

Saurer Regen: Immissionssituation



Landesbildstelle Westfalen



Landschaftsverband
Westfalen-Lippe

Saurer Regen: Immissionsituation

Wilhelm Kuttler

Einleitung

Die Erdatmosphäre besteht in ihrer Zusammensetzung aus verschiedenen gasförmigen, flüssigen und festen Spurenstoffen, die entweder durch natürliche oder künstliche Prozesse freigesetzt und in sie eingeleitet werden. Listet man die wichtigsten Inhaltsstoffe nach ihrem zeitlichen Vorhandensein in der Atmosphäre einmal auf (vgl. hierzu Tabelle 1), dann lassen sich insgesamt drei Spurenstoffgruppen erkennen, die von der Menge her in außerordentlich unterschiedlichen Anteilen in der Atmosphäre vertreten sind. (Die Grenzen zwischen den einzelnen Gruppen sind allerdings fließend.)

GRUPPE I enthält diejenigen Gase, die dauernd in mehr oder weniger gleichbleibenden Konzentrationen in der Atmosphäre vorhanden sind. Es sind dies vor allem der Stickstoff (N_2) mit rd. 78 Volumenprozenten und der für das höhere Leben notwendige Sauerstoff (O_2) zu rd. 21 Volumenprozenten sowie die Edelgase, die insgesamt etwa 1 Volumenprozent ausmachen. Der Sauerstoff wird durch die autotrophen¹ Pflanzen im Rahmen der Photosynthese produziert und der Atmosphäre immer wieder erneut zugeführt. Obwohl der atmosphärische Sauerstoff in vielen Gebieten der Erde - hier sind insbesondere die Industriegebiete der Nordhalbkugel zu nennen - in so großen Mengen verbraucht wird, daß die Vegetation in diesen Regionen mit der O_2 -Produktion nicht nachkommt, kann trotzdem keine Abnahme des Sauerstoffgehaltes in der Atmosphäre in diesen Räumen festgestellt werden, d.h., daß sich das Stickstoff/Sauerstoff-Verhältnis noch nicht verschoben hat. Das liegt u.a. daran, daß aufgrund der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre der Austausch zwischen den Verbrauchs- und den Produktionsräumen außerordentlich rasch abläuft. Selbst bei Wetterlagen, die in Industriegebieten für über dem Durchschnitt liegende Schadstoffkonzentrationen sorgen, konnte auch in Extremsituationen keine Abnahme des Sauerstoffgehaltes festgestellt werden.

GRUPPE II faßt diejenigen Gase zusammen, die zwar immer in der Atmosphäre vorhanden sind, jedoch in unterschiedlichen Konzentrationen auftreten. In dieser Gruppe ist zuerst einmal der Wasserdampf zu nennen, der in Abhängigkeit von der Temperatur in der Atmosphäre enthalten ist. Sehr hohe Werte mit bis zu 4 Vol.-% können in den Tropen erreicht werden, sehr niedrige z.B. in den subpolaren und polaren Breiten. Neben dem Wasserdampf ist noch auf das Kohlendioxid (CO_2) und das Ozon (O_3) in dieser Gruppe hinzuweisen. Das CO_2 ist zwar in außerordentlich geringem Maße in der Atmosphäre enthalten (0,033 Vol.-% = 330 ppm); es erlangt aber dadurch eine relativ große Bedeutung, daß es ähnlich wie der Wasserdampf und - allerdings in geringerem Maße - das Ozon als Absorber langwelliger Strahlungsenergie fungiert. Mit dem seit der Jahrhundertwende ansteigenden CO_2 -Gehalt der Atmosphäre wird deshalb eine zunehmende Erwärmung der Erdatmosphäre befürchtet (BACH 1982). Bis heute konnten jedoch Erwärmungen, die auf die Zunahme des CO_2 in der Atmosphäre direkt zurückzuführen wären, nicht meßbar nachgewiesen werden.

Tabelle 1: **Zusammensetzung troposphärischer Luft**
 (nach SCHREIBER, 1982; BLÜTHGEN & WEISCHET, 1980; ISRAEL & ISRAEL, 1973)

Gas	chem. Bezeichnung	Volumenprozente
I. Gase von permanent ± gleichbleibender Konzentration		
Stickstoff	N ₂	78,08
Sauerstoff	O ₂	20,95
Argon	Ar	0,93
Neon	Ne	2·10 ⁻³
Helium	He	5·10 ⁻⁴
Methan	CH ₄	2·10 ⁻⁴
Krypton	Kr	1·10 ⁻⁴
Xenon	Xe	9·10 ⁻⁵
Wasserstoff	H ₂	5·10 ⁻⁵
II. Gase von permanent unterschiedlicher Konzentration		
Wasserdampf	H ₂ O	4,00 bis 2·10 ⁻³
Kohlendioxid	CO ₂	3,33·10 ⁻²
Kohlenmonoxid	CO	i. d. Troposphäre: 0,1 - 0,3·10 ⁻⁴ bodennah, städt.: ca. 30 - 90·10 ⁻⁴
Ozon	O ₃	i. d. Stratosphäre: 5 - 10·10 ⁻⁴ bodennah in der Nähe von Industriegebieten: ca. 20·10 ⁻⁴
Radon	Rn	7·10 ⁻¹⁸
III. nicht permanent vorhandene Gase		
Schwefeldioxid	SO ₂	1·10 ⁻⁴ bis 2·10 ⁻⁵
Stickoxidul	N ₂ O	4·10 ⁻⁵ bis 6·10 ⁻⁵
Ammoniak	NH ₃	3·10 ⁻⁶
Wasserstoffsuperoxid	H ₂ O ₂	4·10 ⁻⁸

Das Ozon, das auf natürlichem Wege in den höheren Schichten der Atmosphäre entsteht (Stratosphäre, Ozonosphäre), sorgt dafür, daß sehr kurze energiereiche Wellenlängen ($\lambda < 390 \text{ nm}$), die lebenszerstörend sind, nicht bis zur Erdoberfläche vordringen. Neben diesem natürlichen Ozon läßt sich aber auch noch künstlich entstandenes Ozon beobachten, das durch verschiedene komplizierte photochemische Prozesse in der Umgebung von Industriegebieten gebildet wird. Da Ozon ein sehr starkes Oxidationsmittel ist und somit sehr schnell Reaktionen mit verschiedenen (natürlichen und künstlichen) Materialien eingeht, können Schäden durch Ozon in verschiedenen Bereichen der Ökosphäre beobachtet werden.

GRUPPE III besteht aus denjenigen Spurengasen, die nicht immer in der Atmosphäre vorhanden sind. Hierzu zählen natürlich die durch den Menschen produzierten und in die Atmosphäre eingeleiteten Schadstoffe, unter denen z.B. das Schwefeldioxid ein sehr bekannter Vertreter ist. Die Luftverunreinigungen gelangen als Emissionen in die Luft und können dann als Immissionen auf verschiedene Akzeptoren² (Mensch, Tier, Pflanze, Boden) unterschiedlich stark einwirken. In der Mehrzahl handelt es sich hierbei um Stoffe, die Verbrennungsprozessen entstammen. Es gibt eine große Anzahl verschiedener chemischer Verbindungen, die zur Gruppe der Luftverunreinigungen zählen. In Tabelle 2 sind die verschiedenen Spurenstoffgruppen geordnet aufgelistet.

Tabelle 2: Spurenstoffgruppen einer Industriegebietsatmosphäre (nach einer Zusammenstellung in KUTTLER, 1982).

