

03.09. Verkehrsbedingte Luftbelastung durch Kohlenwasserstoffe (Ausgabe 1998)

Problemstellung

Ausgangslage

Die Stadt Berlin ist seit der Vereinigung mit einer erheblichen **Zunahme des Verkehrs** konfrontiert. So hat alleine die Zahl der in Berlin zugelassenen Kraftfahrzeuge seit 1989 um fast 30 % auf nunmehr 1 280 000 Kraftfahrzeuge zugenommen. Auch für die Zukunft wird ein weiteres Verkehrswachstum, insbesondere beim belastungsintensiven Straßen-Güterverkehr, erwartet.

Diese weitreichenden Veränderungen sind noch nicht abgeschlossen. Die Zunahme des Verkehrs wird u.a. durch den kontinuierlichen Ausbau des gemeinsamen Lebens- und Wirtschaftsraumes Berlin-Brandenburg bestimmt, durch die Intensivierung der internationalen Wirtschaftsverflechtungen und in Berlin besonders durch die sich verstärkenden Verflechtungen mit Ost-Europa.

In Berlin ist der Kraftfahrzeugverkehr mittlerweile der **größte Verursacher der Luftverschmutzung**. Die mengenmäßig bedeutendsten vom Verkehr emittierten Schadstoffe sind **Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide und Kohlendioxid**. Einigen in bezug auf die Menge unbedeutenden Schadstoffkomponenten, wie Dieselruß, Reifenabrieb und Benzol, kommt aufgrund ihrer Wirkungsrelevanz jedoch hohe Bedeutung zu.

Besonders hoch sind die vom Kraftfahrzeugverkehr verursachten Belastungen in der Berliner Innenstadt, wo auf etwa 100 km² Fläche über 1 Mio. Menschen leben. Infolge der künftigen Funktionen der Innenstadt werden das Verkehrsaufkommen und damit die Belastungen in diesem Gebiet weiter deutlich zunehmen.

Die vorliegende Karte zeigt die räumliche Verteilung der Emissionen beispielhaft für die Gruppe der Kohlenwasserstoffe. Diese Schadstoffkomponente wurde gewählt, da die **Kohlenwasserstoffe (HC)** neben den Stickoxiden als Ozon-Vorläufer-Substanzen eine herausgehobene Stellung einnehmen und einige HC, z.B. Benzol, wegen ihrer Wirkungsrelevanz als kanzerogene Stoffe ebenfalls eine besondere Beachtung erfordern (zum Ozon-Bildungsprozeß aus Kohlenwasserstoffen vgl. Karte 03.06 SenStadtUmTech 1996).

In Karte 03.10 Verkehrsbedingte Luftbelastung durch Benzol, Dieselruß und Stickoxide (SenStadtUmTech 1998) wird ergänzend die Luftverschmutzung durch diese drei Schadstoffe in Berlin beschrieben. Grundlage sind in beiden Karten methodisch vergleichbar aufgebaute und auf derselben Datengrundlage basierende Emissions- und Ausbreitungssimulationsmodelle.

Ursache und Menge verkehrsbedingter Kohlenwasserstoffemissionen

Kohlenwasserstoffe werden bei der unvollständigen bzw. fehlenden Verbrennung der Kraftstoffe im Motor über den Auspuff freigesetzt. Daneben gelangen wesentliche Mengen durch Verdunstung des Benzins in die Atmosphäre. Kohlenwasserstoffe verdunsten aus dem Tank und anderen kraftstoffführenden Bauteilen der Fahrzeuge (Kraftstoffleitungen, Vergaser, Filter, Reservekanister etc.) sowie beim Umfüllen der Kraftstoffe in den Tank der Tankstellen und von der Tankstelle in den Fahrzeugtank.

Abbildung 1 gibt die Entwicklung der verkehrsbezogenen Kohlenwasserstoffemissionen in Berlin seit Beginn der 80er Jahre sowie eine Schätzung für das Jahr 2000 wieder. Die weitreichende Neugestaltung der Berechnungsmethodik in 1994 läßt Vergleiche mit vorhergehenden Emissionserhebungen auf der Grundlage einer wesentlich einfacheren Methode allerdings nur sehr eingeschränkt zu. Die Verdunstungsemissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr wurden zudem erst ab 1985 berücksichtigt.

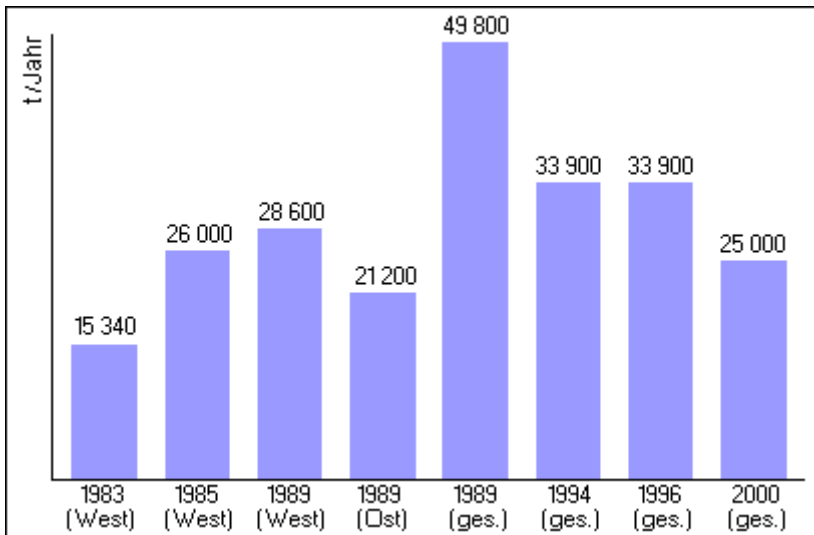


Abb. 1: Kohlenwasserstoff-Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in Berlin (Tonnen pro Jahr)

Die Emissionsangaben für das Jahr 1989 zeigen Kohlenwasserstoffemissionen im Ostteil der Stadt, die trotz der nur halb so hohen Bevölkerungszahl und der geringeren Zahl von Kraftfahrzeugen fast genauso hoch waren wie im Westteil. Ursache hierfür sind die hohen Kohlenwasserstoffemissionen der bis 1989 in Ost-Berlin fast ausschließlich genutzten Zweitaktfahrzeuge und die Qualität der Kraftstoffe. Von 1989 bis 1996 haben die Kohlenwasserstoffemissionen um rund 30 % abgenommen. Diese Entwicklung ist auf die Umstrukturierungen der Fahrzeugflotte im Ostteil der Stadt, die allgemeinen technischen Verbesserungen der Motoren einschließlich der weiten Verbreitung des Abgaskatalysators für Pkw und die verbesserten Kraftstoffqualitäten zurückzuführen.

