEFA "Grüne Welle":

1. Innerortsstraße

2-spurig, DTV 10 000

Fahrzeugart	Anteil in %	Fahrzeuge pro Tag
PKW	91	9100
LNfz	6	600
SNfz	2	200
LBus	1	100

Annahme: Eine Grüne Welle erzeugt weniger Störungen und damit einen Rückgang des Anteils von Stop&Go-Situationen von 15% auf 5%. Nach HBEFA entspricht dies einer Veränderung der Verkehrssituation von HVS4 zu HVS2 ($v = 32 \text{ km/h}$ auf 46 km/h bei PKW).
 Ergebnis: Verminderung der Emission für **NOx** um **21 %**, für **Partikel** um **23%**

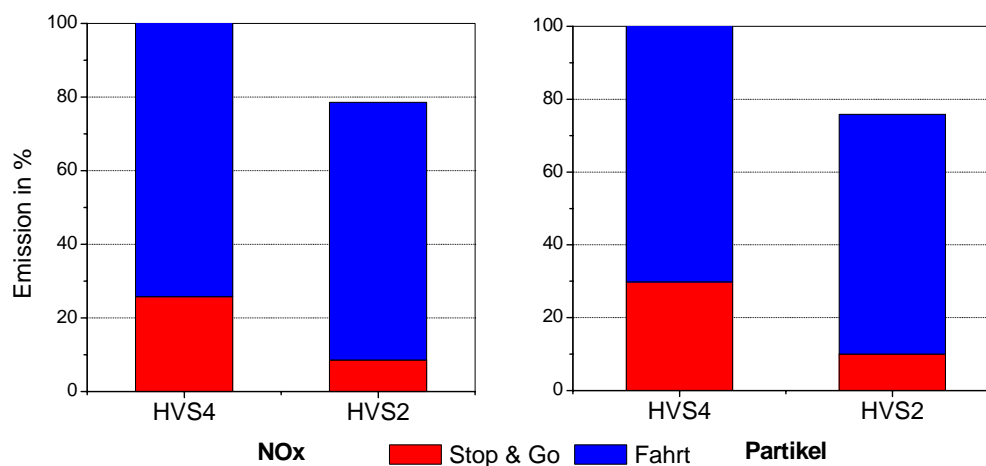


Abb. L1.1 Veränderung der Emission auf einer Innerortsstraße durch die Maßnahme "Grüne Welle" mit den jeweiligen Anteilen Stop&Go und Fahrt, nach HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005

2. Eine Ausfall- oder Tangentenstraße

4-spurig, DTV 20 000

Fahrzeugart	Anteil in %	Fahrzeuge pro Tag
PKW	88	17600
LNfz	6	1200
SNfz	4	800
LBus	2	400

Annahme: Durch Grüne Welle weniger Störungen, dadurch Rückgang des Anteils von Stop&Go-Situationen von 15% auf 5%. Nach HBEFA entspricht dies einer Veränderung der Verkehrssituation HVS >50_3 zu HVS >50_2 ($v = 38 \text{ km/h}$ auf 48 km/h für PKW).

Ergebnis: Verminderung der Emission für **NOx** um **21 %**, für **Partikel** um **24%**.

Dem Diesel/Benzin-Verhältnis der PKW in diesen Beispielen liegt der Ansatz im HBEFA 2.1 für das Bezugsjahr 2005 zugrunde (23,3% bzw. dynamisch 27,3%), insofern ist damit eine gewisse Unsicherheit verbunden. Die Gültigkeit dieses Ansatzes bleibt für die jeweiligen lokalen Verhältnisse zu überprüfen.

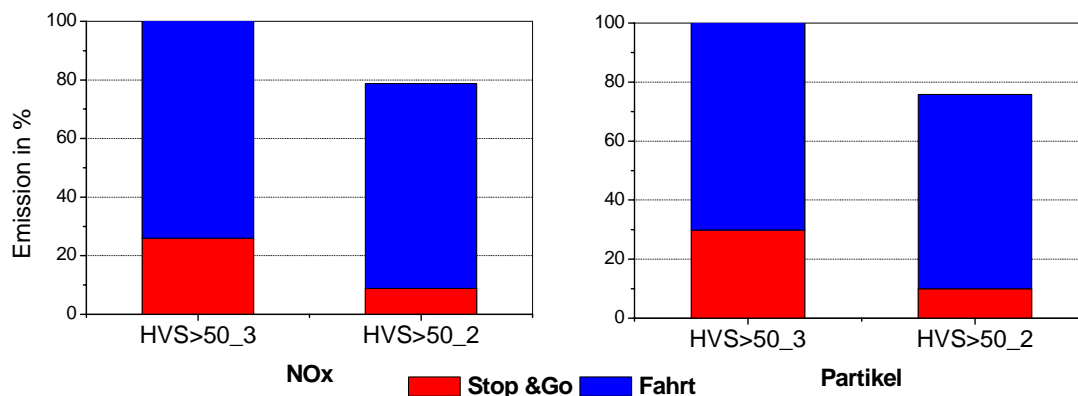


Abb. L1.2 Veränderung der Emission auf einer Ausfall- oder Tangentenstraße durch die Maßnahme "Grüne Welle" mit den jeweiligen Anteilen Stop&Go und Fahrt, nach HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005

L2: Pförtneranlagen

Durch geeignet angebrachte Pförtnerampeln können Rückstaus in bewohnten bzw. stark belasteten Gebieten vermieden werden. Flüssiger Verkehr verursacht geringere Emissionen als häufige Stop- and Go-Situationen.

Pförtnerampeln sind nur wirkungsvoll in Verbindung mit der Maßnahme L1 „**Grüne Welle**“, um eine effektive Verflüssigung des Verkehrs zu erreichen.¹

Pförtneranlagen
Wirkung: gering bis mittel
Berechenbarkeit: Minderung für Einzelsituationen berechenbar (Verkehrssituationen mit geringerer Störung)
Aufwand für Umsetzung: gering

Beispiel

Berechnung für die Ortsdurchfahrt der B29 in Mögglingen aus 1999:

Verminderung innerörtlicher Staus und Anfahrvorgänge an Kreuzungen und Fußgängerampeln durch zwei Pförtnerampeln, dadurch Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf 1000 m Ortsdurchfahrt von 23 km/h auf 36 km/h. Prognose für 2003:

Abnahme NO_x-Emission um 14%,

Abnahme Ruß-Emission um 34%

Voraussetzung: Synchronisation der Pförtnerampeln mit den Fußgängerampeln auf dem innerörtlichen Teilstück.

