

Ber. z. dt. Landeskunde	Bd. 73, H. 4, 1999, S. 365–379	Flensburg
-------------------------	--------------------------------	-----------

Joachim ALEXANDER, Trier

Luftreinhaltung in Deutschland: Emissions- und Immissionsentwicklung seit 1970

Summary

The success of the air pollution control policy is obvious: especially the emissions resulting from the classical air pollution of sulfur dioxide and airborne dust have also dropped to a significantly lower level in the new Federal states as well. Consequently, the problems resulting from winter smog and smoke damage are becoming less important. What is being brought more strongly into the centre of attention of air pollution control is the immission from passenger car traffic. In smaller regions, this continues to produce great amounts of immission loads primarily in city areas where there is a great deal of traffic as well as in the area of motorways. Together with other precursor substances, they also produce high concentrations of ozone over large areas in periods of pleasant summer weather. The process of continuing to improve the air quality and lowering the short- and long-term effects of air pollutants is linked to quality objectives and strategies that can only evidence their efficiency on the basis of an international air pollution control policy.

Die Erfolge der Luftreinhaltungspolitik sind deutlich: Vor allem die Emissionen der klassischen Luftverunreinigungen Schwefeldioxid und Schwebstaub sind nun auch in den neuen Ländern auf ein wesentlich niedrigeres Niveau gesunken. Die Probleme durch Wintersmog und Rauchgasschäden verlieren folglich weiter an Bedeutung. Stärker in den Vordergrund der Luftreinhaltung gerückt sind die Immissionen des Kraftfahrzeugverkehrs. Sie bewirken kleinräumig vor allem in stark befahrenen Stadtgebieten und an Autobahnen weiterhin hohe Immissionsbelastungen und erzeugen im Zusammenwirken mit anderen Vorläufersubstanzen bei sommerlichen Schönwetterepisoden großräumig hohe Ozonkonzentrationen. Eine weitere Verbesserung der Luftqualität und die Verminderung kurz- wie auch langzeitiger Wirkungen durch Luftschadstoffe sind an Qualitätsziele und Strategien gebunden, die nur auf der Grundlage einer internationalen Luftreinhaltungspolitik effizient sein können.

Beurteilung der Luftqualität

Luftverunreinigungen verändern die natürliche Zusammensetzung der Luft und mindern die Luftqualität. Als direktes Maß für die Luftqualität dienen die Immissionskonzentrationen. Um die Entwicklung der Luftqualität für einen Raum von der Größe der Bundesrepublik Deutschland beurteilen zu können, ist es notwendig, die Immissionsverhältnisse großräumig und über einen längeren Zeitraum zu betrachten. Diese Aufgabe nimmt das Umweltbundesamt und die zuständigen Stellen der Länder wahr. Die auf nationale Ebene bezogenen Daten werden mit denen für andere Umweltbereiche wichtigen Informationen in den „Daten zur Umwelt“ vom Umweltbundesamt in regelmäßigen Abständen veröffentlicht.

Bei der Vielzahl der auftretenden Luftverunreinigungen ist eine Beschränkung auf wichtige Komponenten oder Komponentengruppen notwendig, zumal die Zusammensetzung einer Reihe von Abgasen nicht einmal bekannt ist. In der Stadtluft wurden schon mehr als 1.000 verschiedene Stoffe nachgewiesen und das Emissionskataster „Ruhrgebiet Mitte“ weist 250 verschiedene Stoffe bzw. Stoffgruppen aus, die zur Luftverunreinigung beitragen.

Bei der regelmäßigen und kontinuierlichen Messung beschränkt man sich auf folgende Leitkomponenten bzw. Komponentengruppen:

- Schwefeldioxid (SO₂),
- Schwebstaub bzw. Ruß
- Stickstoffoxide (NO_x) (Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂))
- Kohlenmonoxid (CO)
- Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe („Volatile Organic Compounds“ – VOC)
- Ozon (O₃)

Diese Luftverunreinigungen können als Luftschadstoffe dann bezeichnet werden, wenn sie Grenzwerte oder Richtwerte überschreiten (vgl. KUTTLER 1997). Vor allem die kurzzeitigen, episodischen Überschreitungen von Immissionskonzentrationen im Rahmen von Winter- und Sommersmog-Episoden standen aufgrund der akuten Belastungen in den letzten Jahrzehnten im Mittelpunkt der öffentlichen Diskussion und der Luftreinhaltepolitik.

