

## 03.11 Verkehrsbedingte Luftbelastung durch NO<sub>2</sub> und PM10 (Ausgabe 2008)

### Problemstellung

#### Ausgangslage

In der Vergangenheit stand die Senkung von Industrie- und Hausbrandemissionen im Zentrum der Luftreinhalteplanung. In diesen Bereichen konnten bedingt durch umfangreiche Sanierungserfolge und Stilllegungen große Minderungen der emittierten Luftschadstoffe erreicht werden. Verbesserungen wurden auch im Verkehrsbereich erzielt. Dessen ungeachtet ist - nicht nur in Berlin - der **Verkehr die größte Einzelquelle** für die aktuelle und zukünftige Luftschadstoffbelastung und damit das entscheidende Handlungsfeld der Luftreinhalteplanung.

Die Raum- und Siedlungsstruktur in Berlin-Brandenburg ist infolge der historischen Entwicklungsbedingungen noch "verkehrssparsam" organisiert. Keine andere Region Deutschlands erreicht auch nur annähernd so günstige Voraussetzungen. Besondere Merkmale in Berlin sind die ausgeprägte polyzentrale Struktur, hohe Nutzungsdichten in der inneren Stadt und in Zentren der äußeren Stadt mit intensiver groß- und kleinräumiger Nutzungsmischung sowie eine im Großstadtvergleich sehr geringe Suburbanisierung; nur 20 % der Bevölkerung wohnen im Umland. Große Teile der peripherie-typischen Stadtstruktur liegen allerdings seit Bildung der Einheitsgemeinde "Groß-Berlin" im Jahre 1920 innerhalb der verwaltungsmäßigen Stadtgrenzen von Berlin.

Seit 1990 erleben die Stadt und ihr engerer Verflechtungsraum mit Brandenburg erhebliche Veränderungen ihrer räumlichen Strukturen: Die Verteilungen von Bevölkerung, Betrieben und Arbeitsplätzen, wichtigen Orten des Einkaufs und der Freizeitaktivitäten bildeten sich, insbesondere im Ostteil der Stadt und im Umland neu heraus. Die Veränderungsdynamik hält unter Abschwächung an.

Die Stadt Berlin ist seit der Vereinigung mit einer erheblichen **Zunahme des Verkehrs** konfrontiert. Die Zahl der in Berlin zugelassenen Kraftfahrzeuge nahm von 1989 bis 2002, als mit 1 440 000 ein Höchststand erreicht wurde, um 23 % zu. Seitdem nimmt diese Zahl kontinuierlich ab und beträgt nunmehr 1 291 000 Kraftfahrzeuge (Stand 30.06.2008). Die Fahrleistung auf dem Berliner Straßennetz hat jedoch nicht abgenommen, da die Zahl der Pendler aus dem Berliner Umland und die pro Fahrzeug zurückgelegten Strecken zugenommen haben. Auch in Zukunft ist ein Verkehrswachstum, insbesondere beim belastungsintensiven Straßen-Güterverkehr zu erwarten.

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 weiter verstärkenden Verflechtungen mit Ost-Europa.

#### Beitrag des Kraftfahrzeugverkehrs zu den Luftschadstoffkonzentrationen, Verursacher und Trends

In Berlin ist der Kraftfahrzeugverkehr seit einigen Jahren in wesentlichen Problembereichen ein **erheblicher Verursacher nicht nur der Lärmimmissionen** (siehe auch Karten 07.05.1 und 2 Strategische Lärmkarten Straßenverkehr (Ausgabe 2008)), **sondern auch der Luftverschmutzung**, insbesondere seit die anderen Verursachergruppen in ihrem Beitrag zur Luftverschmutzung in Berlin wesentlich reduziert wurden. Tabelle 1 fasst die Emissionen aller Berliner Verursachergruppen für die Hauptschadstoffe seit 1989 zusammen.

Seit dem Fall der Berliner Mauer im Jahre 1989 sind viele **Industriebetriebe** saniert oder stillgelegt worden und die Braunkohle als Brennstoff für die Öfen zur Beheizung der Berliner Wohnungen ist durch Heizöl-, Erdgas- oder Fernwärmeheizungen verdrängt worden (vgl. Karte 08.02.1 überwiegende Heizungsarten (Ausgabe 2009, in Vorbereitung)). Während im Jahre 1989 noch der **Hausbrand** und die Industrie bedeutende Quellgruppen für die Schwefeldioxid- und Feinstaubbelastung waren, sind deren Emissionen stark vermindert worden. Zwischen 2000 und 2005

sind die Gesamtemissionen von Stickoxiden um fast 30 % und beim Feinstaub um über 20 % zurückgegangen.

Tab. 1: Emissionen in Berlin nach Emittentengruppen						
	Angaben in Tonnen pro Jahr (t/a)					
	1989	1994	2000	2002	2005	Trend 2015
<b>Schwefeldioxid</b>	<b>70801</b>	<b>17590</b>	<b>8858</b>	<b>7158</b>	<b>4666</b>	<b>3900</b>
Genehmigungskedürftige Anlagen	60470	10870	5683	4433	2899	2580
Hausbrand	8526	4890	2500	2400	1513	1120
Kleingewerbe	75	70	60	60	50	43
Verkehr (nur Kfz)	1440	1400	400	55	16	15
Verkehr (sonstiger)	140	140	75	75	68	41
sonstige Quellen	150	220	150	135	120	102
<b>Stickoxide</b>	<b>69971</b>	<b>42417</b>	<b>25981</b>	<b>21913</b>	<b>20312</b>	<b>16011</b>
Genehmigungskedürftige Anlagen	41757	13172	8331	6499	6034	5913
Hausbrand	2704	3120	2860	2860	2945	2739
Kleingewerbe	1200	700	150	185	160	124
Verkehr (nur Kfz)	21410	13025	12400	10455	9558	5833
Verkehr (sonstiger)	1400	1300	1000	900	652	554
sonstige Quellen	1500	2100	1200	1014	563	647
<b>Kohlenmonoxid</b>	<b>293795</b>	<b>203948</b>	<b>94928</b>	<b>76133</b>	<b>69106</b>	<b>65197</b>
Genehmigungskedürftige Anlagen	32443	3888	2028	1581	1521	1369
Hausbrand	68712	41560	8000	8000	5305	4934
Kleingewerbe	1500	300	200	193	168	131
Verkehr (nur Kfz)	182050	144200	76500	51259	47767	46000
Verkehr (sonstiger)	4000	3500	3100	3100	2945	2503
sonstige Quellen	5000	13000	5100	12000	11400	10260
<b>Feinstaub (PM10)</b>	<b>17580</b>	<b>8804</b>	<b>4729</b>	<b>4199</b>	<b>3769</b>	<b>3494</b>
Genehmigungskedürftige Anlagen	9563	3161	960	650	384	376
Hausbrand	2693	1148	131	132	96	77
Kleingewerbe	250	220	160	153	149	134
Verkehr (nur Kfz, Auspuff)	1736	1135	667	394	355	166
Abrieb und Aufwirbeung durch Kfz-Verkehr	1200	1150	967	1050	1024	1100
Verkehr (sonstiger)	236	190	124	130	105	73
sonstige Quellen	1900	1800	1690	1690	1656	1568
<b>organische Gase</b>	<b>103351</b>	<b>73703</b>	<b>32814</b>	<b>24251</b>	<b>21873</b>	<b>16455</b>
Genehmigungskedürftige Anlagen	11801	3473	2554	1966	1596	1564
Hausbrand	5250	2340	560	550	502	351
Kleingewerbe	15500	15000	6500	6484	5511	3858
Verkehr (nur Kfz)	49800	33890	12500	5661	5188	3500
Verkehr (sonstiger)	3000	2000	1710	1710	1590	1193
Sonstige Quellen u. Haushalte	18000	17000	9000	7880	7486	5989

Tab. 1: Emissionen in Berlin nach Emittentengruppen 1989 bis 2015 (Trend)

Auch die Feinstaubemissionen aus dem Auspuff der Kraftfahrzeuge sind von 1989 bis 2005 um mehr als 80 % vermindert worden. Dies stimmt sehr gut mit den Messungen des in den Straßenschluchten gemessenen Dieselruß - dem Hauptbestandteil der Partikelemission aus dem Auspuff – überein: die gemessene Ruß-Konzentration ist in der Frankfurter Allee im Berliner Bezirk Friedrichshain an der Messstelle 174 des Berliner Luftgütemessnetzes BLUME innerhalb der letzten 6 Jahre um fast 40 % gesunken. Aber da sich die Feinstaubemission durch Abrieb und Aufwirbelung des Straßenverkehrs in dieser Zeit kaum vermindert hat, ist der **Straßenverkehr nach den sonstigen Quellen der Hauptverursacher von Feinstaub (PM10)** in Berlin. Der Straßenverkehr hat einen Anteil von 34 % an den Feinstaubemissionen in Berlin, während die sonstigen Quellen 40% verursachen.

Bei den Stickoxiden hat zu Beginn der 90er Jahre der Straßenverkehr die Industrieanlagen als Hauptverursacher bei den Berliner Quellen abgelöst. Der Straßenverkehr hat 2005 einen Anteil von 53 % an den Stickoxidemissionen in Berlin, während die Industrieanlagen 30 % der Gesamtmenge emittieren.

Vergleichsweise besonders hoch sind die vom Kraftfahrzeugverkehr verursachten Belastungen in der Innenstadt, wo auf etwa 100 km<sup>2</sup> Fläche über 1 Mio. Menschen leben. Gerade hier würden unter gleichbleibenden (Trend-) Bedingungen Flächenbedarf und Flächenkonkurrenz eines wachsenden Kfz-Verkehrs zunehmen. Gerade der Straßengüterverkehr wird hier (unter gleich bleibenden Bedingungen) auf zunehmende Kapazitätsengpässe im Straßenraum stoßen.

Um auf diese zum Teil stadtunverträglichen und gesundheitsrelevanten Entwicklungen Einfluss zu nehmen, wurden für Berlin zwei Planungsstrategien erarbeitet, die sich gegenseitig ergänzen:

- Stadtentwicklungsplan Verkehr
- Luftreinhalte- und Aktionsplan Berlin 2005-2010.

Mit dem **Stadtentwicklungsplan Verkehr** hat der Berliner Senat (mit Beschluss vom 8. Juli 2003) ein Handlungskonzept vorgelegt, das die möglichen und notwendigen Schritte zur weiteren Entwicklung der Berliner Verkehrssysteme für die nächsten Jahre mit einer langfristigen strategischen Orientierung verbindet. Kern des Handlungskonzeptes bildet ein Katalog von Maßnahmen, die zuvor in ihrer Wirksamkeit, Akzeptanz und Finanzierbarkeit umfassend untersucht und abgestimmt wurden. Die Untersuchungen zum Luftreinhalteplan Berlin stützen sich, soweit dies die zukünftige Entwicklung des Verkehrs in Berlin und dem Umland betrifft, auf dieses langfristige Handlungskonzept.

Eine der zentralen Teilstrategien des Stadtentwicklungsplans Verkehr „Gesundheit und Sicherheit“ berücksichtigt bereits eine Reihe von wichtigen Maßnahmen zur Begrenzung des Kfz-Verkehrszuwachses und der damit verbundenen Wirkungen bezüglich der Senkung der Luftschadstoff- und Lärmbelastung im Hauptverkehrsstraßennetz.

Die Umsetzung der Maßnahmen des Stadtentwicklungsplans Verkehr ist bis 2015 vorgesehen.

Der von der EU geforderte, standardisierte **Luftreinhalteplan** wurde vom Berliner Senat im August 2005 beschlossen.