¹ Darunter werden keine Pförtnerampeln mit dem alleinigen Ziel einer Reduzierung der innerörtlichen Verkehrsmenge verstanden (Verkehrsbeschränkung)

L3: Verkehrsleitsysteme (situationsbezogen)

Im LfU-Bericht von 1996 wurde der Begriff Verkehrsleitsysteme für Maßnahmen zur Verkehrslenkung verwendet, wie etwa

- Großräumige Umlenkung des Durchgangsverkehrs
- Parkraumsteuerung
- Umsteigemöglichkeiten auf ÖPNV
- Geschwindigkeitsreduktion.

Hier sollen darunter jetzt integrierte Systeme wie im Modellplan **Hagen** (NRW) mit weitgehender situationsbezogener online-Steuerung verstanden werden [Stadt Hagen, 2003].

Dazu zählen Umleitungen und Sperrungen bzw. Teilsperrungen für verschiedene Fahrzeugkategorien in bestimmten Jahres- und Tageszeiten. Auslösekriterien sind starkes Verkehrsaufkommen, ungünstige Ausbreitungsbedingungen sowie bestehende hohe regionale Vorbelastung. Notwendig sind dazu zahlreiche Verkehrszählstellen mit Kategorienunterscheidung, ein dichtes örtliches Immissionsmessnetz mit mehreren Messstationen im Straßenraum sowie eine personell besetzte Leitzentrale. Zur wirkungsvollen Steuerung sind Prognosemodelle für Verkehrsaufkommen und Ausbreitungsbedingungen nötig, die Voraussagen für die nächsten Stunden berechnen können.

Nach unserer Einschätzung sind solche Leitsysteme nur für große Stadtgebiete geeignet, Betriebserfahrungen bezüglich Wirksamkeit und Kosten liegen nicht vor.

Verkehrsleitsysteme
Wirkung: mittel
Berechenbarkeit: nur mit aufwändigen Verkehrs- und Ausbreitungsmodellen möglich
Aufwand für Umsetzung: groß

L4: Leitsysteme zu Parkhäusern und Parkplätzen

Die Einrichtung von Parkleitsystemen zu Parkhäusern und Parkplätzen verfolgt das Ziel, den Parkplatzsuchverkehr zu minimieren, indem Informationen über verfügbare freie Parkplätze mitgeteilt werden. Hinsichtlich der Auswirkungen auf Fahrleistung und Emissionen liegen bezogen auf gesamte Stadtgebiete keine quantitativen Daten vor. Lokal können Parkhäuser kontraproduktiv wirken, da sie vermehrt Verkehr anziehen und aufgrund der vielen Parkvorgänge konzentriert Schadstoffe freisetzen.

Zu einer Entlastung von Stadtzentren führt die Einrichtung von Leitsystemen zu Park+Ride-Plätzen an der Peripherie mit entsprechender ÖPNV-Anbindung. Möglich und attraktivitätssteigernd ist hier etwa die kostenlose Abgabe eines ÖPNV-Tickets in Kombination mit der Parkgebühr (Beispiel Straßburg).

Erfasst werden von dieser Maßnahme nur ein geringerer Teil der PKW, aber keine LKW. Daher bleibt die Wirkung insgesamt gering.

Leitsysteme zu Parkhäusern und Parkplätzen
Wirkung: gering
Berechenbarkeit: bedingt berechenbar bei Vorliegen konkreter Fahrzeugzahlen und Fahrtstrecken
Aufwand für Umsetzung: mittel

L5: Kreisverkehrsplätze

Die Einrichtung von Kreisverkehren bietet gegenüber ampelgeregelten Kreuzungen Vorteile. Das Fahrverhalten an Kreisverkehrsplätzen ist gekennzeichnet durch geringere Fahrgeschwindigkeiten und langsamere Beschleunigung, in der Regel ohne Halt. Infolgedessen werden bei dieser Maßnahme geringere Schadstoffemissionen im Vergleich zu herkömmlichen Kreuzungen auftreten.

Daten zu einer Bewertung der emissionsmindernden Wirkung sind nicht bekannt.

Die Maßnahme wirkt im Sinne einer Verstetigung des Verkehrsflusses und wird daher als positiv eingeschätzt.

Kreisverkehrsplätze
Wirkung: gering, lokal mittel
Berechenbarkeit: mit HBEFA nicht berechenbar
Aufwand für Umsetzung: groß. Hoher Platzbedarf.

L6: Einbahnstraßenregelung

Die Aufhebung von Einbahnstraßenregelungen zur Tempoverminderung ist als kontraproduktiv zu bewerten, da sie eine Behinderung und damit Emissionserhöhung des Kfz-Verkehrs bewirkt.

Unter dem Aspekt der Emissionsminderung ist eher die Einrichtung von Einbahnstraßen zu prüfen, sofern eine Vergleichmäßigung erreichbar ist und keine allzu großen zusätzlichen Fahrleistungen im Netz entstehen. Rechts-vor-Links-Regelungen wirken allerdings kontraproduktiv hinsichtlich einer Verstetigung des Verkehrsflusses und sind daher zu vermeiden.

Einbahnstraßenregelung
Wirkung: gering
Berechenbarkeit: ansatzweise mit HBEFA über die Wahl von Verkehrssituationen
Aufwand für Umsetzung: gering bis mittel

Beispiel Ausweisung Einbahnstraße

Bezugsjahr 2005

Durch Wegfall von Linksabbiegebeziehungen und erleichterterem Ein-Ausparken weniger Störungen. Wegfall von 10% Anteil Stop&Go, Verkehrssituation von LSA3 zu LSA2 (Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit PKW von $v = 24$ auf 28 km/h), 2-spurig, DTV 10 000.

Fahrzeugart	Anteil in %	Fahrzeuge pro Tag
PKW	90	9000
LNfz	8	800
SNfz	1	100
LBus	1	100

Verminderung der Emission von **NOx** um **13%**, für **Partikel** um **17%**.