Tabelle 1 gliedert die im Stadtgebiet von Berlin vom Kraftfahrzeugverkehr erbrachten Fahrleistungen (Mio. Fahrzeug-km/Jahr), den Kraftstoffverbrauch (t) und die Auspuff- und Abriebemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs (t/Jahr) nach Fahrzeugarten für das Bezugsjahr 1993. Motorisierte Zweiräder und Verdunstungsemissionen sind hierbei nicht erfaßt, da sie den Straßenarten nicht zugeordnet werden können.

Tab. 1: Fahrleistungen (Mio. Fahrzeug-km/Jahr), Kraftstoffverbrauch (t) und Auspuff- und Abriebemissionen (t/Jahr) nach Fahrzeugarten im Stadtgebiet Berlin - Bezugsjahr 1993 (ohne motorisierte Zweiräder und Verdunstungsemissionen) (Liwicki, Garben 1993)

	gesamt	Pkw und Kombi	schwere Nutzfahrzeuge	leichte Nutzfahrzeuge	Linienbusse
Hauptverkehrsstraßennetz					
Fahrleistung	10.088,4	8.814,0	514,2	674,6	85,6
Kraftstoffverbrauch	898.968,4	645.519,5	154.291,9	66.150,9	33.006,1
Kohlenwasserstoffe	17.211,5	14.724,8	1.449,5	802,2	235,0
Benzol	863,4	811,6	13,0	36,7	2,1
Kohlendioxid	2.710.593,3	1.923.532,3	481.891,3	202.184,1	102.985,6
Kohlenmonoxid	94.690,9	86.908,1	2.189,7	4.751,0	842,1
Stickoxide	16.139,5	7.619,7	5.938,0	953,5	1.628,0
Auspuffpartikel	937,9	260,4	446,1	139,5	91,9
Reifenabrieb	1.100,3	564,1	394,9	75,5	65,8
Elementarer Kohlenstoff (Auspuff + Reifenabrieb)	733,5	249,1	329,8	95,2	59,4
Schwefeldioxid	1.150,5	409,6	493,7	141,6	105,6
Nebenstraßennetz					
Fahrleistung	2.063,4	1.848,4	65,7	141,5	7,8
Kraftstoffverbrauch	239.077,7	193.112,7	22.694,0	19.793,0	3.478,0
Kohlenwasserstoffe	8.250,2	7.534,2	288,9	395,6	31,5
Benzol	416,1	395,5	2,6	17,7	0,3
Kohlendioxid	713.926,1	572.276,4	70.527,5	60.297,7	10.824,5
Kohlenmonoxid	49.507,6	46.637,0	385,9	2.380,2	104,5
Stickoxide	2.885,6	1.617,2	864,6	229,8	174,0
Auspuffpartikel	197,6	68,8	76,0	41,4	11,4
Reifenabrieb	190,6	118,3	50,4	15,9	6,0
Elementarer Kohlenstoff (Auspuff + Reifenabrieb)	140,0	59,0	48,1	26,0	6,9
Schwefeldioxid	247,7	121,8	72,7	42,1	11,1
Gesamtes Stadtgebiet					
Fahrleistung	12.151,8	10.662,4	579,9	816,1	93,4
Kraftstoffverbrauch	1.138.046,1	838.632,2	176.985,9	85.943,9	36.484,1
Kohlenwasserstoffe	25.461,7	22.259,0	1.738,4	1.197,8	266,5
Benzol	1.279,5	1.207,1	15,6	54,4	2,4
Kohlendioxid	3.424.519,4	2.495.808,7	552.418,8	262.481,8	113.810,1
Kohlenmonoxid	144.198,5	133.545,1	2.575,6	7.131,2	946,6
Stickoxide	19.024,8	9.236,9	6.802,6	1.183,3	1.802,0
Auspuffpartikel	1.135,5	329,2	522,1	180,9	103,3
Reifenabrieb	1.290,9	682,4	445,3	91,4	71,8
Elementarer Kohlenstoff (Auspuff + Reifenabrieb)	873,5	308,1	377,9	121,2	66,3
Schwefeldioxid	1.398,2	531,4	566,4	183,7	116,7

Tab. 1: Fahrleistungen (Mio. Fahrzeug-km/Jahr), Kraftstoffverbrauch (t) und Auspuff und Abriebemissionen (t/Jahr) nach Fahrzeugarten im Stadtgebiet Berlin - Bezugsjahr 1993 (ohne motorisierte Zweiräder und Verdunstungsemissionen) (Liwicki; Garben 1993)

Während die **Trends** bei einigen kraftfahrzeugbedingten Schadstoffen wie (Diesel-)Ruß, der Schadstoffkomponente mit dem derzeit größten Handlungsbedarf, und den Stickoxiden eine Verschärfung der Situation bzw. keine signifikante Verminderung erwarten lassen (vgl. Karte 03.10 SenStadtUmTech 1998), werden dagegen bei den Emissionen von Kohlenwasserstoffen durch die weitere Zunahme des Drei-Wege-Katalysators und die qualitative Verbesserung des Benzins auch ohne politische Maßnahmen deutliche Entlastungen erreicht werden. Anders als beim Dieselruß ist hier vor allem die technische Entwicklung im Pkw-Bereich von Bedeutung, Lkw und Busse sind bei einem Anteil von fünf Prozent an der Gesamtfahrleistung für knapp zehn Prozent der Emissionen verantwortlich. Beim krebserzeugenden Dieselruß zeichnen sie dagegen für 90 % des Schadstoffausstoßes verantwortlich.

Der Anteil der nicht aufgeführten motorisierten Zweiräder an den Kohlenwasserstoff- und Benzol-Emissionen liegt bei 1,4 % und entspricht damit in etwa auch ihrem Anteil an der Gesamtfahrleistung. Es ist jedoch zu beachten, daß Motorräder vorwiegend in den Sommermonaten betrieben werden und ihr hoher Beitrag zu den Ozon-Vorläufer-Substanzen aus den Anteilen an den gesamten Jahresemissionen des Verkehrs nicht abgeleitet werden kann.

Nicht enthalten sind in Abbildung 1 und Tabelle 1 die durch den Kraftfahrzeugverkehr verursachten Verdunstungsemissionen durch Umfüllvorgängen an Tankstellen. Diese betragen im März 1994 etwa 3 630 t und somit knapp 15 % der vom Kraftfahrzeugverkehr verursachten HC-Emissionen aus Auspuffanlagen und Verdunstung.

Wirkungen

Die vom Kfz-Verkehr erzeugten Kohlenwasserstoffe tragen wesentlich zur bodennahen Ozon-Bildung und damit zum „Sommer-Smog“ bei.

Als besonders gesundheitsgefährdend ist aus der Gruppe der Kohlenwasserstoffe das **Benzol** herauszustellen (vgl. Klippel/Jäcker-Küppers 1997). Es verursacht bei Menschen nachweislich Knochenmarkschädigungen, Leukämien und Lymphome (vgl. Kalker 1993).