Entsprechend den europaweiten Vorgaben müssen im Luftreinhalteplan Angaben

- zu den Schadstoffmessungen,
- zu den Ursachen für hohe Luftschadstoffbelastungen,
- zur Anzahl und Höhe der Überschreitung der Grenzwerte,
- zu den Schadstoffemissionen und dem Anteil der verschiedenen Verursacher (z.B. Industrie, Gewerbe, Hausheizung, Verkehr) an der Immission,
- zu den Maßnahmen und einem Zeitplan zur Umsetzung,
- sowie eine Prognose der damit erzielbaren Verbesserung

gemacht werden.

Der vorliegende Luftreinhalteplan gibt Aufschluss über die rechtlichen Rahmenbedingungen, informiert über die vorherrschende Situation und beschreibt die Ursachen der Luftbelastung. Die Maßnahmen leiten sich an der künftigen Entwicklung der Luftsituation bis 2010 ab. Schwerpunkt ist die Darlegung der Bandbreite möglicher Maßnahmen und deren Bewertung. Anhand der Wirkung dieser Maßnahmen wird eine Strategie für die Berliner Luftreinhalteplanung abgeleitet. Der Luftreinhalteplan dokumentiert, dass Berlin - wie viele andere deutsche und europäische Großstädte auch - bezüglich der Einhaltung der neuen EU-Grenzwerte vor einer Herausforderung steht.

Die wesentlichen Ergebnisse lassen sich so zusammenfassen, dass der hausgemachte, nur durch Berliner Maßnahmen reduzierbare Teil der Belastung etwa die Hälfte der Feinstaubbelastung an einer Hauptverkehrsstraße ausmacht und sich aus dem urbanen Hintergrund und den lokalen Quellen zusammensetzt. Die urbane Hintergrundbelastung wird vorwiegend durch den Straßenverkehr (16% der Gesamtbelastung von PM10) verursacht. Der Rest (11%) stammt zu etwa gleichen Teilen aus der Berliner Wohnungsheizung, Industrie/Kraftwerken, Bautätigkeit und sonstigen Quellen in der Stadt.

Die Ergebnisse der Messungen der vergangenen Jahre und die für das Jahr 2005 durchgeführten Modellrechnungen lassen u.a. folgende Schlussfolgerungen zu:

- Der mehrjährige Trend der Feinstaub- und Stickstoffdioxidbelastung zeigt kaum nach unten. Die hohen PM10-Werte in 2005 und 2006 sowie der Rückgang in 2007 und 2008 sind vorwiegend wetterbedingt.
- Überschreitungen der Grenzwerte für Feinstaub (24h-Wert) und Stickstoffdioxid (Jahreswert) traten 2005 und 2006 an allen verkehrsnahen Messorten auf. Die Rechnungen für 2005 zeigen verbreitet Überschreitungen im gesamten Hauptstraßennetz, insbesondere in der Innenstadt.

Aus diesen Arbeiten kann abgeleitet werden, dass in Berlin die **beiden problematischsten Schadstoffe NO<sub>2</sub> und PM10** sind. Wegen ihrer gesundheitlichen Wirkung müssen für diese Stoffe in der Europäischen Union und in Deutschland strenge Grenzwerte eingehalten werden.

## Wirkungen

**Stickoxide** sind Säurebildner. Sie sind schädlich für die menschliche Gesundheit, bewirken Schäden an Pflanzen, Bauwerken und Denkmälern und sind wesentlich an der übermäßigen Bildung von bodennahem Ozon und anderen gesundheitsschädlichen Oxidantien während sommerlicher Hitzeperioden beteiligt.

Bei Menschen und Tieren führen Stickoxide und insbesondere Stickstoffdioxid zu Reizungen der Schleimhäute im Atemtrakt und können das Infektionsrisiko erhöhen (vgl. Kühling 1986). Auch Zellveränderungen wurden beobachtet (BMUNR 1987). Verschiedene epidemiologische Untersuchungen haben einen Zusammenhang zwischen Verschlechterungen der Lungenfunktion, Atemwegssymptomen und erhöhter Stickstoffdioxidkonzentration gezeigt (vgl. Nowak et al. 1994).

**Dieseleruß** ist ein wesentlicher Bestandteil von **Feinstaub (PM10)** in den Abgasen der Kraftfahrzeuge und birgt zum einen als Trägerstoff für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) ein Krebsrisiko, gilt aber auch für sich gesehen als mögliche Ursache für Lungen- und Blasenkarzinome (vgl. Kalker 1993). Außerdem stehen ultrafeine Partikel wie Dieselerußpartikel, die kleiner als 0,1 µm sind, im Verdacht, das Risiko für Herz-Kreislaufkrankungen zu erhöhen.

## Gesetzliche Regelungen und Grenzwerte

Die Beurteilung der Luftbelastung durch den Kraftfahrzeugverkehr ist für die Immissionsschutzbehörden erst ab 1985 konkretisierbar geworden, nachdem die Europäische Gemeinschaft in der "Richtlinie des Rates vom 7. März 1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid" (Richtlinie 85/203/EWG) Grenz- und Leitwerte für diesen Schadstoff festgelegt hat, außerdem schrieb sie vor, dass die Konzentration in Straßenschluchten und an Verkehrsbrennpunkten gemessen werden soll.

Aufgrund einer Vielzahl neuer Erkenntnisse zu diesem und den anderen Luftschadstoffen entstand die 1996 in Kraft getretene "Richtlinie 96/62/EG über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität (die so genannte "Rahmenrichtlinie").

In dieser Richtlinie wird die Kommission aufgefordert, innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens so genannte "Tochtrichtlinien" vorzulegen, in denen Grenzwerte und Details zu Mess- und Beurteilungsvorschriften für eine vorgegebene Liste von Komponenten festgelegt werden.

Inzwischen sind vier Tochtrichtlinien in Kraft getreten:

- am 19. Juli 1999 die Richtlinie 99/30/EG mit Grenzwerten für Schwefeldioxid, Feinstaub(PM10), Stickstoffdioxid und Blei
- am 13. Dezember 2000 die Richtlinie 2000/69/EG mit Grenzwerten für Benzol und Kohlenmonoxid
- am 9. Februar 2002 die Richtlinie 2002/3/EG über bodennahes Ozon zur Anzahl und Höhe der Überschreitung der Grenzwerte

- am 15. Dezember 2004 die Richtlinie 2004/107/EC mit Grenzwerten für Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen.

Zur Überführung der ersten beiden Tochterrichtlinien in deutsches Recht blieben jeweils zwei Jahre Zeit, die mit der 7. Novelle zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vom September 2002, bezüglich der 1. Tochterrichtlinie deutlich überschritten wurde. Die neue Ozonrichtlinie ist inzwischen mit der neuen 33. Verordnung zum BImSchG in deutsches Recht übernommen worden.

Kernstück der Luftqualitätsrichtlinien sind die Immissionsgrenzwerte, die "innerhalb eines bestimmten Zeitraumes erreicht werden müssen und danach nicht überschritten werden" dürfen. Die einzuhaltenden Schadstoffkonzentrationen und der Zeitpunkt, bis zu dem die Grenzwerte eingehalten werden müssen, sind in den Tochterrichtlinien bzw. in der 22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetzes festgelegt.

Stoff	Mittel über	Grenzwerte	Einhaltungsfrist
PM10	24h	50 µg/m <sup>3</sup> 35 Überschreitungen/Jahr	01.01.2005
	1 Jahr	40 µg/m <sup>3</sup>	01.01.2005
NO <sub>2</sub>	1h	200 µg/m <sup>3</sup> 18 Überschreitungen/Jahr	01.01.2010
	1 Jahr	40 µg/m <sup>3</sup>	01.01.2010

**Tab. 2: EU-weite Immissionsgrenzwerte und Fristen für PM10 und Stickstoffdioxid entsprechend der 22. BImSchV**

In einer neuen EU-Richtlinie 2008/50 werden neue Grenz- und Richtwerte für sehr feinen Feinstaub PM<sub>2,5</sub> (mit Partikeldurchmesser unter 2,5µm) festgelegt und die Einhaltungsfrist für die NO<sub>2</sub>- und PM<sub>10</sub>-Grenzwerte unter bestimmten Voraussetzungen um bis zu 5 Jahre verlängert.

Berlin gilt nach § 1 der 22. BImSchV als Ballungsraum, für den die Luftqualität jährlich beurteilt und gegebenenfalls Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte ergriffen werden müssen. Als Plangebiet für die mögliche Aufstellung eines Luftreinhalteplanes wurde das ganze Stadtgebiet festgelegt. Grenzwertüberschreitungen treten im Stadtgebiet überall, insbesondere an Hauptverkehrsstraßen auf. Daher macht eine Beschränkung des Plangebietes auf Teile des Stadtgebietes oder die Aufteilung in mehrere Plangebiete keinen Sinn.

## Umsetzungsprobleme der Richtlinie 99/33/EG und der 22. BImSchV am Beispiel der PM<sub>10</sub>-Belastung in der Stadt

In der Nähe hoher Schadstoffemissionen, wie z.B. in verkehrsreichen Straßenschluchten, treten auch hohe Immissionskonzentrationen auf. Anders als in den meisten Industriegebieten sind in verkehrsreichen Straßen viele Menschen – ob als Anwohner, Kunden oder Beschäftigte – einer erhöhten Schadstoffbelastung ausgesetzt. Um der Vorgabe der Europäischen Richtlinien nach Einhaltung der Grenzwerte am Ort der höchsten Exposition Rechnung zu tragen, ist eine möglichst lückenlose Quantifizierung der Schadstoffbelastung notwendig. Dazu wurden in Berlin die im letzten Abschnitt beschriebenen Messungen mit Modellrechnungen in allen verkehrsreichen Straßen, in denen Grenzwerte potentiell überschritten werden, ergänzt.

Allerdings spielt selbst in einer verkehrsbelasteten Straßenschlucht der Anteil der durch die übrigen Quellen in der Stadt oder durch Ferntransport von Schadstoffen erzeugten **Vorbelastung** eine wichtige Rolle. Deshalb wurde für die Planung von Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in Berlin ein System von Modellen angewandt, das über die Ebenen

- Straßenschlucht
- städtische und
- regionale Hintergrundbelastung

sowohl den großräumigen Einfluss weit entfernter Quellen als auch den Beitrag aller Emittenten im Stadtgebiet bis hinein in verkehrsreiche Straßenschluchten berechnen kann.

Aus den oben genannten Untersuchungen zur Herkunft der Feinstaubbelastung in Berlin entstand das wiedergegebene vereinfachte Schema in Abbildung 1, das die räumliche Verteilung der PM10-Konzentration in Berlin und Umgebung verdeutlichen soll.