1. Schwefelverbindungen:
SO₂, SO₃, H₂SO₄, H₂S, CS₂
2. Stickstoffverbindungen:
"nitrose Gase" (NO, NO₂, N₂O₃, N₂O₄, NH₃), Salpetersäure (HNO₃)
3. Kohlenmonoxid:
CO
4. Halogene und Halogenverbindungen:
Chlor-, Brom- sowie Fluorverbindungen (z.B. HF, SiF₄, H₂SiF₆ und ihre Salze, HCl)
5. flüchtige aliphatische³ und aromatische Kohlenwasserstoffe und ihre Oxidationsprodukte: z.B. Aldehyde, Ketone, Säuren, Peroxide
6. verschiedenartige belästigende Stoffe mit intensivem Geruch:
z.B. Amine, Mercaptane, Buttersäure, Pyridin
7. anorganische Stäube:
Verbindungen von Blei, Eisen, Mangan, Chrom, Kupfer, Nickel, Vanadium, Beryllium, Zink, Arsen, Molybdän, Selen, Silizium

8. Ruß und organische Produkte:
z.B. polizyklische aromatische Kohlenwasserstoffe sowie das krebserregende 3,4-Benzpyren
9. Abrieb von Teer- und Asphaltstraßen sowie von Autoreifen und Asbest von Bremsbelägen
10. Oxidantien:
z.B. Ozon (O₃), eine allotrope⁴ Modifikation des Sauerstoffs

Um aus dem breiten Spektrum der verschiedensten gasförmigen Luftverunreinigungen, die in einem bestimmten Gebiet vorherrschen, möglichst einheitlich die Luftgüte bestimmen und beurteilen zu können, greift man auf einen Luftverschmutzungsindikator zurück. Hierbei handelt es sich um ein sogenanntes Leitgas, das unter den als Luftverunreinigungen bekannten Giftgasen häufig auftritt und für diese sehr charakteristisch ist. Weit verbreiteter Indikator ist z.B. das durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe in großen Mengen entstehende Schwefeldioxid (SO₂). Aber auch Ozon (O₃) und Kohlenmonoxid (CO) werden in Abhängigkeit von der Standortlage der Emittenten als Qualitätskriterien zur Angabe der Luftgüte herangezogen.

Die Verbreitung und die Konzentrationsstärke der einzelnen Schadstoffe unterliegen standortgebundenen, zeitlichen und meteorologischen Faktoren. Zu orientierenden Vergleichszwecken lassen sich jedoch trotz dieser vorgegebenen Unterschiede beispielhaft die Immissionskonzentrationen einer „belasteten“ und einer „unbelasteten“ Atmosphäre gegenüberstellen (Tab. 3). Besonders an den Konzentrationsstärken des Schwefeldioxids, der Kohlenoxide und der Staubgehalte wird die starke Schadstofferrhöhung in verunreinigter Luft deutlich. Man erkennt ferner aber auch die relativ große Schwankungsbreite, innerhalb derer einzelne Spurenstoffe auftreten können.

Tabelle 3: Vergleich zwischen einer „unbelasteten“ und einer „belasteten“ Atmosphäre. Nach GEORGII 1963, verändert aus KUTTLER 1982.

Spurenstoff	unbelastet	belastet	Erhöhung um den Faktor
Staub	0,01 - 0,02 mg /m ³	0,07 - 0,7 mg /m ³	7 - 35
Schwefeldioxid	0,001 - 0,01 mg /m ³	0,05 - 5,2 mg /m ³	50 - 520
Kohlendioxid	310 - 330 ppm	350 - 700 ppm	1,1 - 2,1
Kohlenoxide	1 ppm	5 - 200 ppm	5 - 200
Stickoxide	0,001 - 0,01 ppm	0,01 - 0,1 ppm	10
Kohlenwasserstoffe (gesamt)	1 ppm	2 - 20 ppm	2 - 20

ppm = Abkürzung für parts per million (=Teile auf eine Million Teile); in der Chemie übliche Bezeichnung zur Angabe chemischer Bestandteile in Lösungen und Gasen

In der nachfolgenden Abbildungs- und Diaserie werden die Immissions- und Emissionssituationen an regionalen Beispielen sowohl großräumig als auch kleinräumig erläutert.

Ausgehend von der Darstellung der Mechanismen, die zu hohen Belastungen in der Atmosphäre führen, werden die zwei wichtigsten Smogarten charakterisiert. Ferner wird auf die jahreszeitlich unterschiedlich starke Belastung der bodennahen Atmosphären eingegangen. Anhand der Darstellung der Jahresmittelwerte für den Spurenstoff SO_2 wird verdeutlicht, daß es in den Industriegebieten in den vergangenen 15 Jahren zu signifikanten Abnahmen der Immissionsbelastung gekommen ist. Während sich dieser Trend für die Industriegebiete auf diese Weise nachweisen läßt, zeigen Meßstationen in unbelasteten Gebieten keinen eindeutigen Trend der Immissionsentwicklung auf. An einigen Stationen steigen die Konzentrationen an, an anderen dagegen stagnieren bzw. sinken die Immissionskonzentrationen. Darüber hinaus wird dargestellt, aus welchen Quellen die Spurenstoffe stammen, welche Staaten z.B. in Europa die meisten Emissionen freisetzen. Ferner wird das wichtige Problem diskutiert, in welcher Menge und woher die Spurenstoffe einzelnen Empfängerländern zugeführt werden.

- 1 autotroph = Ernährung bei Pflanzen, die ausschließlich durch anorganische Stoffe erfolgt.
- 2 Akzeptor = Empfänger, der Stoffe aufnimmt
- 3 aliphatisch = organische geradkettige Kohlenstoffverbindungen
- 4 allotrop = Eigenschaft eines chemischen Stoffes, in verschiedenen Modifikationen (= Erscheinungsformen) aufzutreten (z.B. O_3 , O_2)

Motivliste

- | | | |
|---------------|--|-------|
| Dia 1 | Blick auf die Dunstglocke des Ruhrgebietes während einer austauschschwachen Wetterlage | S. 11 |
| Dia 2 | Blick auf das tälererfüllende Nebelmeer im westlichen Sauerland während einer austausch-armen Wetterlage | S. 13 |
| Dia 3 | Beispiele für verschiedene Temperaturschichtungen der Atmosphäre sowie Beispiele für sehr stabile Temperaturschichtungen (Inversionen) | S. 15 |
| Dia 4 | Gegenüberstellung der charakteristischen Kennzeichen und Wirkungen von Ozon-Smog und Schwefeldioxid-Smog | S. 18 |
| Dia 5 | Monatsmittelwerte der SO ₂ -Immissionskonzentrationen an den Stationen Bochum und Bochum/Witten | S. 20 |
| Dia 6 | Jahresmittelwerte und Verlauf der SO ₂ -Immissionskonzentrationen im Rhein-Ruhr-Raum | S. 22 |
| Dia 7 | Gleitende Mittelwerte und Trendgeraden für den mittleren SO ₂ -Pegel an Reinluftstationen in der Bundesrepublik Deutschland | S. 25 |
| Dia 8 | SO ₂ -Jahresemission in der Bundesrepublik Deutschland (Mittelwerte) | S. 28 |
| Dia 9 | NO _x -Jahresemission in der Bundesrepublik Deutschland (Mittelwerte) | S. 29 |
| Dia 10 | SO ₂ -Emissionskataster für Europa | S. 30 |
| Dia 11 | Anteil der europäischen Staaten an der Schwefel-emission im Jahre 1978 | S. 32 |
| Dia 12 | Prozentualer Anteil der Schwefelemissionen europäischer Verursacherstaaten an der Gesamt-Jahresschwefelablagerung in den Empfänger-ländern | S. 34 |



Dia 1

Blick auf die Dunstglocke des Ruhrgebietes während einer austauschschwachen Wetterlage

Die Aufnahme wurde während einer über mehrere Tage anhaltenden austauscharmen Wetterlage (antizyklonale Südostlage) im Monat Dezember vom Ort Sassenscheid, westnordwestlich von Altena, in einer Höhe von 330 m ü. NN gemacht. Die Blickrichtung ist Westnordwest zum östlichen Teil des Ruhrgebietes.

