

03.03 Stickoxide - Emissionen und Immissionen (Ausgabe 1997)

Problemstellung

Wirkung von Stickoxiden

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 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 (vgl. BMUNR 1987). Verschiedene epidemiologische Untersuchungen haben einen Zusammenhang zwischen Verschlechterung der Lungenfunktion, Atemwegssymptomen und erhöhter Stickstoffdioxidkonzentration gezeigt (vgl. Nowak et al. 1994).

Grenzwerte

Seit Beginn der 80er Jahre hat mit der Diskussion um die schädlichen Auswirkungen des Kraftfahrzeugverkehrs auf die Umwelt auch das Thema Belastung der Luft mit Stickoxiden verstärkt Beachtung gefunden. So wurden in der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft) die zulässigen Immissionswerte für Stickstoffdioxid bei mehreren Novellierungen bis 1986 schrittweise um 20 bis 30 % gesenkt.

Überschreitungen der Immissionswerte der TA-Luft bzw. der 22. BImSchV ziehen Maßnahmen an Anlagen nach sich, die als Verursacher identifiziert werden. Wenn die Überschreitung nicht einem bestimmten Verursacher zugeordnet werden kann, müssen die zuständigen Behörden einen Luftreinhalteplan aufstellen und bei der Genehmigung neuer Anlagen verschärfte Anforderungen bezüglich der zulässigen Emission stellen.

Außerdem hat die Europäische Gemeinschaft - nach der Begrenzung der Konzentration von Schwefeldioxid, Schwebstaub und Blei in der Luft - mit ihrer Richtlinie vom 7.3.1985 über Luftqualitätsnormen auch für Stickstoffdioxid einen Grenzwert und Leitwerte festgelegt. In der 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes wurde dieser 98 %-Grenzwert 1993 in nationales Recht überführt.

Überschreitungen des Grenzwertes der EG-Richtlinie sind an den Rat der Europäischen Gemeinschaft zu melden. Die nationalen Behörden müssen Pläne vorlegen, nach denen der Wert innerhalb einer bestimmten Frist eingehalten werden soll. Auch sollen die Leitwerte der EG-Richtlinie bei der Verkehrs- und Bauplanung berücksichtigt werden. Während Grenzwerte verbindlich gelten, dienen Leit- und Richtwerte der Orientierung und haben lediglich empfehlenden Charakter.

Darüber hinaus müssen zur langfristigen Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes Immissionswerte eingehalten werden, die die Empfindlichkeit von Ökosystemen berücksichtigen. So bewirkt der Filtereffekt durch die Oberflächenstruktur von Wäldern eine hohe Schadstoffeinwirkung und -akkumulation. Mit den schädlichen Stickoxiden und ihren Folgeprodukten sind entsprechend vielfältige Wirkungen auf Waldökosysteme verbunden. Die seit Anfang der 80er Jahre auf internationaler Ebene intensiv betriebene Waldschadensforschung hat auf dem Gebiet der Immissionswirkungen neue Erkenntnisse geliefert, die zu einer sehr kritischen Grenzwertfestlegung führten. Grenzwerte, bei deren Einhaltung keine Veränderungen in Struktur und Funktion von Ökosystemen zu erwarten sind, wurden von der UN-ECE 1992 aufgestellt (critical levels, critical loads). Die Bundesrepublik Deutschland gehört zu den Erstunterzeichnern und Mitinitiatoren des Übereinkommens und hat die Beschlüsse über neue Strategien in der europäischen Luftreinhaltung ratifiziert.

Tab. 1: Grenz-, Richtwerte und Empfehlungen zur Immission von Stickstoffdioxid in der Luft		
TA-Luft-Immissionswerte (1986)	80 µg/m ³ 200 µg/m ³	als Immissionswert für das Jahresmittel (JVM) als 98 %-Wert der Summenhäufigkeit aller gemessenen Halbstundenwerte eines Jahres (JVM ₂)
EG-Richtlinie 85/203/EWG bzw. 22. BImSchV (Grenzwert)	200 µg/m ³	als 98 %-Wert aller gemessenen Stundenwerte eines Jahres
EG-Richtlinie 85/203/EWG (Leitwerte)	50 µg/m ³ 135 µg/m ³	als 50 %-Wert der Stundenwerte eines Jahres als 98 %-Wert der Stundenwerte eines Jahres
23. BImSchV zur Festlegung verkehrsbezogener Konzen- trationswerte (Entwurf Juli 1993)	160 µg/m ³	als 98 %-Wert der Halbstundenwerte eines Jahres
Maximale Immissionswerte des VDI (zum Schutz der Gesundheit)	200 µg/m ³ 100 µg/m ³	als Mittelwert über eine halbe Stunde als Mittelwert über 24 Stunden
Maximaler Immissionswert des VDI (zum Schutz der Vegetation)	350 µg/m ³	als Mittelwert über eine Vegetationsperiode – 7 Monate
WHO Air Quality Guidelines (zum Schutz der Gesundheit) ²⁾	400 µg/m ³ 150 µg/m ³	als Mittelwert über eine Stunde als Mittelwert über 24 Stunden
WHO Air Quality Guidelines (zum Schutz der Vegetation) ²⁾ bzw. Critical Level Vorschläge des UN ECE für die gesamte Vegetation, 1992 ³⁾	95 µg/m ³ 30 µg/m ³	als Mittelwert über 4 Stunden als Jahresmittelwert
<p>¹⁾ Als Grundlage für die Festlegung von begrenzenden Immissionswerten dienen "Maximale Immissions-Werte", die darauf abzielen, eine Gesundheitsschädigung des Menschen, insbesondere auch von Kindern, Alten und Kranken, selbst bei langfristiger Einwirkung zu vermeiden und einen Schutz vor Schädigungen von Tieren, Pflanzen und Sachgütern zu gewährleisten. Die "Maximalen Immissions-Werte" sind rein wirkungsbezogene, wissenschaftlich begründete und aus praktischer Erfahrung abgeleitete Werte mit medizinischer oder naturwissenschaftlicher Indikation. Sie berücksichtigen nicht die technische Realisierbarkeit.</p> <p>²⁾ Die Luftqualitätsleitlinien der WHO wurden auf der Grundlage toxikologischer und ökologischer Befunde entwickelt. Sie haben empfehlenden Charakter bei der Festlegung gesetzlicher Normen.</p> <p>³⁾ Diese Werte basieren auf den Maßnahmebeschlüssen der UN-ECE-Mitgliedsländer im Rahmen des Genfer Luftreinhaltungsabkommens von 1979 zur Verminderung der grenzüberschreitenden Luftverunreinigungen in Europa (SO₂- und NO_x-Protokolle von 1985 und 1988) (vgl. Köble et al. 1992).</p>		

Tab. 1: Grenz-, Richtwerte und Empfehlungen zur Immission von Stickstoffdioxid in der Luft

Verursacher und Entwicklung von Stickoxidemissionen

Die **Emissionen** von Stickoxiden werden hauptsächlich verursacht bei Verbrennungsprozessen in Kraftwerken und großen Industriefeuerungsanlagen sowie in Motoren. Stickoxide bilden sich aus dem Stickstoff und dem Sauerstoff der Verbrennungsluft und zum geringen Teil auch durch die Oxidation von stickstoffhaltigen Bestandteilen des Brennstoffs. Die Stickoxidbildung nimmt mit der Verbrennungstemperatur stark zu. Hauptemittenten sind in Berlin der Kraftfahrzeugverkehr mit 19 000 t zu etwa 50 % sowie die Kraftwerke und andere genehmigungsbedürftige Anlagen mit 16 000 t, das entspricht einem Anteil von mehr als 40 % (vgl. Abb. 1).