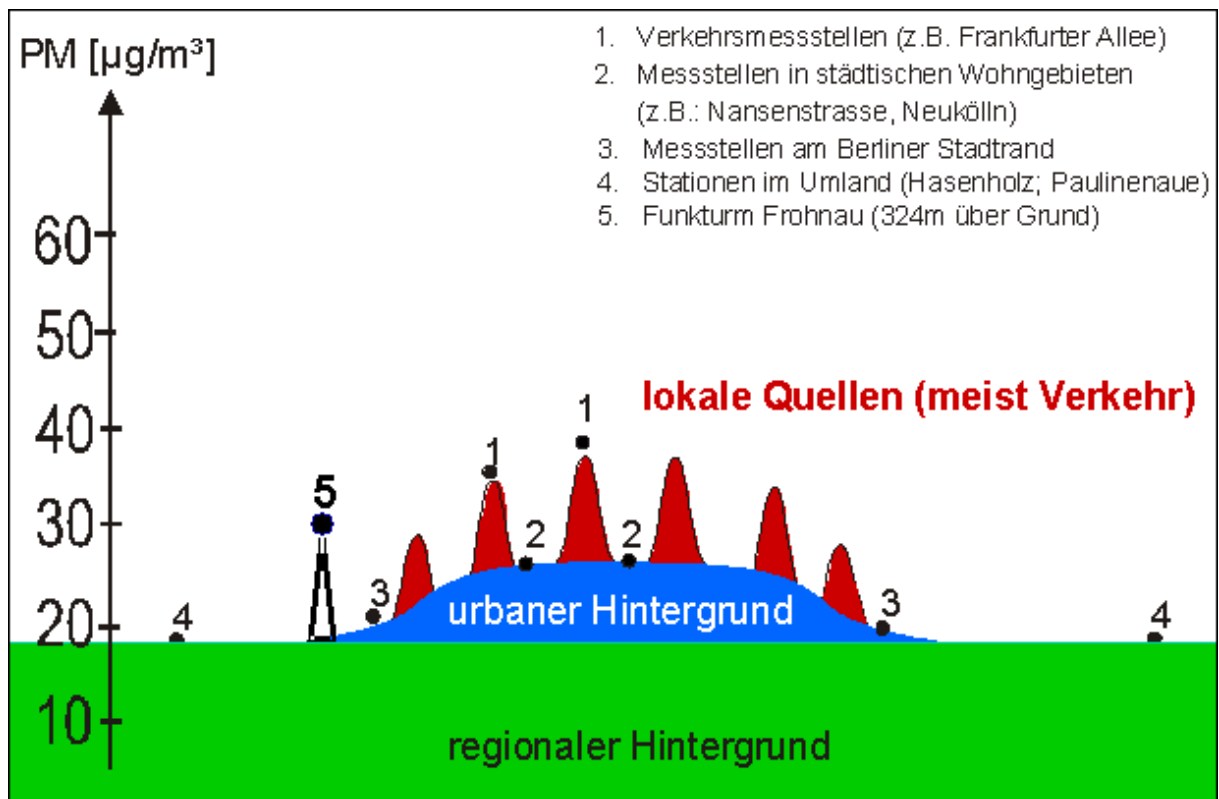


Abb.1: Schema der Anteile der Feinstaub(PM10)-Belastung in Berlin und Umgebung (SenStadt 2008b)

Es existiert ein großräumig verteilter Hintergrundpegel (grüne Fläche), der anhand von Messungen an mehreren ländlichen Stationen in Brandenburg im Jahr 2002 knapp  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beträgt. Dieser als regionale Hintergrundbelastung bezeichnete Anteil ist, wie die großräumigen Modellergebnisse zeigen, außerhalb der Städte relativ gleichmäßig verteilt.

Darauf addiert sich der hausgemachte, durch Berliner Schadstoffquellen verursachte Teil der PM10-Belastung. Er lässt sich unterteilen:

- in den Beitrag, der durch Überlagerung der Emissionen aller Berliner Quellen (Verkehr, Kraftwerke, Industrie, Wohnungsheizung) zustande kommt (blaue Fläche). Zusammen mit dem regionalen Hintergrund entspricht dies der Feinstaubkonzentration, die in innerstädtischen Wohngebieten fernab vom Straßenverkehr und Industrie gemessen wird;
- in den zusätzlichen Beitrag, den lokale Emittenten, wie z.B. der Autoverkehr in der Frankfurter Allee, in der unmittelbaren Umgebung der Quelle verursachen (rote Spitzen).

In der Summe zeigt sich für Berlin, dass knapp die Hälfte der PM10-Belastung an verkehrsnahen Messstellen in der Innenstadt aus dem regionalen Hintergrund und der übrige (hausgemachte) Anteil der Feinstaubbelastung jeweils zur Hälfte durch einen Beitrag des lokalen Verkehrs und die Schadstoffquellen im übrigen Stadtgebiet verursacht wird. Nur dieser Anteil kann durch lokale Maßnahmen in Berlin beeinflusst werden.

## Datengrundlage

### Emissionskataster Kraftfahrzeugverkehr

Das Emissionskataster Kfz-Verkehr ist auf der Basis der Verkehrszählungen für das Jahr 2005 neu erhoben worden, weil diese Verursacherguppe nach den bisherigen Erfahrungen erheblich zu den Feinstaub- und Stickoxid-Belastungen beiträgt. Seit dem Jahr 2001 sind in den Hauptverkehrsstraßen Berlins an vielen Stellen Detektoren errichtet worden, die die dort fahrenden Kraftfahrzeuge zählen. Diese Daten dienen primär dazu, die aktuelle Verkehrssituation in Berlin zu kennen und sie in die

Verkehrssteuerung mit einzubeziehen. Diese Informationen werden in der **Verkehrsmanagementzentrale (VMZ)** ausgewertet, um die Bevölkerung und insbesondere die Autofahrer über Rundfunk, Internet und Anzeigetafeln an zentralen Punkten über die aktuelle Verkehrssituation zu informieren und gegebenenfalls Routenempfehlungen zur Umfahrung von Staus zu geben. Mit dem Ausbau der VMZ soll das Ziel einer dynamischen Verkehrssteuerung nach aktueller Verkehrslage und -belastung ermöglicht werden.

## Erhebung der Verkehrsbelastung

Seit 2002 stehen die Daten von ca. 400 Detektoren an etwa 300 Standorten innerhalb des Berliner Hauptstraßennetzes bei der VMZ zur Verfügung. Viele dieser Detektoren unterscheiden zwischen Pkw und Lkw und können für jährliche überschlägige Verkehrsmengenerhebungen genutzt werden.

Für das Jahr 2005 standen zusätzlich die Verkehrszahlen für Pkw und Lkw durch eine etwa alle 5 Jahre durch die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung in Auftrag gegebene amtliche Zählung durch geschulte Personen an vielen Verkehrsknotenpunkten zur Verfügung. Diese amtliche Verkehrszählung hat gegenüber der Zählung durch die Detektoren den Vorteil, dass die Lkw über 3,5t besser von den sonstigen Kfz getrennt werden können. Daher wurde für 2005 diese Verkehrszählung als Grundlage für das Emissionskataster Verkehr gewählt, so wie bei den Katastern 1999 und 1994.

Die Auspuffemissionen wurden dann wie folgt bestimmt:

- Die Hochrechnung der punktbezogenen Knotenzählungen auf das gesamte Berliner Hauptstraßennetz mit einem Verkehrsfluss-Rechenmodell (VISUM) durch die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung liefert als Resultat die mittleren täglichen Verkehrszahlen (DTV) und die Lkw-Anteile für alle Hauptstraßen;
- die Ermittlung der abschnittsbezogenen Belastung des Hauptverkehrsstraßennetzes mit Linienbusverkehr der Berliner Verkehrsgesellschaft (BVG) wird aus den Fahrplandaten 2005 errechnet;
- die Berechnung der Emissionen mit den Emissionsfaktoren aus dem UBA-Handbuch für Emissionsfaktoren (Version 2.1 2004) unter Berücksichtigung der Straßenart und -funktion wird mit Hilfe des Programms IMMIS<sup>em/luft</sup> ermittelt.

## 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.

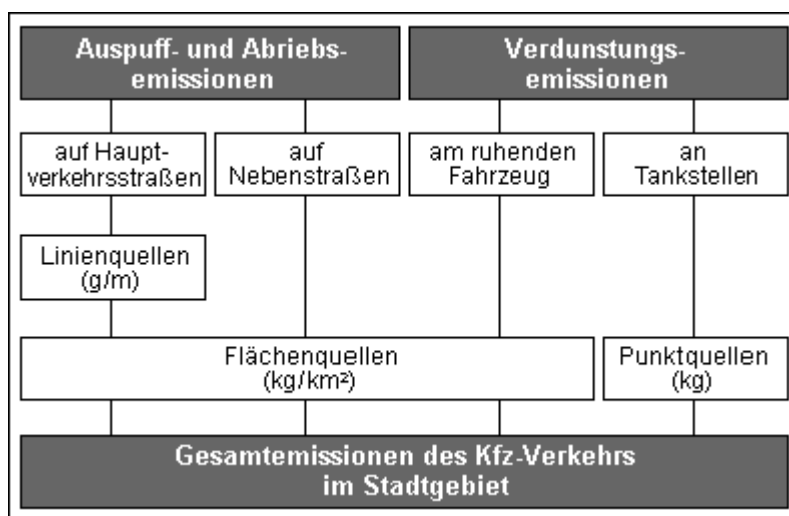


Abb.2: Erhebungssystematik des Emissionskatasters Verkehr 2005

Mit Hilfe von Emissionsmodellen werden die Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-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.

## Emissionsmodelle Hauptverkehrsstraßen (Linienquellen) und Nebenstraßennetz (Flächenquellen)

Die Auspuffemissionen durch den Kraftfahrzeugverkehr hängen von Faktoren ab, die sich in verkehrsspezifische und kraftfahrzeugspezifische Kenngrößen zusammenfassen lassen.

Die **verkehrsspezifischen Kenngrößen** werden durch die Verkehrsdichte, d.h. die Anzahl der auf dem betrachteten Straßenabschnitt (Quelle) bewegten Fahrzeuge und deren Fahrverhalten (Fahrmodus) beschrieben. Das Fahrverhalten wird den verschiedenen Straßentypen (Stadtkernstraße, Nebenstraße, Hauptverkehrsstraße mit oder ohne Lichtsignalanlage, Autobahn) und Funktionen (Geschäftsstraße, Wohngebietsstraße oder Einfallstraße) zugeordnet.

Die **kraftfahrzeugspezifischen Kenngrößen**, im Allgemeinen ausgedrückt durch die Abgasemissionsfaktoren, werden bestimmt durch:

- die Art des motorischen Antriebsverfahrens (Viertakt-, Zweitakt- oder Dieselmotor),
- die Art der Gemischaufbereitung (durch Vergaser oder Einspritzung beim Otto-Motor),
- die Art des Kraftstoffes (Zweitaktgemisch, Benzin, Diesel),
- die Art eventuell vorhandener Reinigungssysteme (geregelter und ungeregelter Katalysator, Abgasrückführung) sowie
- sonstige, den technischen Zustand des Motors charakterisierende Größen.

Die Emissionsfaktoren hängen auch vom Fahrverhalten (Fahrmodus) ab und werden daher für unterschiedliches Fahrverhalten angegeben. Als wesentliche kraftfahrzeugspezifische Größe werden auch der Kaltstarteinfluss, der zu erhöhten Schadstoffemissionen während der Warmlaufphase des Motors führt, und die Verdunstungsemissionen berücksichtigt.

Die Emissionsfaktoren werden im UBA-Handbuch für Emissionsfaktoren (Version 2.1 vom April 2004) für jedes Jahr seit 1990 bis zum Jahr 2020 zur Verfügung gestellt. Hier finden sich für jede Fahrzeuggruppe (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, motorisierte Zweiräder, Busse und schwere Nutzfahrzeuge), für zurzeit mindestens fünf Minderungsstufen (80er Jahre ECE-Zyklus, Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV, EURO V- nur bei schweren Nutzfahrzeugen) und für jeden Straßentyp die Emissionsfaktoren aller relevanten emittierten Stoffe.

Die strengere Abgasnorm Euro 5 für Pkw wird ab September 2009 für Neufahrzeuge vorgeschrieben. Die vorgesehene strengere Norm Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge und Euro 6 für Pkw werden jedoch voraussichtlich erst ab 2013 in Kraft treten. Diese Abgasnormen können mit der jetzigen Version des UBA-Handbuchs nicht berücksichtigt werden, so dass realistische Prognosen der Kfz-Emissionen nur bis 2010 und mit Einschränkungen bis 2015 möglich sind.

## Ermittlung der Emission durch Abrieb und Aufwirbelung des Straßenverkehrs

Nach heutiger Erkenntnis geht man davon aus, dass ein großer Anteil der verkehrsbedingten PM10-Emissionen nicht aus dem Auspuff der Fahrzeuge stammt, sondern über Aufwirbelung von auf der Straßenoberfläche liegenden Partikeln und vom Reifen- und Bremsabrieb herrührt.