Die über mehrere Tage anhaltenden Witterung war gekennzeichnet durch einen von Grönland nach Rußland reichenden Hochdruckkeil mit max. Luftdruckwerten von 1035 hPa⁵. Nordwestdeutschland lag an der Flanke eines über England und dem westlichen Mittelmeer ausgebildeten Tiefs. Es herrschten schwache bis mäßige südliche bis südwestliche Winde vor. Im Westen von Nordrhein-Westfalen war es unterschiedlich stark bewölkt; die Lufttemperaturen lagen wenig über 0°C. Insbesondere in den Tälern des Sauerlandes herrschte Nebel vor.

Auf der Aufnahme, die zur Mittagszeit gemacht wurde, sieht man deutlich die über dem östlichen Ruhrgebiet liegende dunkel-bräunlich gefärbte, mit Schadstoffen angefüllte Dunstglocke, die eine scharfe Grenze nach oben gegen den blauen Himmel bildet. Die Begrenzung der Dunstglocke wird durch eine Temperaturinversion verursacht, die als thermostabile Schicht ein über diese Begrenzung hinausgehendes Aufsteigen der in bodennahen Quellen freigesetzten Schadstoffe verhindert. Die Inversionshöhe liegt zwischen 400 und 500 m über Grund.

Einer Statistik über das Verhalten von Temperaturinversionen im Ruhrgebiet kann entnommen werden, daß im Winterhalbjahr im Durchschnitt mit niedrig gelegenen Inversionen zwischen 800 und 1000 m gerechnet werden muß (KUTTLER 1979a).

In der nachfolgenden Tabelle ist die mittlere monatliche Anzahl derjenigen Tage zusammengestellt, an denen Hochdruckeinfluß mit überwiegender Windschwäche und gleichzeitig bodennahe Temperaturinversionen vorherrschten, mithin zwei Faktoren, die in ganz wesentlichem Maße eine Verdünnung der Luftschadstoffe verhindern und eine austauscharme Wetterlage ausmachen. Die Benachteiligung der Wintermonate hinsichtlich des bodennahen Austauschverhaltens wird durch die höhere Zahl austauscharmer Tage im Vergleich zu den Sommermonaten deutlich.

Mittlere Anzahl der Tage unter Hochdruckeinfluß mit gleichzeitigem Auftreten von Temperaturinversionen im Ruhrgebiet (KUTTLER 1984a):

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
6	5	4	1	1	2	2	3	4	8.5	6	9.5

5 1 hPa (Hektopascal) = 1 mbar



Dia 2

Blick auf das tälernerfüllende Nebelmeer im westlichen Sauerland während einer austauscharmen Wetterlage

Die Aufnahme entstand während einer antizyklonalen Wetterlage mit hohem Druck über dem Nordmeer. Der Aufnahmestandort ist der Kahle Asten, 853 m ü. NN, die Blickrichtung ist West. Nach dem monatlichen Witterungsbericht vom Dezember 1976 (S. 141) (DWD Nr. 12, 1976) "... baute sich eine Zone hohen Luftdrucks auf, die sich von einem Hoch über dem Nordmeer bis nach Südosteuropa erstreckte. Die ruhige und nebelreiche Witterung hielt daher weiterhin an. Es war unterhalb einer flachen Inversionsschicht meist bedeckt oder neblig trüb. Auf den Bergen und gelegentlich auch in Niederungen ... gab es jedoch länger anhaltenden Sonnenschein". Deutlich sind auf der Aufnahme die nebelerfüllten Täler und Niederungen zu erkennen; allein die Bergkuppen ragen aus dem Nebelmeer hervor, das nach oben durch eine Temperaturinversion begrenzt wird. Über dem Nebel und der Inversion herrscht klare Luft mit guter Sicht vor.

Die Abgase und der durch die Kondensation sichtbar gewordene Wasserdampf eines einzelnen Schornsteines im Hintergrund des Bildes durchstossen um einige Höhenmeter die nach oben begrenzte Nebeldecke. Es bilden sich an der Inversionsgrenze kleine „anthropogene“ Haufenwolken („Aufsitzer“). Die Aufnahme verdeutlicht im Einzelfall einen Sachverhalt, der bei austauschschwachen Wetterlagen in reliefiertem Gebiet häufig zu beobachten ist: Die Täler sind, insbesondere in den nebelreichen Übergangsjahreszeiten mit einer bodennah durch Abgase verschmutzten Luftschicht erfüllt, die in einer Höhe von 400-600 m durch eine Temperaturinversion von der

darüberliegenden, meist um mehrere Kelvin⁶ wärmeren und sehr sauberen Luftschicht getrennt ist. Dieser sogenannte Zweischichtcharakter der Witterung (unten kalt und luftverschmutzt, oben relativ wärmer und sehr sauber), der austauscharmes Wetter charakterisiert, kann bei länger anhaltenden Perioden für Erholungszwecke genutzt werden, indem die über den Inversionen liegenden Gebiete (Bergkuppen und Plateaus) aufgesucht werden. Für das Gebiet des östlichen und westlichen Sauerlandes existiert hierüber eine Karte, in der diese „potentiellen wetterlagenabhängigen Erholungsräume“ eingezeichnet sind (KUTTLER 1979 a).

6 Kelvin = Temperaturdifferenzen werden in Kelvin (K) angegeben; 1 K = 1°C

Dia 3

Beispiele für verschiedene Temperaturschichtungen der Atmosphäre sowie Beispiele für sehr stabile Temperaturschichtungen (Inversionen)

Die obere der beiden Abbildungen zeigt vier verschiedene Beispiele für Temperaturschichtungen der Atmosphäre, die in ihren Auswirkungen auf das bodennahe Austauschverhalten der Luftschichten erklärt werden sollen. Dazu stelle man sich in einer bestimmten Höhe über Grund ein abgeschlossenes kleines Luftvolumen (Luftpaket oder Luftblase) vor, das mit seiner Umgebung keine Energie austauscht, d.h. keine Wärme nach außen abgibt und auch keine von außen aufnimmt. Ein solches System, bei dem kein Energieaustausch mit der Umgebung stattfindet, nennt man ein adiabatisches System.

Weiter wird vorausgesetzt, daß in diesem Luftpaket kein Wasserdampf kondensiert, was die zu betrachtenden Verhältnisse verändern würde.

Nun stelle man sich zusätzlich vor, daß dieses Luftpaket, das in einer Höhe von beispielsweise 300 m ü. Grund liegen und eine Temperatur von 4° C besitzen soll, um 100 m aufwärts bewegt wird, also auf eine Höhe von 400 m ü. Grund. Diese Aufwärtsbewegung hat zur Folge, daß das nicht mit seiner Umgebung im Energieaustausch stehende Luftpaket unter geringeren Druck kommt. Das Luftpaket dehnt sich dadurch auf ein größeres Volumen aus; das kostet Energie, die aus dem Energiegehalt (der inneren Energie) des Luftvolumens genommen wird. Durch den Verbrauch von (Wärme-) Energie sinkt die Lufttemperatur des Paketes ab, und zwar auf 3° C. Durch die Hebung um 100 m hat die Temperatur somit um 1K (Kelvin) abgenommen.