Die überwiegenden Anteile an Fahrleistungen und Schadstoffemissionen werden in Berlin im etwa 1 600 km langen **Hauptverkehrsstraßennetz** erzeugt; die Zahl der Anwohner in diesen Straßen liegt bei etwa 250 000 (vgl. ACCON, IVU 1996). Im mehr als doppelt so langen **Nebenstraßennetz** fallen nur etwa 20 % der Gesamtfahrleistung mit einem entsprechend geringeren Anteil an den verkehrsbedingten Emissionen an. Die Schadstoffbelastungen hängen im Einzelfall sehr stark von den Bebauungsstrukturen ab, so daß auch Bereiche des Nebenstraßennetzes deutlich über dem allgemeinen Hintergrundbelastungsniveau liegen können.

Gesetzliche Regelungen und Grenzwerte

Während bei Industrie und Hausbrand durch die Regelungsinstrumente des Bundesimmissionsschutz-Gesetzes (BlmSchG) und die Schließung veralteter Anlagen in der ehemaligen DDR weitgehende Emissionsminderungen erreicht werden konnten (vgl. Karten 03.01 und 03.03, SenStadtUmTech 1997a und 1997b), sind im Verkehrsbereich keine derartigen Entwicklungen zu verzeichnen. Eine wesentliche Ursache für diese unbefriedigende Situation ist darin zu sehen, daß die in EU-Richtlinien festgelegten abgasseitigen Anforderungen an Kraftfahrzeuge bisher weder an der Entwicklung des Verkehrs und der hiervon verursachten Belastungen, noch an umwelt- und gesundheitspolitisch orientierten Zielen orientiert wurden.

Erst 1990 wurde die Rechtsgrundlage (**§ 40 Abs. 2 BlmSchG**) geschaffen, nach der **Verkehrsbeschränkungen bei hoher verkehrsverursachter Luftverschmutzung** geprüft werden können. 1991 wurde vom Bundesumweltministerium ein Verordnungsentwurf vorgelegt, der Konzentrationswerte für **Stickstoffdioxid** sowie die krebserzeugenden und überwiegend vom Verkehr verursachten Luftschadstoffe **Benzol** und **Rußpartikel** „zum Schutz der Gesundheit vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen“ enthielt. Diesem Verordnungsentwurf, **23. BImSchV**, konnte der Bundesrat jedoch erst am 18. März 1994 nach zahlreichen Änderungen zustimmen. Zusammen mit einer Verwaltungsvorschrift trat die Verordnung am 1. März 1997 in Kraft. Die dort vorgeschriebenen Konzentrationswerte sind nicht ausgerichtet auf die Reduzierung einer akuten Gefährdung, sondern auf die Bekämpfung der Gefährdung durch eine **lang andauernde Exposition**, wie sie durch entsprechend hohe Jahreskennwerte gegeben sein kann. Anders verhält es sich mit den Maßnahmen nach den „Wintersmog-Regelungen“ nach § 40 Abs. 1 BlmSchG und den **Ozon-Regelungen** gemäß §§ 40a bis e, 62a BlmSchG, deren Ziel die Vermeidung akuter Gefährdung durch kurzzeitige Spitzen der Luftbelastung in großen bis sehr großen Gebieten ist (vgl. Klippel/Jäcker-Küppers 1997). Beide Belastungssituationen ermöglichen kurzzeitige Verkehrsbeschränkungen.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Grenzwerte gemäß §§ 40a-e BlmSchG (Ozon-Regelung) sowie gemäß der 23. BImSchV (Stickoxide, Dieselruß und Benzol).

Tab. 2: Grenz- und Konzentrationswerte nach 23. BImSchV bzw. § 40a-e BImSchG (Ozon-Regelung)		
§ 40a-e BImSchG v. 19.07.1995 (Ozon-Regelung)		
Schwellenwerte:		
für die Aufforderung, auf die Nutzung von Kfz zu verzichten	180 µg/m ³	als Mittel über 1 Stunde an demselben Tag (1h-Wert)
für Verkehrsverbote auf öffentlichen Straßen	240 µg/m ³	1h-Wert ¹⁾
23. BImSchV zur Festlegung verkehrsbezogener Konzentrationswerte v. 01.03.1997		
Stickstoffdioxide	160 µg/m ³	98 %-Wert aller Halbstundenwerte ab 01.07.1995
	160 µg/m ³	98 %-Wert aller Halbstundenwerte ab 01.07.1998
Benzol	15 µg/m ³	arithmetischer Jahresmittelwert ab 01.07.1995
	10 µg/m ³	arithmetischer Jahresmittelwert ab 01.07.1998
Dieselruß	14 µg/m ³	arithmetischer Jahresmittelwert ab 01.07.1995
	8 µg/m ³	arithmetischer Jahresmittelwert ab 01.07.1998
¹⁾ § 40a BImSchG bestimmt, daß der angegebene Wert bei mindestens drei Meßstationen im Bundesgebiet, die mehr als 50 km und weniger als 250 km voneinander entfernt sind und von denen mindestens zwei, im Falle des Stadtstaates Berlin mindestens eine, in diesem Land oder in einem angrenzenden Landkreis liegen. Das Verkehrsverbot gilt nicht für Kraftfahrzeuge mit geringem Schadstoffausstoß.		

Tab. 2: Grenz- und Konzentrationswerte nach 23. BImSchV bzw. § 40a-e BImSchG (Ozon-Regelung)

In der 21. BImSchV vom 07.10.1992 zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen ist die Ausrüstung aller größeren Tankstellen mit Gasrückführsystem vorgeschrieben. In Tabelle 3 sind die Fristen für die Nachrüstung angegeben. Die Einstufung Berlins als Untersuchungsgebiet nach § 44 BImSchG ist in der Klasse ab 2 500 m³ durch verkürzte Fristen berücksichtigt.

Tab. 3: Nachrüstungstermine für Gasrückführsysteme nach der 21. BImSchV	
Jahresabgabemenge (m³ Benzin/Jahr)	Nachrüstung bis
bis 1 000	keine
1 000 bis 2 500	Ende 1997
2 500 bis 5 000	Ende 1995
ab 5 000	Ende 1995

Tab. 3: Nachrüstungstermine für Gasrückführsysteme nach der 21. BImSchV

Datengrundlage

Emissionskataster Kraftfahrzeugverkehr

Um die Ursachen der Luftbelastung in Berlin differenziert beurteilen und zu deren Beseitigung beitragen zu können, werden bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie für die Hauptverursacherguppen **Emissionskataster** geführt, so auch für die Verursacherguppe Verkehr.

Das Emissionskataster Kraftfahrzeugverkehr 1993 zeichnet erstmalig ein geschlossenes Bild der durch den Kraftfahrzeugverkehr verursachten Luftschadstoffemissionen für die gesamte Stadt Berlin.