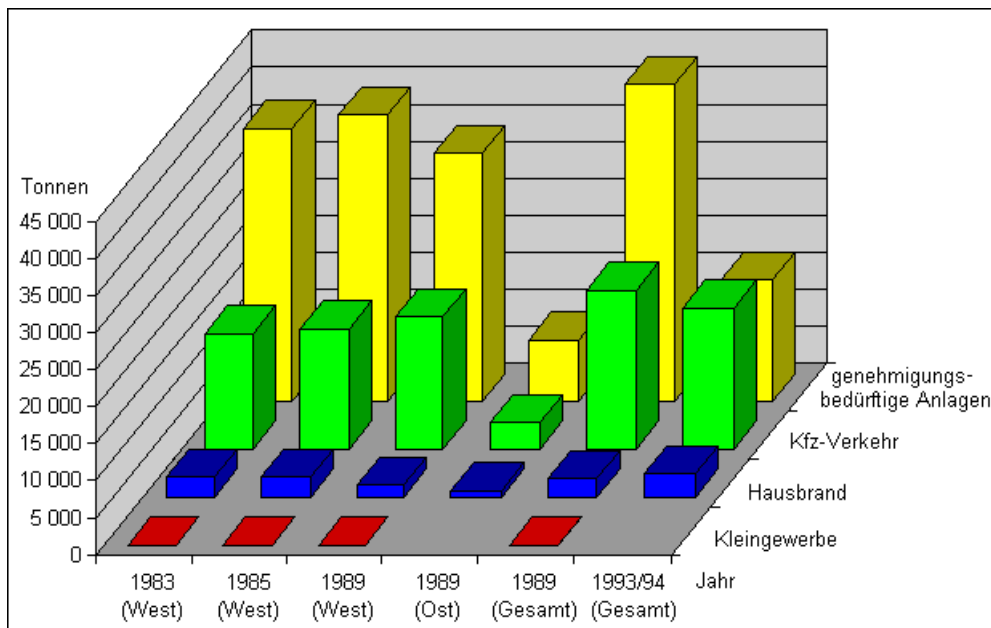


Abb. 1: Stickoxid-Emissionen der einzelnen Verursacherguppen in Berlin (Tonnen pro Jahr)

Zu mehr als 90 % werden die Stickoxide von den Emittenten als **Stickstoffmonoxid** abgegeben. Vor allem durch die Reaktion mit **Ozon** bildet sich daraus in der Atmosphäre das für die menschliche Gesundheit wesentlich schädlichere **Stickstoffdioxid**. Da bei diesen Reaktionen Ozon verbraucht wird, weisen Ballungsgebiete im Mittel eine geringere Ozonkonzentration in der bodennahen Luft auf als ländliche Regionen. Neben dem Ozon tragen aber auch Verbindungen mit Kohlenwasserstoffmolekülen zur Umwandlung von Stickstoffmonoxid in Stickstoffdioxid bei. Durch weitere Oxidation und Verbindung mit Kohlenwasserstoffmolekülen bilden sich aus Stickstoffdioxid saure Aerosole, die sich auf Oberflächen niederschlagen bzw. überwiegend als saurer Regen aus der Atmosphäre ausgeschieden werden.

Unter der Einwirkung von intensivem Sonnenlicht finden in der Atmosphäre gleichzeitig Reaktionen statt, bei denen Stickstoffdioxid wieder in Stickstoffmonoxid und Sauerstoffatome zerfällt. Bei diesem Prozeß, an dem ebenfalls Wasser- und Kohlenwasserstoffmoleküle beteiligt sind, wird mehr bodennahes Ozon produziert als verbraucht. Die Ozonkonzentration in der Luft kann dabei stark ansteigen (vgl. Karte 03.06, SenStadtUmTech 1996a).

Gesicherte Angaben über die Langzeitentwicklung der Stickoxidemission und -immission liegen für Berlin nicht vor. Aufgrund von Messungen in Frankfurt am Main muß in der Zeit von 1962 bis 1976 von einem Anstieg der Belastung mit Stickoxiden um das Achtfache ausgegangen werden (vgl. Umweltbundesamt 1989). Stickoxide - wie auch flüchtige Kohlenwasserstoffe - sind erst seit dem Ende des zweiten Weltkrieges wesentliche Bestandteile der Luftverschmutzung geworden. Während Schwefeldioxid und Schwebstaub unter den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas schon immer zur Luftbelastung beigetragen haben.

Entwicklung der Stickoxidimmissionen

In Berlin wurden **Stickoxidmessungen** seit 1979 vom Bundesgesundheitsamt im Westteil der Stadt an der Schloßstraße in Steglitz und von der Bezirkshygieneinspektion Berlin im Ostteil an der Parochialstraße im Bezirk Mitte durchgeführt. Im Rahmen des Berliner Luftgüte-Meßnetzes (BLUME) wurde 1984 mit Stickoxidmessungen auch an einer Station in Wedding begonnen.

Während die verkehrsnaher Messung an der Schloßstraße stark durch wechselnde Verkehrsverhältnisse geprägt ist und keine Trendaussage zuläßt, zeigen die Messungen an der verkehrsabgewandten Parochialstraße, die als repräsentativ für die mittlere Innenstadtbelastung gelten kann, bis 1987 im Mittel eine jährliche Zunahme der Konzentration um etwa 3,5 % (von 35 auf 45 µg/m³ in acht Jahren). Seit 1987 deutet sich sowohl hier als auch an den anderen Meßstellen im Stadtgebiet ein Rückgang an (vgl. Abb. 2).

