

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	1
1	Problemstellung, Zielsetzung und Ablauf der Arbeit	5
1.1	Allgemeine Problemstellung	5
1.2	Zielsetzung der Arbeit	11
1.3	Ablauf der Arbeit	17
2	Verkehr und Umwelt	21
2.1	Umwelteinflüsse des Verkehrs	21
2.1.1	Schadstoffeinträge	22
2.1.2	Nicht-stoffliche Emissionen	23
2.1.3	Sonstige Einflüsse	24
2.1.4	Zusammenfassende Beurteilung der Umwelteinflüsse des Verkehrs	25
2.2	Entstehung fahrzeugbedingter Schadstoffemissionen	26
2.3	Wirkung von Luftverunreinigungen	30
2.3.1	Wirkung von Luftverunreinigungen auf den Menschen	31
2.3.2	Wirkung von Luftverunreinigungen auf die natürliche Umwelt	34
2.3.3	Wirkung von Luftverunreinigungen auf Bauwerke	37
3	Der Beitrag des Straßenverkehrs zur Luftbelastung	39
4	Die Verursacherstruktur der Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs	45
4.1	Erklärungsansatz und Berechnungsablauf	45
4.2	Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung	51
4.2.1	Theoretische Ansätze zur Erklärung von Verkehrsnachfrage und Verkehrsablauf	51
4.2.2	Personenverkehrsaufkommen und Personenverkehrsleistung	55
4.2.3	Güterverkehrsaufkommen und Güterverkehrsleistung	62
4.3	Fahrleistungen im Straßenverkehr	65
4.3.1	Gesamtbetrachtung	65
4.3.2	Nähere Differenzierung der Fahrleistungen	73
4.4	Fahrgeschwindigkeiten im Straßenverkehr	79
4.4.1	Einflüsse auf die Fahrgeschwindigkeit	79
4.4.2	Das Fahrzyklus-Konzept	80
4.4.3	Geschwindigkeitsverhältnisse auf Autobahnen	82
4.4.4	Geschwindigkeitsverhältnisse auf Bundesstraßen und "Landstraßen"	84
4.4.5	Geschwindigkeitsverhältnisse auf Innerortsstraßen	85
4.5	Verursacherspezifische Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs	87
4.5.1	Das Emissionsverhalten von Kraftfahrzeugen	87
4.5.2	Berechnung der Gesamtemissionen	96
4.5.3	Darstellung der Ergebnisse	98

5	Die räumliche Differenzierung der Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs	101
5.1	Einleitende Betrachtung	101
5.2	Verkehr auf Bundesfernstraßen	105
5.2.1	Darstellung der Gesamtmethodik	105
5.2.2	Bildung durchschnittlicher täglicher Verkehrsstärken und maßgebender stündlicher Verkehrsstärken	109
5.2.3	Berechnung der stündlichen Verkehrsstärken (Dauerlinien)	111
5.2.4	Ermittlung der Durchschnittsgeschwindigkeiten	113
5.2.5	Berechnung geschwindigkeitsverteilter Fahrleistungen	123
5.2.6	Berechnung der Schadstoffemissionen	127
5.3	Verkehr auf "Landstraßen"	128
5.4	Verkehr auf Innerortsstraßen	130
5.5	Zusammenfassende Darstellung und Analyse der Ergebnisse	131
6	Emissionsmindernde Maßnahmen, Prognosen und Wirksamkeitsanalysen	145
6.1	Maßnahmen zur Reduzierung der Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs	145
6.1.1	Maßnahmen zur Veränderung des Emissionsverhaltens der Kraftfahrzeuge	147
6.1.2	Maßnahmen zur Veränderung des Verkehrsablaufes	155
6.1.3	Maßnahmen zur Reduzierung der Fahrleistungen	162
6.2	Status-Quo-Prognose der Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs	172
6.3	Analyse der Wirksamkeit emissionsmindernder Maßnahmen	181
	Anhang A	189
	Anhang B	203
	Literaturverzeichnis	223

Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Karten

Abbildungen

Abbildung 1 Ausgewählte Schadstoffemissionen nach Emittentengruppen in der Bundesrepublik Deutschland 1986	7
Abbildung 2 Aufbau und Prinzipien des Immissionsschutzes	9
Abbildung 3 Systematik des Personen- und Güterverkehrs sowie Abgrenzung des in dieser Arbeit betrachteten Teilverkehrs	13
Abbildung 4 Systematik der Emissionen und Abgrenzung der in dieser Arbeit betrachteten Luftverunreinigungen	15
Abbildung 5 Umwelteinflüsse des Verkehrs	22
Abbildung 6 Entwicklung von Fahrleistung und Abgas-Emissionen des Straßenverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1966 und 1986	29
Abbildung 7 Einfluß des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses λ auf den Kraftstoffverbrauch (b_{Θ}) und die Abgas-Emissionen (CO, HC, NO_x) eines Ottomotors	30
Abbildung 8 Herkunft, Verteilung und Ablagerung von Luftschadstoffen	34
Abbildung 9 Anteile der Emittentengruppen an den gesamten Stickoxid-Emissionen in verschiedenen Belastungsgebieten	42
Abbildung 10 Zeitliche Entwicklung ausgewählter Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs und der übrigen Emittentengruppen in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1966 und 1986 sowie Prognose (Variante A und B) für das Jahr 1998	43

Abbildung 11 Grobstrukturiertes Beziehungsgefüge zur Erklärung der transportbedingten Umweltwirkungen des Verkehrs	46
Abbildung 12 Modell zur Erklärung und Berechnung der Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs	48
Abbildung 13 Ablaufschema des Verfahrens zur Berechnung räumlich nicht differenzierter Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs	50
Abbildung 14 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung im Personenverkehr nach Zweck und Verkehrsart in der Bundesrepublik Deutschland 1982 in Mio. Wege bzw. Mrd. Pers.-km	57
Abbildung 15 Siedlungsstrukturelle und funktionale Typisierung der Gemeinden in der Bundesrepublik Deutschland	59
Abbildung 16 Gemeindetypspezifische Weglängen im Personenverkehr der Bundesrepublik Deutschland 1982 in km	60
Abbildung 17 Gemeindetypspezifische Anteile der Verkehrsarten an den Wegen (Modal-Splits) im Personenverkehr der Bundesrepublik Deutschland 1982 in v.H.	61
Abbildung 18 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung im Güterverkehr nach Hauptgütergruppen und Verkehrsart in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Tonnen bzw. Mrd. Tonnenkilometer	63
Abbildung 19 Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl und Fahrleistung im innerörtlichen Straßenverkehr	70
Abbildung 20 Fahrleistung im Straßenverkehr nach Fahrzeugarten und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km ("Schätzung B")	72
Abbildung 21 Wahrscheinlichkeiten der Nutzung bestimmter Straßenkategorien im Personenverkehr in Abhängigkeit von der Weglänge	75

Abbildung 22	Fahrleistungen von Personen- und Kombinationskraftwagen nach Fahrtzwecken und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km	76
Abbildung 23	Fahrzyklen zur Ermittlung der Abgas-Emissionen von Personenkraftwagen	81
Abbildung 24	Fahrleistungsgewichtete Verteilung der Geschwindigkeiten von Personen- und Lastkraftwagen im Netz der Bundesautobahnen	83
Abbildung 25	Verteilung der Geschwindigkeiten aller Kraftfahrzeuge (außer Busse) im Verkehr auf Innerortsstraßen	86
Abbildung 26	Abhängigkeit der Kohlenmonoxid-Emissionen einzelner Fahrzeugarten von der mittleren Fahrgeschwindigkeit, verschiedene Bezugsjahre	90
Abbildung 27	Abhängigkeit der Kohlenwasserstoff-Emissionen einzelner Fahrzeugarten von der mittleren Fahrgeschwindigkeit, verschiedene Bezugsjahre	91
Abbildung 28	Abhängigkeit der Stickoxid-Emissionen einzelner Fahrzeugarten von der mittleren Fahrgeschwindigkeit, verschiedene Bezugsjahre	92
Abbildung 29	Abgas-Emissionsfaktoren für schwere, mittlere und leichte Pkw/Kombi mit Ottomotor und für Diesel-Pkw/Kombi auf Autobahnen für das Bezugsjahr 1985 in g/km (Steigung 0%)	93
Abbildung 30	Abweichung der berechneten Kraftstoffverbräuche einzelner Fahrzeugarten von denjenigen Verbräuchen, die durch die Statistik ausgewiesen werden	97
Abbildung 31	Kohlenmonoxid-, Kohlenwasserstoff- und Stickoxid-Emissionen des Straßenverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland 1985	100
Abbildung 32	Modell zur Ermittlung von Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs in einzelnen Raumeinheiten	103
Abbildung 33	Ablaufschema zur Ermittlung räumlich differenzierter Schadstoffemissionen des Verkehrs auf einzelnen Zählabschnitten im Bundesfernstraßennetz	108