Die für dieses Kataster entwickelte neuartige Emissionsberechnungsmethode ist auch als Grundlage für Ausbreitungsrechnungen zur Ermittlung der Schadstoffbelastungen an Straßen geeignet. Die weitreichende Neugestaltung der Berechnungsmethodik läßt Vergleiche mit vorhergehenden Emissionserhebungen auf der Grundlage einer wesentlich einfacheren Methode nur sehr eingeschränkt zu.

Erhebung der Verkehrsbelastung

Grundlagen sind die erstmals im Jahr 1993 flächendeckend durchgeführte **Straßenverkehrszählung 1993** im Hauptverkehrsstraßennetz sowie die Fahrpläne des Busverkehrs. Damit stehen für jeden Straßenabschnitt im Hauptverkehrsstraßennetz folgende Angaben zur Verfügung:

- durchschnittlicher täglicher Kfz-Verkehr (DTV) in Kfz/Tag,
- durchschnittlicher täglicher Lkw-Verkehr in Lkw/Tag für schwere Lkw,
- Omnibusbelegung im Linienverkehr.

Diese wurden ergänzt durch umfassende Bestands- und Fahrleistungsanalysen der in Berlin zugelassenen Kraftfahrzeuge und die diese Flottenzusammensetzung beschreibende Emissionsfaktoren für Pkw und Nutzfahrzeuge (vgl. Karte 07.01 SenStadtUmTech 1996).

Erhebung der Emissionen

Zu den Schadstoffemissionen des Kfz-Verkehrs zählen die Auspuff- und Abriebemissionen des fließenden Verkehrs, die Verdunstungsemissionen des ruhenden Verkehrs und Verdunstungsemissionen an Tankstellen. Abbildung 2 gibt eine Übersicht über die Erhebungssystematik. Die Emissionen an Tankstellen werden dem Kleingewerbe zugeordnet.

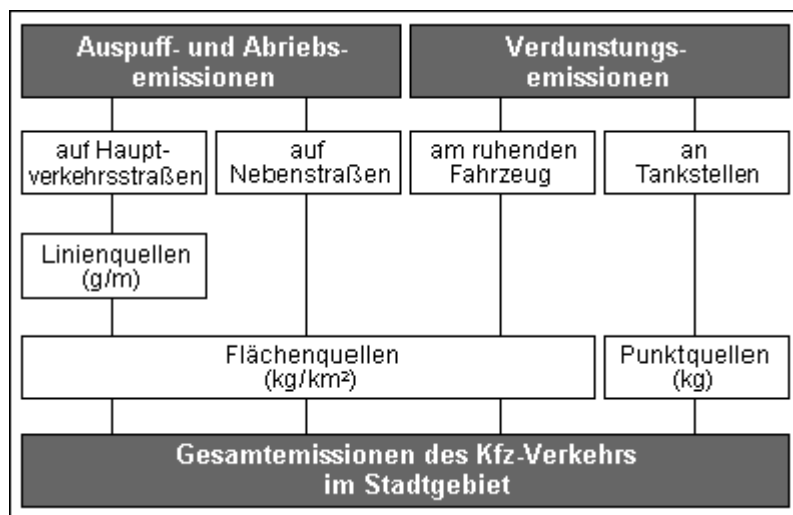


Abb. 2: Erhebungssystematik des Emissionskatasters Verkehr 1993

Mit Hilfe von Emissionsmodellen werden die Schadstoff- und CO₂-Emissionen für Linienquellen (Hauptverkehrsstraßen) und Flächenquellen (Nebenstraßennetz und Verdunstungsemissionen) berechnet.

Die Auspuff- und Abriebemissionen treten als Linienquellen auf Hauptverkehrs- und Nebenstraßen auf. Sie werden jedoch nur für das Hauptverkehrsstraßennetz als Linienquellen berechnet, weil nur für diese Straßen die bereits erwähnten DTV-Werte und Angaben zur stündlichen Kapazität aus Zählungen vorliegen. Die Emissionen der Linienquellen werden anschließend dem Rasternetz als Flächenwerte zugeordnet. Die Emissionen im Nebenstraßennetz sind dagegen aus Annahmen zum Verkehrsaufkommen und zum Lkw-Anteil direkt für die einzelnen Raster abgeleitet.

HC-Verdunstungsemissionen entstehen durch Druckunterschiede im Gasraum der Kraftstoffbehälter und der Vergaser-Schwimmerkammer der Fahrzeuge. Sie treten auf

- beim stehenden Fahrzeug durch den Temperaturverlauf über den Tag als Tankatmungsemissionen,

- beim Heißabstellen nach Langstreckenfahrten,
- beim Warmabstellen nach Kurzstreckenfahrten.

Die Verdunstungsemissionen für HC und deren Benzol-Anteile werden ebenfalls für die Raster ermittelt. Ergänzend werden Verdunstungsemissionen beim Betanken der Fahrzeuge berechnet. Die Verdunstungsemissionen des fließenden Verkehrs können vernachlässigt werden, weil diese sehr gering sind.

Emissionsmodelle Hauptverkehrsstraßen (Linienquellen) und Nebenstraßennetz (Flächenquellen)

Mit Hilfe des Emissionssimulationsmodells EMISS lassen sich die Schadstoff- und CO₂-Emissionen (vgl. Karte 08.03 CO₂-Emissionen, SenStadtUmTech in Vorbereitung) sowie der Kraftstoffverbrauch des Kfz-Verkehrs im Hauptverkehrsstraßennetz berechnen.

Abbildung 3 stellt die einzelnen Ausgangsgrößen des Modells, wie Fahrleistungsfaktoren, Stop-and-Go-Zuschläge, Kaltstartfaktoren etc. sowie die Ergebnisse vor. Im Einzelnen wird der methodische Hintergrund in Liwicki, Garben 1993 beschrieben.