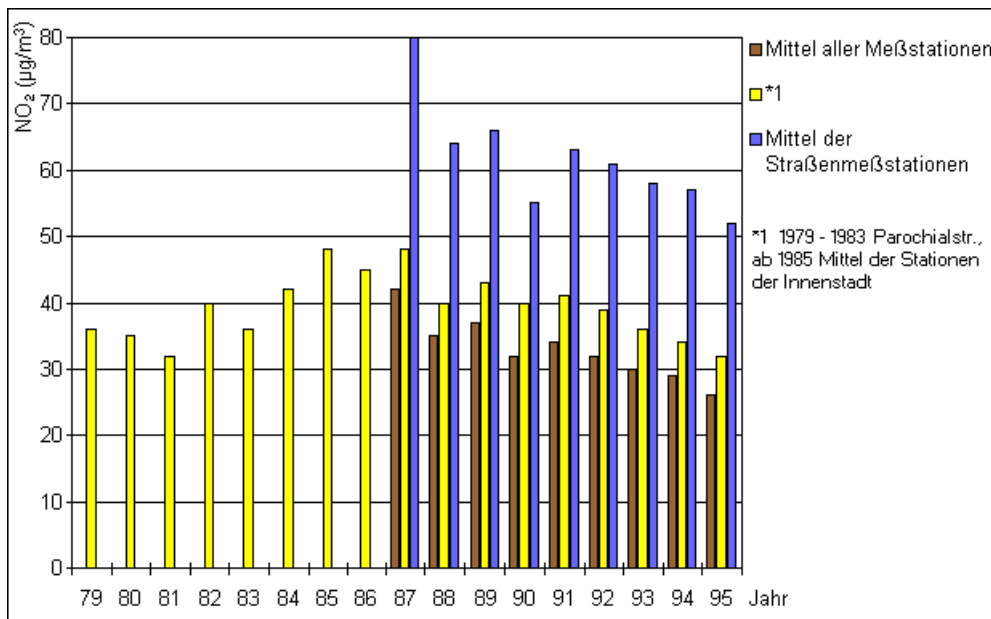


Abb. 2: Verlauf der Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid 1979 - 1995

Als Ursachen für die Abnahme kommt die Einführung von Entstickungsmaßnahmen an den großen Kraft- und Heizwerken (vgl. Tab. 2) sowie die Einführung des geregelten Dreiwege-Katalysators bei Personenkraftwagen in Frage. Die Umstellung auf Katalysatorfahrzeuge ist in Berlin besonders schnell vorangeschritten. 1995 lag der Anteil der mit Katalysator ausgerüsteten PKW in Berlin bei 65 %.

Tab. 2: Inbetriebnahme von Entschwefelungs- und Entstickungsanlagen in den Berliner Heizkraft- und Kraftwerken (Stand August 1996)

Kraftwerk	Block	Rauchgasentschwefelung	Entstickung (DeNO _x)	Bemerkung
HKW Lichterfelde	1	1983	Februar 1992	
	2	nicht erforderlich	nicht erforderlich	(1a)
	3	1983	Dezember 1991	
KW Oberhavel	1	Juni 1988	Februar 1992	
	2	Mai 1988	Februar 1992	
HKW Reuter	1	Mai 1988	Februar 1994	
	2	Juni 1988	Februar 1994	
	C	August 1988	Februar 1994	
HKW Rudow	1	Januar 1989	Februar 1994	
	2	November 1988	Dezember 1993	
HKW Charlottenburg	1	Juni 1989	März 1994	
	2	Juli 1989	März 1994	
	3	Mai 1989	März 1994	
HKW Reuter West	D	Juni 1988	Januar 1989	
	E	März 1989	Januar 1989	
HKW Wilmersdorf		nicht erforderlich	nicht erforderlich	Gasturbine
HKW Steglitz		nicht erforderlich	nicht erforderlich	Gasturbine
HKW Moabit		nicht erforderlich	nicht erforderlich	Wirbelschichtverfahren
HKW Rummelsburg/ Klingenberg	1	ohne	ohne	(1b)
	2	ohne	ohne	(1b)
	3	ohne	ohne	(1b)
	4	ohne	ohne	(1b)
	5	Juni 1990	ohne	Elektrofilter
	6	Juni 1990	ohne	Elektrofilter
HKW Mitte		ohne	ohne	(1b) (2)
HKW Lichtenberg		ohne	ohne	(1b) (3)

(1a) Erdgasbetrieb
(1b) Erdgas und andere Brennstoffe
(2) 1996 Fertigstellung einer Gas- und Dampfturbinenanlage
(3) Umbau der Feuerungsanlagen zur Einhaltung der 13. BImSchV

Tab. 2: Inbetriebnahme von Entschwefelungs- und Entstickungsanlagen in den Berliner Heizkraft- und Kraftwerken (Stand August 1996)

Im Vergleich zur sehr positiven Entwicklung beim Schwefeldioxid (vgl. Karte 03.01, SenStadtUmTech 1997) ist die Immissionsentwicklung bei den Stickoxiden bisher unbefriedigend verlaufen. Ursache ist, daß das Verkehrsaufkommen ständig zunimmt und daß die bodennahe Stickoxidemission etwa zur Hälfte von Lastkraftwagen und Bussen hervorgerufen wird. Für diese Fahrzeuge sind erhebliche Verbesserungen erst seit dem 1.10.1996 wirksam geworden, die den Ausstoß von Stickoxiden und anderen Schadstoffen reduzieren. Wegen der zu erwartenden Verkehrszunahme muß davon ausgegangen werden, daß der Beitrag der Emittentengruppe Verkehr auch in Zukunft den entscheidenden Faktor bei der Entwicklung der Berliner Luftbelastung durch Stickoxide darstellen wird.

Datengrundlage

Emissionen

Um die Ursachen der Stickoxidbelastung differenziert beurteilen und zu deren Beseitigung beitragen zu können, werden bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie für die Hauptverursachergruppen **Emissionskataster** geführt.

Zur Erstellung des **Emissionskatasters Industrie 1994** wurden die Daten der großen Einzelemittenten (Kraft-, Heizkraft- und Heizwerke sowie genehmigungsbedürftige Industrieanlagen) den Emissionserklärungen entnommen, die von den Betreibern entsprechend den Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes im Abstand von zwei Jahren den Immissionsschutzbehörden vorgelegt werden müssen.

Das **Emissionskataster Hausbrand 1994** für die Vielzahl kleiner Heizungsanlagen im Stadtgebiet ist statistisch angelegt. Für sämtliche Wohnhäuser werden aus dem umbauten Raum der Wärmebedarf und die Anteile der Heizungsarten ermittelt, z.B. Kohle-Einzelöfen, Öl-Sammelheizungen, Gas-Etagenheizungen, Elektro- und Fernheizungen. Mit Hilfe spezifischer Faktoren für die Heizungsarten wird die Emission jedes einzelnen Häuserblocks bestimmt. Der mit Elektroheizungen und Fernwärme befriedigte Wärmebedarf wird hierbei nicht berücksichtigt, wenn die Wärme in genehmigungsbedürftigen Anlagen produziert wird, die im Emissionskataster Industrie erfaßt sind.