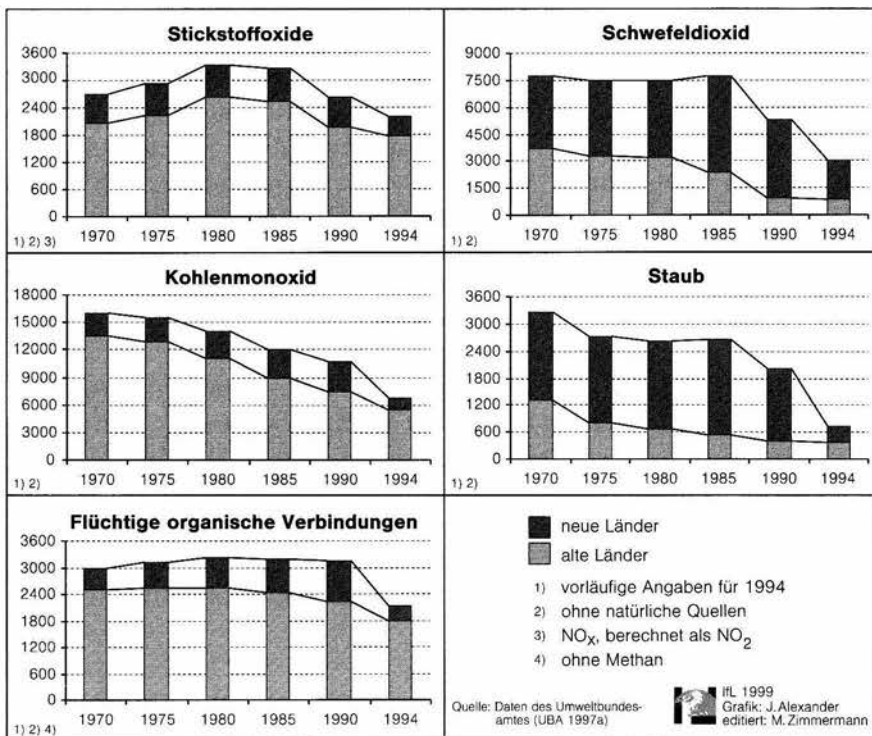
Um die Entwicklung der Luftqualität und die Effektivität nationaler Luftreinhaltemaßnahmen auf die Immissionskonzentrationen und Belastungen bei Smogepisoden beurteilen zu können, ist es sinnvoll, neben den Immissions- auch die Emissionsverhältnisse zu betrachten. Da die Immissionssituation infolge der von Jahr zu Jahr mehr oder weniger stark windschwachen Hochdruckwetterlagen, grenzüberschreitende Ferntrans-

porte) großen Schwankungen unterliegen kann, sind Trends häufig nur schwer erkennbar. Diese lassen sich besser ableiten, wenn zusätzlich – die durch Berechnung ermittelten – Emissionsangaben betrachtet werden, die geringere jährliche Schwankungen aufweisen.

Allgemeine Emissions-Entwicklung (1970–1994)

Die absolute und relative Entwicklung der Emissionen in den alten und neuen Ländern läßt sich wie folgt umreißen (Fig. 1 und Tab. 1): Die SO₂-, Schwebstaub- und CO-Emissionen nahmen in den alten Ländern im Zeitraum 1970 bis 1990 deutlich, ab 1990 aufgrund des erreichten niedrigen Niveaus nur noch leicht ab. Eine deutliche Minderung der NO_x- und NMVOC-Emissionen setzte erst ab 1990 ein. In der ehemaligen DDR war variierenden meteorologischen Verhältnisse (z.B. Häufigkeit und Dauer von zunächst mit Ausnahme der Schwebstaub-Emissionen ein Anstieg bis 1990 feststellbar. Erst nach der Wiedervereinigung war bei allen Emissionen eine stark rückläufige Entwicklung erkennbar.

Fig. 1: Emissionen (kt) in den alten und neuen Ländern 1970 bis 1994



Im Vergleich zwischen den Emissionen der alten und neuen Länder fällt auf, daß die SO₂- und Schwebstaub-Emissionen in den neuen Ländern höher sind, während in den alten Ländern die NO_x-, CO- und NMVOC-Emissionen mengenmäßig überwiegen.

Tab. 1: Entwicklung der Emissionen in den alten und neuen Ländern (%)

	1970-1990		1990-1994	
	aL	nL	aL	nL
SO ₂	-76	+32	- 1	-52
Schwebstaub	-69	-18	- 6	-77
NO _x , berechnet als NO ₂	- 5	+6	-10	-35
CO	-45	+29	- 1	-63
VOC ohne Methan (NMVOC)	-12	+99	-19	-63

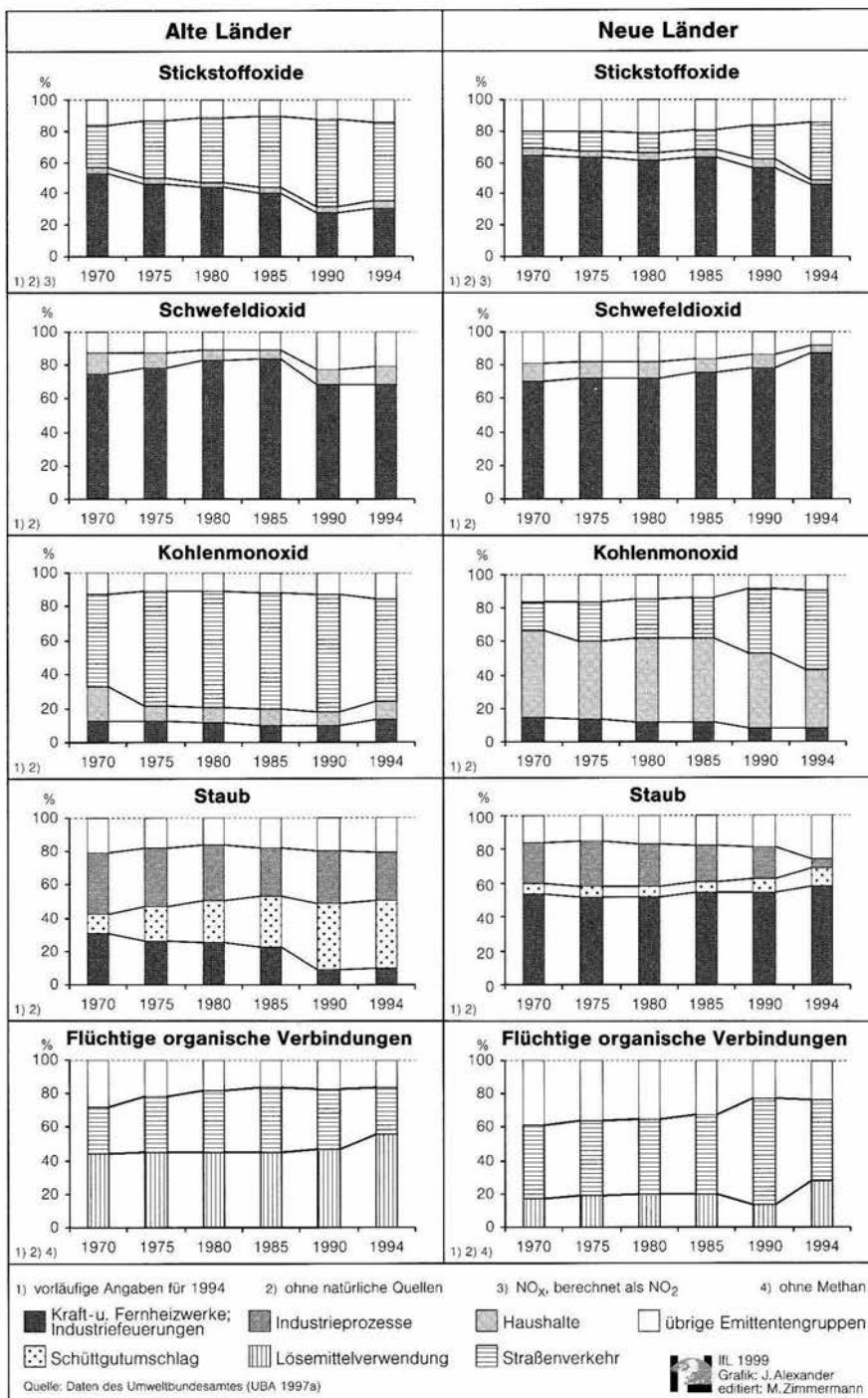
Quelle: Daten des Umweltbundesamtes (UBA 1997a)