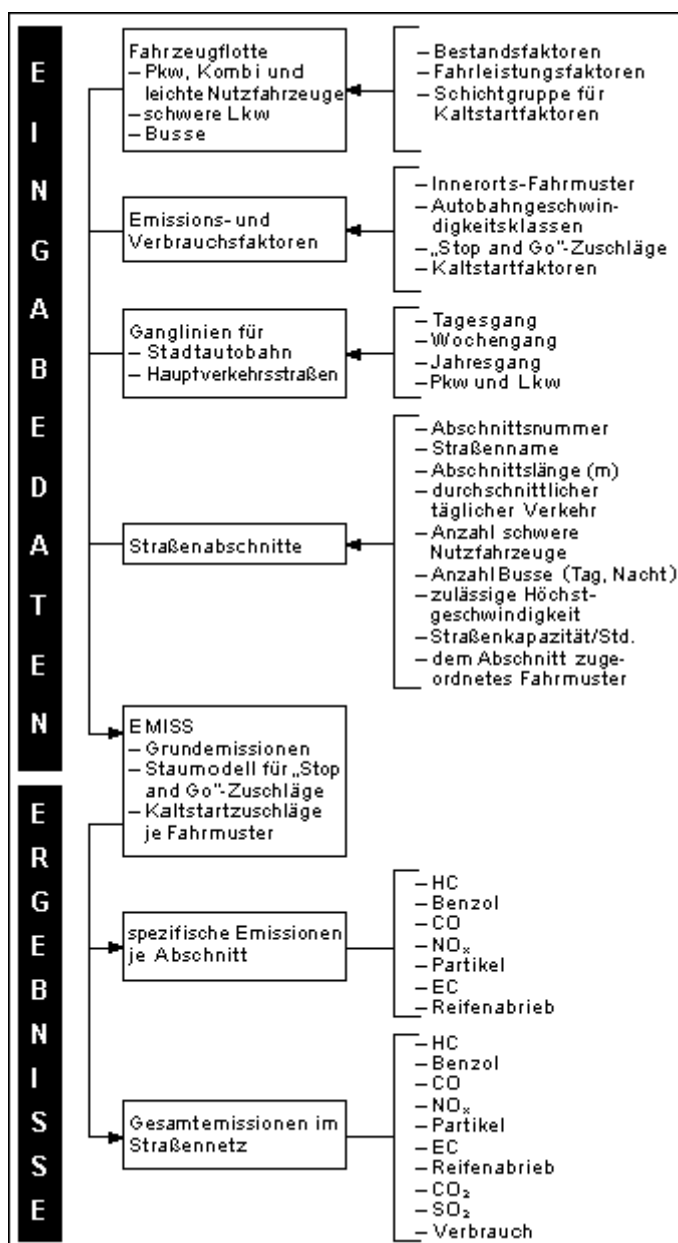


Abb. 3: EMISS-Emissionsmodell für Hauptverkehrsstraßen (Linienquellen) (Liwicki; Garben 1993)

Emissionen für motorisierte Zweiräder können wegen fehlender Verkehrszählungen im Hauptverkehrsstraßennetz nicht angegeben werden. Ihr Beitrag zur Gesamtemission wird auf der Grundlage bundesdeutscher Durchschnittsfahrleistungen und verfügbarer Emissions-Faktoren ermittelt.

Für Gebiete mit ausgeprägter Orographie sind die Straßenabschnitte in Längsneigungsklassen einzuordnen. In Berlin kann dieses jedoch vernachlässigt werden.

Emissionsmodell Nebenstraßennetz (Flächenquellen)

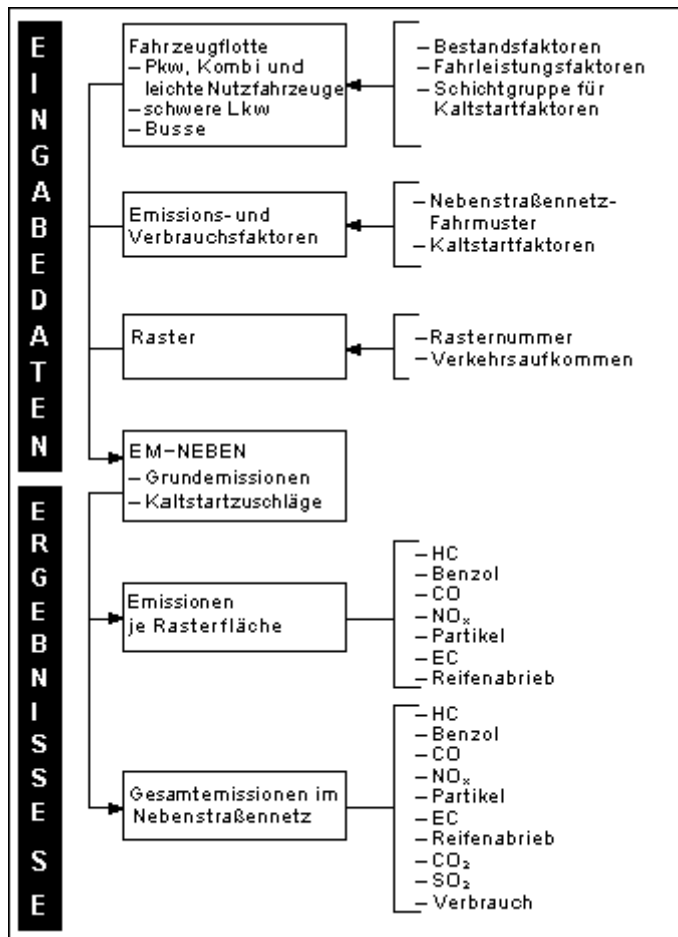


Abb. 4: EM-NEBEN - Emissionsmodell für das Nebenstraßennetz (Flächenquellen) (Liwicki; Garben 1993)

Im Nebenstraßennetz werden die Emissionen nicht für einzelne konkrete Straßenabschnitte berechnet, sondern für Rasterflächen von jeweils einem Quadratkilometer. Die Fahrleistung in den Rasterflächen wird auf der Grundlage folgender Angaben ermittelt:

- überwiegende Nutzung des Gebietes, unterteilt in
 - Wohnen in Außenbereichen,
 - Gewerbe- und Industrie,
 - Innenstadt und Subzentren,
- Anzahl der Einwohner und der Arbeitsplätze, differenziert nach
 - Handel und Dienstleistungen,
 - produzierendem Gewerbe,
- daraus abgeleitete Quelle-Ziel-Matrizen des Kfz-Verkehrs.

Unter der Annahme, daß es im Nebenstraßennetz zu keinen nennswerten Staus kommt, brauchen keine „Stop-and-Go“-Zuschläge berechnet werden, so daß keine Tages-, Wochen- und Jahresganglinien für das Nebenstraßennetz benötigt werden.

Die weiteren Eingangsgrößen zur Ermittlung der Gesamtemissionen je Schadstoffkomponente für jede Rasterfläche entsprechen denen für die Berechnung im Hauptverkehrsstraßennetz.

Betankungsemissionen

Auf der Grundlage der im Rahmen von Genehmigungsverfahren erfaßten Tankstellen und deren Kraftstoffumsätze wurden die Betankungsemissionen ermittelt.

Bei Tankstellen ohne Gasrückführsystem werden 1,4 g HC pro Liter Vergaserkraftstoff emittiert. Durch das Gasrückführsystem werden 80 % der emittierten Menge zurückgeführt.

Die HC-Emissionen der Vorkette, d.h. beim Umfüllen der Kraftstoffe vom Tankfahrzeug, Tankschiff und Eisenbahnkesselwagen zum Tanklager, vom Tanklager zum Tankfahrzeug und vom Tankfahrzeug zur Tankstelle, werden hier nicht ermittelt.