Das **Emissionskataster Verkehr 1993** basiert auf Verkehrszählungen seitens der Verkehrsverwaltung sowie auf Angaben über den Kraftfahrzeugbestand und die mittlere Fahrleistung der Kraftfahrzeuge. Die Emission wird mit Hilfe von Faktoren berechnet, die für verschiedene Fahrzeugklassen festgelegt sind. Dabei wird zwischen Personenkraftwagen und Lieferfahrzeugen mit Viertaktmotoren mit und ohne Abgasreinigung, mit Zweitakt- oder Dieselmotoren sowie schweren Lastkraftwagen und Bussen unterschieden.

Alle Abschätzungen und Berechnungen werden mit der Energiebilanz abgeglichen, in der der gesamte Verbrauch an Brenn- und Kraftstoffen in Berlin zusammengestellt ist.

Berechnete Immissionen

Die **Immissionsberechnungen** werden mit Hilfe eines computergestützten meteorologischen Ausbreitungsmodells für große Einzelemittenten und die Verursachergruppen Hausbrand und Verkehr getrennt vorgenommen (vgl. Fath et al. 1991).

Für die **Ausbreitungsrechnungen** werden die Hausbrand- und Verkehrsemissionen auf Rasterflächen von 1 x 1 km verteilt. Ihnen werden bestimmte Emissionshöhen zugewiesen, während die großen Einzelemittenten mit dem jeweiligen Schornsteinstandort und der Schornsteinhöhe in die Berechnungen eingehen. Für die Berechnungen wird angenommen, daß die in den Rauchfahnen enthaltenen Schadstoffpartikel mit dem Wind transportiert werden und sich senkrecht zur mittleren Transportrichtung vertikal und horizontal in Form von Gaußverteilungen ausbreiten. In die Höhe können sie sich nur soweit verteilen, bis eine Temperaturinversion die weitere Ausbreitung verhindert. Bei den Berechnungen werden Windrichtung, Windgeschwindigkeit, turbulente Ausbreitungskapazität der Atmosphäre und die Inversionshöhe einbezogen. Außerdem wird berücksichtigt, daß der Wärmebedarf und damit auch die Schadstoffemission im Winter mit abnehmender Temperatur stark ansteigen.

Weil bei den Modellrechnungen von einer unbehinderten Ausbreitung der Schadstoffe ausgegangen wird und weil die Zuordnung der Hausbrand- und Verkehrsemissionen pauschal zu Rasterflächen von 1 x 1 km geschieht, repräsentieren die Rechenergebnisse am ehesten Meßstellen, die in größerem Abstand von Schadstoffquellen, insbesondere Straßen, angeordnet sind. Die Schadstoffkonzentration wird für etwa 100 Aufpunkte berechnet, die über das gesamte Stadtgebiet verteilt sind.

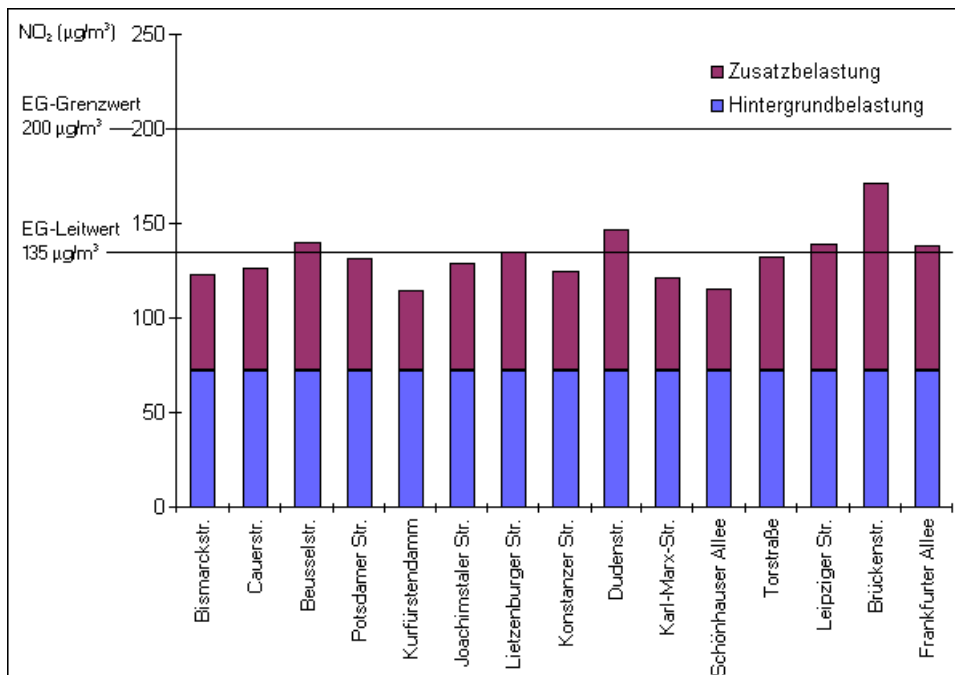


Abb. 3: 98 %-Werte der NO₂-Immissionen in typischen Straßenschluchten der Berliner Innenstadt (Hintergrund- und Kfz-bedingte Zusatzbelastung). Die angegebenen Straßennamen stehen stellvertretend für ausgewählte Straßenschluchtabschnitte (nach IVU 1993).

Im Zusammenhang mit der Anwendung der EG-Richtlinie für Stickstoffdioxid und dem Entwurf zur 23. BImSchV ist damit begonnen worden, auch die Schadstoffbelastung in Straßenschluchten und an Brennpunkten des Verkehrs verstärkt zu messen und durch Ausbreitungsrechnungen zu ermitteln. Abbildung 3 zeigt die berechneten Konzentrationen in 15 Straßenschluchten der Berliner Innenstadt, die mit Hilfe eines im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelten spezifischen Ausbreitungsmodells ermittelt wurden. Die Berechnungen für das Jahr 1993/94 zeigen, daß nur noch an wenigen Straßen in Berlin mit Überschreitungen des Beurteilungswertes des Entwurfs der 23. BImSchV von 160 µg/m³ für Stickstoffdioxid zu rechnen ist (vgl. Karte 03.10, SenStadtUmTech, in Vorbereitung).

Gemessene Immissionen

In Berlin wurden 1995 **Immissionsmessungen** für Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid und die Summe der Stickoxide an 27 Stationen vorgenommen.

Es werden automatische Meßgeräte eingesetzt, die kontinuierlich in Betrieb sind und ihre Daten im Dreiminutentakt über Telefonstandleitungen an den Zentralrechner des Berliner Luftgüte-Meßnetzes übermitteln. In den Meßgeräten wird der Meßluft Ozon in hoher Konzentration beigemischt. Mit Hilfe von Photosensoren wird die Lichtmenge gemessen, die als Chemilumineszenz entsteht, wenn Stickstoffmonoxid mit Ozon reagiert. Die Stickstoffdioxidkonzentration wird mit diesem Verfahren erfaßt, indem man das Meßgas zur Hälfte über einen Katalysator leitet, an dem das Stickstoffdioxid in Stickstoffmonoxid umgewandelt wird (vgl. SenStadtUm 1995).