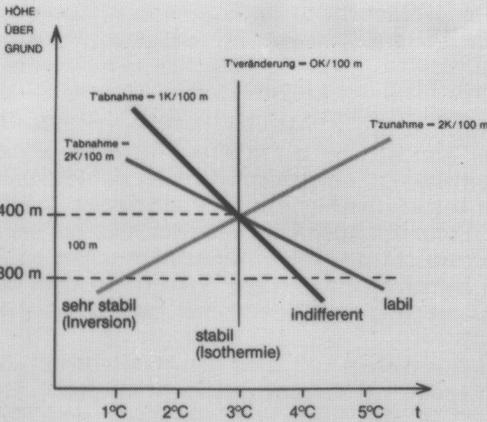
Würde man das Luftpaket umgekehrt von 400 m Höhe auf 300 m herunterbewegen, stiege die Temperatur um 1K, da der Luftdruck zunimmt (Kompressionserwärmung). Diese Temperaturänderung von 1K pro 100 m bei Vertikalbewegungen von Luftvolumina in der Atmosphäre ist eine meteorologische Konstante und wird „trockenadiabatischer Temperaturgradient“ ($= \gamma$) genannt. Die Kurve, bzw. die Gerade, die man mit dem trockenadiabatischen Temperaturgradienten beschreiben kann, wird auch „Hebungskurve“ genannt. Die realen Temperaturverhältnisse in der Atmosphäre werden dagegen durch die sogenannte „Schichtungskurve“ wiedergegeben.

Nun sollen einmal die in der Atmosphäre vorherrschenden Schichtungsverhältnisse an zwei Beispielen näher betrachtet werden, und zwar einerseits für den Fall einer Temperaturabnahme, die größer ist als der trockenadiabatische Temperaturgradient (nämlich 2K/100 m = labile Schichtung), andererseits für eine Temperaturabnahme, die kleiner ist als der trockenadiabatische Temperaturgradient (nämlich zwischen 0K und 1K/100 m = stabile Schichtung).

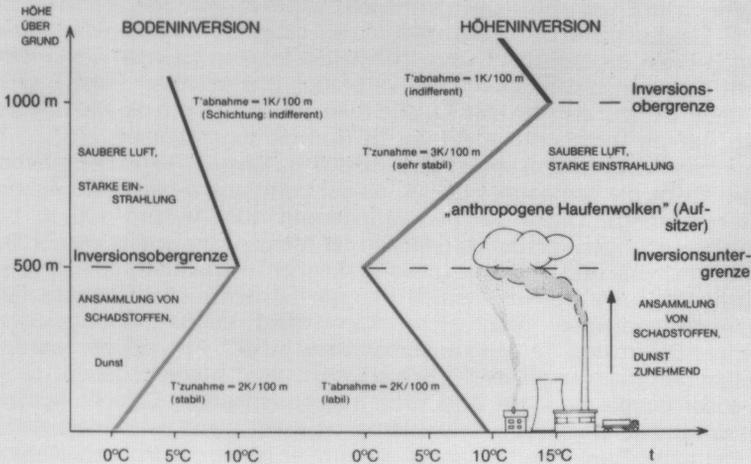
Würde man das vorgenannte Luftpaket in einer labil geschichteten Atmosphäre von seiner Ruhelage aus anheben, dann wäre dieses Luftpaket in jeder Höhe wärmer als seine Umgebung, und es stiege auf.

Wird dagegen ein Luftpaket in einer stabilen Atmosphäre aus seiner Ruhelage nach oben bewegt, so gelangt es in eine Umgebung, die wärmer ist als

Beispiele für verschiedene Temperaturschichtungen der Atmosphäre



Beispiele für sehr stabile Temperaturschichtungen (Inversionen)



das gehobene Luftpaket. Die Folge ist, daß das Luftpaket wieder absinkt, und zwar soweit, bis es seine Ruhelage (Schnittpunkt aller Geraden in der oberen Abbildung) erneut erreicht hat.

Im umgekehrten Fall - bei Absenkung des Luftpaketes in einer stabil geschichteten Atmosphäre - ist dieses Luftpaket wärmer als seine Umgebung, und es steigt solange auf, bis es sein Ursprungsniveau wieder erreicht hat. Das bedeutet, daß in der Atmosphäre Temperaturverhältnisse vorherr-

schen, die Vertikalbewegungen behindern, bzw. gänzlich unterbinden: Die Atmosphäre ist trockenstabil geschichtet. Das wird in der oberen Abbildung dargestellt sowohl durch die Isothermie, bei der keine Temperaturabnahme mit der Höhe erfolgt, als auch durch die Inversion, bei der die Lufttemperatur mit zunehmender Höhe sogar zunimmt. Letztgenannter Fall bedeutet natürlich eine extreme Austauschbehinderung für aufsteigende Luftbewegungen. Inversionen stellen somit thermostabile Sperrschichten in der Atmosphäre dar, die ganz wesentlichen Einfluß auf die Ansammlung von Schadstoffen nehmen, wie es der untere Teil der Abbildung mit den beiden Beispielen für sehr stabile Temperaturschichtungen zeigt. Auf der linken Seite ist der Fall einer am Boden beginnenden Inversion (= Bodeninversion) dargestellt, wie sie etwa entsteht, wenn der Boden nachts schneller abkühlt als die auf ihm liegende Luft; auf der rechten Seite der für eine in der Höhe beginnenden Inversion (= Höheninversion). Letztgenannte Inversion entsteht z.B. im Bereich absteigender Luft in einem Hochdruckgebiet.

Im Fall der Bodeninversion sammeln sich die Schadstoffe in der Inversion an; oberhalb der Inversionsobergrenze herrscht dagegen saubere Luft mit vergleichsweise starker Einstrahlung vor. Im Fall der Höheninversion nimmt dagegen die Lufttemperatur in den unteren 500 m von 10 °C auf 0 °C ab; es herrschen also labile Schichtungsverhältnisse vor. Von der Inversionsuntergrenze in 500 m Höhe steigt die Temperatur bis zum Erreichen der Inversionsobergrenze in 1000 m auf 15 °C an; die Schichtung der Temperatur ist mit einem Temperaturgradienten von 3K/100m sehr stabil. Die in den unteren Mischungsraum (Raum zwischen Boden und Inversionsuntergrenze) emittierten Schadstoffe können die Inversion nicht durchdringen. Allenfalls relativ warme Abgase mit genügend großem Auftrieb (aus hohen Schornsteinen z.B.) können die Inversionsuntergrenze durchstoßen und in die Inversion eindringen. Aufgrund der mit der Höhe ansteigenden Umgebungslufttemperaturen erlahmt aber der Schadstoffauftrieb nach einiger Zeit, und es bilden sich vielleicht „Haufenwolken“, deren Ursprung anthropogen ist.

Herrschen solche Schichtungsverhältnisse der Atmosphäre über einen längeren Zeitraum über Industriegebieten vor, können bei gleichzeitig auftretender Windschwäche relativ hohe Schadstoffkonzentrationen in der Atmosphäre erreicht werden.