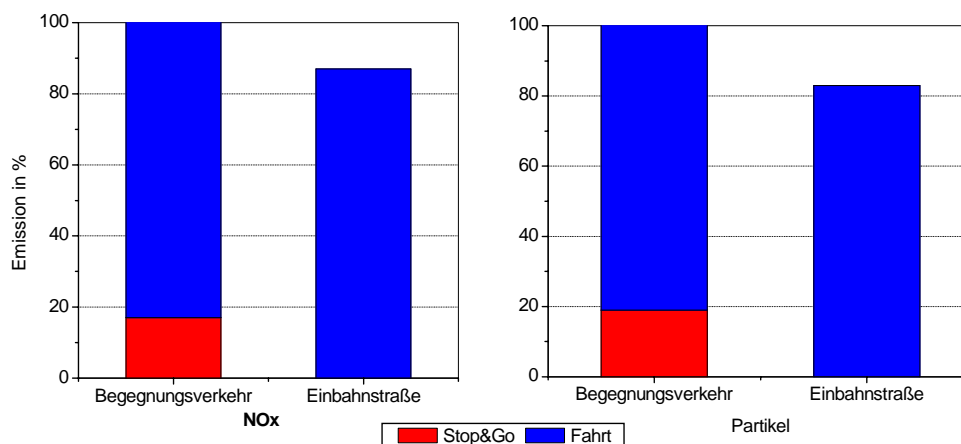


Abb. L6.1 Veränderung der Emission auf einer Innerortsstraße durch die Maßnahme "Einbahnstraße" mit den jeweiligen Anteilen Stop&Go und Fahrt, nach HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005

V1: City-Logistik, Fahrtenkoordination

Logistikkonzepte im Transportwesen beabsichtigen die Einsparung von Fahrleistung durch intelligente Bündelung von Verkehr, also durch Sammeln und intelligentes Zusammenfassen von Gütern unter Vermeidung von Leerfahrten (City-Logistik, Güterverteilzentren). Außerdem können für die Warenauslieferung im innerstädtischen Bereich schadstoffarme Nutzfahrzeuge (mit Rußfiltern, DeNOx-Kat., Erdgas) eingesetzt werden.

Bewertung im LfU-Maßnahmenbericht von 1996: Die Wirkungen von Maßnahmen zur Beeinflussung des Güterverkehrs innerhalb von Stadtgebieten liegen in der Spannweite von geringer Minderung der Gesamtemission bis kontraproduktiv bezüglich Fahrleistung und Gesamtemissionen. Die Wirkung wird sich mittelfristig einstellen [LfU, 1996].

Sofern konventionelle Dieselfahrzeuge zum Einsatz kommen, dürfte diese Bewertung auch heute noch Gültigkeit besitzen; sie hängt dann vor allem von der erzielten Fahrleistungsminderung ab sowie von dem niedrigeren Emissionsfaktor, wenn kleinere Fahrzeuge eingesetzt werden.

Dagegen kann der Einsatz schadstoffarmer Nutzfahrzeuge zu deutlichen Emissionsminderungen führen, insbesondere, wenn dadurch Fahrten mit schweren Nutzfahrzeugen >7,5 t ersetzt werden.

In der Praxis sind City-Logistik-Projekte schwierig zu realisieren, da sie eine umfangreiche Kooperation von Spediteuren und Transportunternehmen verlangen und zumindest langfristig einen betriebswirtschaftlichen Nutzen erkennen lassen müssen. Da Groß- und Einzelhandel in der Regel über weitgehend optimierte Belieferungsstrukturen verfügen, beziehen alle bisherigen City-Logistik-Projekte nur einen Bruchteil des gesamten Wirtschaftsverkehrs ein [LBE, 2005].

City-Logistik, Fahrtenkoordination
Wirkung: gering bis mittel
Berechenbarkeit: Minderung berechenbar bei Vorliegen entsprechender Eingangsdaten
Aufwand für Umsetzung: mittel

V2: Ausweisung von Umgehungsstraßen

Der Bau neuer Umgehungsstraßen kommt für kurzfristige Maßnahmen nach der 22. BImSchV nicht in Frage, da Planung und Bau im allgemeinen mehr als 5 Jahre in Anspruch nehmen. Falls als Wirkungszeitpunkt 2010 beabsichtigt wird (ab dann ist der Grenzwert für Stickstoffdioxid von 40 µg/m³ im Jahresmittel einzuhalten), ist die Maßnahme möglich und für Bereiche mit hoher Belastung durch verkehrsbedingte Luftschadstoffe anzustreben.

Eine Möglichkeit kann im Umlenken auf vorhandene Umfahrungen bestehen, eventuell auch nur für bestimmte Fahrzeugkategorien (z.B. SNfz >7,5 t). Dadurch können lokale Entlastungen im bebauten Stadtbereich für NO₂ und Partikel erreicht werden. Meist ist damit aber eine Erhöhung der Emission auf regionaler Ebene verbunden, die jedoch immissionsseitig weniger kritisch ist.

Voraussetzung für eine gezielte Umleitung bestimmter Fahrzeugkategorien sind genaue Zahlen über den Anteil des Durchgangsverkehrs. Beispiele aus Erhebungen in Rastatt und Graben-Neudorf zeigen teilweise einen erheblichen Unterschied je nach Fahrtrichtung bzw. einen beträchtlichen Anlieferverkehr.

Beispiel Rastatt B36 (innerorts)

Aus **Kennzeichenverfolgung** ergab sich: 70% Durchgangsverkehr SNfz >7,5t nach Norden, 30% nach Süden. Berechnung mit HBEFA ergab, dass die Maßnahme für SNfz >7,5t erfolgversprechend ist. Eine Umgehungsstraße ist zwischenzeitlich realisiert.

Graben-Neudorf B 36 (innerorts)

SNfz 63% bzw. 44% Durchgangsverkehr je nach Richtung. Geringerer Anteil resultiert aus Lieferverkehr für innerörtliche Industriebetriebe.

Ausweisung von Umgehungsstraßen

Wirkung: mittel bis groß

Berechenbarkeit: über die Abnahme der Verkehrszahlen und die Änderung des Fahrmodus mit HBEFA

Aufwand für Umsetzung: bei bestehender Möglichkeit – gering bis mittel
bei Neubau – groß
Problem: Akzeptanz der Maßnahme

Ö1: Anreize zum Umstieg auf ÖPNV (Erweiterung des ÖPNV-Angebots im Belastungsgebiet, Fahrpreisgestaltung)

Die verschiedenen Möglichkeiten der langfristigen Förderung des ÖPNV durch Verbesserung der Tarif- und Angebotsstruktur fallen in den Bereich der Verkehrspolitik und werden hier nicht diskutiert.