Methode

Die Daten der **1 x 1 km-Emissionen** der Kohlenwasserstoffe im Gesamtstraßennetz und durch Verdunstungsvorgänge an Tankstellen werden sowohl als Farbraster als auch als absoluter Wert dargestellt. Die Farbdarstellung erfolgt anhand gerundeter Zahlen.

Die Darstellung der Emissionen als Linien berücksichtigt die knapp 3 000 Zählabschnitte des Berliner Hauptverkehrsstraßennetzes getrennt für jeden Abschnitt.

Raster und Linien werden derselben Farbklassifikation zugeordnet.

Kartenbeschreibung

Das untersuchte Berliner Hauptverkehrsstraßennetz hat eine Länge von 1 163 km, auf denen allein an einem Durchschnittstag 30 000 000 Fahrzeugkilometer (das entspricht fast dem 100fachen Erdumfang) zurückgelegt werden. Im Gegensatz dazu umfaßt das Nebenstraßennetz zwar rund 4 000 km. Hier werden aber nur ca. 5 600 000 Fahrzeugkilometer pro Tag gefahren. Abbildung 5 stellt die prozentuale Aufteilung der Auspuff- und Abriebemissionen verschiedener Schadstoffe in Berlin nach Haupt- und Nebenetz dar. Es fällt auf, daß der Anteil des Nebenstraßennetzes bei den Kohlenwasserstoff- und Benzolemissionen besonders hoch ist, da diese sehr kaltstartabhängig sind und im Nebenstraßennetz ungefähr die Hälfte des ersten Kilometers nach dem Start gefahren wird.

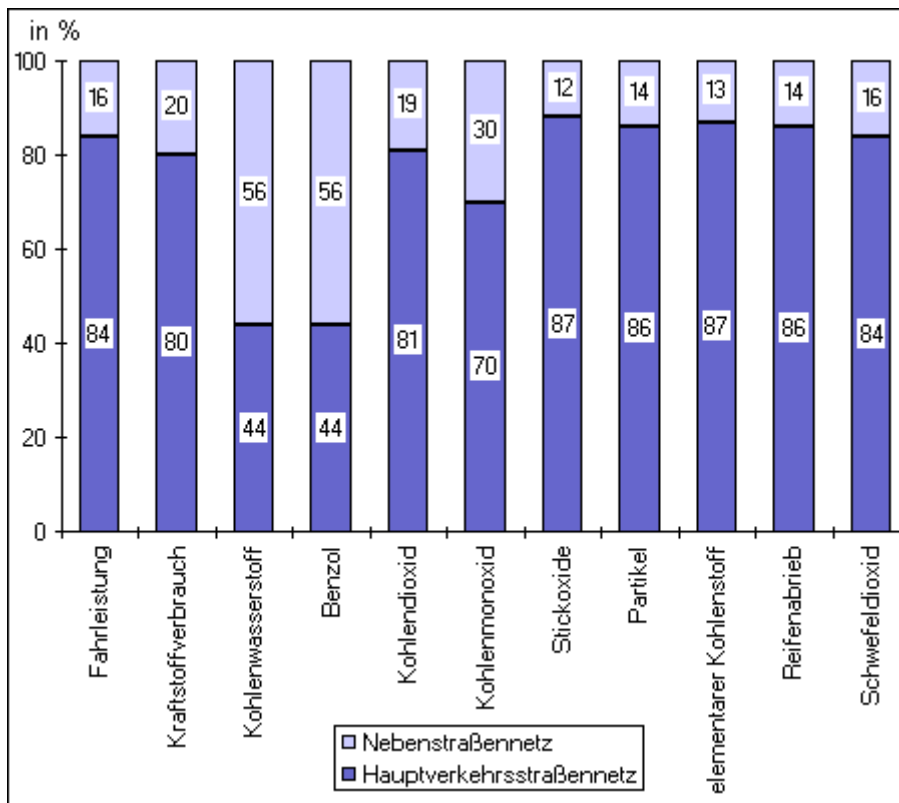


Abb. 5 : Prozentuale Aufteilung der Emissionen und der Fahrleistung in Berlin (Liwicki; Garben 1993)

Kohlenwasserstoffemissionen im Hauptverkehrsstraßennetz

In der Karte 03.09.1 treten die großen Ausfallstraßenzüge mit besonders hohen **Auspuffemissionen** hervor, so der Stadtautobahnring, die West-Ost-Achse im Zuge Bismarckstraße - Kaiserdamm in Charlottenburg, die Karl-Marx-Allee bzw. Frankfurter Allee in Mitte und Friedrichshain sowie weitere Ausfallstraßen. Hier werden Emissionshöhen von über 50 kg/m bzw. 50 t/km Straßenzüge erreicht. Setzt man dies in Beziehung zum höchsten Rasterwert in Karte 03.09.2, Auspuffemissionen gesamtes Straßennetz, der bei $150 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ liegt, so wird der große Einfluß dieser Hauptbelastungsstrecken deutlich. Ihr Flächenanteil an einem $1 \times 1 \text{ km}$ -Raster liegt bei etwa sechs Prozent, der Emissionswert in diesen Fällen jedoch bei etwa 30 %.

Insgesamt läßt sich bei einer Bewertung der auftretenden Emissionshöhen eine deutliche Korrelation zu den Verkehrsmengen feststellen, sofern man die Streckencharakteristik der einzelnen Straßen mitberücksichtigt. So ist der überwiegende Anteil der etwa 70 km Stadtautobahn in den höchsten Emissionsklassen zu finden, der Abschnitt der AVUS ab Autobahndreieck Funkturm mit einem Verkehrsaufkommen von über 70 000 Kfz pro Tag weist jedoch aufgrund des relativ ungestörten Verkehrsflusses nur einen Schadstoffausstoß von $13 \text{ kg/m} \cdot \text{a}$ auf.

Auspuffemissionen im gesamten Straßennetz

Wie bereits erwähnt, spiegelt sich das Verhältnis der Fahrleistungen Haupt- zu Nebenstraßennetz (etwa 5:1) nicht in den Anteilen der Netze an den HC-Auspuffemissionen wider. Dies wird auch in Karte 03.09.2, Auspuffemissionen gesamtes Straßennetz, deutlich. So liegen alle Rasterflächen innerhalb des Inneren-S-Bahn-Ringes (sog. Hundekopf) über $50 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$, der Einfluß einzelner Straßenzüge wird nicht mehr so deutlich. Der für 1993 noch erkennbare Schwerpunkt in den westlichen City-Bereichen dürfte sich durch die Annäherung der Zulassungs- und Fahrleistungsmengen im östlichen an den westlichen Teil der Stadt bis heute ebenfalls angeglichen haben. Weitere örtliche Zentren außerhalb der Innenstadt mit über $50 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ lassen sich in Spandau, Reinickendorf, Marzahn, Treptow und Neukölln erkennen.