Bei der Betrachtung der Emissionen nach Emittentengruppen (Fig. 2) zeigt sich, daß heute lediglich noch das SO₂ in den alten wie auch in den neuen Ländern als charakteristische Emission für die Emittentengruppe der Kraft- und Fernheizwerke als auch der Industriefeuerungen gelten kann. Die Staubemissionen sind heute aufgrund der geringen Emissionsstärke von untergeordneter Bedeutung. Die Stickstoffoxid- und Kohlenmonoxid-Emissionen sind heute überwiegend der Emittentengruppe des Straßenverkehrs zuzuordnen, die – auch aufgrund der hohen NMVOC-Emissionen – immer mehr nicht nur in den alten, sondern auch seit der Wende in den neuen Ländern im Vordergrund der Betrachtung steht.

Konsequenzen dieser Entwicklung sind u.a., daß mit der Verlagerung von dem hohen in das niedrigere Quellniveau der Kraftfahrzeuge zum einen die Entstehung kleinräumiger Belastungen durch primäre Schadstoffe in unmittelbarer Quellnähe und zum anderen die großräumigere Belastung durch sekundäre Luftschadstoffe bzw. Photooxidantien gefördert werden. Dagegen sind die Emissionen mittlerer (Emittentengruppe „Haushalte“) und hoher Quellen und die durch sie bewirkte großräumigere Immissionsbelastung deutlich zurückgegangen.

Fig. 2: Emissionen (relativ) in den alten und neuen Ländern nach Emittentengruppen 1970 bis 1994 →

Luftreinhaltung in Deutschland



SO₂- und Schwebstaub-Emissionen und die Belastung bei Winter-smog-Episoden

Die Emissionsentwicklung dieser beiden klassischen Luftverunreinigungen verdeutlicht die Erfolge langjähriger Bemühungen im Bereich der Luftreinhaltung in Deutschland. In den europäischen Zentren des Kohleverbrauchs kam es seit Ende des letzten Jahrhunderts immer wieder zu Episoden des sogenannten Wintersmogs, auch London-Smog genannt. Er entsteht, wenn sich vor allem in kalten Wintern während austauscharmer Wetterlagen mit hoher Luftfeuchtigkeit Schwefeldioxid und Schwebstaub akkumulieren. Im Maas-Tal (Belgien) wurden für eine Smog-Episode im Dezember 1930 maximale 24-Stunden-Mittel der Schwefeldioxidkonzentration von 25.000 µg/m³ (!) (Maximale Immissionskonzentration (MIK) nach VDI-Richtlinie 2310: 300 µg/m³) angegeben (Chronologie der wichtigsten Episoden des London-Smogs in BAUMBACH 1990, 7). Die Smog-Katastrophe von London 1952 (4.000 Todesfälle) und die Smog-Episoden im Ruhrgebiet (1962: 5.000 µg/m³ als maximaler 24-Stunden-Mittelwert der Immissionskonzentration) führten zunächst in Nordrhein-Westfalen – nach Einführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bundesweit – zu einer deutlichen Verbesserung des gesetzlichen Instrumentariums und zur Beherrschung der Luftreinhaltproblematik. Es kam zur Errichtung des Smogwarndienstes sowie zu Erstellung von Luftreinhaltplänen und Smogverordnungen im Rahmen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft). Im Mittelpunkt standen zunächst ausschließlich Schwefeldioxid und Schwebstaub, was auf die damaligen begrenzten Erkenntnisse über Luftverunreinigungen und deren Wirkung auf die Umwelt in Form der Rauchgasschäden und des Sauren Regens zurückzuführen ist.

Die Überwachung von Hausfeuerungsanlagen und die Entschwefelung von leichtem Heizöl führen unter anderem zu einem Rückgang der Belastungen in den Ballungsgebieten und Städten. Die Wintersmog-Episoden 1979 und 1985 waren durch maximale 24-Stunden-Mittel der Immissionskonzentration gekennzeichnet, die mit ca. 850 bis 900 µg/m³ deutlich niedriger als 1962 lagen (BAUMBACH 1990, 7).