Abbildung 34	Generalisierte Dauerlinien für Normalwerkstage, Urlaubswerkstage sowie Sonn- und Feiertage	112
Abbildung 35	Verkehrsstärke-abhängige Unterschiede im Kraftstoffverbrauch m und in den Emissionen verschiedener Schadstoffe bei ebener Strecke gegenüber den entsprechenden Werten bei einer Steigung bzw. einem Gefälle von 2% (auf einer Autobahn mit zweistreifigen Richtungsfahrbahnen, Dieselanteil 14%)	115
Abbildung 36	Geschwindigkeits-Verkehrsstärke-Beziehungen für Pkw-Verkehr auf Außerortsstraßen mit planfreien Knoten für unterschiedliche Güterverkehrsanteile bei zwei und bei drei Fahrstreifen je Richtung (Steigung 0%, Kurvigkeit 0 gon/km)	117
Abbildung 37	Geschwindigkeits-Verkehrsstärke-Beziehungen der 4 Pkw-Typklassen für ebene Fahrbahnen bei einem Güterverkehrsanteil von 14% (Richtgeschwindigkeit 130 km/h)	119
Abbildung 38	Verteilung der Pkw-Geschwindigkeiten im Gesamtnetz der Bundesautobahnen	125
Abbildung 39	Verteilung der Lkw-Geschwindigkeiten im Gesamtnetz der Bundesautobahnen	127
Abbildung 40	Fahrleistungen nach siedlungsstrukturellen Kreistypen in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km/km ²	134
Abbildung 41	Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs nach siedlungsstrukturellen Kreistypen in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in t/km ² und kg/Einw.	136
Abbildung 42	Auswirkung eines generellen Tempolimits von 100 km/h auf Autobahnen auf die dortigen Schadstoffemissionen der Personenkraftwagen, Zusammenstellung verschiedener Untersuchungsergebnisse (100 = Emissionen ohne Geschwindigkeitsbegrenzung)	156
Abbildung 43	Typische Geschwindigkeitsverläufe über einen Zeitabschnitt vor und nach Einführung eines Tempolimits von 30 km/h im Modellgebiet Buxtehude	159
Abbildung 44	Verkehrsleistungsbezogene Schadstoffemissionen verschiedener motorisierter Personenverkehrsmittel in g/Pers.km	164

Abbildung 45	Verkehrsleistungsbezogene Schadstoffemissionen verschiedener motorisierter Güterverkehrsmittel in g/Tonnen-km	165
Abbildung 46	Entwicklung der Fahrleistungen des Pkw-Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1975 und 1985, Prognose bis 1998, in Mrd. Fzg.-km	173
Abbildung 47	Entwicklung der Fahrleistungen des Güterverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 1975 und 1985, Prognose bis 1998, in Mrd. Fzg.-km	176
Abbildung 48	Stickoxid-Emissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten-Gruppen und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 und 1998 (Status-Quo-Prognose) in kt NO₂	180
Abbildung 49	Wirksamkeit von drei ausgewählten Maßnahmen zur Minderung der NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs, gemessen an der Emissionssituation im Jahr 1985 und an der Status-Quo-Prognose für das Jahr 1998	185
Abbildung 50	Zeitliche Entwicklung der winterlichen und sommerlichen Blei-Immissionen am Kölner Neumarkt zwischen 1970 und 1984	194
Abbildung 51	Immissionsbelastung in Abhängigkeit von der Entfernung vom Straßenrand bei einer Verkehrsdichte von 20.000 Kfz/Tag (Avus Berlin)	195
Abbildung 52	Abnahme der Deposition von Blei und Cadmium in Abhängigkeit von der Entfernung vom Straßenrand am Beispiel von Schneeproben aus Berlin-Schöneberg, 6.2.1980	196
Abbildung 53	Mittlere Stickoxid-Immissionen und Anteile einzelner Emittentengruppen im Belastungsgebiet Untermain, berechnet auf Basis des Emissionskatasters mittels Ausbreitungsrechnung für 26 Aufpunkte	199
Abbildung 54	Anteile verschiedener Verursachergruppen an den Emissionen organischer Schadstoffe und entsprechende Belastungsanteile in unterschiedlichen Situationen im Belastungsgebiet Rhein-Main	201