Neben der direkten Emission während des Fahrbetriebes muß bei den flüchtigen Kohlenwasserstoffen die **Verdunstung** aus dem Tank gesondert betrachtet werden. Dabei wird

zwischen dem ruhenden Fahrzeug (sog. Tankatmung) - Karte 03.09.3 - und Verdunstungseffekten nach Fahrbetrieb (Heiß und Warmabstellen) - Karte 03.09.4 - unterschieden.

Verdunstungsemissionen durch Tankatmung

Auch bei einem über einen ganzen Tag ungenutzt abgestellten Fahrzeug entstehen durch den Temperaturverlauf über den Tag aufgrund der Druckunterschiede im Gasraum der Kraftstoffbehälter und der Vergaser-Schwimmerkammer HC-Tankatmungsemissionen. In der Summe werden für Berlin werden 1 830 t HC-Emissionen durch Tankatmung für das Jahr 1993 errechnet. Dies sind immerhin gut fünf Prozent der Gesamtemissionen, die durch eine Ausstattung aller Fahrzeuge mit Aktivkohlefiltern vermieden und als Kraftstoff zum Antrieb eingesetzt werden könnten.

Die Verteilung der Emissionswerte in den einzelnen Rastern spiegelt die Einwohnerdichte sowie den Motorisierungsgrad der Einwohner wider. Siedlungsgebiete am Rand der Stadt und einige Bezirkszentren sowie die dicht bebaute Innenstadt treten damit besonders hervor.

Verdunstungsemissionen nach Heiß- und Warmabstellen

Nach dem Betrieb eines Kraftfahrzeugs werden kraftstoffführende Bauteile und damit der darin enthaltene Kraftstoff durch die Strahlungswärme des Motors und der Auspuffanlage aufgeheizt. Die Folge sind sog. Verdunstungsemissionen nach Heiß- und Warmabstellen. Mit 6 600 t liegen diese Verdunstungsemissionen erwartungsgemäß sehr viel höher als die Tankatmungsemissionen und bestimmen auch entscheidend das Verteilungsbild in der Summendarstellung (Karte 03.09.5, Gesamtverdunstung durch Kraftfahrzeuge). Die Verdunstungshöhe resultiert aus den rund 3 270 000 Abstellvorgängen pro Tag für Pkw, Kombi und leichte Nutzfahrzeuge mit Otto-Motoren in Berlin. Raster mit den höchsten Werten (über $50 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$) liegen im City-Bereich, dem Stadtgebiet mit dem höchsten Anteil an Fahrtzielen aus beruflichen, freizeitorientierten oder einkaufsbezogenen Gründen. Aber auch einige lokale Schwerpunkte, wie die Schloßstraße in Steglitz, weisen Werte von rund $30 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ auf und liegen damit deutlich über dem Durchschnittswert für Berlin von $7 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$.

Gesamtemissionen des Kfz-Verkehrs

Die Karte 03.09.6, Gesamtemissionen des Kfz-Verkehrs, faßt alle zuvor einzeln dargestellten Emissionsquellen zusammen. Ein Vergleich mit Karte 03.08.2, Emissionen Verkehr 1989 (vgl. Karte 03.08 SenStadtUm 1994), läßt trotz einer veränderten Methodik einige Rückschlüsse auf Veränderungen im Fahrzeugbestand und Gesamtniveau zu. 1989 wurde eine Gesamtemission von 51 900 t ermittelt. Dabei wurden die höchsten verkehrsbedingten Emissionen in der östlichen Innenstadt festgestellt. Dies war vor allem auf die hohe Emission bei Fahrzeugen mit Zweitaktmotor zurückzuführen. Mit dem Rückgang von Fahrzeugen der Marken Trabant und Wartburg, aber auch mit der Zunahme des Anteil von Kfz mit geregelter Katalysator auf 57 % (Bezugsjahr 1993) wurde das Gesamtniveau auf 25 500 t vermindert. Mit einem Anteil von über 60 % an der Gesamtemission dominieren die Auspuffemissionen die Belastungssituation. Relativ hohe Werte sind in einem Gebiet zu verzeichnen, das im Westen und Norden durch die Stadtautobahn, im Süden durch den Steglitzer Kreisel und im Osten durch den Verlauf der Karl-Marx-Allee bzw. Frankfurter Allee begrenzt wird. Besondere Schwerpunkte lassen sich nicht feststellen. Die höchsten Werte liegen im Zuge Kaiserdamm - Bismarckstraße bzw. südlich davon mit Werten zwischen 160 und $212 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$. Auffällig ist außerdem, daß der ruhende Verkehr die Kohlenwasserstoffemissionen in wenig befahrenen Wohngebieten mit vielen abgestellten Fahrzeugen etwa auf das Doppelte des fahrenden Verkehrs erhöhen kann.

Verdunstungsemissionen an Tankstellen

Die Karte 03.09.7 zeigt die **Betankungsemissionen** an Tankstellen im Stadtgebiet 1993. Hierbei wird nur das Betanken des Fahrzeugs betrachtet und nicht das Umfüllen vom Tankfahrzeug in den Lagertank der Tankstelle. Der weitaus größte Teil, etwa 96 %, entfällt auf Tankstellen ohne Gasrückführsystem.

Tab. 4: Benzin-Abgabemenge und HC-Jahresemission bei der Betankung an den Berliner Tankstellen im Jahre 1993

Tankstellen	Jahresabgabemenge (m³ Benzin/Jahr)	Emissionsfaktor (g HC/l)	Gesamtemission (t HC/Jahr)
ohne Gasrückführsystem	932.379	1,4	1.305
mit Gasrückführsystem	173.715	0,28	49
Insgesamt	1.106.094		1.354

Tab. 4: Benzin-Abgabemenge und HC-Jahresemission bei der Betankung an den Berliner Tankstellen im Jahre 1993

Die gesamten **Betankungs- und Umfüllemissionen** an den Berliner Tankstellen, die auch das Umfüllen vom Tankfahrzeug, Tankschiff oder Eisenbahnkesselwagen in die Lager der Tankstellen einschließt, betrug im Jahre 1993 rund 3 630 t HC und erreichte damit rund zehn Prozent der Gesamtemissionen an Kohlenwasserstoffen. Der weitaus größte Anteil, etwa 96 %, entfällt auf Tankstellen ohne Gasrückführsystem. Entsprechend Tabelle 3 ist mit Ablauf des Jahres 1997 die Nachrüstung mit Gasrückführsystemen für Tankstellen über 1 000 m³ Benzin/Jahr im wesentlichen abgeschlossen worden, so daß nunmehr in Verbindung mit einer abnehmenden Gesamtzahl an Tankstellen von einer Gesamtemission von weniger als 20 % des 93er Wertes ausgegangen werden kann.