Grundlage der Berechnung dieser Emissionen mit  $IMMIS^{em/luft}$  bildet die modifizierte EPA-Formel aus entsprechenden Untersuchungen. Diese Formel wurde durch Messungen in Berlin an der Schildhornstraße und an der Frankfurter Allee entwickelt und basiert auf der Erkenntnis, dass im Bezugsjahr 2001 ca. 50 % der in Straßenschluchten gemessenen Zusatzbelastung von Feinstaub nicht der Auspuffemission der Kraftfahrzeuge zugeordnet werden kann, sondern durch die fahrzeugbedingten Abriebe (Brems-, Straßen- und Reifenabrieb) und Aufwirbelungen verursacht werden. Da die Auspuffemissionen durch die verbesserte Motortechnik seitdem weiter vermindert wurden, ist der Anteil der nicht Auspuff bedingten Emissionen an der Zusatzbelastung heute deutlich höher als 50 %.



Abbildung 3 stellt die einzelnen Ausgangsgrößen zur Berechnung der Auspuff- und Abriebemissionen des Verkehrs, wie Fahrleistungsfaktoren, Stop-and-Go-Zuschläge, Kaltstartfaktoren etc. sowie die Ergebnisse vor.

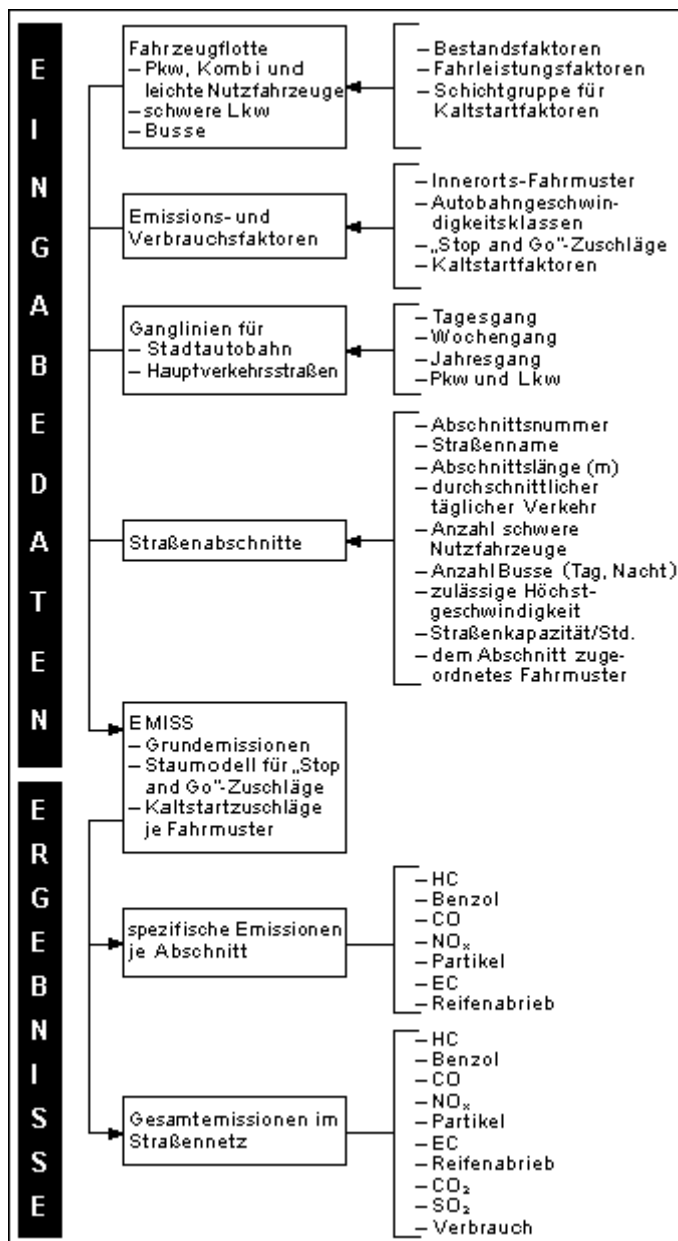


Abb. 3: Emissionsmodell zur Berechnung der emittierten Schadstoffmengen in Hauptverkehrsstraßen (Liwicki, Garben 1993)

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 Emissionsfaktoren ermittelt.

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

## Emissionsmodell Nebenstraßennetz (Flächenquellen)

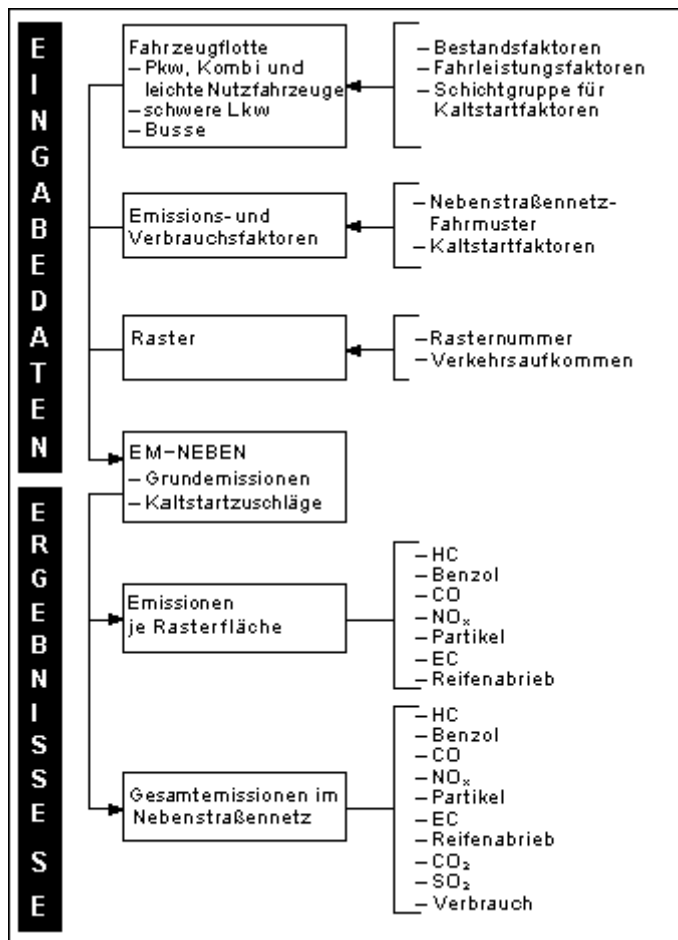


Abb. 4: EM-NEBEN - Emissionsmodell für das Nebenstraßennetz (Flächenquellen) (Liwicki, Garben 1993)

Die Verkehrsbelastung der Nebenstraßen für das Jahr 2005 wurde mit Hilfe des Verkehrsumlegungsprogramms VISUM aus den zugrunde gelegten Quell-Ziel-Relationen berechnet. Die daraus ermittelten Gesamtfahrleistungen und Anteile an schweren Nutzfahrzeugen wurden den Verkehrszellen in der Stadt zugeordnet. Die aus dem Auspuff und durch Aufwirbelung und Abrieb bedingten Emissionen im Nebennetz wurden mit dem Emissionsmodul von IMMIS<sup>em/luft</sup> bestimmt.

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-Matrizes des Kfz-Verkehrs.

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

## Auspuff- und Abriebemissionen im Stadtgebiet

Tabelle 3 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 2005.

Tab. 3: Fahrleistungen (Mio. Fahrzeug-km/Jahr), Kraftstoffverbrauch (t) und Auspuff- und Abriebemissionen (t/Jahr) nach Fahrzeugarten im Stadtgebiet Berlin - Bezugsjahr 2005						
	gesamt	Pkw und Kombi	schwere Nutzfahrzeuge	leichte Nutzfahrzeuge	Linienbusse	motorisierte Zweiräder
<b>Hauptverkehrsstraßennetz</b>						
Fahrleistung	10.630,4	9.229,7	419,3	771,7	82,1	127,6
Kraftstoffverbrauch	840.896,5	625.458,8	106.753,4	70.859,0	29.372,2	8.453,1
Kohlerwasserstoffe	2.506,4	1.899,5	217,8	145,3	77,3	166,5
Benzo	143,2	119,3	5,0	9,7	1,3	8,5
Kohlerdioxid	2.669.846,9	1.955.253,6	383.311,3	224.977,3	93.256,6	12.448,1
Kohlermonoxid	35.326,4	30.915,9	1.122,0	1.640,4	258,2	1.489,9
Stickoxide	7.799,8	3.062,8	3.088,0	648,8	984,1	16,2
Feinstaub (PM10) (gesamt)	1.162,4	606,5	290,5	100,7	60,2	5,0
Auspuffpartikel	290,0	108,1	97,7	58,7	23,5	2,0
Reifenabrieb, Aufwirbelung usw.	872,4	498,4	200,8	109,9	59,7	3,7
Elementarer Kohlenstoff (Auspuff + Reifenabrieb)	346,7	213,0	70,2	43,5	19,3	0,7
Benz-a-Pyren	0,023	0,008	0,010	0,003	0,002	0,0
Schwefeldioxid	12,4	9,3	1,5	1,0	0,5	0,1
<b>Nebenstraßennetz</b>						
Fahrleistung	2.010,9	1.797,7	61,7	140,7	7,6	9,8
Kraftstoffverbrauch	190.782,1	147.908,1	19.391,9	14.619,6	7.730,6	631,9
Kohlerwasserstoffe (auch aus Tankatmung)	2.681,4	2.436,2	94,4	129,0	10,2	11,6
Benzo	54,5	57,6	0,4	2,3	0,0	0,2
Kohlerdioxid	569.872,6	437.302,4	56.296,5	48.130,8	26.403,3	1.739,6
Kohlermonoxid	12.440,8	11.667,8	97,0	598,7	26,3	51,6
Stickoxide	1.638,0	917,5	490,5	130,4	98,7	0,9
Feinstaub (PM10) (gesamt)	186,6	98,0	57,0	23,8	7,6	0,2
Auspuffpartikel	65,3	22,7	25,0	13,7	3,8	0,1
Reifenabrieb, Aufwirbelung usw.	151,6	94,1	40,0	12,6	4,8	0,1
Elementarer Kohlenstoff (Auspuff + Reifenabrieb)	30,5	14,2	11,5	6,2	1,0	0,0
Benz-a-Pyren	0,008	0,004	0,002	0,007	0,0	0,0
Schwefeldioxid	3,5	7,7	1,0	0,6	0,2	0,0
<b>Gesamtes Stadtgebiet</b>						
Fahrleistung	12.641,3	11.027,4	481,0	911,8	89,7	137,4
Kraftstoffverbrauch	1.031.678,7	773.366,9	126.345,3	85.478,7	37.102,8	9.085,0
Kohlerwasserstoffe	5.187,7	4.335,6	312,2	274,3	87,5	178,1
Benzo	197,9	177,0	5,4	11,5	1,3	8,7
Kohlerdioxid	3.239.719,6	2.392.556,0	440.207,8	273.108,7	119.660,0	14.187,7
Kohlermonoxid	47.767,3	42.583,8	1.119,0	2.238,5	284,5	1.541,5
Stickoxide	9.437,8	3.980,3	3.578,5	779,2	1.082,8	17,1
Feinstaub (PM10) (gesamt)	1.191,8	610,9	316,0	170,6	89,2	5,1
Auspuffpartikel	355,3	130,8	122,7	72,4	27,3	2,1
Reifenabrieb, Aufwirbelung usw.	1.024,0	592,5	240,8	122,5	64,4	3,8
Elementarer Kohlenstoff (Auspuff + Reifenabrieb)	380,2	227,1	81,7	49,7	21,0	0,7
Benz-a-Pyren	0,031	0,012	0,011	0,005	0,002	0,031
Schwefeldioxid	15,9	17,0	2,5	1,6	0,7	0,1

**Tab. 3: Fahrleistungen (Mio. Fahrzeug-km/Jahr), Kraftstoffverbrauch (t) und Auspuff- und Abriebemissionen (t/Jahr) nach Fahrzeugarten im Stadtgebiet Berlin - Bezugsjahr 2005**

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.