Um Informationen über die **Verteilung der Belastung** im Stadtgebiet zu erhalten, sind 16 Stationen im 4 x 4-km-Raster in den dichtbesiedelten innerstädtischen Wohngebieten sowie im mehr vorstädtisch geprägten Übergangsbereich angeordnet. Fünf Stationen liegen im Grunewald und am nördlichen und südlichen Stadtrand. Entsprechend den Vorschriften zur Messung und Beurteilung der Schadstoffbelastung sind diese Stationen in mehr als 20 m Abstand von Schadstoffquellen eingerichtet worden. Eine Station befindet sich in ca. 300 m Höhe über dem Erdboden auf dem Funkturm Frohnau im Norden der Stadt. Sie dient der Erfassung der überregional verursachten Belastung der Luft.

Fünf Stationen (Nr. 14 in Charlottenburg, Nr. 74 und 174 in Friedrichshain, Nr. 117 in Steglitz und Nr. 220 in Neukölln) liegen an Hauptverkehrsstraßen im Bereich von Bürgersteigen. Mit ihnen werden repräsentative Daten über die vor allem vom Kraftfahrzeugverkehr verursachte straßennahe Belastung der Luft erhoben.

Methode

Die Daten der **1 x 1 km-Emissionen** der Stickoxide werden sowohl als Farbraster als auch als absoluter Wert dargestellt. Die Farbdarstellung erfolgt anhand gerundeter Zahlen.

Passend zu den Darstellungen der Emissionen werden die verursacherbezogenen **berechneten Immissionen** der Summe der Stickoxide für das Jahr 1994 bzw. 1993 dargestellt, welche mit Hilfe der oben beschriebenen **Ausbreitungsrechnungen** auf der Grundlage des in der TA-Luft beschriebenen Gauß-Modell-Ansatzes ermittelt wurden.

Da die **Immissionsmessungen** laufend erfolgen, konnte für ihre Darstellung das aktuellere Jahr 1995 ausgewählt werden. Die gemessenen Immissionen sind als Jahresmittelwerte der Summe der Stickoxide zum Vergleich mit den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnungen und als Stickstoffdioxid zum Vergleich mit den Grenzwerten dargestellt. Für NO₂ wurden die Grenzwerte IW₁ und IW₂ der TA-Luft 1986 als Klassenwerte für die Abgrenzung der höchsten Klasse gewählt. Ihnen wurden die Kenngrößen I₁ (Jahresmittelwert) und I₂ (98 %-Wert) gegenübergestellt.

Die Interpolation der Isolinien erfolgte per Hand. Dabei wurde berücksichtigt, daß die Stationen in unterschiedlichem Ausmaß von den Emissionen nahegelegener Hauptverkehrsstraßen beeinflusst werden. Zusätzlich sind die jeweiligen Werte der BLUME-Meßstationen, unterschieden nach Art der Stationen, dargestellt.

Kartenbeschreibung

Emissionen und berechnete Immissionen

In den drei Karten 03.03.1, 03.03.2 und 03.03.3 sind die Emissionen der Hauptemittentengruppen Industrie, Hausbrand und Verkehr für das Jahr 1994 bzw. 1993 jeweils in 1 x 1 km-Rasterflächen dargestellt. Die Karten 03.03.4, 03.03.5 und 03.03.6 geben jeweils die berechneten Jahresmittelwerte der Immissionskonzentrationen von 1994 bzw. 1993 der genannten Hauptverursachergruppen an.

Industrie 1994

Die Karte 03.03.1, **Industrieemissionen 1994**, zeigt ein sehr uneinheitliches Bild. Es wird vor allem durch die zwölf Kraft-, Heizkraft- und Heizwerke geprägt, die über die ganze Stadt verteilt sind und relativ hohe Emissionen aufweisen. Der höchste Rasterwert mit mehr als 2 000 t/km² und Jahr wird durch das Heizkraftwerk Reuter erreicht. Er liegt nur noch bei einem Drittel des Maximalwertes von 1989 (vgl. Karte 03.03, SenStadtUm 1994b). Diese Veränderung, die auch an den meisten anderen Standorten von Großemittenten erkennbar ist, macht den Effekt der Emissionsminderungsmaßnahmen deutlich, die in Tabelle 2 angegeben sind.

Da die Industrieschornsteine nach den Vorschriften der TA-Luft um so höher sein müssen, je stärker die Schadstoffemission ist, werden die Schadstoffe dieser Anlagen in großer Höhe emittiert und gleichmäßig über das gesamte Stadtgebiet und das Umland verteilt. Deshalb werden in der näheren Umgebung der Anlagen in der Regel erhöhte Konzentrationen weder berechnet, wie Karte 03.03.4 zeigt, noch gemessen, wie Karte 03.03.8 dokumentiert.

Den nur noch geringen Einfluß der industriellen Anlagen auf die Stickoxidimmission zeigt Karte 3.03.4. Sie weist zwei flache Maxima von 5 bis 6 µg/m³ in der westlichen Innenstadt und in Bezug auf die Hauptwindrichtung (West) im Lee am östlichen Stadtrand auf. Für die anderen Stadtrandgebiete werden nur noch Werte von 1 bis 3 µg/m³ berechnet.

Hausbrand 1994

Die Karte 03.03.2, **Hausbrandemissionen 1994**, zeigt im Innenstadtbereich einen Ring erhöhter Stickoxid-Werte, der sich um ein relatives Minimum in der Stadtmitte legt. Die geringen Werte im Zentrum gehen auf den Einfluß des Großen Tiergartens und einen hohen Anteil an Fernheizungen zurück. Der Ring erhöhter Werte mit Maximalwerten von 20 bis 30 t/km² und Jahr in Prenzlauer Berg und in Teilen von Wilmersdorf sowie in Kreuzberg und Neukölln wird durch einen hohen Anteil von öl- und kohlebetriebenen Einzel- und Zentralheizungen bei sehr hoher Wohndichte verursacht. Entsprechend der Abnahme der Wohndichte nehmen auch die Emissionen zu den Stadträndern hin ab. Die dichter besiedelten Ausläufer der Stadt in Richtung Westen (Spandau), Norden (Tegel), Südosten (Treptow) und Südwesten (Zehlendorf) sind an leicht erhöhten Werten zu erkennen. Die

Großsiedlungen Märkisches Viertel, Hellersdorf und Marzahn sowie Gropiusstadt treten als Emissionsmaxima nicht in Erscheinung, weil sie mit Fernwärme versorgt werden (vgl. Karten 08.01 und 08.02, SenStadtUmTech 1996b bzw. 1996c). Die gleiche Verteilung zeigte beschränkt auf West-Berlin bereits der Umweltatlas von 1985, wobei die Einzelwerte in den hochbelasteten Gebieten bis zu 10 t/km^2 und Jahr höher lagen (vgl. Karten 03.03.2 und 03.03.5, SenStadtUm 1985).