Die Gründe für den weiteren starken Rückgang der Belastungen bis Ende der 80er Jahre sind vielschichtig. Das großräumige Auftreten der neuartigen Waldschäden in Mitteleuropa seit 1981/82 führte zu neuen Maßnahmen: Auf der Grundlage des 1985 novellierten Bundes-Immissionsschutzgesetzes, der Großfeuerungsanlagenverordnung 1983 und der TA Luft 1986 wurden die Abgase von Industrieanlagen aufgrund strenger Vorschriften mit aufwendigen Abgasreinigungsanlagen ausgestattet; die Technik der Hausfeuerungen wurde verbessert und diese Feuerungen auf emissionsarme Brennstoffe umgestellt. Mehrere milde Winter Ende der 80er Jahre führten

zu verringerten Emissionen der Emittentengruppe „Hausbrand“ und zum Ausbleiben austauscharmer Wetterlagen und der damit verbundenen Ferntransporte aus den neuen Ländern und der ehemaligen Tschechoslowakei. Auch beim Schwebstaub konnte durch den Einsatz von Entstaubungstechniken ein deutlicher Rückgang der Emissionen festgestellt werden. In den alten Ländern kam es letztmalig im Winter 1986/87 in Berlin (West) zur Auslösung von Wintersmog-Alarm.

Dem Rückgang der Schwefel- und Schwebstaub-Emissionen um 76% bzw. 69% von 1970 bis 1990 in den alten Bundesländern stand im gleichen Zeitraum ein Anstieg der Emissionen von Schwefeldioxid in den neuen Ländern von 1970 bis 1990 um 32% durch den zunehmenden Einsatz einheimischer Braunkohle gegenüber. 1990 waren die SO₂-Emissionen fünfmal höher als in den alten Bundesländern. Die Emissionen von Schwebstaub gingen in der ehemaligen DDR zurück, allerdings mit 18% vergleichsweise gering.

Erst ab 1990 konnten in den neuen Ländern sowohl die Schwefeldioxid- als auch die Schwebstaub-Emissionen auf das niedrige Niveau der alten Länder gesenkt werden. Betriebsstillegungen, der Einsatz moderner Entschwefelungs- und Entstaubungstechniken, der rückläufige Energiebedarf infolge der wirtschaftlichen Umstrukturierung und der Einsatz emissionsärmerer Brennstoffe führten in den Jahren 1990 bis 1994 zu einem Rückgang der Schwefelemissionen um 52% und um 77% bei den Schwebstaub-Emissionen.

Wie in den alten Ländern haben die Schwefeldioxid- und Schwebstaub-Emissionen heute in den neuen Ländern einen so niedrigen Stand erreicht, daß auch unter ungünstigen meteorologischen Bedingungen – selbst in Kessel- und Tallagen der Mittelgebirgsregionen und den Ballungsgebieten – die Immissionswerte der TA Luft für Schwefeldioxid und Schwebstaub mit großer Sicherheit nicht mehr überschritten werden. Letztmalig wurde im Winter 1993/94 kurzzeitig in mehreren Smoggebieten Sachsens und Sachsen-Anhalts Smog-Alarm ausgerufen. (UBA 1997a, 147ff.)

Von Rauchgasschäden stark betroffen ist lediglich noch der sächsische Teil des Erzgebirges. Im Januar 1995 wurde an der Station Aue/Sachsen ein Tagesmittelwert von 2500 µg/m³ registriert und im Winter 1996/97 Anfang Januar während einer Smog-Episode die Smog-Vorwarnstufe ausgerufen. Ursache waren die Immissionen der böhmischen Kraftwerke, die mit einer süd/südöstlichen Strömung als grenzüberschreitende Ferntransporte wirksam wurden. Mit der fortschreitenden Entschwefelung bzw. Stilllegung der böhmischen Kraftwerke ist ab 1999 auch im Erzgebirge mit deutlich niedrigeren Schwefeldioxid-Immissionen zu rechnen. (DRÜEKE 1998, 4).

NO_x-, CO- und NMVOC-Emissionen

Die Emissionen erfolgen überwiegend als Stickstoffmonoxid (NO). Sie werden aber anschließend atmosphärisch zu Stickstoffdioxid (NO₂) oxidiert. Deshalb ist zumeist die Gesamtmenge als NO₂ angegeben. In den alten Ländern konnte von 1975 bis Ende der 70er Jahre ein stetiger Anstieg der Emissionen entsprechend des Energieverbrauches festgestellt werden. Der Rückgang seit Mitte der 80er Jahre erfolgt überproportional zur Abnahme des Energieverbrauchs. Folgende Gründe sind dafür maßgebend (UBA 1997a, 128):

- Einführung technischer Maßnahmen zur Minderungen der Emissionen des Straßenverkehrs
- Umbau auf emissionsarme Feuerungssysteme und Umstellung auf flüssige und gasförmige Brennstoffe mit günstigerem Emissionsverhalten.

Der deutliche Rückgang der Emissionen aus Industriefeuerungen sowie Kraft- und Fernheizwerken, der nach der Wiedervereinigung auch in den neuen Ländern feststellbar war, wird ebenfalls zu einem bedeutenden Teil durch die höhere Fahrleistung des Kraftfahrzeugverkehrs ausgeglichen.

Zusammen mit dem Schwefeldioxid sind die Stickstoffoxide für die Säurebelastungen verantwortlich. Die Folgen sind bekannt: Unter anderem kommt es zu großflächigen Vitalitätsverlusten bei Waldbeständen, zur Versauerung von Oberflächengewässern, zur zunehmenden Nitratauswaschung mit dem Bodensickerwasser in das Grundwasser und zur anhaltenden Eutrophierung sowie zum Verschwinden bedrohter Pflanzen (UBA 1997b, 127).