Tabellen

Tabelle 1

Zeitliche Entwicklung ausgewählter Schadstoffemissionen nach Emittentengruppen in der Bundesrepublik Deutschland 1966 - 1986 und Prognose für das Jahr 1995 in 1000 Tonnen 203

Tabelle 2

Verkehrsaufkommen, durchschnittliche Weglängen und Verkehrsleistungen im Personenverkehr nach Zweck und Verkehrsart in der Bundesrepublik Deutschland 1982 204

Tabelle 3

Gemeindetypspezifische Weglängen im Personenverkehr der Bundesrepublik Deutschland 1982 in km 204

Tabelle 4

Gemeindetypspezifische Anteile der Verkehrsarten an den Wegen (Modal-Splits) im Personenverkehr der Bundesrepublik Deutschland 1982 in v.H. 205

Tabelle 5

Verkehrsaufkommen, mittlere Transportweiten und Verkehrsleistung im Güterverkehr nach Hauptgütergruppen und Verkehrsarten in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Tonnen 206

Tabelle 6

Regionstypspezifische Modal-Splits im Versand und Empfang sowie zugehörige Transportweiten im Güterverkehr (ohne Straßengüternahmeverkehr) der Bundesrepublik Deutschland 1970 207

Tabelle 7

Fahrleistungen der Kraftfahrzeuge in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km 207

Tabelle 8

Fahrleistungen des motorisierten Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km (Schätzung A) 208

Tabelle 9

Fahrleistungen des motorisierten Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km (Schätzung B) 208

Tabelle 10	
Fahrleistungen von Personen- und Kombinationskraftwagen nach Entfernungsstufen und Fahrtzwecken in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km	209
Tabelle 11	
Fahrleistungen von Personen- und Kombinationskraftwagen nach Fahrtzwecken und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km	209
Tabelle 12	
Normierte Streckenbelastungen im Pkw- und Lkw-Verkehr	209
Tabelle 13	
Fahrleistungen von Personen- und Kombinationskraftwagen nach Straßenkategorie und Tagtyp in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.km	210
Tabelle 14	
Fahrleistung von Personen- und Kombinationskraftwagen nach Reisezwecken und Tagtypen in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.km	210
Tabelle 15	
Fahrleistung im Straßenpersonenverkehr nach Fahrtzweck, Straßenkategorie und Tagtyp in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km	211
Tabelle 16	
Fahrleistungen im Kraftomnibusverkehr nach Fahrtzweck, aggregierter Straßenkategorie und Transportart (Linienverkehr, Gelegenheitsverkehr) in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Fzg.-km	211
Tabelle 17	
Güterverkehrsleistung nach Fahrzeugarten und Verkehrsbereichen in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mrd. Tonnenkilometer und in v.H.	212
Tabelle 18	
Fahrleistungen im Güterverkehr nach Fahrzeugarten, Verkehrsbereichen und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mrd. Tonnenkilometer	212
Tabelle 19	
Verteilung der Pkw-Geschwindigkeiten im Netz der Bundesautobahnen 1985	213
Tabelle 20	
Verteilung der Geschwindigkeit von Lastkraftwagen im Netz der Bundesautobahnen 1985	213