Die Ergebnisse der **Ausbreitungsrechnung im Bereich Hausbrand** (Karte 03.03.5) zeigen im wesentlichen die gleiche Struktur wie das Emissionsfeld. Das Maximum hat mit $6 \mu\text{g/m}^3$ den gleichen Wert wie das der industriellen Anlagen und umschließt das Stadtzentrum ringförmig.

Verkehr 1993

In der Karte 03.03.3, **Verkehrsemissionen 1993**, treten deutlich der halb offene Stadtautobahnring und die West-Ost-Achse im Zuge der Bismarckstraße-Kaiserdamm im westlichen Teil der Stadt und der Frankfurter Allee im Ostteil der Stadt hervor. Südlich des Schnittpunkts der Stadtautobahn und des Straßenzuges Bismarckstraße-Kaiserdamm gibt es im Bereich des Messegeländes maximale Stickoxidemissionen bis 150 t/km^2 und Jahr. Emissionen von über 100 t/km^2 und Jahr werden aber auch im Bezirk Mitte im ehemaligen Ostteil der Stadt ermittelt. Daß das Emissionsmaximum mit 150 t/km^2 und Jahr nur noch weniger als halb so hoch ausfällt wie 1989 (vgl. Karte 03.03.3, SenStadtUm 1994b) ist z.T. auf den Rückgang der Emission als Folge der Zunahme des Anteils von Katalysatorautos zurückzuführen. Es ist aber auch eine Folge der Neubewertung der Emission der Kraftfahrzeuge aufgrund von Untersuchungen, die in den vergangenen Jahren im Auftrag des Umweltbundesamts (Umweltbundesamt 1996b) an 27 Arten von PKW sowie LKW durchgeführt wurden. Bei den Emissionen im Verkehrsbereich läßt sich eine sternförmige Verteilung erhöhter Stickoxidwerte im Berliner Stadtgebiet deutlicher erkennen als bei den Emissionen aus dem Hausbrand. Sie breitet sich von der Innenstadt her im Zuge der Hauptverkehrsstraßen in alle Himmelsrichtungen aus. Am nordöstlichen Stadtrand ist der Verlauf der Autobahn Berliner Ring mit ihren Zufahrten und dem Abzweig nach Prenzlau und Stettin deutlich zu erkennen.

Die **berechneten Immissionen für den Verkehrsbereich** (Karte 03.03.6) bilden wie beim Hausbrand das Feld der Emissionen in stark geglätteter Form ab. Ein ausgeprägtes Maximum von $50 \mu\text{g/m}^3$ wird für den Bereich östlich des Stadtrings West bis zum Ernst-Reuter-Platz berechnet, der aber bereits außerhalb des Maximums der Emissionen liegt.

Die Schadstoffbelastung der Stadtluft wird nicht nur durch Emissionen im Stadtgebiet und im unmittelbaren Umland verursacht, sondern es gibt einen **überregionalen Belastungspegel**, der durch eine Vielzahl von Schadstoffquellen in Deutschland und Europa hervorgerufen wird. Nach der deutschen Vereinigung hat das Umweltbundesamt sein Meßnetz, mit dessen Hilfe dieser Hintergrundpegel bestimmt wird, auf die neuen Bundesländer ausgeweitet. In der Umgebung Berlins befinden sich die Stationen Kyritz, Neuglobsow und Angermünde nordwestlich bis nordöstlich der Stadt sowie Wiesenburg und Lindenberg südwestlich und südöstlich der Stadt. Für das Jahr 1994 stehen Jahresmittelwerte zur Verfügung, die als Hintergrundwerte für Berlin herangezogen werden können (vgl. Umweltbundesamt 1996a). Die Werte liegen bei 8 bis $14 \mu\text{g/m}^3$. Sie entsprechen damit dem Wert von $10 \mu\text{g/m}^3$, der in 300 m Höhe am Funkturm Frohnau ermittelt wurde. Aufgrund dieser Messungen wird in Berlin insgesamt mit einem überregionalen bodennahen Belastungspegel der Stickoxidsomme von ca. $12 \mu\text{g/m}^3$ gerechnet.

Summe der berechneten Immissionen 1993/94

Die Karte 03.03.7 gibt die Summe der berechneten Stickoxidimmissionen aus den drei Hauptverursachergruppen Industrie, Hausbrand und Verkehr wieder und zwar als **Jahresmittelwerte** des Jahres 1994 für Orte, die nicht unmittelbar vom Kraftfahrzeugverkehr beeinflußt werden. Das Maximum der von den Schadstoffquellen im Stadtgebiet hervorgerufenen Belastung beträgt knapp $60 \mu\text{g/m}^3$ und liegt nur wenig südwestlich der Stadtmitte. Aufgrund der Emissionsverteilung und der Ausbreitung der Schadstoffe mit dem Wind nimmt die Konzentration vom Maximum entgegen der Hauptwindrichtung zum Stadtrand hin nach Westen schneller ab als nach Osten. Am Stadtrand werden mit 10 bis $20 \mu\text{g/m}^3$ erheblich geringere Belastungen ermittelt als in der Innenstadt.

Die Ursachen der Stickoxidbelastungen können als mit ausreichender Genauigkeit bestimmt gelten, wenn die Summe der für die Verursachergruppen berechneten Konzentrationen und der überregionalen Hintergrundbelastung mit den erzielten Meßergebnissen übereinstimmt.

Die Karte der Summe der berechneten Immissionen zeigt unter Berücksichtigung der überregionalen Hintergrundbelastung im Gegensatz zu früheren Jahren (vgl. Karte 03.03., SenStadtUm 1994b) eine gute Übereinstimmung mit den Meßergebnissen an den vergleichbaren Rastermeßstellen des Luftgüte-Meßnetzes (vgl. Karte 03.03.8), wenn man berücksichtigt, daß diese zum Teil lokale Effekte nahegelegener Hauptverkehrsstraßen beinhalten.

Mit Hilfe der Ausbreitungsberechnungen kann so der relative Anteil der Verursachergruppen an der Schadstoffkonzentration in innerstädtischen Wohngebieten abgeschätzt werden. Tabelle 3 zeigt als Beispiel den Bereich des Maximums in Charlottenburg.

Auch für andere Bereiche der Stadt lassen sich mit dieser Berechnung hohe Anteile des Straßenverkehrs an der Stickoxidkonzentration bestimmen.

	Konzentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anteil %
Messung 1994 insgesamt	65	100
Industrie	4	6
Hausbrand	4	6
Verkehr	45	70
Überregionaler Hintergrund (UBA)	12	18

Tab. 3: Berechnung des vom Straßenverkehr verursachten Anteils an der Stickoxidkonzentration im Bereich des Maximums in Charlottenburg

Gemessene Immissionen

Summe der Stickoxide - Jahresmittelwerte 1995

Wegen des Problems der Umwandlung der Stickoxide in der Atmosphäre zu Stickstoffdioxid ist zum Vergleich mit den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung neben der Stickstoffdioxidkonzentration in Karte 03.03.8 das Jahresmittel der Summe der Stickoxide dargestellt. In dieser Karte treten die Konzentrationsunterschiede von straßennaher und straßenferner Messung noch deutlicher hervor als beim Stickstoffdioxid (vgl. Karte 03.03.9), weil auch das Stickstoffmonoxid berücksichtigt ist, das von den Kraftfahrzeugen primär emittiert wird. Dessen Konzentration nimmt mit der Entfernung von den Straßen durch den doppelten Effekt von Ausbreitung und Umwandlung sehr schnell ab.

Die höchsten Werte wurden allesamt an Straßenmeßstationen gemessen, so an der Stadtautobahn im Bereich der Einfahrt Spandauer Damm in Charlottenburg, der Schildhornstraße in Steglitz und der Karl-Marx-Straße in Neukölln mit mehr als $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sowie in der Frankfurter Allee mit $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Stickstoffdioxid - Jahresmittelwerte 1995

Generell läßt sich auch beim Stickstoffdioxid feststellen, daß die Höhe der gemessenen Immissionswerte abhängig ist von der Entfernung der Meßstationen zu Hauptverkehrsstraßen. An den innerstädtischen Meßstellen, die in mehr als 20 m Entfernung von Straßen angeordnet sind, zeigt die Karte 03.03.9 Werte von 28 bis $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das sind 35 bis 45 % des Immissionswertes IW_1 der TA-Luft. Im Vergleich mit 1991 (vgl. SenStadtUm 1994b) bedeutet dies einen Rückgang der Belastung um etwa 15 %. Der geringste Wert wurde mit $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Wedding gemessen im Abstand von mehr als 200 m von Hauptverkehrsstraßen. Der höchste Wert wurde mit $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Meßstelle in Mitte in der Nähe des Roten Rathauses registriert. Diese Meßstelle liegt in 25 m Abstand von der stark frequentierten Gruner Straße und damit im weiteren Einwirkungsbereich von Hauptverkehrsstraßen.

Im Flächenmittel kann für die Innenstadt ein Jahresmittelwert von $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben werden. Mit 15 bis $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werden am Stadtrand nur etwa halb so hohe Werte gemessen wie in der Innenstadt. Die Waldstation Grunewald zeigte mit $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nur einen geringen Einfluß der etwa 700 m entfernten AVUS.

Erheblich höhere Werte als die Rasterstationen weisen die **Straßenmeßstationen** in Charlottenburg, Steglitz, Neukölln und Friedrichshain mit Jahresmittelwerten von 53 bis $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Nur die Station an der Kreuzung der Frankfurter Allee mit der Warschauer Straße zeigt mit $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einen etwas geringeren Wert. Die Charlottenburger Station liegt unmittelbar an der Stadtautobahn, Ausfahrt

Spandauer Damm, in offenem Gelände. Die Luftproben werden etwa 5 m über dem Niveau der nach Süden gerichteten Fahrbahn in Höhe des nächstgelegenen Bürgersteigs gezogen. Die Stadtautobahn hat im Bereich der Meßstelle ein Verkehrsaufkommen von ca. 150 000 Kfz pro Tag. Die anderen Stationen liegen in Straßenschluchten mit Verkehrsaufkommen von 35 000 bis 60 000 Kfz pro Tag. Die Luftproben werden dort in 3,5 m Höhe zwischen der Fahrbahn und dem Bürgersteig gezogen.

Alle Stationen erreichen im Jahresmittel, trotz großer Unterschiede in Verkehrsaufkommen und Stickoxidemission, nahezu die gleichen Jahresmittelwerte an Stickstoffdioxid. Bei der Summe der Stickoxide (Karte 03.03.8) sind die Unterschiede zwar größer, entsprechen aber ebenfalls nicht dem unterschiedlich hohen Verkehrsaufkommen. Dies läßt sich damit erklären, daß die Station an der Stadtautobahn von der Luft frei angeströmt werden kann, während die anderen Stationen in unterschiedlich breiten Straßenschluchten liegen, in denen die Windgeschwindigkeit geringer ist und damit die Schadstoffverdünnung stark vermindert wird. Beim Stickstoffdioxid macht sich zusätzlich bemerkbar, daß dieser Stoff zum größten Teil erst in der Atmosphäre gebildet wird und deshalb in Emittentennähe nur einen geringen Bezug zur Emission hat.

Auf diese Weise erklärt sich auch die verhältnismäßig geringe Stickstoffdioxidkonzentration der Straßenmeßstation an der Kreuzung Frankfurter Allee/Warschauer Straße. Die genannten Straßen haben zwar ein Verkehrsaufkommen von 70 000 bzw. 22 000 Kfz pro Tag, die Probenahme erfolgt aber in 4 m Höhe auf einem Grünstreifen in 25 bzw. 15 m Abstand von den Straßen. Außerdem sind die angrenzenden Häuserfronten weit von den Fahrbahnen entfernt, so daß die Kreuzung immer gut durchlüftet ist. Analog zum Umweltatlas 1994 wurden auch im Jahr 1995 an den Straßenmeßstellen keine Überschreitungen des IW_1 der TA-Luft festgestellt.

Der Leitwert der EG-Richtlinie von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den 50 %-Wert der Stickstoffdioxidkonzentration wird nur an nicht unmittelbar vom Kraftfahrzeugverkehr beeinflussten Orten in Berlin eingehalten. An den Straßenmeßstellen wird er überschritten. Daraus ist zu schließen, daß an vielen Hauptverkehrsstraßen der Stadt - insbesondere in Straßenschluchten - Überschreitungen auftreten.

Gemessene Stickstoffdioxid-Immissionen - 98-Perzentil 1995

Die Karte (03.03.10) des gemessenen Immissionswertes I_2 zeigt ein ähnliches Bild wie die Karte des I_1 -Wertes von Stickstoffdioxid (03.03.9). Es werden mit maximal $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ keine Überschreitungen des Immissionswertes IW_2 der TA-Luft von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und des gleich hohen Grenzwertes der EG-Richtlinie für Stickstoffdioxid festgestellt. Auch der Leitwert der EG-Richtlinie von $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird eingehalten. Da dieser 98-Perzentil-Wert stark von Wittereinflüssen bestimmt wird, kann aus der Einhaltung im Jahr 1995 nicht auf eine generelle Unterschreitung geschlossen werden.