Einen Übergangsbereich stellen mittelfristig umsetzbare Maßnahmen dar wie etwa die Schaffung von Park-and-Ride-Plätzen, eventuell in Verbindung mit Anreizsystemen beim Ticket (Beispiel Straßburg: Die Parkgebühr für den P+R-Platz am Stadtrand beinhaltet ein ÖPNV-Familienticket).

Weitere Möglichkeiten sind spezielle Tickettarife für bestimmte Personengruppen wie Studenten oder Pendler (Jobtickets).

Der Umstieg vom motorisierten Individualverkehr auf den ÖPNV wird generell als vorteilhaft im Sinne einer Emissionsminderung angenommen. Im Vergleich der Schadstoffemissionen von PKW, Bus, Straßen-, Stadt- und U-Bahn schnitt bisher der PKW bezogen auf Personenkilometer durchweg am schlechtesten ab. Für moderne Euro 3- und Euro 4-PKW dürfte dies im Vergleich zu Dieseln ohne Partikelfilter nicht mehr in jedem Fall zutreffend sein. Hier ergibt sich für die Verkehrsbetriebe die zwingende Notwendigkeit, **Partikelfilter oder Erdgasbusse** einzusetzen, wenn sie mit ihrer Busflotte dem Anspruch der Umweltfreundlichkeit weiterhin gerecht werden wollen.

Erst dann ist durch Verlagerung von Fahrten des Individualverkehrs auf den ÖPNV in jedem Fall mit geringeren Schadstoffemissionen zu rechnen.

Anreize zum Umstieg auf ÖPNV
Wirkung: voraussichtlich gering
Berechenbarkeit: nicht berechenbar
Aufwand für Umsetzung: mittel

Ö2: Busspuren

Die Maßnahme besteht in der Einrichtung einer eigenen Busspur für Linienbusse auf Straßen mit mehr als einem Fahrstreifen je Richtung. Beabsichtigt ist die Beschleunigung und damit Attraktivitätssteigerung des ÖPNV.

Beschleunigungsmaßnahmen im ÖPNV führen zu Fahrzeitverkürzung und Fahrplanstabilität. Daraus ergibt sich für das Verkehrsunternehmen ein geringerer Personal- und Fahrzeugbedarf, womit sich die Wirtschaftlichkeit der Leistungserbringung erhöht [Hoffmann, 2003].

Die Einrichtung einer eigenen Busspur stellt für den sonstigen Verkehr eine Behinderung dar, wenn diesem eine Fahrspur weniger zur Verfügung steht. Auch die Bevorzugung des ÖPNV an Lichtsignalanlagen führt zu einer Beeinträchtigung des Kfz-Querverkehrs mit verlängerten durchschnittlichen Wartezeiten. Insofern wirken sich diese Maßnahmen positiv auf die Emissionen der Busse aus, sind aber kontraproduktiv für die Emissionen des sonstigen Verkehrs. Daher erscheint unter dem Aspekt der Emissionsminderung die Einrichtung von eigenen Busspuren besonders auf Abschnitten mit hohem Linienbusaufkommen sinnvoll, wo die Busse einen wesentlichen Anteil zu den Verkehrsemissionen beitragen. Die größte Wirksamkeit dieser Maßnahme wird deshalb im Bereich der Zu- und Abfahrt von Busbahnhöfen gesehen.

Nach der im Bericht von 1996 zitierten Untersuchung von SSP (1992) würde diese Maßnahme bei großräumiger Durchführung im Raum Stuttgart zu Emissionsminderungen bei den PKW führen, obwohl diesen dann eine Fahrspur weniger zur Verfügung steht. Offenbar wurde hier von einem deutlichen Umsteigeeffekt zugunsten des ÖPNV ausgegangen.

Inwieweit es tatsächlich zu Umsteigeeffekten aufgrund einer Attraktivitätssteigerung des ÖPNV kommt, lässt sich nicht allgemein beurteilen.

Busspuren
Wirkung: lokal mittel für den ÖPNV eventuell kontraproduktiv für den sonstigen Verkehr
Berechenbarkeit: Minderung der Busemissionen mit HBEFA berechenbar. Auswirkungen auf den sonstigen Verkehr nur mit zusätzlichen Erhebungen berechenbar.
Aufwand für Umsetzung: mittel

Berechnungsbeispiel

Annahme: Busbahnhof mit 6 Linien, 100 Anfahrten bzw. Abfahrten pro Tag und Linie
(entspricht etwa 10 Minutentakt tagsüber, abends und nachts ½- bzw. 1-stündig):

600 Busse/Tag

2-spurige Einbahnstraße: DTV 10.000

Fahrzeugart	Anteil in %	Fahrzeuge pro Tag
PKW	86	8600
LNfz	7	700
SNfz	1	100
Linienbusse	6	600

- Ohne Busspur: alle Fahrzeuge LSA3, 10 % Stop&Go-Anteil
- Mit Busspur: Linienbusse LSA1, 0 % Stop&Go-Anteil
Andere Fahrzeuge LSA3, 10 % Stop&Go-Anteil

Verminderung der Emission für **NOx** und **Partikel** um **12%**.