LITERATUR:

LILJEQUIST & CEHAK (1984)

HÄCKEL (1985)

Gegenüberstellung der charakteristischen Kennzeichen und Wirkungen von Los Angeles-Smog und London-Smog

Kennzeichen/Wirkung	Los Angeles-Smog (Ozon-Smog)	London-Smog (Schwefeldioxid-Smog)
Lufttemperatur	25°C bis 35°C	-3°C bis + 5°C
relative Luftfeuchte	unter 70%	über 80%
Windgeschwindigkeit	unter 2 m/sec	unter 2 m/sec
Sicht	800 m bis 1600 m	0 m bis 30 m
notwendige Strahlungsbedingungen	Erhöhung der UV-Strahlung ($\lambda \leq 400 \text{ nm}$)	nicht notwendig einflußnehmend
Inversionstyp	Absinkinversion	Boden- / Absinkinversion
häufigstes Auftreten	Sommer - Frühherbst (Juli - Oktober)	Winter (November - Januar)
Schadstoffindikatoren	Ozon (Stickoxide, Kohlenwasserstoffe)	Schwefeldioxid und Umwandlungsprodukte, Ruß
Bildung vorwiegend durch Verbrennen von	Öl und Benzin	Kohle und Ölprodukten
Entstehung	innerhalb kurzer Zeit in der Luft durch photoinduzierte Reaktionen	in den Verbrennungsräumen der Emittenten
Art der Luftverunreinigung	überwiegend gasförmig	partikelgebunden und gasförmig
Erreichen der maximalen Konzentrationen	sommerlicher, mittäglicher Sonnenhöchststand (Sommersmog)	morgens und abends im Winter (Wintersmog)
Wirkt chemisch	oxidativ	reduktiv
Wirkung auf Mensch, Pflanze und Materialien	Bindehautreizung; Ozonflecken bzw. Blattpigmentschäden; Gummierzersetzung	Reizung der Atemorgane; Schädigung von Nadelbäumen; Zersetzung von Sandstein

Dia 4

Gegenüberstellung der charakteristischen Kennzeichen und Wirkungen von Ozon-Smog und Schwefeldioxid-Smog

Das Kunstwort „Smog“ besteht aus den englischen Begriffen smoke (Rauch) und fog (natürlicher Nebel). Von der Entstehung und Zusammensetzung her lassen sich zwei Smogtypen unterscheiden: der SO_2 -Smog (London-Typ) und der O_3 -Smog (Los Angeles-Typ). Beide Smogtypen sind schon lange nicht mehr ausschließlich auf die beiden ursprünglich namensgebenden Stadtgebiete beschränkt, sondern lassen sich mittlerweile weltweit bei Erfüllung bestimmter meteorologischer Voraussetzungen in vielen industriellen Ballungsgebieten nachweisen.

Ozon-Smog

Die Entstehungsursachen dieses photochemischen Smogs sind im wesentlichen in dem hohen Ausstoß der bei der Verbrennung von Erdöl und seinen Derivaten freigesetzten Abgase zu sehen.

Emittenten dieser an den Verbrauch von Erdöl gebundenen Luftverunreinigungen sind in erster Linie Kraftfahrzeuge sowie petrochemische Betriebe und Müllverbrennungsanlagen.

Neben Kohlenwasserstoffen und oxidierenden Verbindungen sind an der Zusammensetzung dieser Luftverunreinigungen im wesentlichen Stickstoffoxide beteiligt, aus denen sich durch Reaktion mit dem Luftsauerstoff Stickstoffoxide bilden.

Bei intensiver Sonnenstrahlung führt das hohe Absorptionsvermögen der Stickstoffdioxide im Bereich des photochemisch wirksamen Teils des Sonnenspektrums ($\lambda = 290 - 400 \text{ nm}$) zur Spaltung der Moleküle. Der bei diesem Vorgang neben dem Stickstoffmonoxid freiwerdende atomare Sauerstoff reagiert innerhalb kürzester Zeit mit dem Luftsauerstoff, wobei chemisch aggressives Ozon (O_3) entsteht.

Die hohe Konzentration des Ozons und der Grad seiner Beteiligung an diesem Smogtyp, der darüber hinaus aus zahlreichen anderen chemischen Verbindungen besteht, führte dazu, daß Ozon als Indikator dieses Smogs verwendet wird. Da der Sonnenstrahlung ein wesentlicher Einfluß bei der Smogbildung zukommt, findet auch der für diesen Smogtyp synonym gebrauchte Begriff „photochemischer Smog“ Verwendung. Ausgeprägte Jahresgänge der Ozonkonzentrationen mit Maxima in den Sommermonaten und Minima in den Wintermonaten sind charakteristisch hierfür.

Schwefeldioxid-Smog

Der SO_2 -Smog tritt im wesentlichen als feuchter, schwefelsaurer Smog in Erscheinung und zeichnet sich neben verschiedenen anderen charakteristischen Kennzeichen und Auswirkungen insbesondere dadurch aus, daß sich die an Abgasen und Kondensationskernen reiche Luft mit natürlichem Nebel vermischt und neben außerordentlich starken Sichtminderungen hohe Gesundheitsgefährdungen unter der Bevölkerung hervorrufen kann. Die gasförmigen und partikelgebundenen Immissionen entstehen hauptsächlich aus den bei der Verbrennung von Kohle freiwerdenden Schadstoffen. Hierunter fallen insbesondere Schwefeldioxid, Rauch und Ruß. Da in diesem Zusammenhang das Schwefeldioxid neben zahlreichen anderen - auch wichtigen - Immissionen in einer relativ hohen Konzentrationsbeteiligung auftritt, wurde es als Leitgas, also als Indikator für diesen Smogtyp verwendet.

Verantwortlich für die maximalen Schadstoffkonzentrationen in heizungsintensiven Winterhalbjahren ist ein verstärkter Ausstoß an Schadstoffen bei gleichzeitigem Vorherrschen austauscharmer Witterungsabschnitte. Da hierdurch ein Übermaß an Konzentrationskernen dem städtischen Luftraum zur Verfügung gestellt wird, läßt sich eine Nebelbildung nicht erst bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von nahezu 100%, sondern schon bei 85% oder 90% beobachten.

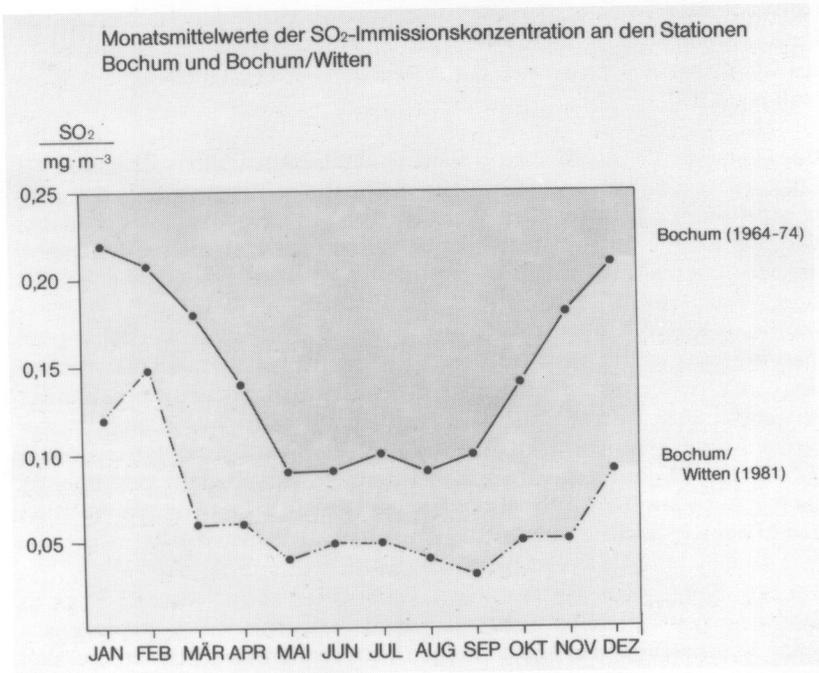
LITERATUR:

BECKER (1971)

BRASSER et al. (1977)

KUTTLER (1979 b)

McCORMACK (1971)



Dia 5

Monatsmittelwerte der SO₂-Immissionskonzentrationen an den Stationen Bochum und Bochum/Witten

Die Monatsmittelwerte der SO₂-Immissionskonzentrationen weisen an Meßstellen in industriellen Ballungsgebieten einen typischen Jahresverlauf auf: Hohe Werte in den heizungsintensiven Winterhalbjahren, wesentlich niedrigere Werte in den Sommerhalbjahren. Die Auswertung der Meßwerte an der Station Bochum bzw. Bochum/Witten wurde sowohl für den Zeitraum 1964-1974 durchgeführt als auch für das Jahr 1981.