## Immissionen - Ergebnisse der stationären Messungen

Zur Erfassung der durch den Kfz-Verkehr verursachten Schadstoffbelastung werden im Rahmen des automatischen Luftgütemessnetzes BLUME **Straßennmessstationen** betrieben; um den EU-

Richtlinien und der daraus hervorgegangenen Novellierung des BImSchG und der 22. BImSchV von 2002 Rechnung zu tragen, wurden in den letzten Jahren einige Veränderungen im Berliner Luftgütemessnetz vorgenommen.

Da die Konzentration von Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid nur noch einen Bruchteil der Grenzwerte beträgt, konnten die Messungen dieser Komponenten entsprechend reduziert werden. Gleichzeitig wurde mehr Augenmerk auf die Bestimmung von **Feinstaub (PM10)** und **Stickstoffdioxid** vor allem in Verkehrsnähe gelegt.

## Messungen der Immissionsbelastung im Stadtgebiet

Im Jahr 2008 werden an insgesamt 15 Messcontainern (5 am Stadtrand, 5 im innerstädtischen Hintergrund und 5 an Straßenstandorten) und an 37 RUBIS-Messstellen Luftschadstoffmessungen durchgeführt. Die RUBIS-Messungen (Kleinmessstellen mit Aktiv- und Passivsammlern zur Gewinnung von Stickstoffdioxid-, Benzol- und Ruß-Wochenmittelwerten) werden seit dem Jahr 2005 als Zweiwochenwerte erfasst. Die Lage der einzelnen Messstellen ist Abbildung 5 zu entnehmen. Die genauen Adressen sind in den Monatsberichten zur Luftreinhaltung der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung zu finden.

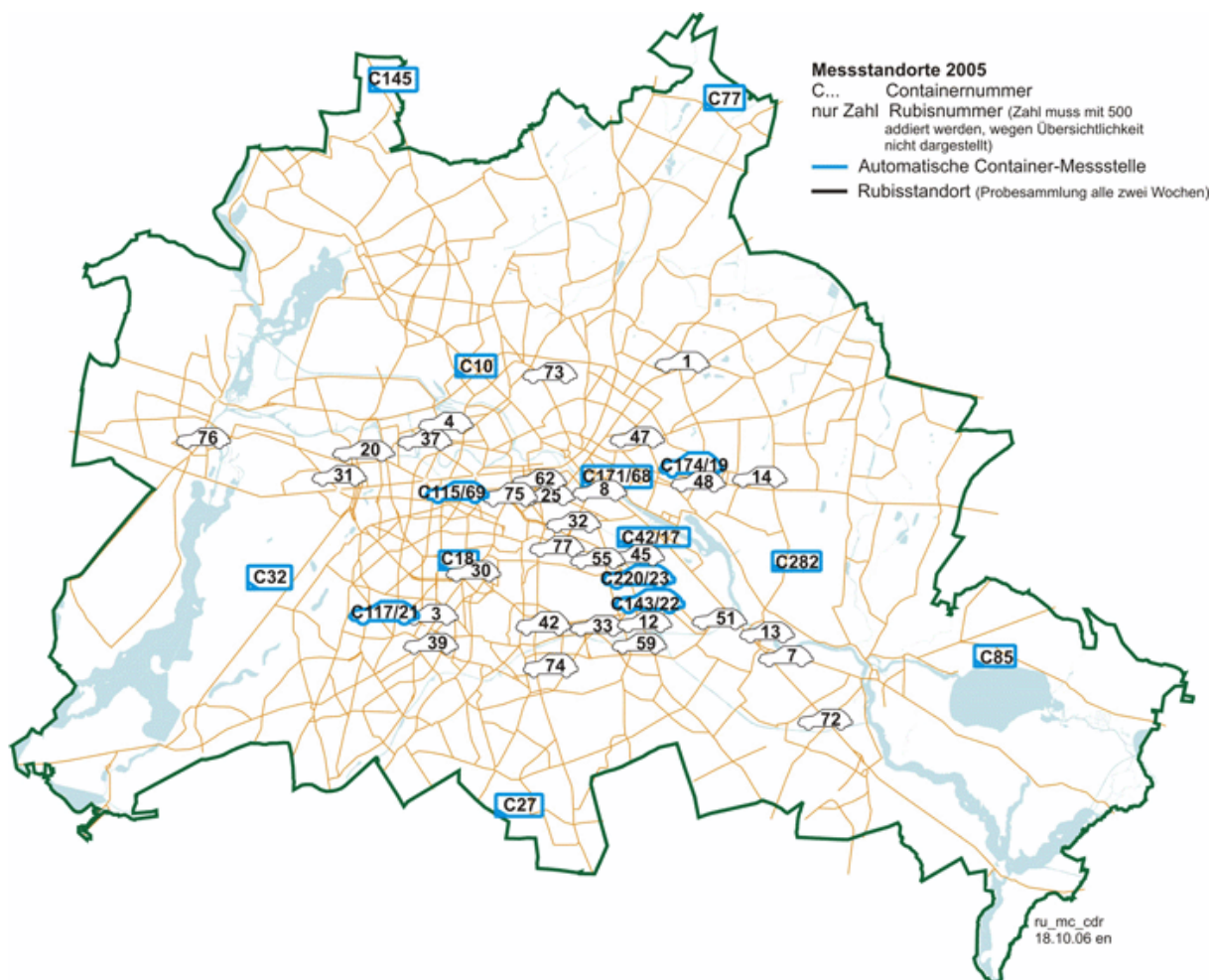


Abb. 5: Lage der automatischen Container-Messstellen des BLUME-Messnetzes sowie der RUBIS-Kleinmessstellen 2005

Die Höhe der gemessenen Konzentration ist nicht alleine von der Anzahl der Fahrzeuge und der dadurch bedingten Emissionen abhängig, sondern auch von den Bedingungen für den Luftaustausch, die einerseits durch meteorologische Parameter (z.B. den Wind), andererseits durch Art und Umfang der Bebauung gegeben sind. So werden hohe Immissionsbelastungen an beidseitig bebauten Straßen (Straßenschluchten) wie in der Silbersteinstraße in Neukölln oder der Schildhornstraße in Steglitz registriert, während an der Stadtautobahn, die ein wesentlich höheres Verkehrsaufkommen aufweist, geringere Schadstoffkonzentrationen zu verzeichnen sind. Die Abbildung 6 zeigt eine typische Schadstoffverteilung in einer Straßenschlucht. Eine solche Verteilung entsteht, wenn die Windrichtung (über Dach) vom Messpunkt zur Straße zeigt und sich in der Straßenschlucht eine Wirbelströmung ausbildet. Diese treibt die Kfz-Emissionen auf die Straßenseite mit der Messstation.

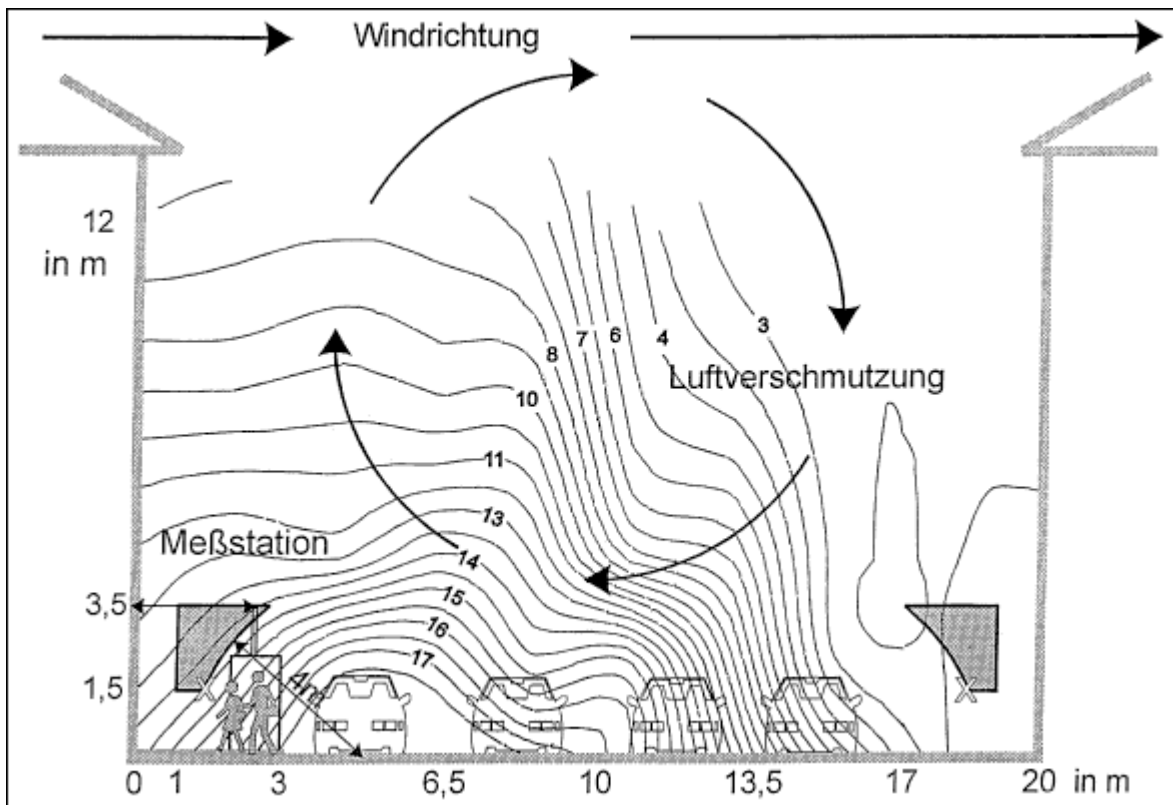


Abb. 6: Schadstoffverteilung in einer Straßenschlucht mit Messbereich nach der 23. BImSchV und Aufpunkten für die Berechnung mit dem Straßenschluchtmodell IMMIS<sup>em/luft</sup>

## Langjähriger Trend der Stickstoffdioxidkonzentration im Stadtgebiet

Die Ergebnisse der bis 2007 an Hauptverkehrsstraßen durchgeführten Messungen zeigen im langjährigen Trend (vgl. Abbildung 7):

- Bis etwa 1995 wurde durch die Ausrüstung der Berliner Kraftwerke mit Entstickungsanlagen und die Einführung des geregelten Katalysators für Otto-Fahrzeuge ein deutlicher Rückgang der Stickstoffdioxidkonzentrationen erreicht.
- Die Belastung mit NO<sub>2</sub> hat sich an allen drei dargestellten Stationskategorien während der letzten zehn Jahre kaum verändert. Die Werte an verkehrsreichen Straßen (rote Kurve) liegen immer noch deutlich über dem EU-Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel.
- Die durch die Verbesserung der Abgastechnik der Fahrzeuge zu erwartende Abnahme der Stickoxidemissionen hat nicht zu einem Rückgang der Stickstoffdioxidbelastung geführt.