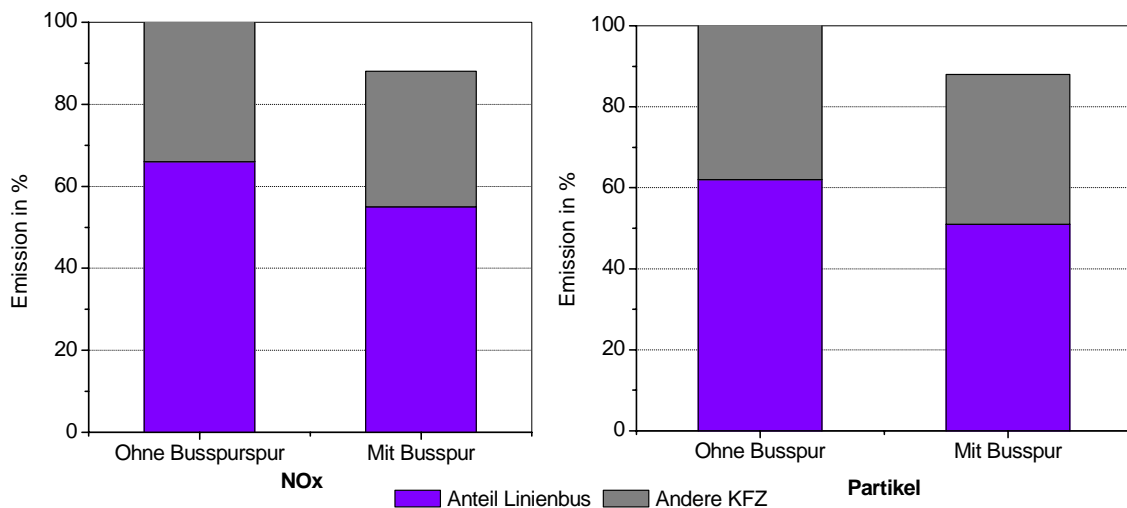


Abb. Ö2.1 Veränderung der Emission durch die Maßnahme "Busspur" mit den jeweiligen Anteilen der Linienbusse und der sonstigen Kraftfahrzeuge, nach HBEFA 2.1, Bezugsjahr 2005.

Ö3: Umstellung der ÖPNV-Busflotte auf emissionsarmen Betrieb: CRT-Filter oder Erdgas

ÖPNV-Busse können im innerstädtischen Betrieb einen durchaus nennenswerten Beitrag zur Ruß- und PM₁₀-Belastung liefern, insbesondere an Busbahnhöfen oder stark frequentierten Linien.

Die Nachrüstung von Dieselnissen mit einem Rußfiltersystem, etwa dem **CRT-System** (Continuously Regenerating Trap) der Firma HJS, ist möglich und wird vom Land Baden-Württemberg finanziell gefördert. Durch den Einsatz eines CRT-Filtersystems wird die Partikelemission um etwa 95% gemindert (außerdem die CO-Emission um 95% und die HC-Emission um 99%). In Baden-Württemberg waren bereits Ende 2002 etwa 300 CRT-Systeme in Linienbussen vor allem bei städtischen Verkehrsbetrieben im Einsatz, davon allein 120 bei den Stuttgarter Verkehrsbetrieben.

Neben der realisierten Partikelminderung ist auch die Vorbildwirkung der Verkehrsbetriebe für die Öffentlichkeit positiv zu bewerten.

Technisch ist die Umrüstung leicht durchführbar (Austausch des Schalldämpfers). Der früher notwendige gesonderte Bezug von schwefelfreiem Kraftstoff ist entfallen, da heute sämtliche Kraftstoffe schwefelfrei sind. Die gezielte Umrüstung von Fahrzeugen auf stark belasteten Strecken ist wirkungsvoll und schnell zu realisieren.

Die Stuttgarter Verkehrsbetriebe haben auf der Buslinie 42 Untersuchungen zur Wirksamkeit des CRT-Systems mit einem Euro 2-Linienbus durchführen lassen [SSB, 2003]. Dabei ergab sich für die Partikelemission: Mit Schalldämpfer 0,576 g/km PM, mit CRT 0,027 g/km PM, entsprechend einer Minderung um 95%. Dabei war weder ein signifikanter Mehrverbrauch (evtl. +1%) noch eine Verschiebung der Partikelgrößenverteilung festzustellen.

Gasmotoren zeichnen sich durch eine äußerst geringe Partikelemission aus. Auf dem Prüfstand erreichen Gasmotoren für schwere Nutzfahrzeuge gegenüber einem Euro 2-Dieselmotor Minderungen in der Partikelemission um etwa 95-97%, gegenüber einem Euro 3-Dieselmotor immer noch Minderungen um 87-93% im ETC-Zyklus [EMPA, 2001].

Bei der NO_x-Emission erreichen Erdgasmotoren eine Minderung um etwa 50-85%, während die NO_x-Minderung beim CRT-System nur marginal ist.

Umstellung der ÖPNV-Busflotte auf emissionsarmen Betrieb
Wirkung: groß hinsichtlich der Partikelemission
Berechenbarkeit: berechenbar über Emissionsfaktoren
Aufwand für Umsetzung: mittel

IV: Integrierte Verkehrskonzepte

Unter integrierten Verkehrskonzepten werden Maßnahmenpakete verstanden, bei denen eine größere Anzahl der oben diskutierten Einzelmaßnahmen so miteinander verknüpft werden, dass sie sich in ihrer emissionsmindernden Wirkung gegenseitig ergänzen und verstärken.

Die Wirkung hängt von den ausgewählten Einzelmaßnahmen ab und wird meist über entsprechende Berechnungen ermittelt, die die Wechselwirkung der Maßnahmen untereinander berücksichtigen.

Allgemein können solche Maßnahmenpakete mittlere bis große Wirkung erreichen, wobei die Umsetzung mittel- bis langfristig zu veranschlagen ist.

Integrierte Verkehrskonzepte
Wirkung: mittel bis groß
Berechenbarkeit: Minderung nur mit aufwändigen Verkehrsumlegungs- und Schadstoffausbreitungsmodellen abschätzbar
Aufwand für Umsetzung: mittel bis groß

T: Einsatz weitergehender emissionsarmer Technik

Der **Einsatz von Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen** und der **Ersatz durch Erdgasmotore** stellen äußerst wirkungsvolle Optionen zur Minderung der Partikelemissionen des Verkehrs dar. Nach [Pregger u. Friedrich, 2003] kann dadurch mittelfristig die Emissionssituation in Baden-Württemberg deutlich verbessert werden.

Dieselpartikelfilter haben erhebliche Minderungspotenziale sowohl beim Einsatz in Neufahrzeugen als auch bei der Nachrüstung von Altfahrzeugen. Diese Maßnahme ist sehr wirksam bei Fahrzeugen im Straßenverkehr und auch bei sonstigen Fahrzeugen in der Landwirtschaft, der Industrie und den Baumaschinen. Bei den schweren Nutzfahrzeugen und den sonstigen Fahrzeugen hat aufgrund der relativ hohen mittleren Fahrzeuglebensdauer für die Emissionssituation im Jahr 2010 die Nachrüstung das weitaus größte Potenzial. Grundsätzlich ist die Ausrüstung aller neuen Dieselmotoren im Verkehr mit einem Partikelfilter anzustreben. Mit Erdgasmotoren lassen sich sowohl bei der Partikel- als auch bei der NO_x-Emission hohe Minderungen erreichen, vgl. dazu die Ausführungen bei Maßnahme Ö3.