Während für den Zeitraum 1964-1974 für das Winterhalbjahr (Oktober bis März) ein Mittelwert von 0,261 mg SO₂/m³ Luft = 216 µg/m³ berechnet wurde, ergaben sich für das Sommerhalbjahr (April bis September) nur 0,110 mg SO₂/m³ Luft = 110 µg/m³. Die in den Wintermonaten im Vergleich zum Sommer auftretenden höheren SO₂-Konzentrationen können verschiedene Ursachen haben; einerseits sorgen die vielen bodennahen „SO₂-Quellen“ der Haushalte (= Einzelfeuerungen) für einen sich nach der Höhe der Außentemperatur richtenden Heizöl-, Gas- bzw. Kohleverbrauch,

wodurch der bodennahen Atmosphäre mit dem Abgasstrom SO_2 zugeführt wird; andererseits treten in den Winterhalbjahren bevorzugt Wetterlagen auf, die zu einer ausgesprochenen Austauscharmut neigen. Austauscharme Wetterlagen sind dadurch charakterisiert, daß weder ein nennenswerter horizontaler Austausch noch ein vertikaler für eine Verdünnung der bodennah emittierten Schadstoffe sorgt. Die Voraussetzung und die Erhaltungsneigung einer austauscharmen Wetterlage, die über mehrere Tage lang vorherrscht, sind an das Auftreten umfangreicher Hochdruckgebiete gebunden (vgl. auch Text und Tabelle zu Dia 1). Diese zeichnen sich aus durch Gradientenschwäche (geringe bis fehlende Windgeschwindigkeit) und durch meist in wenigen hundert Metern über dem Boden auftretende Inversionen, die als thermische Sperrschichten den vertikalen Austausch stark behindern.

In den Sommermonaten treten zwar auch austauscharme Wetterlagen auf, doch fällt die Schadstoffansammlung an SO_2 wegen des fehlenden Hausbrandes natürlich wesentlich geringer aus. Die zweite Kurve (Bochum /Witten) spiegelt die Monatsmittelwerte des Jahres 1981 wider; dieser Jahresgang ist im Vergleich zu dem soeben geschilderten etwas weniger stark ausgeprägt (die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten sind nicht so deutlich). Darüber hinaus fällt auf, daß die Immissionskonzentrationen erheblich geringer sind als im Zeitraum 1964 - 1974. 1981 betrug der Mittelwert für das Winterhalbjahr $0,086 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, der für das Sommerhalbjahr $0,045 \text{ mg}/\text{m}^3$.

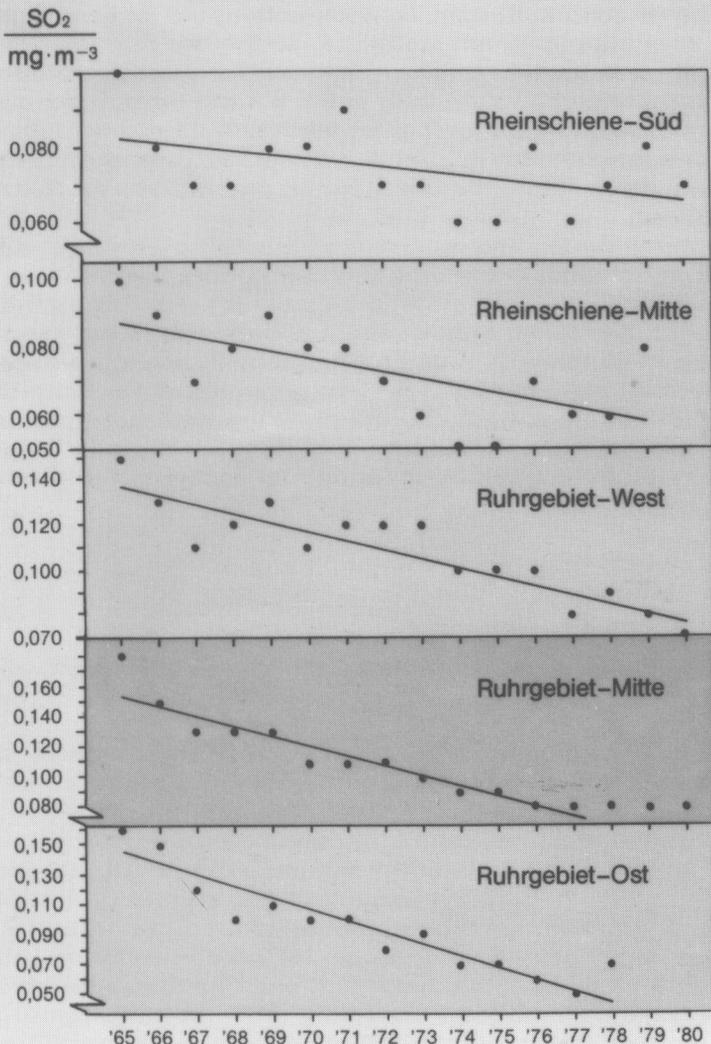
LITERATUR:

KÖHLER & FLECK (1969)

KUTTLER (1984 c)

KUTTLER (1986)

Jahresmittelwerte und Verlauf der SO₂-Immissionskonzentration im Rhein-Ruhr-Raum



Dia 6

Jahresmittelwerte und Verlauf der SO₂-Immissionskonzentrationen im Rhein-Ruhr-Raum