Die – relativ gesehen – immer stärker werdenden Gesamtemissionen des Straßenverkehrs werden auch bei Betrachtung des CO deutlich. Während die Umstellung auf gasförmige und flüssige Brennstoffe im Bereich der kleinen Feuerungsanlagen („Haushalte“ und „Industriefeuerungen“) in den alten Ländern von 1970 bis 1990 eine Reduktion der Emissionen dieser Emittentengruppen um 79% bzw. 57% bewirkte, nahmen trotz Minderungsmaßnahmen im Verkehrsbereich – vor allem aufgrund der Umstellung des Fahrzeugbestandes auf moderne Motorkonzepte – die CO-Emissionen des Straßenverkehrs nur um 30% ab. Auch in der ehemaligen DDR ist nach der Wende der Rückgang der CO-Emissionen des Straßenverkehrs mit 38% unterdurchschnittlich.

Die flüchtigen organischen Verbindungen stellen den Oberbegriff einer Vielzahl von Stoffen dar. Auch hier zeichnet sich wie bei den anderen Luftverunreinigungen die Tendenz ab, daß infolge der Luftreinhaltemaßnahmen in den alten Ländern die Emissionen von 1970 bis 1990 um 12% sanken, während in der ehemaligen DDR in diesem Zeitraum ein Anstieg um 99% (!) überwiegend infolge der Emissionen des Straßenverkehrs

auftrat. Nach der Wiedervereinigung sind die Emissionen in den alten Ländern um 19% und in den neuen Ländern um 63% gesunken.

Großräumige Ozonimmissionen bei Sommersmog-Episoden

Ozon bildet sich aus Vorläufersubstanzen in der Atmosphäre infolge komplexer photochemischer Reaktionen. Das Ozon dient aufgrund der hohen Konzentrationen als Leitsubstanz für die Photooxidantien. Daneben treten auch Formaldehyd (HCHO) und Peroxiacetylnitrat (PAN) auf.

Infolge der erhöhten Konzentrationen bodennahen Ozons in den heißen und sonnigen Sommermonaten der Jahre 1994 und 1995 trat 1995 u.a. das sogenannte „Ozongesetz“ (§ 40a des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) in Kraft. Es sieht Fahrverbote für Kraftfahrzeuge mit höheren Schadstoffemissionen vor, wenn an mindestens drei Meßstationen im Bundesgebiet, die mehr als 50 km und weniger als 250 km voneinander entfernt sind, eine Ozonkonzentration von mindestens $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Stundenmittel erreicht wird und Ozonkonzentrationen gleicher Höhe an diesen Meßstationen im Laufe des nächsten Tages zu erwarten sind. Als Episoden werden mindestens zwei Tage andauernde Situationen bezeichnet, bei denen großräumig gehäuft Überschreitungen des Wertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auftreten.

Als ein wichtiger Indikator für die Belastung durch photochemischen Smog kann demnach die Häufigkeit der Anzahl der Tage, an denen die Konzentration von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon überschritten wurde, herangezogen werden. Die Häufigkeit der Überschreitung dieses Schwellenwertes ist wie die Höhe der kurzzeitigen Ozonspitzenkonzentrationen wesentlich, aber nicht ausschließlich vom Verlauf des jeweiligen Sommers abhängig. Besonders hohe Konzentrationen werden episodisch in Jahren mit warmen Schönwetterperioden erreicht. So waren trotz der 1994 und 1995 sehr hohen Lufttemperaturen im Juli und August mit 46 und 54 Tagen keine höheren Überschreitungen als in den Jahren 1991 und 1993 (54 bzw. 53 Tage) feststellbar. Auch blieben die Kenngrößen deutlich hinter denen der Jahre 1990 (64 Tage) und 1992 (82 Tage) zurück (UBA 1997a, 160). Im „normalen“ Sommer 1996 wurde die niedrigste Anzahl an Überschreitungen (35) registriert. Ein Trend ist aus diesen Werten ebenso wenig erkennbar wie aus den Jahresmitteln der Ozonkonzentrationen, die im Zeitraum von 1990 bis 1995 an den Meßstationen des Umweltbundesamtes zwischen 37 und $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen. Lediglich bei den einstündigen Ozonspitzenkonzentrationen deutet sich 1994 und 1995 mit je $293 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gegenüber den Jahren 1990 und 1991 mit 336 und $305 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (UBA 1997a, 157) ein leichter Rückgang an.

Während die großräumigen Belastungen bei Auftreten des Wintersmogs in deutlicher Abhängigkeit von windschwachen Hochdruckwetterlagen

festzustellen sind, kann ein derartiger Zusammenhang für die Sommer-smog-Episoden nicht in dem Maße festgestellt werden. MAYER und SCHMIDT (1998) konnten anhand von Ozonwerten der baden-württembergischen Luftqualitätsmeßstellen für die Jahre 1989 bis 1993 nachweisen, daß es – bei großräumiger Betrachtung der Ozonimmissionen von über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – zwar bestimmte Wetterlagen gibt, die mit einer typischen Ausprägung einzelner meteorologischer Parameter als potentiell begünstigend, aber nicht als maßgeblich für die Bildung, Anreicherung oder Erhaltung von Ozon bezeichnet werden können. „Jeder Versuch, selbst einfache Zusammenhänge zwischen O_3 -Konzentrationen und meteorologischen Verhältnissen zu schematisieren, scheitert“. ... Es kann sogar „... die Existenz von angenommenen ‚Ozon-Wetterlagen‘ bezweifelt werden. Vermutlich ist bei höheren O_3 -Konzentrationen der Beitrag der meteorologischen Rahmenbedingungen zur Ozonbildung, -anreicherung und -erhaltung ebenfalls sekundär“ (MAYER u. SCHMIDT 1998, 47).