Die Verteilung der Tankstellen ist naturgemäß eng an die bebauten Bereiche gekoppelt. Hier liegen die Emissionshöhen in einigen Bereichen in ähnlichen Größenordnungen wie die Gesamtverdunstung des Verkehrs durch Tankatmung und nach Warm- und Heißabstellen. Zu den Stadträndern hin nimmt die Anzahl der Raster mit hohen Emissionswerten deutlich ab.

Auspuffemissionen von Benzol im Hauptverkehrsstraßennetz

Die Karte 03.09.8 zeigt die Emissionen des krebserzeugenden Schadstoffs Benzol im Hauptverkehrsstraßennetz. Zur Berechnung wurden je nach Motorkonzept unterschiedliche Benzol-Anteile an der HC-Auspuff-Emission angesetzt, für den mittlerweile überwiegenden Teil der Fahrzeuge mit geregelter Katalysator im 'Warm-Zustand' 8,1 %, im Mittel über alle Fahrzeuge 5,3 %.

Durch diese enge Bindung an die HC-Emissionen verhält sich das Niveau der Benzol-Emissionen proportional zu diesen (vgl. Karte 03.09.1). Insgesamt werden im Berliner Hauptverkehrsstraßennetz 793 t Benzol emittiert, etwa 50 % der Gesamtemissionen des Kfz-Verkehrs für diesen Stoff. Die Kenntnis über die Verteilung der Benzol-Emissionen im Hauptverkehrsstraßennetz ist Vorbedingung zur Ermittlung der gebietsbezogenen Immissionskonzentrationen, um Belastungsschwerpunkte zu ermitteln und Vergleiche mit dem Konzentrationswert für das Jahresmittel entsprechend der 23. BImSchV durchzuführen (vgl. Karte 03.10).

Gesamtemissionen des Kfz-Verkehrs an Benzol

Die Karte 03.09.9 zeigt in der Innenstadt beinahe flächendeckend ein Emissionsniveau von über drei Tonnen pro Quadratkilometer und Jahr je Raster. Vergleichbar der Situation bei den Kohlenwasserstoffen insgesamt liegen die Werte zum Stadtrand hin wesentlich niedriger und erreichen nur in wenigen Bezirkszentren noch Werte wie innerhalb des Inneren-S-Bahn-Ringes.

Literatur

- [1] **Blümel, H., Breitenkamp, M. 1995:**
Schadstoff- und Geräuschbelastungen in Ballungsräumen - Folgerungen und Maßnahmen, in: Stadtfahrzeug - Zielkonflikt von Mobilität, Ökologie, Ökonomie und Sicherheit, Reihe Fortschritte der Fahrzeugtechnik, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden.
- [2] **IVU (Gesellschaft für Informatik, Verkehrs- und Umweltplanung mbH) 1993:**
Ergebnisse der Abschätzung der Luftschadstoff-Immissionen, für die Hauptverkehrsstraßen Berlins, Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin (unveröffentlicht).

- [3] **IVU (Gesellschaft für Informatik, Verkehrs- und Umweltplanung mbH) und ACCON 1996:**
Verkehrslärmkarte Berlin, Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin (unveröffentlicht).
- [4] **Kalker, U. 1993:**
Gesundheitliche Bewertung der verkehrsbedingten Schadstoffe Stickoxide, Benzol und Dieselruß-Partikel, in: Forum Städte-Hygiene 44, Frankfurt.
- [5] **Klippel, P., Jäcker-Küppers, M. 1997:**
Reduzierung hoher Luftschadstoffbelastung an Strassen, in: Tagungsband zum 465. FGU-Seminar 'Verkehrsbedingte Belastungen durch Benzol, Dieselruß und Stickoxide in städtischen Straßenräumen', Berlin.
- [6] **LAI (Länderausschuß für Immissionsschutz) 1992:**
Beurteilungsmaßstäbe für kanzerogene Luftverunreinigungen, herausgegeben vom Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen.
- [7] **Liwicki, M., Garben, M. 1993:**
Emissionskataster Straßenverkehr Berlin 1993.
- [8] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1992:**
Luftgüte-Meßnetz (BLUME), Informationen zur Luftreinhaltung in Berlin, Heft 5, Berlin.
- [9] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1995:**
Luftreinhaltplan, Heft 19 der Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin.
- [10] **Senatsverwaltung für Verkehr und Betriebe (Hrsg.) 1995:**
Verkehrsplanung für Berlin - Materialien zum Stadtentwicklungsplan Berlin, Berlin.
- [11] **Stern, R., Wiegand, G. 1997:**
IMMIS-Net/CPB, Vortrag auf dem 465. FGU-Seminar Verkehrsbedingte Belastungen durch Benzol, Dieselruß und Stickoxide in städtischen Straßenräumen, 14. - 15.04.1997, Tagungsbericht, Berlin.
- [12] **Umweltbundesamt:**
Forschungsvorhaben 105 06 044 Erarbeitung von Grundlagen für die Umsetzung von § 40 Abs. 2 BImSchG, Berlin.

Gesetze

- [13] **Allgemeine Verwaltungsvorschrift über straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen bei Überschreiten von Konzentrationswerten nach der 23. BImSchV (VwV-StV-ImSch) Bundesanzeiger Nr. 243, S. 13393 vom 31. Dezember 1996**
- [14] **21. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen - 21. BImSchV), BGBl I S. 1730 vom 7. Oktober 1992.**
- [15] **23. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV) in der Fassung des Bundesratsbeschlusses vom 18.3.1994, BR-Drucksache 531/93**
- [16] **23. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV), BGBl I Nr. 66, S. 1962 vom 20. Dezember 1996.**
- [17] **Richtlinie des Rates vom 7. März 1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid (Richtlinie 85/203/EWG), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 87/1**

Karten

- [18] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1997, Bd. 2, Karte 03.08 Organische Gase und Dämpfe – Emissionen und Immissionen, 1 : 200 000 / 1 : 300 000, Berlin.

- [19] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1995:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1995, Bd. 3, Karte 07.01
Verkehrsmengen, 1 : 50 000, Berlin.
- [20] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1996:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1996, Bd. 2, Karte 03.06 Bodennahes Ozon, 1 : 200 000 / 1 : 4 200 000, Berlin.
- [21] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1997a:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1997, Bd. 2, Karte 03.01 Schwefeldioxid - Emissionen und Immissionen, 1 : 200 000 / 1 : 300 000, Berlin.
- [22] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1997b:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1997, Bd. 2, Karte 03.03 Stickoxide - Emissionen und Immissionen, 1 : 200 000 / 1 : 300 000, Berlin.
- [23] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) 1998:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1998, Bd. 2, Karte 03.10 Verkehrsbedingte Luftbelastung durch Benzol, Stickoxide und Dieselruß, 1 : 200 000, Berlin.
- [24] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.):**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1998, Bd. 3, Karte 08.03 CO₂-Emissionen, in Vorbereitung.