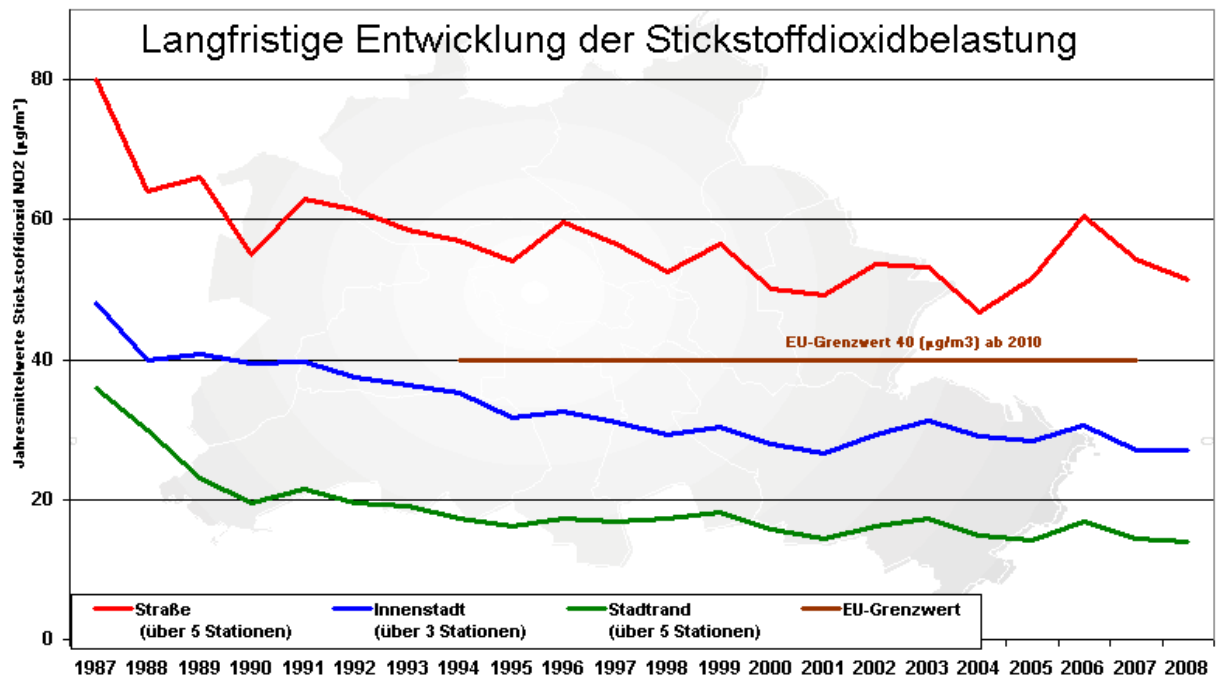


Abb. 7: Langjähriger Trend der Stickstoffdioxidwerte in Berlin (weitere Informationen werden unter Langfristige Entwicklung der Luftqualität) angeboten.

### Langjähriger Trend der PM10-Konzentration im Stadtgebiet

Die Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der PM10- und Gesamtstaubkonzentration in Berlin und Umgebung über die letzten 20 Jahre (1997 fand die Umstellung der Messungen von Gesamtstaub auf Feinstaub (PM10) statt).

Die rote Kurve zeigt die Belastung an drei verkehrsnahen Messstellen, während die blaue und grüne Linie die Konzentrationen an drei Messstellen in innerstädtischen Wohngebieten bzw. an fünf Messpunkten am Stadtrand wiedergibt.

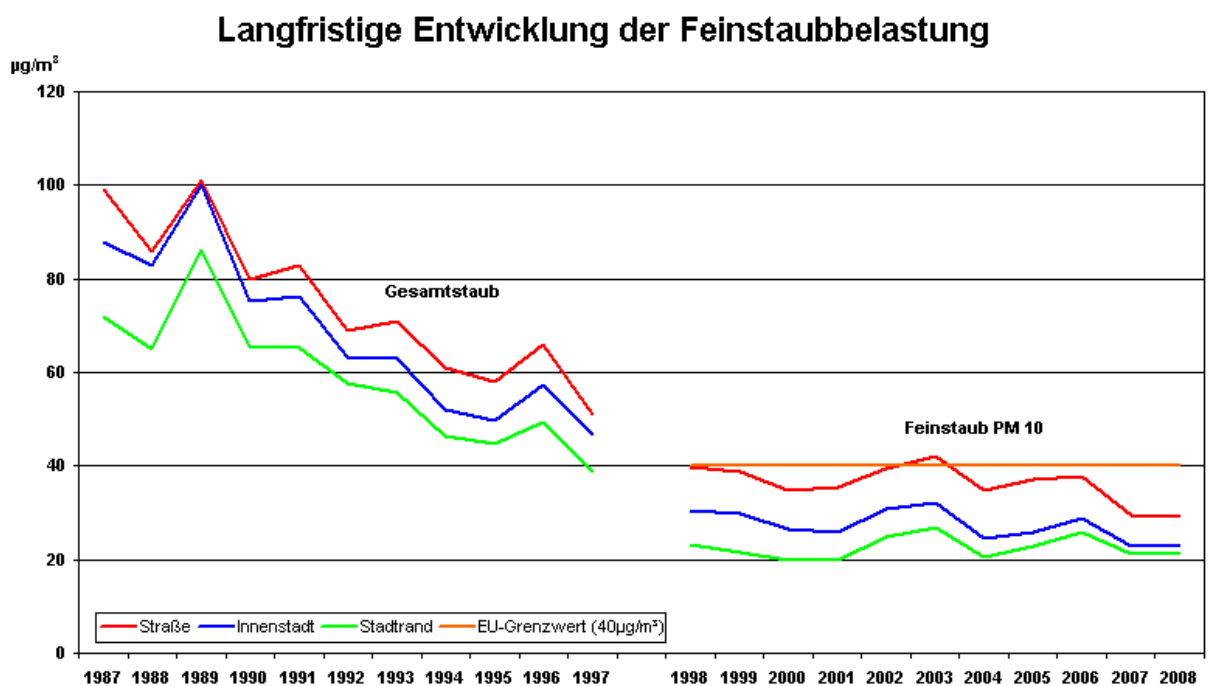


Abb. 8: Langjähriger Trend der PM10- und Rußkonzentration in Berlin (weitere Informationen werden unter Langfristige Entwicklung der Luftqualität) angeboten.

Beim Vergleich der Kurven fällt folgendes auf:

- Die PM10-Konzentration in ländlicher Umgebung in Brandenburg beträgt bis zum Jahr 2003 bereits etwa die Hälfte der PM10-Belastung in Berliner Hauptverkehrsstraßen der Innenstadt und nimmt danach bis 2007 auf etwa 2/3 der PM10-Belastung in den Berliner Hauptstraßen zu.
- Der bis Ende der 90er Jahre anhaltende Rückgang der Staubwerte hat sich in den letzten Jahren nicht fortgesetzt. (Im Gegensatz dazu ging die Rußbelastung an Hauptverkehrsstraßen von 1998 bis 2004 kontinuierlich um fast 40% zurück; ein Resultat u.a. der abgastechnischen Verbesserung der Fahrzeuge, so zum Beispiel auch der Busflotte der Berliner-Verkehrs-Betriebe BVG vgl. Abbildung 8 zu Umweltatlas-Karte 03.11 Ausgabe 2005).
- Die jährliche Variation der PM10-Werte ist an allen Stationen ähnlich. Insbesondere der deutliche Wiederanstieg der PM10-Werte in den Jahren 2002 und 2003 und 2005 und 2006 ist ein Phänomen, das gleichzeitig überall im Stadtgebiet, einschließlich der Stadtrandstationen und der Umlandstationen auftrat. Die Ursache ist deshalb nicht in erster Linie bei den Berliner PM10-Emissionen zu suchen, sondern auf ungünstige Witterungsbedingungen und die großräumige Verfrachtung der Feinstaubpartikel zurückzuführen. Die Werte sind dann - nach einem leichten Rückgang 2004 - in den Folgejahren wieder angestiegen.

## Methode

### Modelleinsatz

Die Ergebnisse der Straßenmessungen zeigen, dass die Konzentrationswerte der Richtlinie 99/33/EG bzw. der 22. BImSchV an einer großen Anzahl von Hauptverkehrsstraßen - insbesondere beim Feinstaub - überschritten werden. Da eine messtechnische Untersuchung an allen Straßen im Stadtgebiet allein aus Kostengründen nicht möglich ist, wurden die Immissionsbelastungen für das gesamte Berliner Hauptverkehrsstraßennetz mit Emissions- und Ausbreitungsberechnungen abgeschätzt. Dabei werden die Straßenzüge ermittelt, in denen die gesetzlichen Konzentrationswerte mit großer Sicherheit überschritten bzw. eingehalten werden.

Dazu wurden die beschriebenen Messungen mit Modellrechnungen in allen verkehrsreichen Straßen, in denen Grenzwerte potentiell überschritten werden, ergänzt. Allerdings spielt selbst in einer verkehrsbelasteten Straßenschlucht der Anteil der durch die übrigen Quellen in der Stadt oder durch Ferntransport von Schadstoffen erzeugten Vorbelastung eine wichtige Rolle. Deshalb wurde für die Planung von Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in Berlin ein System von Modellen angewandt, das sowohl den großräumigen Einfluss weit entfernter Quellen als auch den Beitrag aller Emittenten im Stadtgebiet bis hinein in verkehrsreiche Straßenschluchten berechnen kann. Für eine solche Abschätzung für alle Hauptverkehrsstraßen (**Screening**) eignet sich das hierfür entwickelte modulare Programmsystem IMMIS<sup>■■■</sup>.

**IMMIS-Luft<sup>■■■</sup>** ist ein Screening-Programmsystem zur Beurteilung der Belastungen durch den Straßenverkehr. Es wurde speziell für Anwendungen im Zusammenhang mit verkehrsbezogenen Auswertungen entwickelt. Mit Hilfe dieses Programms ist - vorausgesetzt, dass die notwendigen Eingabegrößen bekannt sind - eine schnelle Berechnung der Immissionsbelastung sowohl für einzelne Straßen als auch für ein umfassendes Straßennetz möglich.

Hierbei wird die Immissionsbelastung auf beiden Straßenseiten für je einen Punkt in 1,5 m Höhe und 1,5 m Entfernung zur Gebäudekante berechnet (vgl. Abbildung 6). Das Mittel der errechneten Immission an diesen beiden Punkten wird als charakteristische Abschätzung der Immissionsbelastung in diesem Abschnitt angesehen.

Die Luftschadstoff-Immissionen des Verkehrs in Straßenschluchten wurden mit dem Programmteil IMMIS<sup>cpb</sup> modelliert. Es ermöglicht die Berechnung von Stundenwerten der durch den lokalen Verkehr erzeugten Immissionsbelastung an beliebigen Aufpunkten (Rezeptoren) in einer Straßenschlucht mit differierender Bebauungshöhe und mit winddurchlässigen Gebäudelücken auf der Basis leicht zugänglicher meteorologischer Größen. Als weitere wesentliche Eingangsgröße wird die Emission für jeden Straßenabschnitt benötigt. Die Emissionen wurden mit dem Programmteil IMMIS<sup>em</sup> aus den aktuellen Verkehrsdaten berechnet. Die durch die Stadt hervorgerufene Belastung ergibt sich aus der Summe der mit dem Straßenschluchtmodell berechneten Zusatzbelastung, aus dem lokalen Straßenverkehr und der städtischen Hintergrundbelastung, die mit IMMIS<sup>net</sup> berechnet wurde.

## Bewertung anhand eines Indexes

Die aus diesen Arbeiten abgeleitete Karte präsentiert die räumliche Verteilung der verkehrsverursachten Luftbelastung für NO<sub>2</sub> und PM10. Für beide Stoffe wurde eine **zusammenfassende Bewertung** vorgenommen. Der ermittelte Index gewichtet die berechneten Konzentrationen beider Schadstoffe anhand ihrer Grenzwerte an den rund 7000 Straßenabschnitten des Hauptverkehrsnetzes für 2005 und addiert die Quotienten. Ein Index von 1,00 ergibt sich z.B. dann, wenn beide Komponenten 50% des Grenzwertes erreichen. Alle Abschnitte, die einen Indexwert größer 2 aufweisen erfordern zukünftig ein besonderes Augenmerk (vgl. Wirkungen auf die menschliche Gesundheit).