Die Konzentration von Stickstoffdioxid in Stadtrandgebieten liegt mit etwa 60 % der Innenstadtwerte etwas höher als es beim Jahresmittelwert der Fall war. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die den I_2 -Wert bestimmenden hohen Konzentrationen überwiegend bei Wetterlagen mit tiefliegenden Inversionen auftreten, bei denen sich die Schadstoffe nicht vertikal ausbreiten können und deshalb in verhältnismäßig hoher Konzentration bis zum Stadtrand getragen werden.

Literatur

- [1] **Blümel, H. 1994:**
Erdgas gegen Fahrverbote - Innerstädtische Fahrverbote und Minderungspotentiale der Technikstrategie einschließlich Erdgasanwendung. Vortrag auf der UTEC 94, Seminar 41, Hrsg.: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin.
- [2] **BMUNR (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) 1987:**
Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit. Bericht für die Umweltministerkonferenz, Bonn.
- [3] **Fath, J. U., Stern, R. (GEOS Angewandte Umweltforschung GmbH) 1991:**
Verursacherspezifische Ausbreitungsrechnungen für die Region Berlin, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin.
- [4] **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.

- [5] **IVU Gesellschaft für Informatik, Verkehrs- und Umweltplanung mbH 1995:**
Emissionskataster Verkehr Berlin 1993, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.
- [6] **Köble, R., Nagel, H.-D., Smiatek, G., Werner, B., Werner, L. 1992:**
Luftreinhaltung. Erfassung immissionsempfindlicher Biotope in der Bundesrepublik Deutschland und in anderen ECE-Ländern, Endbericht des F+E-Vorhabens 108 02 080, gefördert durch das Umweltbundesamt, Berlin und Stuttgart.
- [7] **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.
- [8] **Lahmann, E. 1984:**
Luftverunreinigung in Berlin. Literaturstudie über Immissionsmeßprogramme und deren Ergebnisse, Hrsg.: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin.
- [9] **Nowak, D., Jörres, R., Magnussen, H. 1994:**
Luftverschmutzung - Asthma - Atemwegsallergien, Zwischenergebnisse deutsch-deutscher epidemiologischer Studien, in: Deutsches Ärzteblatt 91, Heft 1/2, Köln.
- [10] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1990:**
Luftverschmutzung in Berlin und Umgebung im Jahr 1989, Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin, Heft 11, Berlin.
- [11] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1991:**
Immissionsmeßergebnisse, Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin, Heft 12, Berlin.
- [12] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1992:**
Studie zur ökologischen und stadtverträglichen Belastbarkeit der Berliner Innenstadt durch den Kfz-Verkehr, Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin, Heft 15, Berlin.
- [13] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994a:**
Luftreinhalteplan für die Jahre 1994 - 2000, Berlin.
- [14] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1995:**
Das Berliner Luftgüte-Meßnetz (BLUME), Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin, Heft 5, Berlin. (Auflage 1995)
- [15] **Umweltbundesamt 1989:**
Luftreinhaltung '88, Tendenzen - Probleme - Lösungen, Materialien zum 4. Immissionsschutzbericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag, Berlin.
- [16] **Umweltbundesamt 1992:**
Daten zur Umwelt 1990/91, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin.
- [17] **Umweltbundesamt 1996a:**
Monatsberichte aus dem Meßnetz, Berlin.
- [18] **Umweltbundesamt 1996b:**
Handbuch für Emissionsfaktoren, Berlin.

Gesetze und Verordnungen

- [19] **Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV), BR-Drucksache 577/96, Bonn.**
- [20] **Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungsanlagen - 13. BImSchV) vom 22.6.1983, BGBl. I S. 719, Bonn.**

- [21] **Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft) in der Fassung vom 27.2. 1986, GMBL. S 95, Bonn.**
- [22] **Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.) 1993:**
VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft Band 1, Nr. 2310 Bl. 5 E, Ausg. 09.78, Maximale Immissions-Werte zum Schutze der Vegetation, Maximale Immissionswerte für Stickstoffdioxid; Nr. 2310 Bl. 12, Ausg. 06.85, Maximale Immissions-Werte zum Schutze des Menschen, Maximale Immissions-Konzentrationen für Stickstoffdioxid, Beuth-Verlag, Berlin.
- [23] **Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 7.3.1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid, Nr. 85/203/EWG, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 87/1, Brüssel.**
- [24] **Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaft zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliederstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe aus Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen (91/542/EWG) vom 1. Oktober 1991 zur Änderung der Richtlinie 88/77/EWG, Amtsblatt der EG Nr. L295, S. 1-19.**
- [25] **Verordnung über den Schwefelgehalt von Braunkohle für Heizzwecke im Land Berlin 1981: GVBL Nr. 7 vom 29.1.1981, Berlin.**
- [26] **World Health Organization (WHO), Regional Office of Europe (Hrsg.) 1987:**
Die Luftleitlinien der WHO, Air Quality Guidelines for Europe, WHO Regional Publications, European Series No. 23, Kopenhagen
- [27] **Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte - 22. BImSchV) vom 26.10.1993, BGBl. Nr. 58 I, S. 1819f, Bonn.**

Karten

- [28] **SenStadtUm (Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1985:**
Umweltatlas Berlin, Bd. 1, Karte 03.03 Stickoxide - Emissionen und Immissionen, 1 : 200 000 / 1 : 300 000, Berlin.
- [29] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994b:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe, Bd. 2, Karte 03.03 Stickoxide - Emissionen und Immissionen, 1 : 200 000 / 1 : 300 000, Berlin.
- [30] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994c:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe, Bd. 2, Karte 03.04 Stäube - Emissionen und Immissionen, 1 : 200 000 / 1 : 300 000, Berlin.
- [31] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994d:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1994, Bd. 2, Karte 03.08 Organische Gase und Dämpfe - Emissionen und Immissionen, 1 : 200 000 / 1 : 300 000, Berlin.
- [32] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1995:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe, Bd. 3, Karte 07.01 Verkehrsmengen, 1 : 50 000, Berlin.
- [33] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1996a:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1996, Bd. 2, Karte 03.06 Bodennahes Ozon, 1 : 200 000 / 1 : 4 200 000, Berlin.
- [34] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1996b:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1996, Bd. 3, Karte 08.01 Versorgungsbereich Gebäudewärme, 1 : 125 000, Berlin.
- [35] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1996c:**

Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1996, Bd. 3, Karte 08.02 Überwiegende Heizungsarten, 1 : 50 000, Berlin.

[36] SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1997:

Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe, Bd. 2, Karte 03.01 Schwefeldioxid - Emissionen und Immissionen, 1 : 200 000 / 1 : 300 000, Berlin.

[37] SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.):

Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1997, Karte 03.10 Verkehrsbedingte Luftbelastung durch Benzol, Stickoxide und Dieselruß, 1 : 200 000, in Vorbereitung.