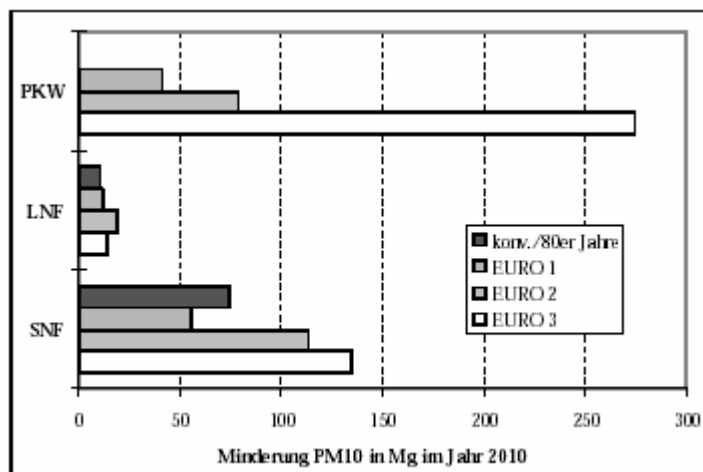


Abb. T.1 Minderungspotenziale in Baden-Württemberg für die Nachrüstung von Kfz mit Dieselpartikelfilter (90 % Minderung) für verschiedene Fahrzeugkonzepte in Mg (=Tonnen) PM₁₀, aus [Pregger u. Friedrich, 2003]

Die **Gewährung von Benutzervorteilen für besonders emissionsarme Technik**, also bei Kauf oder Nachrüstung von Dieselfahrzeugen mit Partikelfilter oder von Erdgasfahrzeugen, kann als finanzieller Anreiz die Einführung solcher Systeme flankieren, die zu einer effektiven Emissionsminderung beitragen.

Einsatz besonders emissionsarmer Technik
Wirkung: mittel bis groß hinsichtlich Partikelreduktion
Berechenbarkeit: berechenbar über den Emissionsminderungsfaktor
Aufwand für Umsetzung: gering

Maßnahmen im Bereich Aufwirbelung / Abrieb

S1: Straßenreinigung

Minderung der Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung im Verkehr: Zu dieser wichtigen Quelle liegen derzeit noch sehr wenige und nicht belastbare Daten vor. Hier ist Untersuchungsbedarf gegeben mit dem Ziel, Berechnungsverfahren zur Modellierung der Emissionen zu entwickeln. Es stellt sich hier auch die Frage nach der Wirksamkeit von Straßenreinigung.

Eine Minderung der Aufwirbelung von Straßenstaub ist durch die Intensivierung der Straßenreinigung denkbar. Untersuchungen von Fitz [1998] zeigen, dass eine Straßenreinigung die Staubbeladung nur bei einer Erstreinigung von gewöhnlich nicht gereinigten Straßen und bei wenig befahrenen Straßen innerorts wirksam mindert. Bei viel befahrenen Hauptverkehrsstraßen konnte kein anhaltend positiver Effekt durch die Straßenreinigung festgestellt werden, weshalb Fitz zur Erkenntnis kommt, dass die Straßenreinigung keine wirksame Maßnahme zur Minderung der PM₁₀-Immissionen darstellt [aus: T. Pregger u. R. Friedrich, 2003].

Dabei ist allerdings zu hinterfragen, inwieweit die derzeitige Straßenreinigungstechnik im Bereich PM₁₀ effektiv ist und ob sich diese Effektivität verbessern lässt.

Kontrollmaßnahmen an **Baustellenausfahrten** wie etwa **Reifenwaschen** wurden als Vorschlag formuliert, um den Eintrag von Erdreich durch verschmutzte Baustellenfahrzeuge auf die Straßen zu vermindern [LAI-UA Verkehrsimmissionen, 2001]. Die Effektivität solcher Maßnahmen lässt sich gegenwärtig nicht beurteilen, dürfte aber nur lokal wirksam sein.

Auch die **Ausbringung von Material durch den Winterdienst** ist unter diesem Gesichtspunkt neu zu bewerten und möglicherweise zu optimieren.

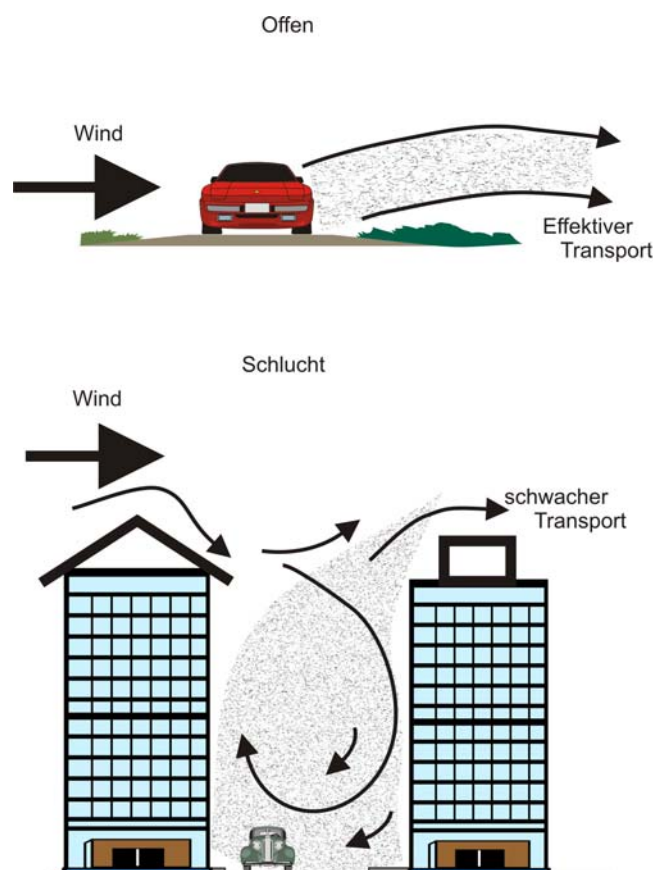
So haben Untersuchungen im Auftrag der Stadt Wien ergeben, dass bei der mechanischen Belastung von Streusplitt erhebliche Mengen an Feinstaub bis herunter zu PM_{2,5} gebildet werden, die in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen zur Immissionsbelastung beitragen können. Da sich zudem noch das Problem der Entsorgung des Streusplitts stellt, hat das deutsche Umweltbundesamt empfohlen, Streusalz anstelle von Splitt zu verwenden.