## Datenanzeige

Die Datenanzeige umfasst detaillierte Informationen zum ausgewählten Streckenabschnitt. (Markieren Sie mit dem entsprechenden Button einen oder mehrere farbige Zählabschnitte mit der rechten Maustaste und bestätigen Sie mit der linken. Wenn Sie den Button "Sachdatenanzeige" drücken erscheinen auf der rechten Seite die ausgewählten Sachdaten.) Neben der Schlüsselnummer des Abschnittes werden folgende Parameter dargestellt:

- Name des Stadtbezirkes, in dem der Abschnitt liegt,
- Straßename,
- Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) für Kfz, LKW (> 3,5 t) und Zweiräder,
- Anzahl BVG-Busse pro Tag,
- Emissionsangaben für 2005 bezogen auf folgende Stoffe:
  - Benzol,
  - Ruß,
  - Kohlendioxid,
  - Stickoxide,
  - Partikel (gesamt),
  - Partikel (Auspuff),
- die berechneten Immissionen für 2005 bezogen auf folgende Stoffe:
  - Jahresmittel NO<sub>2</sub>,
  - 24h-Wert PM10,
  - Jahresmittel PM10,
- die Trendrechnungen der Immissionen für 2015, jeweils bezogen auf folgende Stoffe:
  - Jahresmittel NO<sub>2</sub>,
  - 24h-Wert PM10,
  - Jahresmittel PM10.

## Kartenbeschreibung

### Index der Luftbelastung für PM10 und NO<sub>2</sub> im Jahr 2005

Messungen der Schadstoffkonzentrationen sind nur für ein begrenztes Gebiet in der Umgebung der Messstelle repräsentativ und vor allem bezogen auf den Feinstaub PM10 stark von den meteorologischen Randbedingungen abhängig.

Diese Abhängigkeiten werden anhand der nachfolgenden Darstellungen der Abbildungen 9 bis 11 deutlich werden.

### **Entwicklung der PM10-Tagesmittelwerte in den Jahren 2002, 2005 und 2007 an den Messstellen des BLUME-Messstellen**



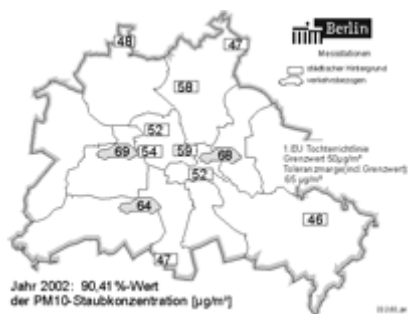


Abb.9: 90,41%-Wert der Feinstaubkonzentration PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] im Jahre 2002 an den Messstellen des BLUME-Messnetzes.

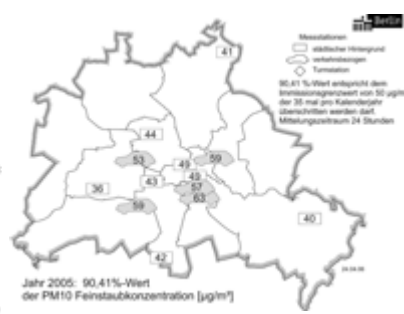


Abb. 10: 90,41%-Wert der Feinstaubkonzentration PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] im Jahre 2005 an den Messstellen des BLUME-Messnetzes.

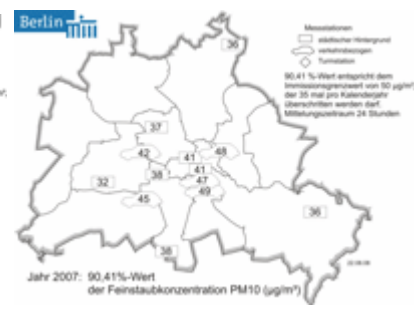


Abb. 11: 90,41%-Wert der Feinstaubkonzentration PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] im Jahre 2007 an den Messstellen des BLUME-Messnetzes.

Der zum 90,41%-Wert korrespondierende Tagesmittelwert der Feinstaubkonzentration PM10 von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  darf an nicht mehr als 35 Tagen im Jahr überschritten werden.

Auswertungen zu den Ursachen der Feinstaubbelastung zeigen, dass etwa die Hälfte der Staubkonzentration an verkehrsnahen Messpunkten der Berliner Innenstadt aus Quellen außerhalb des Großraums Berlin stammt. Je nach Verlauf der meteorologischen Randbedingungen kann dieser Außeneinfluss zu einer mehr oder weniger starken Überschreitung insbesondere des zweiten PM10-Grenzwertes führen. Dabei werden nicht mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Feinstaub PM10 zugelassen.

Während in den Jahren 2002 und 2005 zum Teil deutliche Überschreitungen des Kurzzeitgrenzwertes zu verzeichnen waren (z.B. 2005 mit 82 Überschreitungen an der Messstelle Frankfurter Allee), wurde im Jahr 2007 aufgrund günstiger meteorologischer Bedingungen mit einem hohen Anteil austauschreicher West-Wind-Wetterlagen zum ersten mal nicht nur der Jahresmittelwert an allen Messstationen eingehalten, sondern auch der zweite Grenzwert unterschritten.

Dieser nachgewiesene Außeneinfluss auf die Feinstaubkonzentration entbindet jedoch nicht von eigenen Anstrengungen, um eine dauerhafte Minderung der PM10-Belastungen zu gewährleisten.

Um über die an den BLUME-Messstellen gewonnene Information hinaus ein vollständiges Bild der Vorbelastung sowie der Verteilung der Schadstoffe im Stadtgebiet zu erhalten, wurden aufwändige Modellrechnungen im Rahmen der Erstellung des Luftreinhalte- und Aktionsplan Berlin 2005-2010 durchgeführt, die im Kapitel Methode bezogen auf die Straßenschluchten ausführlich beschrieben werden. Als Grundlage dienten Wetterbedingungen sowie Verkehrs- und Emissionsdaten des Jahres 2005.

Die städtische Hintergrundbelastung von PM10 für das Beispieljahr 2002 veranschaulicht Abbildung 12; deutlich ist ein merklicher Anstieg der Werte vom Stadtrand zum Stadtzentrum innerhalb des S-Bahnrings (großer Hundekopf) festzustellen.

Die in der Innenstadt berechnete Konzentration zwischen  $25$  und  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ist repräsentativ für die Belastung in Wohngebieten mit geringem Straßenverkehr und in größerer Entfernung von Industrieanlagen.

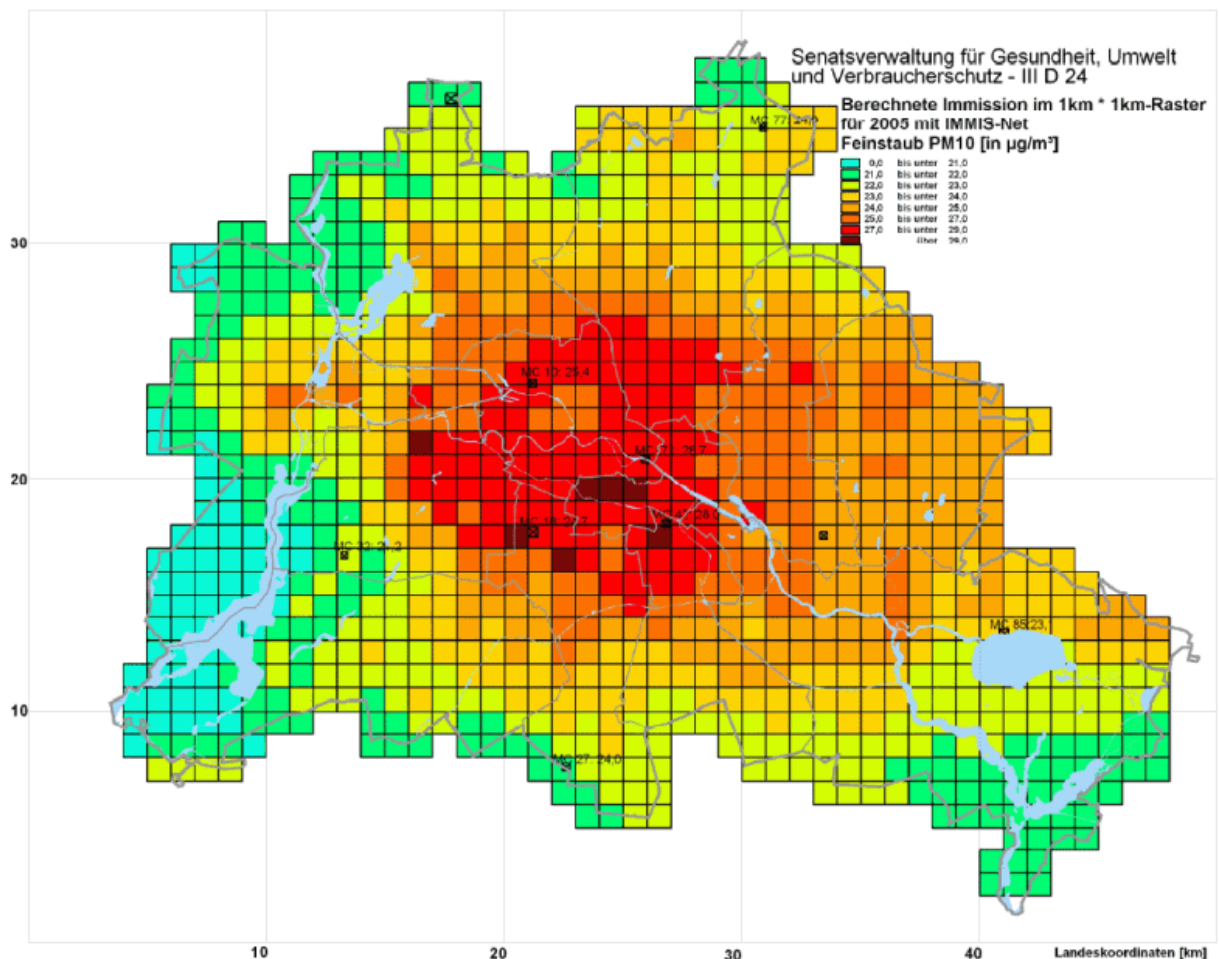


Abb. 12: Mit IMMIS<sup>net</sup> berechnete und an BLUME-Messstellen gemessene PM10-Belastung (Jahresmittel) im städtischen Hintergrund Berlins für das Basisjahr 2005 (SenGesUmV o.J.)

Auf Grundlage dieser Belastungsverteilung wurde die in der Karte dargestellte Berechnung der Immissionen von PM10 und NO<sub>2</sub> im Hauptverkehrsstraßennetz mit dem Modell IMMIS-Luft durchgeführt, die durch eine ausführliche Datenanzeige für jeden bewerteten Straßenabschnitt ergänzt wird. Sie resultiert aus der Überlagerung der jeweiligen Konzentration im städtischen Hintergrund und der berechneten Zusatzbelastung durch den lokalen Verkehr im jeweiligen Abschnitt einer Hauptverkehrsstraße.

Alle rot eingefärbten Straßenabschnitte zeigen **Überschreitungen** der Grenzwerte des 24-Wertes von PM10 und/oder des Jahresmittelwertes von NO<sub>2</sub>, bezogen auf das Jahr 2005 (vgl. Tabelle 2).

Für den Feinstaub mit sehr kleinen Partikeln unter 2,5 µm (PM2,5) ist ab 2015 ein EU-weiter Grenzwert von 25 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel vorgesehen. Diese Abschnitte, in denen Grenzwertüberschreitungen berechnet werden, wurden daher als **"sehr hoch belastet"** eingestuft und erfordern für die Zukunft weiterhin ein besonderes Augenmerk im Hinblick auf die Minimierung der bodennahen Luftbelastung. Die Abschnitte sind über die ganze Stadt verteilt, konzentrieren sich aber ringförmig um die Innenstadt, auf die großen Ausfallstraßen nach Süden und Osten bzw. die bedeutenden innerstädtischen Verbindungsstraßen wie den Straßenzug Bismarckstr./Kaiserdamm in Charlottenburg, den Tempelhofer Damm einschließlich südlicher Verlängerung, die Frankfurter Allee oder das Adlergestell in Köpenick. Die Gesamtlänge der Straßenabschnitte summiert sich auf etwa 163 km Straßenlänge (= 12 % des übergeordneten Straßennetzes), an denen mehr als 63 000 Menschen leben (vgl. Tabelle 4).