Das Ozon entsteht als Produkt einer Vielzahl komplexer luftchemischer Prozesse, so daß sich eine gemessene Ozonkonzentration aus einer Vielfalt unterschiedlicher Anteile zusammensetzt (siehe dazu: HEIDORN und YAP 1986, GEISS und VOLZ-THOMAS 1992). Eine Konsequenz ist, daß Überschreitungen des Schwellenwertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ähnlichem Maße sowohl auf Bergstationen also auch in ländlichen Räumen und in der Nähe industrieller Emissionen auftreten. Es deutet sich bei großräumiger Betrachtung allerdings an, daß die alten Bundesländer von höheren Spitzenwerten der Ozonimmissionen betroffen sind. Dies ist auf die höhere Menge der in den alten Bundesländern emittierten Vorläufersubstanzen zurückzuführen. Sie können aufgrund unterschiedlicher Windgeschwindigkeiten in mehr oder weniger großer Entfernung vom Quellgebiet bei am Tage starker Einstrahlung und hohen Temperaturen zur Ozonbildung führen.

Die Komplexität und die Großräumigkeit mancher für die für die Ozonbildung, -anreicherung und -erhaltung relevanten Vorgänge werden u.a. dadurch erhöht, daß die Zusammensetzung und die Reaktivität der einzelnen anthropogen emittierten Vorläufersubstanzen nur schwer erfaßbar sind (z.B. bei der Lösemittelverwendung, die über die Hälfte der Emissionen ausmacht). Ein wichtiger Faktor ist auch, daß die biogen freigesetzten flüchtigen organischen Verbindungen bisher nicht ausreichend berücksichtigt werden konnten. So liefert nach OBERMEIER et al. (1995) die natürliche NMVOC-Emission der Biosphäre an warmen Sommertagen einen der anthropogenen Emission vergleichbaren Betrag. Der Kenntnisstand über das Emissionsverhalten der Biosphäre reicht noch nicht aus, um überhaupt die Quellstärken, die eine sehr gute Korrelation mit der Temperatur aufweisen (vgl. z.B. PIERCE et al. 1970), simulieren zu können. Bei der Diskus-

sion um Ozonreduktionsstrategien ist zu berücksichtigen, daß das maximale VOC-Minderungspotential einer Region wesentlich von dem Anteil der biogenen und damit kaum zu vermindernden VOC-Emissionen mit bestimmt wird.

Temporäre Reduktionsminderungsszenarien müssen, wie der Ozonversuch Heilbronn gezeigt hat, großräumig und schon zu Beginn der Ozonperiode greifen. Zur effektiven Minderung der Ozonspitzen sind aber dauerhafte Maßnahmen auf europäischer Ebene sinnvoller. Eine Reihe von Modellrechnungen (LAI 1997, UBA 1997b) wurden durchgeführt, um die Auswirkungen von Ozonkontrollstrategien bei der großräumigen Ozonbildung in Europa zu ermitteln. Dabei hat es sich gezeigt, daß aufgrund des starken Einflusses der Hintergrundkonzentration bei Smog-Episoden und der Nichtlinearität der chemischen Reaktionen eine merkliche und dauerhafte Senkung der Ozonbelastung mit einer nur seltenen Überschreitung des Schwellenwertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nur durch eine gemeinsame Minderung von VOC und NO_x in der Größenordnung von mindestens 65–70% (LAI 1997, 71) bzw. 80% (UBA 1997b, 159) erreicht werden kann.

Kleinräumige Belastungen durch Immissionen des Straßenverkehrs

Eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung der Immissionsverhältnisse in Deutschland kommt ohne Zweifel der Emittentengruppe Straßenverkehr zu. Schwerpunkte der Belastung durch Kfz-bedingte Primärimmissionen liegen im Bereich stark befahrener Straßen außerhalb von Ortschaften (z.B. Bundesautobahnen) und im innerörtlichen Bereich, wo die Ausbreitung und Verdünnung von Luftverunreinigungen durch die Bebauung behindert werden und damit lokal zu Belastungen führen (vgl. ALEXANDER 1993). Der Verkehr trägt mit den kanzerogenen Stoffen Dieselruß, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Benzol zu mehr als 80% zum immissionsbedingten kanzerogenen Risiko bei. Das aus der Immissionsbelastung resultierende Krebsrisiko in Ballungsgebieten ist mehr als fünfmal höher als in ländlichen Gebieten (UBA 1997b, 159). Im regionalen Bereich werden die Kfz-bedingten Immissionen und andere Vorläufersubstanzen im Hinblick auf die Ozonbelastung wirksam.

Während die Sommersmog-Verordnung auf großräumige Maßnahmen ausgerichtet ist, soll die vorgesehene Verordnung nach § 40 Abs. 2 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes für bestimmte Straßen oder bestimmte Gebiete Konzentrationen für luftverunreinigende Stoffe festlegen. Richtwerte gibt es für Stickstoffdioxid, Benzol und Ruß. Die Werte liegen ab dem 1.7.98 bei $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (98%-Wert über ein Jahr), $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (arithm. Jahresmittelwert) bzw. $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (arithm. Jahresmittelwert). Bei deren Über-

schreitung sind Maßnahmen zur Verkehrsbeschränkung zu prüfen. Zwar haben die Emissionen des kanzerogen wirkenden Benzols seit Beginn der 80er Jahre durch die Zunahme der Katalysatorfahrzeuge und die Begrenzung des Benzolanteils im Benzin abgenommen; es muß aber in verkehrsreichen Stadtgebieten immer noch mit sehr hohen Werten gerechnet werden, da die Emissionsverminderung durch die Zunahme der Fahrleistung zum Teil kompensiert wird.

Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Karte, die für das Stadtgebiet von Ludwigshafen mit einem Grob-Screening-Modell zur Beurteilung der Luftverunreinigungen Ruß, Benzol und Stickstoffdioxid erstellt wurde. Es zeigt sich, daß in einigen Straßensegmenten mit hohem Verkehrsaufkommen und geschlossener Bebauung die ab dem 1.7.98 geltenden Richtwerte vor allem für Ruß aber auch für Benzol wahrscheinlich überschritten werden und in vielen Segmenten Überschreitungen dieser Prüfwerte möglich sind.

Luftqualitätsziele und internationale Luftreinhaltepolitik

Insgesamt gesehen läßt sich bei einer Betrachtung der Entwicklung der Leitkomponenten bzw. Leitkomponentengruppen feststellen, daß der anlagen- und produktbezogene Immissionsschutz in Deutschland zu einer deutlichen Verringerung der Immissionen im Bereich der Emittentengruppen „Kraft- und Heizwerke“, „Industriefeuerungen“ und „Haushalte“ geführt hat. Auch im Bereich des Straßenverkehrs sind die Emissionen gesunken, allerdings weniger deutlich. Die Wirkungen des geregelten Dreiwege-Katalysators im Bestand der Otto-Motor-betriebenen Personenkraftwagen haben trotz Zunahme der Fahrleistung zu Emissionsminderungen geführt. Einschränkend muß gesagt werden, daß trotz dieser Entwicklung die Kohlendioxid-Emissionen insgesamt im Zeitraum von 1970 bis 1990 weder in den alten Bundesländern (-10%) noch in Deutschland insgesamt im Zeitraum 1990 bis 1994 (-11%) in gleichem Maße wie bei den übrigen dargestellten Emissionen gesenkt werden konnten. Die CO₂-Emissionen der Emittentengruppe Straßenverkehr nahm im Zeitraum 1990 bis 1994 sogar um 7% zu.

Trotz dieser überwiegend positiven Aspekte in der Luftreinhaltung gibt es weiterhin Probleme: Zum einen sind es die Belastungen durch Photooxidantien, zum andern ist die Säurebelastung durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen, die zur Versauerung des Grundwassers und der Oberflächengewässer sowie zur Eutrophierung der terrestrischen Ökosysteme führen kann, immer noch hoch.

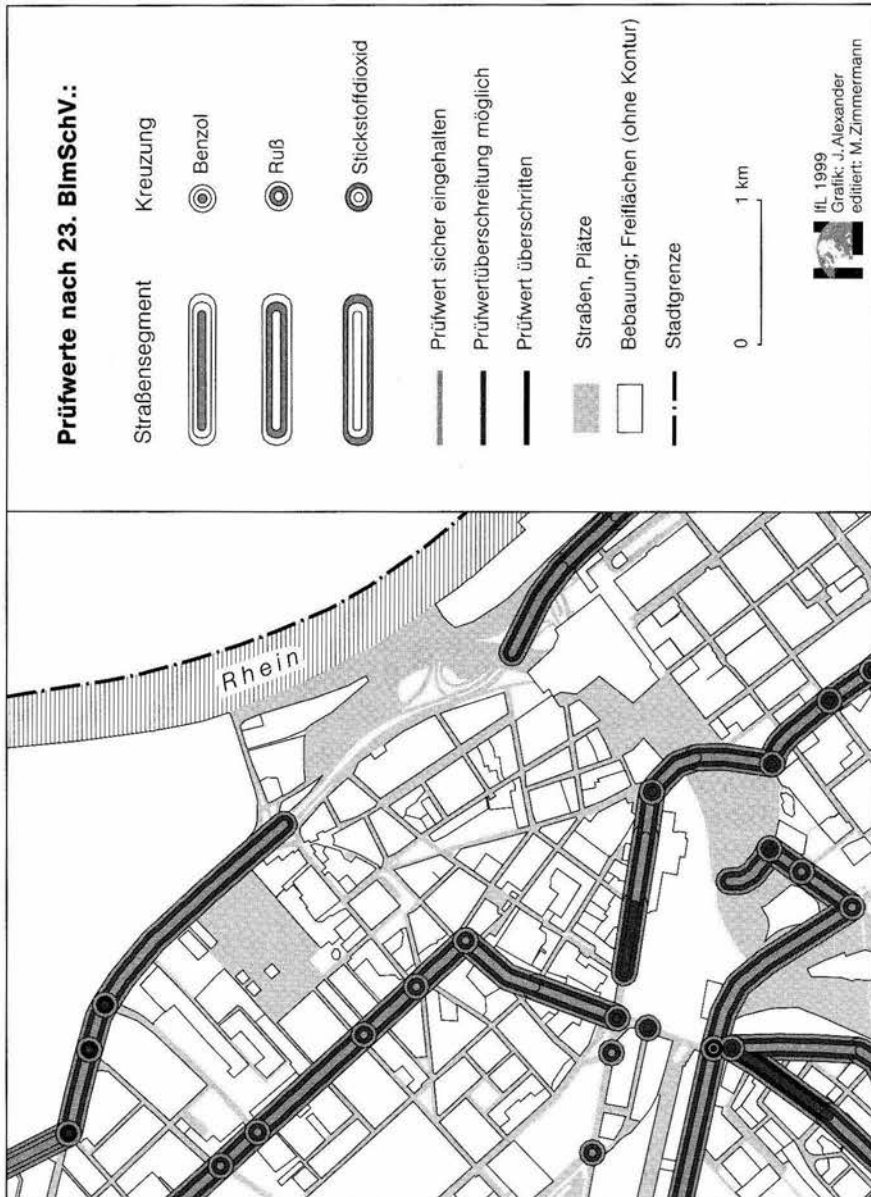


Fig. 3: Grob-screening Kfz-bedingter Luftverunreinigungen, Kartenausschnitt Ludwigschafen/Rhein