Die Ausbreitungsbedingungen im Straßenraum stellen ein zusätzliches Problem für Maßnahmen zur Minderung von Staubaufwirbelung und deren Quantifizierung dar.

Bei der Aufwirbelung von Straßenstaub sind unterschiedlichen Situationen zu betrachten:

- **Offene Straßen** (Umfahrungen, BAB):
aufgewirbelter Staub und Abrieb wird abtransportiert, keine Akkumulation
→ geringe lokale Konzentrationen an Schwebstaub stellen sich ein
→ Konzept einer definierten Emission pro Fahrzeug und km erscheint adäquat

- **Straßenschlucht:** wiederholte Aufwirbelung und Deposition
 - es kommt zu Akkumulation
 - hohe lokale Schwebstaubkonzentrationen, besonders in Trockenphasen
 - dieser Staub wird evtl. bereits durch wenige Fahrzeuge aufgewirbelt und in der Schwebelage gehalten [BUWAL, 2003]
 - Aufwirbelungsanteil in diesem Fall nicht proportional zur Verkehrsfrequenz



In der Straßenschlucht ("Canyon") sind zwei Extremfälle zu unterscheiden:

- Bei Windstille werden die Emissionen nicht abtransportiert und reichern sich an.
- Bei seitlicher Anströmung stellt sich ein Rotoreffekt ein, der feine Partikel bevorzugt abtransportiert, während grobe Partikel in der Straßenschlucht verbleiben.

Straßenreinigung
Wirkung: derzeit nicht bewertbar
Berechenbarkeit: mit HBEFA nicht berechenbar.
Aufwand für Umsetzung: derzeit nicht bewertbar

S2: Verbesserung des Straßenbelags

Die Verbesserung (ggf. Reparatur) oder Änderung des Straßenbelags kann zu einer Minderung der Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung beitragen.

Messungen in Berlin haben ergeben, dass ein schlechter Zustand der Straßenoberfläche und ein unbefestigter Randstreifen die Emission durch Aufwirbelung deutlich verstärkt. Nach Messungen in der Schildhornstrasse (Berlin) besteht die straßenbedingte Zusatzbelastung zu 52 % aus Staubaufwirbelung, ca. 7 % aus Reifenabrieb und ca. 41 % aus den Auspuffemissionen.

Möglicherweise ist über die zukünftige Verwendung von abriebbeständigeren Straßenbelägen eine Minderung des Straßenabriebs zu erreichen.

Zur Wirksamkeit dieser Maßnahme liegen keine Informationen vor.

Verbesserung des Straßenbelags
Wirkung: derzeit nicht bewertbar
Berechenbarkeit: mit HBEFA nicht berechenbar.
Aufwand für Umsetzung: groß

4. Literatur

- ADAC, Broschüre: Stadt und Verkehr, 2003. www.adac.de/verkehrsexperten
- Berlin, 2001: Bericht an den LAI zum momentanen Stand der Untersuchungen zu den Ursachen der PM₁₀-Belastung in Deutschland und über die bisher erfolgten Messungen von PM₁₀/PM_{2,5}, Aktualisierte Arbeitsversion, Stand: 02.11.01.
- BUWAL 2003, Verifikation von PM₁₀-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Juli 2003 (http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/d/Strasse_Kurz.pdf)
- EMPA, 2001: Emissionen und Kraftstoffverbrauch von Gasmotoren für schwere Nutzfahrzeuge. In: Erdgas als Treibstoff für Verbrennungsmotoren. EMPA Dübendorf, 2001
- Fitz, D., 1998: Evaluation of Street Sweeping as a PM10 Control Method. Final Report 98-APRT4H-005-FR, Center for Environmental Research and Technology, College of Engineering (CE-CERT), University of California, Riverside
- Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 1.2, INFRAS Bern und Umweltbundesamt Berlin, Januar 1999
- Hoffmann, 2003: Busbeschleunigung aus Sicht des Planungingenieurs. Nahverkehr 9/2003, 42-47.
- IFEU, 2004: Auswirkungen neuer Berechnungen der Partikel- und NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs. Kurzstudie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. Heidelberg, Oktober 2004
- KBA, 2004a: Bestand an Personenkraftwagen 1970 bis 2004 nach Antriebsarten (<http://www.kba.de/Statistiken>)
- KBA, 2004b: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar 2004 nach zulässigem Gesamtgewicht und Fahrzeugarten (<http://www.kba.de/Statistiken>)
- KBA, 2005a: Wert für 2004 persönliche Mitteilung
- KBA, 2005b: Bestand an Kraftfahrzeugen nach Schadstoffgruppen Fahrzeugarten und zulässigem Gesamtgewicht (einschließlich der vorübergehend stillgelegten Fahrzeuge) http://www.kba.de/Abt3_neu/KraftfahrzeugStatistiken/Reihen/Reihe1_2004_02.pdf Seite 72
- Knörr, Wolfram: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 2.1 – Basisdaten Deutschland. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Heidelberg, April 2004
- LAI-AK "Maßnahmenplanung": Ad hoc-AK "Maßnahmenplanung" des Länderausschusses für Immissionsschutz, Schlussbericht, 10/2001
- LAI-UA "Verkehrsimmissionen": Minderungspotentiale verschiedener Maßnahmen für PM10/PM2,5 und NO_x im Straßenverkehr. Abschlussbericht, 4/2001.
- LBE – Landesverband des Bayerischen Einzelhandels e.V., Positionspapier City-Logistik, 2005. http://www.lbe.de/documents/einzelhandel/verkehr/PP_City_Logistik_1106060564.pdf
- LfU Baden-Württemberg: Emissionsmindernde Maßnahmen im Straßenverkehr – Handbuch zur Beurteilung der Wirksamkeit. Karlsruhe 1996.
- Lohmeyer, A. et al.: Feinstaub und Schadgasbelastungen in der Göttinger Straße, Hannover. 1. Materialienband für Maßnahmenpläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität. Im Auftrag des Niedersächsischen Landesamts für Ökologie, Hannover, Feb. 2003.
- Lutz, M., 2003: Umweltseitige Auswirkungen der verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen in der Beusselstraße. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, 2003. <http://www.ecologic.de/airpollution2003/>
- Mediavilla-Sahagun, A., H.M. ApSimon: Urban scale integrated assessment of options to reduce PM₁₀ in London towards attainment of air quality objectives. Atmospheric Environment 37 (2003) 4651-4665

Pregger, T., u. R. Friedrich, 2003: Ermittlung der Feinstaubemissionen in Baden-Württemberg und Betrachtung möglicher Minderungsmaßnahmen. Schlussbericht, April 2003.