Die meisten Betroffenen wohnen im Gebiet des sogenannten "Großen Hundekopfes" und entlang der Ausfallstraßen. An der in der Karte deutlich mit hohen Werten hervorstechenden Stadtautobahn sind nur wenige Anwohner betroffen, da der Abstand zu den Häusern relativ groß ist und sich die Luft wegen der offenen Lage der Stadtautobahn gut durchmischt.

Die Karte zeigt darüber hinaus, dass ein Viertel aller Abschnitte den Indexwert von 1,76 - 2,00 überschreitet. Auch dieser rund 294 km langer Teil des Hauptstraßennetzes kann zukünftig zumindest

in Teilbereichen ein Problem darstellen, da hier i.d.R. ebenfalls mindestens ein Parameter den jeweiligen Grenzwert überschreitet.

Tab. 4: Abschnittslängen des Luftbelastungsindex und betroffene Anwohner im übergeordneten Straßennetz 2005

Index der Luftbelastung durch PM10 und NO2	Auswertung Hauptstraßennetz			Betroffene Anwohner
	km Straßenslänge	%	% kumuliert	
<=1,50 gering belastet	503,1	36,2%	36,2%	60.913
1,51 - 1,75 mässig belastet	427,8	30,8%	67,1%	115.480
1,76 - 2,00 erhöht belastet	294,2	21,2%	88,2%	108.114
> 2,00 sehr hoch belastet	163,3	11,8%	100,0%	63.747
<b>Summe</b>	<b>1.388,3</b>	<b>100,0%</b>		<b>348.254</b>

**Tab. 4: Abschnittslängen des Luftbelastungsindex und betroffene Anwohner im übergeordneten Straßennetz Berlins 2005**

Der verwendete Ansatz zur Berechnung der von Grenzwertüberschreitung betroffenen Anwohner wurde aus der Lärmkartierung übernommen (siehe auch Karten 07.05 Strategische Lärmkarten (Ausgabe 2008)). Dabei wird die Zahl der Bewohner der zur Straßenfront reichenden Wohnungen gezählt. Die so ermittelte Anzahl der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Bürger stellt eine eher konservative Abschätzung dar, weil sich die Schadstoffe überall hin ausbreiten und so auch außerhalb hoch belasteter Straßenschluchten erhöhte Konzentrationen auftreten können.

## Berechnete Trends für das Jahr 2015 für die Stoffe PM10 und Stickstoffdioxide (NO<sub>2</sub>)

Im Hinblick auf die dauerhafte Einhaltung der Grenzwerte zur Luftreinhaltung ist die Berechnung von Trendszenarios von großer Bedeutung. Durch sie lässt sich die zukünftige Entwicklung der großräumigen und lokalen Luftbelastung abschätzen und beurteilen, ob über die eingeleiteten Maßnahmen hinaus zusätzliche Anstrengungen notwendig sind, um zu einer Verringerung der Luftbelastung zu gelangen. Die Immissionswerte für 2005, die auch Grundlage der Berechnung des Luftbelastungsindex sind, bilden die Ausgangslage ab. Das davon ausgehende Trendszenario berücksichtigt für den Trendzeitpunkt 2015 emissionsseitige Minderungen in Europa und Deutschland ebenso wie auf lokaler Ebene in Berlin selbst. Dabei werden Fortschritte infolge der Umsetzung europäischer Vorschriften für den Schadstoffausstoß von Anlagen, Kraftwerken und Kraftfahrzeugen ebenso einbezogen wie z.B. Emissionen der Landwirtschaft im Bereich der Feinstäube.

Die Auspuffemissionen des Kfz-Verkehrs nehmen, bedingt durch die allmähliche Verdrängung der älteren Fahrzeuge mit hohen Schadstoff-Emissionen, bis 2015 bei den Stickoxiden um fast 40 % und bei den Partikeln um mehr als 50 % ab. Allerdings wird der durch den Abrieb der Fahrbahn, Reifen und Bremsen sowie durch die Aufwirbelung von Straßenstaub erzeugte Feinstaub wegen der erhöhten Fahrleistung geringfügig zunehmen.

**Insgesamt ergibt sich für Berlin bis 2015 bezogen auf 2005 ein Rückgang der NO<sub>x</sub>-Emissionen um gut 21 % und der PM10-Emissionen um etwa 7 %.**

Um den 24 h-Grenzwert für Feinstaub überall einzuhalten, ist jedoch ein wesentlich stärkerer Rückgang der Konzentrationen erforderlich. Eine solche Verbesserung ist aber ohne zusätzliche Minderungsmaßnahmen weder für den hausgemachten noch für den importierten Teil der Feinstaubbelastung zu erwarten, so dass auch für 2015 noch an rund 153 km Hauptstraßennetz mit etwa 61.000 betroffenen Anwohnern mit Überschreitungen des 24h-Wertes für PM10 zu rechnen ist (vgl. Tabelle 5). Es müssen also zusätzliche Maßnahmen in Berlin auf nationaler und europäischer Ebene ergriffen werden, um beide Anteile weiter zu reduzieren.

Ein ähnliches Fazit lässt sich für die vorhersehbare Entwicklung der Stickstoffdioxidbelastung ziehen. Durch die bisher eingeleiteten Maßnahmen des Trendszenarios wird sich die Konzentration in den Hauptverkehrsstraßen bis 2015 wesentlich reduzieren, wodurch auch die Zahl der Straßen mit Grenzwertüberschreitungen und die davon betroffenen Anwohner um etwa 86 % sinken wird. Es bedarf aber auch hier zusätzlicher, vorwiegend in Berlin zu treffender Maßnahmen, um die

verbleibenden knapp 16 km Straßen und die dort lebenden 4.300 (überprüfen) Betroffenen zu entlasten.

Betrachtete Stoffe PM10 und NO2	Berechnung der Grenzwertüberschreitungen für 2005		Trendrechnungen der Grenzwertüberschreitungen	
			2015	
	km Straßenlänge	Betroffene Anwohner	km Straßenlänge	Betroffene Anwohner
NO2 [Jahresmittel in µg/m3]	114	42.116	16	4.262
PM10 [24h-Wert in µg/m3]	336	133.446	153	60.800
PM10 [Jahresmittel in µg/m3]	9	2.300	7	1.129

**Tab. 5: Von Grenzwertüberschreitungen betroffene Abschnittslängen und Anwohner im übergeordneten Straßennetz, Berechnung für 2005 und Trendrechnung für 2015**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass

- auf der Maßnahmenseite in Berlin der Schadstoffausstoß von Industrieanlagen deutlich unter die seit 2007 vorgeschriebenen Grenzwerte gesenkt werden konnte,
- die schon umgesetzten oder eingeleiteten Maßnahmen dazu führen werden, dass in städtischen Wohngebieten bis 2010 die Feinstaubbelastung um 7-10 % und die Stickstoffdioxidwerte um 22% zurückgehen werden,
- diese Rückgänge ausreichen werden, um den als Jahresmittel definierten Grenzwert für Feinstaub auch in Jahren mit ungünstigen Wetterverhältnissen einhalten zu können sowie die Länge der Straßenabschnitte mit Überschreitungen des 24h-Grenzwertes für Feinstaub bis 2015 mehr als zu halbieren und des Jahresgrenzwertes für Stickstoffdioxid um fast 90 % zu senken.

Die zusätzlich möglichen Maßnahmen und ihre Wirkung auf die Luftqualität beschreibt im einzelnen der im August 2005 vom Berliner Senat beschlossene Luftreinhalte- und Aktionsplan Berlin 2005-2010.

## Literatur

- [1] **BMUNR (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ) (Hrsg.) 1987:** Auswirkungen der Luftverunreinigung auf die menschliche Gesundheit. Bericht für die Umweltministerkonferenz, Bonn.
- [2] **IVU Umwelt GmbH 2008:** Programmsystem **IMMIS<sup>\*\*\*</sup>**  
Internet (Zugriff am 16.12.2008):  
<http://www.immis.de/>
- [3] **Kalker, U. 1993:** Gesundheitliche Bewertung der verkehrsbedingten Schadstoffe Stickoxide, Benzol und Dieselruß-Partikel, in: Forum Städte-Hygiene 44, Frankfurt.
- [4] **Kühling, W. 1986:** Planungsrichtwerte für die Luftqualität, in: Schriftenreihe Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen. Materialien, Band 4.045, Hrsg.: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen im Auftrag des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, Dortmund.
- [5] **Liwicki, M., Garben, M. 1993:** Emissionskataster Straßenverkehr Berlin 1993, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin, nicht veröffentlicht.

- [6] **Nowak, D., Jörres, R., Magnussen, H. 1994:**  
Luftverschmutzung - Asthma - Atemswegsallergien. Zwischenergebnisse deutsch-deutscher epidemiologischer Studien, in: Deutsches Ärzteblatt 91, Heft 1/2, Köln.
- [7] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2003:**  
*mobil2010*, Stadtentwicklungsplan Verkehr, Entwurfsstand Juli 2003, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/verkehr/download.shtml>
- [8] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2008a:**  
Luftgüte-Meßnetz (BLUME), Download detaillierter Monats- und Jahresberichte, Berlin.  
Internet (Zugriff am 16.12.2012):  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/messnetz/monat.shtml>
- [9] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2008b:**  
Luftreinhalte- und Aktionsplan 2005-2010, Berlin.  
Internet (Zugriff am 10.07.2013):  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/doku\\_lrp\\_2005\\_2010.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/doku_lrp_2005_2010.shtml)
- [10] **SenGesUmV (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin) (Hrsg.) o.J.:**  
Emissionskataster Verkehr 2005, Berlin, unveröffentlicht.

## Gesetze und Verordnungen

- [11] **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.
- [12] **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.
- [13] **Richtlinie des Rates vom 7. März 1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid (Richtlinie 85/203/EWG)**, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 87/1.
- [14] **Richtlinie 96/62/EG über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität**. Amtsblatt der EG v. 21.11.96 Nr. L 296 S. 55.
- [15] **Richtlinie 99/33/EG über die Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickoxide, Partikel und Blei in der Luft**. Amtsblatt der EG vom 29.6.99, Nr. L 163 Seite 41.
- [16] **Richtlinie 2000/69/EG über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft**. Amtsblatt der EG vom 13.12.2000, Nr. L 313 Seite 12.
- [17] **Richtlinie 2002/3/EG über den Ozongehalt der Luft**. Amtsblatt der EG vom 9.3.2002 Nr. L 67 Seite 14.
- [18] **Richtlinie 2004/107/EC über Grenzwerte für Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe**. Amtsblatt der EG vom 26.01.2005 Nr. L 23 Seite 3.
- [19] **Richtlinie 2008/50/EG Des Europäischen Parlamentes und Des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft in Europa**. Amtsblatt der EG vom 11.06.2008 Nr. L 152/1.  
Internet: (Zugriff am 24.09.2009)  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:DE:PDF>
- [20] **Siebtes Gesetz zur Änderung des BImSchG**. BGBl. Jahrgang 2002, Teil I, Nr. 66, S. 3622 ff, vom 17. September 2002.
- [21] **33. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 13. Juli 2004**. BGBl. I Nr. 36 2004, Seite 1612 ff.

- [22] **22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 11. September 2002.** BGBl. I 2002, Seite 3626 ff.  
Internet:  
[http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bimschv\\_22\\_2002/index.html](http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bimschv_22_2002/index.html)

## Karten

- [23] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2008c:**  
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2008, Karte 07.05 Strategische Lärmkarten, 1 : 50 000, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i705.htm>
- [24] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2009:**  
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2009, Karte 08.02.1 Überwiegende Heizungsarten, 1 : 50 000, Berlin, in Vorbereitung.