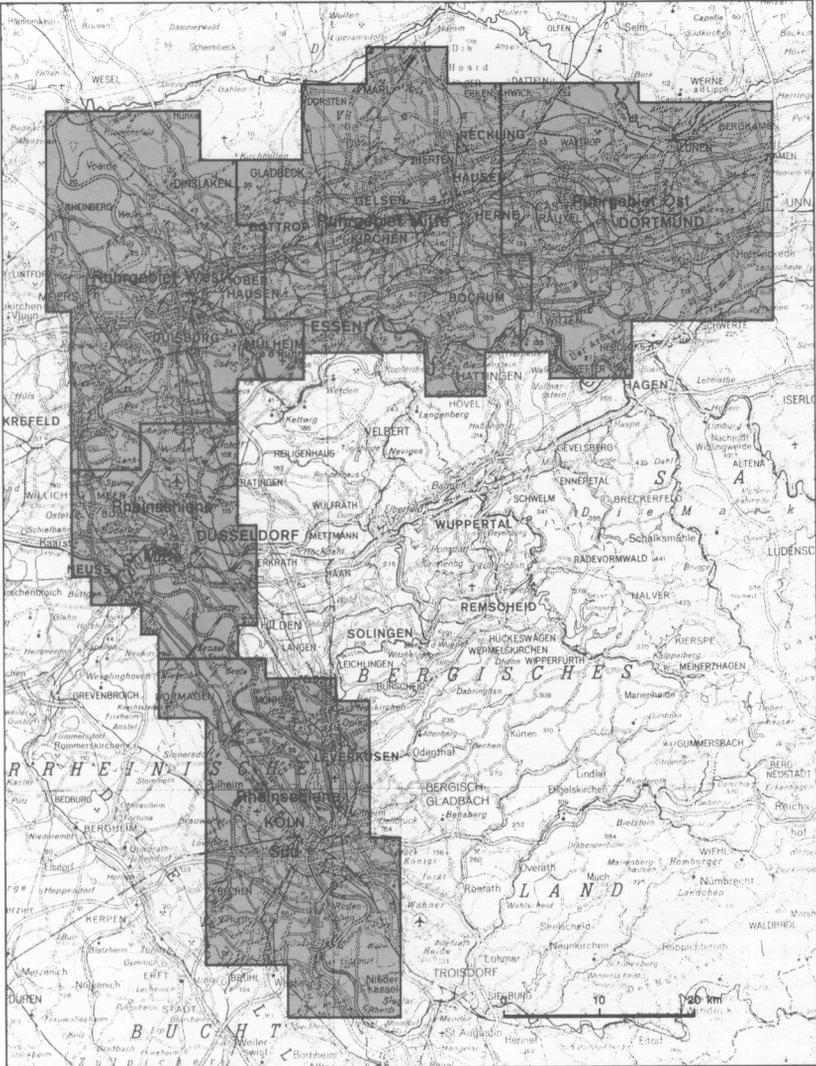
Der Rhein-Ruhr-Raum ist unter lufthygienischen Gesichtspunkten in fünf unterschiedlich große Belastungsgebiete aufgeteilt worden, die in untenstehender Karte eingezeichnet wurden. In diesen Belastungsgebieten sind seit mehreren Jahren zahlreiche Meßstellen zur Überprüfung der Luftqualität eingerichtet worden. Nach den Luftreinhalteplänen gemäß §47 des Bundesimmissionsschutzgesetzes, aufgestellt vom Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW „...sollen Belastungsgebiete dann festgesetzt werden, wenn in einem Gebiet von mind. 48 km² Größe

- der Immissionsgrenzwert für einen Schadstoff überschritten ist,
- für zwei Schadstoffe jeweils 90% der Immissionsgrenzwerte erreicht werden oder
- die Summe der Verhältniszahlen aus Immissionsbelastung und zugehörigem Immissionsgrenzwert für drei oder vier Schadstoffe mit den höchsten Verhältniszahlen den Wert 2 überschreitet oder
- schädliche Umwelteinwirkungen bereits manifest oder zu befürchten sind“.

Neben verschiedenen anderen Spurenstoffen werden insbesondere die Immissionskonzentrationen des Schwefeldioxids kontinuierlich gemessen. Aus diesen für kurze Zeiträume bestimmten Werten wurden Jahresmittelwerte berechnet, die seit 1965 verfügbar sind. In allen Belastungsgebieten sind nach vorliegenden Werten, für die Trendgerade berechnet wurden, die SO₂-Immissions-Konzentrationen deutlich zurückgegangen. Am stärksten nahmen die Konzentrationen dieses Spurenstoffes im Belastungsgebiet Ruhrgebiet-Ost ab, und zwar um 4,1% /Jahr bezogen auf den Wert für 1965; die geringste Abnahme wurde für das Belastungsgebiet Rheinschiene-Süd mit 1,2% /Jahr ermittelt. Die Ursachen der mehr oder weniger starken kontinuierlichen Abnahmen der SO₂-Immissionsbelastungen sind in verschiedenen Bereichen zu suchen. Einerseits kann die Zufuhr von SO₂ in die Atmosphäre durch mehr oder weniger kalte Winter und das daran gekoppelte Heizverhalten der Bevölkerung gesteuert werden, andererseits kann aufgrund des Einsatzes von Fernwärme kraftwerken die durch den Hausbrand verursachte bodennahe SO₂-Emission verhindert werden. Darüber hinaus trägt der Einbau von Filtern und der Bau höherer Schornsteine zu einer Entlastung der Immissionssituation in Industriegebieten bei.

LITERATUR:

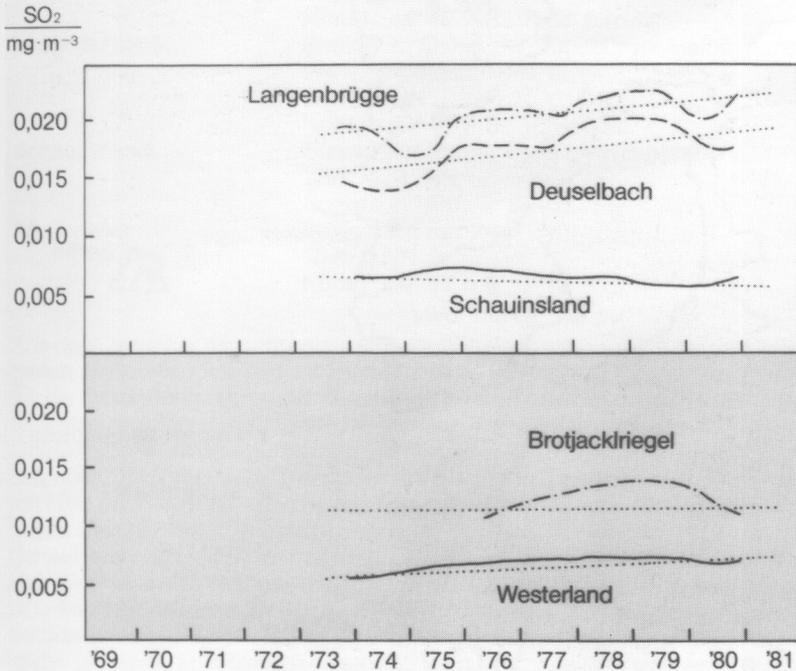
- BUCK et al. (1982)
LIS (1984)



Quelle : Luftreinhalteplan Rheinschiene Süd (Köln) 1977 - 1981.
Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales
des Landes NRW (Hrsg.) 1976

(aus KUTTLER, 1979 a)

Gleitende Mittelwerte und Trendgeraden für den mittleren SO_2 -Pegel an
Reinluftstationen in der Bundesrepublik Deutschland



Dia 7

Gleitende Mittelwerte und Trendgeraden für den mittleren SO_2 -Pegel an
Reinluftstationen in der Bundesrepublik Deutschland

In der Bundesrepublik Deutschland existieren seit mehreren Jahren in unbelasteten Gebieten Meßstellen zur fortlaufenden Registrierung verschiedener Spurenstoffe, die in der Atmosphäre enthalten sind, u.a. auch zur Ermittlung der SO_2 -Immissionskonzentrationen. Diese Stationen werden vom Umweltbundesamt (UBA) betrieben und liegen meist weitab von Industriegebieten und größeren Städten, um von diesen unbeeinflusst die Hintergrundkonzentrationen (= „background“-Konzentrationen) zu erfassen. Nähere Angaben zu den Stationen enthält die nachfolgende tabellarische Auflistung. Die Karte zeigt die geographische Lage (nach UBA 1982):



Lage der Meßstellen in Reinluftgebieten in der Bundesrepublik Deutschland
(Betreiber: Umweltbundesamt, Berlin)