Provinz Bozen - Südtirol, 2004: Download: <http://www.provinz.bz.it/specials/verkehr/index.htm>

Rabl, P., 2003: Ergebnisse des Projektes WIME – Wirksamkeit von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Emissionen von Partikeln, Benzol und Stickstoffdioxid.

In: Luftreinhaltepläne in Bayern (Vollzug § 47 BImSchG). Fachtagung am 1.7.2003, Bayer. LfU.

Download: <http://www.bayern.de/lfu/bestell/luftreinhalteplaene.pdf>

SSB, 2003: Vergleich der Wirksamkeit von nachgerüsteten Abgasnachbehandlungssystemen bezüglich gasförmiger Schadstoffe und Partikel am Motor eines Linienbusses der Linie 42 in Stuttgart. Schlussbericht der TÜV Automotive GmbH im Auftrag der Stuttgarter Straßenbahnen AG, Mai 2003.

Stadt Hagen, Umweltabhängige Verkehrsbeeinflussung, Maßnahmenbewertung. Modus Consult, Karlsruhe, 2003

StaLa, 2004a: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1.1. 2004. Veröffentlichung Nr. 3563 04001, 14.10.2004

StaLa, 2005a: Bestand an Personenkraftwagen in Baden-Württemberg seit 1985 nach Schadstoffminderungsnormen.

StaLa, 2005b: Jahresfahrleistungen in Baden-Württemberg seit 1980 nach Straßenkategorien und Fahrzeugarten. <http://www.stala.bwl.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/v5c01.asp>

UMEG, 2002: Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2000, Quellengruppe Verkehr; UMEG-Bericht 4-06/2002

UMEG/AVISO, 2004: persönliche Mitteilung

UMEG, 2005: persönliche Mitteilung

Valet, P., 2003: Maßnahmenkatalog für Luftreinhaltepläne. Vortrag beim LfU Bayern am 1.7.2003, Thema Luftreinhaltepläne in Bayern.

5. Maßnahmen-Kurzübersicht

	Maßnahme	Wirkung	Berechenbarkeit	Aufwand für Umsetzung
	Verkehrsbeschränkungen, Verkehrsverbote			
B1	Tempolimit (Geschwindigkeitsbeschränkungen)	gering bis mittel	nicht mit HBEFA berechenbar	gering. Problem der Kontrolle.
B1.1	Verkehrsberuhigte Bereiche (Tempo 30-Zonen)	situationsabhängig	nicht mit HBEFA berechenbar	gering bis mittel
B2	Verkehrsverbote, gebiets-, straßenbezogene	groß	gut berechenbar	mittel. Hoher Überwachungs- und Verlagerungsaufwand.
B3	Tägliche Zeitfenster (z.B. für SNfz)	gering bis mittel, abhängig von den betroffenen Fahrzeugen	Minderung berechenbar. Wirksamkeit abhängig von der Lage des Zeitfensters	gering
B4	Gebietsbezogene Straßennutzungsgebühren	derzeit nicht bewertbar	nicht mit HBEFA berechenbar	hoch
B5	Überholverbot für SNfz auf Tangentenstraßen o.ä. im Ortsbereich	gering	nicht mit HBEFA berechenbar	gering. Problem der Kontrolle.
	Verkehrslenkung			
L1	Verstärkung des Verkehrsflusses, "Grüne Welle"	gering bis mittel	nach HBEFA berechenbar	gering bis mittel
L2	Pförtneranlagen	gering bis mittel	Minderung für Einzelsituationen nach HBEFA berechenbar	gering
L3	Verkehrsleitsysteme (situationsbezogen)	mittel	nur mit aufwändigen Verkehrs- und Ausbreitungsmodellen	groß
L4	Leitsysteme zu Parkhäusern und Parkplätzen	gering	mit entsprechenden Fahrzeugzahlen bedingt berechenbar	mittel

	Maßnahme	Wirkung	Berechenbarkeit	Aufwand für Umsetzung
L5	Kreisverkehrsplätze	gering, lokal mittel	nicht mit HBEFA berechenbar	groß. Hoher Platzbedarf.
L6	Einbahnstraßenregelung	gering	Minderung mit HBEFA ansatzweise berechenbar	gering bis mittel
	Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung			
V1	City-Logistik, Fahrtenkoordination	gering bis mittel	mit entsprechenden Eingangsdaten berechenbar	mittel
V2	Ausweisung von Umgehungsstraßen	mittel bis groß	mit entsprechenden Verkehrszahlen berechenbar	gering bis mittel, falls vorhanden; groß bei Neubau. Problem Überwachung
	Förderung alternativer Verkehrsmittel			
Ö1	Anreize zum Umstieg auf ÖPNV	voraussichtlich gering	nicht berechenbar	mittel
Ö2	Busspuren	lokal mittel für den ÖPNV evtl. kontraproduktiv für den sonstigen Verkehr	Minderung der Busemissionen mit HBEFA berechenbar. Auswirkungen auf sonstigen Verkehr nur mit zusätzlichen Erhebungen berechenbar.	mittel
Ö3	Umstellung der ÖPNV-Busflotte auf emissionsarmen Betrieb: CRT, Erdgas	Partikelminderung: groß NOx-Minderung: - Erdgas: mittel - CRT-System: keine	berechenbar über Emissionsfaktoren	mittel

	Maßnahme	Wirkung	Berechenbarkeit	Aufwand für Umsetzung
IV	Integrierte Verkehrskonzepte	mittel bis groß	nur mit aufwändigen Modellen abschätzbar	mittel bis groß
	Fahrzeugtechnik			
T	Einsatz weitergehender emissionsarmer Technik	mittel bis groß hinsichtlich Partikelemission	berechenbar über den Emissionsminderungsfaktor	gering
	Maßnahmen im Bereich Aufwirbelung / Abrieb			
S1	Straßenreinigung	derzeit nicht bewertbar	mit HBEFA nicht berechenbar	derzeit nicht bewertbar
S2	Verbesserung des Straßenbelags	derzeit nicht bewertbar	bislang nicht berechenbar	groß