Tabelle 21	
Verteilung der Fahrmodi im innerörtlichen Kraftfahrzeugverkehr	213
Tabelle 22	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren der Motorfahräder für das Bezugsjahr 1984 in g/km	213
Tabelle 23	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren der Motorräder für das Bezugsjahr 1984 in g/km	214
Tabelle 24	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren auf der Basis von Fahrmodi für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Ottomotor für das Bezugsjahr 1985 in g/km (Anlieferungszustand)	214
Tabelle 25	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren auf der Basis von Fahrmodi für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Dieselmotor für das Bezugsjahr 1985 in g/km (Anlieferungszustand)	214
Tabelle 26	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für schwere, mittlere und leichte Pkw/Kombi mit Ottomotor und für Diesel-Pkw/Kombi auf Autobahnen für das Bezugsjahr 1985 in g/km (Steigung 0 %)	215
Tabelle 27	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Ottomotor für Autobahnen für das Bezugsjahr 1985 in g/km	215
Tabelle 28	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Dieselmotor für Autobahnen für das Bezugsjahr 1985 in g/km	215
Tabelle 29	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für Busse für das Bezugsjahr 1980 in g/km	216
Tabelle 30	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für Stadtlinienbusse in g/km	216
Tabelle 31	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zul. Gesamtgewicht) mit Ottomotor für das Bezugsjahr 1980 in g/km (Anlieferungszustand)	216

Tabelle 32	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zul. Gesamtgewicht) mit Dieselmotor für das Bezugsjahr 1980 in g/km (Anlieferungszustand)	216
Tabelle 33	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für schwere Solofahrzeuge im innerstädtischen Bereich und auf Autobahnen für das Bezugsjahr 1980 in g/km	217
Tabelle 34	
Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für Lastzüge im innerstädtischen Bereich und auf Autobahnen für das Bezugsjahr 1980 in g/km	217
Tabelle 35	
Durch die Statistik ausgewiesene (M'_k) und berechnete (M_k) Kraftstoffverbräuche einzelner Fahrzeugarten in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in Mio. Liter	217
Tabelle 36	
Kohlenmonoxid-Emissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in t CO	218
Tabelle 37	
Kohlenwasserstoff-Emissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in t HC	218
Tabelle 38	
Stickstoffoxid-Emissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten und Straßenkategorien in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in t NO₂	219
Tabelle 39	
Pkw-Typaufteilung nach Tagtypen und Verkehrsstrukturtypen auf Bundesautobahnen 1985 in v.H.	219
Tabelle 40	
Fahrleistungen und Schadstoffemissionen nach siedlungsstrukturellen Gebietstypen in der Bundesrepublik Deutschland 1985 in t, t/km² und kg/Einwohner	220
Tabelle 41	
Verkehrsleistungsbezogene Schadstoffemissionen verschiedener motorisierter Personenverkehrsmittel in g/Pers.km	220
Tabelle 42	
Verkehrsleistungsbezogene Schadstoffemissionen verschiedener motorisierter Güterverkehrsmittel in g/tkm	220

Karten

Karte 1	
Kreise und kreisfreie Städte der Bundesrepublik Deutschland	104
Karte 2	
Zählstellen auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen (Ausschnitt)	106
Karte 3	
Fahrleistungen des Straßenverkehrs	137
Karte 4	
Kohlenmonoxid-Emissionen des Straßenverkehrs	138
Karte 5	
Kohlenwasserstoff-Emissionen des Straßenverkehrs	139
Karte 6	
Stickoxid-Emissionen des Straßenverkehrs	140
Karte 7	
Stickoxid-Emissionen des Straßenverkehrs	141
Karte 8	
Siedlungsstrukturelle Gebietstypen	142
Karte 9	
Stickoxid-Emissionen aller Ermittlengruppen	143
Karte 10	
Status-Quo-Prognose der Stickoxid-Emissionen des Straßenverkehrs 1998	178
Karte 11	
Status-Quo-Prognose der Stickoxid-Emissionen des Straßenverkehrs 1998	179
Karte 12	
Wirksamkeitsanalyse emissionsmindernder Maßnahmen	187