Bei der angestrebten weiteren Verminderung der Vorläufersubstanzen NMVOC, NO_x sowie der SO_2 -Emissionen in Deutschland kommt aufgrund des stark verminderten nationalen Minderungspotentials den grenzüber-

schreitenden Ferntransporten eine bedeutsame Rolle zu. Die zentrale Lage Deutschlands in Europa hat zur Konsequenz, daß der Anteil der aus dem europäischen Ausland stammenden Luftverunreinigungen an den in Deutschland deponierten Mengen (in t/a) von oxidiertem Schwefel 37%, von oxidiertem Stickstoff 50% und von reduziertem Stickstoff 23% beträgt (EMEP/MSC-W Report 1/95).

Im Bestreben um eine Verbesserung der Luftqualität auf der Grundlage internationaler Luftreinhaltepolitik kommt neben den Bemühungen auf der Ebene der EU dem „Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen“ (Genfer Luftreinhaltekonvention) von 1979 eine besondere Bedeutung zu. Es schuf die Grundlage zur Erfassung der grenzüberschreitenden Luftverunreinigungen und war Basis für inzwischen vereinbarte Protokolle, die die beteiligten Länder zu weiteren Minderungsmaßnahmen für SO₂, NO_x und VOC verpflichten. Es wird mit folgenden Reduzierungen für das Jahr 2005 im Vergleich zu 1990 gerechnet: SO₂: -86,1%; Schwebstaub: -87,4%; NO₂: -30,6%; CO: -52,3%; NMVOC: -42,2% (SRU 1996, 178).

Es besteht damit die begründete Hoffnung, daß sich durch die internationalen Abkommen zur Luftreinhaltung die Luftqualität in ganz Europa in Zukunft weiter verbessern wird (vgl. SRU 1998, 60f.). Ein Forschungsbedarf besteht allerdings weiterhin hinsichtlich der komplexen Bildungs- und Abbaumechanismen von Photooxidantien. Intensiv weiter verfolgt werden muß auch die Entwicklung von Strategien zur Minderung der großräumigen Hintergrundbelastung, damit nicht nur die akuten Schäden durch Spitzenkonzentrationen, sondern auch die chronischen Schäden durch Langzeiteffekte vermieden werden können.

Literatur

- ALEXANDER, J. 1993: Stadtklima Trier. In: Trierer Geographische Studien, H. 9, S. 1–18, Trier.
- BAUMBACH, G. 1990: Luftreinhaltung. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona.
- DRÜEKE, M. 1998: Wintersmog-Episoden im Erzgebirge – Die Belastung durch grenzüberschreitenden Ferntransport. In: Meteorologische Zeitschrift, N.F. 7, S. 4–6.
- EMEP/MSC-W Report = Norwegian Institute of Air Research: EMEP (= European Monitoring and Evaluation program) data-Report 1994.
- GEISS, H. u. A. VOLZ-THOMAS 1992: Lokale und regionale Ozonproduktion: Chemie und Transport. In: Berichte Forschungszentrum Jülich Nr. 2764.
- HEIDORN, K.C. u. D. YAP 1986: A Synoptic Climatology for Surface Ozone Concentrations in Southern Ontario, 1976–1981. In: Atmospheric Environment 20, S. 695–703.

Luftreinhaltung in Deutschland

- KUTTLER, W. 1997: Bewertungsmaßstäbe für Stadtklima und Lufthygiene. In: Geographische Rundschau 49, H. 10, S. 576–582.
- LAI (= Länderausschuß für Immissionsschutz) 1997: Bewertung temporärer Maßnahmen zur Senkung von Ozon-Belastungspitzen. Synopse der in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführten Modelluntersuchungen und Modellrechnungen. Berlin (= LAI-Schriftenreihe, Bd. 14).
- MAYER, H. u. J. SCHMIDT 1998: Problematik der Kennzeichnung von sogenannten „Ozonwetterlagen“. In: Meteorologische Zeitschrift, N.F. 7, H. 1 S. 41–48.
- OBERMEIER, A., R. FRIEDRICH, C. JOHN, J. SEIER, H. VOGEL, F. FIEDLER, B. VOGEL 1995: Photosmog – Möglichkeiten und Strategien zur Verminderung des bodennahen Ozons. Landsberg.
- PIERCE, T.E., B.K. LAMB u. A.R. VAN METER 1970: Development of a Biogenic Emissions Inventory System for Regional Air Pollution Models. In: Paper 90–94.3 presented at the 83rd Annual Meeting and Exhibition of the Air and Waste Management Association. Pittsburgh, Pa., June 24–29.
- SRU (= Der Rat von Sachverständigenrat für Umweltfragen) 1996: Umweltgutachten 1996. Stuttgart.
- SRU (= Der Rat von Sachverständigenrat für Umweltfragen) 1998: Umweltgutachten 1998. Stuttgart.
- UBA (= Umweltbundesamt) 1997a: Daten zur Umwelt. Der Zustand der Umwelt in Deutschland. Berlin.
- UBA (= Umweltbundesamt) 1997b: Jahresbericht 1996. Berlin.