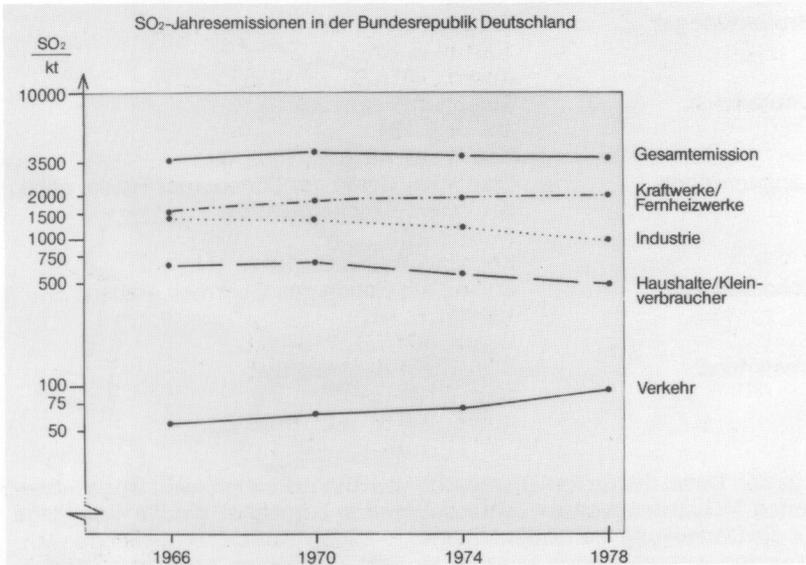
Brotjacklriegel:	Bergstation im Bayerischen Wald 1061 m ü. NN Koord.: 48° n.B., 13° 13' ö.L.
Deuselbach:	Station im Hunsrück 480 m ü. NN Koord.: 49° 46' n.B., 7° 03' ö.L.
Langenbrügge:	Station im Osten der Lüneburger Heide, nahe der innerdeutschen Grenze 74 m ü. NN Koord.: 52° 48' n.B., 10° 45' ö.L.
Schauinsland:	Station am Rande des Oberrheingrabens 1205 m. ü. NN Koord.: 47° n.B., 7° 54' ö.L.
Westerland:	Station auf der Insel Sylt 10 m ü. NN Koord.: 54° 55' n.B., 8° 18' ö.L.

Aus den Daten der für lufthygienische Verhältnisse schon recht lange betriebenen Meßstellen wurden Jahresmittelwerte berechnet, die die Grundlage für die Darstellung gleitender Mittelwerte bilden. Aus diesen gleitenden Mittelwerten wurden jeweils über 24 Monate Trendlinien berechnet (=dicke Linien in der Abbildung), die eine Glättung der Jahresverläufe verursachen. Um noch deutlicher eine Tendaussage machen zu können, wurden ferner mit Hilfe der Regressionsrechnung Trendgerade bestimmt, die als punktierte Linien eingezeichnet wurden.

Schaut man sich diese Trendgerade einmal an, dann kann man erkennen, daß die Stationen in Langenbrügge und in Deuselbach deutlich ansteigende SO_2 -Immissionskonzentrationen seit 1973 aufweisen. An der hochgelegenen Station im Bayerischen Wald (Brotjacklriegel) sind gleichbleibende bzw. leicht sinkende Immissionskonzentrationen festzustellen, während an der Küstenstation Westerland auf Sylt ein leichter Anstieg der SO_2 -Belastung ermittelt wurde.

Diese Meßergebnisse zeigen, daß die Immissionsbelastung auch in sog. Reinluftgebieten fernab größerer Quellen sehr heterogen sein kann. Eine Ursachenanalyse ergab, daß die höheren Konzentrationen in Langenbrügge und Deuselbach auf verstärkt auftretende Spitzenbelastungen in den Winterhalbjahren zurückzuführen sind. An den anderen Stationen war das nicht so deutlich zu erkennen. Als Ursache für die erhöhten Spitzenpegel können verstärkte Ferntransporte von Schadstoffen und ein häufigeres Auftreten austauscharmer Witterungsabschnitte genannt werden, die sich an der Küstenstation Westerland und insbesondere an den hochgelegenen, häufig die bodennahe Mischungsschicht durchstoßenden Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel nicht bzw. weniger stark ausgewirkt haben.

Im Vergleich zu den Meßergebnissen aus Industriegebieten (vgl. Text und Dia 6) zeigt die Immissionsbelastung in unbelasteten Gebieten keine eindeutigen Trends in den letzten Jahren.



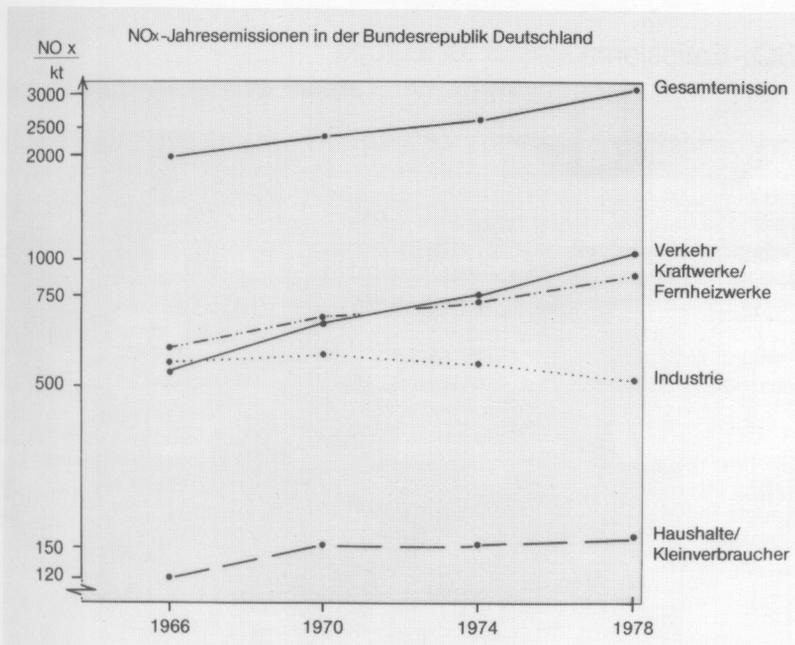
Dia 8

SO₂-Jahresemission in der Bundesrepublik Deutschland (Mittelwerte)

Die SO₂-Emissionen des Industrielandes Bundesrepublik Deutschland entstammen im wesentlichen vier Quellengruppen, die sich in der Reihenfolge abnehmender Anteile aus der Gruppe der Kraftwerke/Fernheizwerke, der Industrie, den Haushalten und kleingewerblichen Betrieben sowie dem Verkehr (straßen-, schienen- und wassergebunden) zusammensetzen.

Während sich die Gesamtemission an SO₂ im Zeitraum 1966 bis 1978 kaum veränderte (1978 wurde wieder der Stand von 1966 erreicht), lassen sich für die einzelnen Quellengruppen z.T. außerordentlich starke Verschiebungen erkennen. Die größte prozentuale Steigerung an SO₂-Emissionen weist die Sparte Verkehr auf. Diese Gruppe war im Jahre 1966 nur zu 1,5% an der Gesamtemission von SO₂ beteiligt; ihr Anteil stieg im Zeitraum 1966 bis 1978 vom 55.000 t auf 94.000 t, somit um 71% (bezogen auf den Ausgangswert im Jahre 1966) und kletterte damit auf 2,0% an der Gesamt-SO₂-Emission.

Auch bei der Gruppe Kraftwerke/Fernheizwerke läßt sich eine deutliche Zunahme ermitteln. Der Anteil an der Gesamtemission betrug 1966 44,2%, 1978 56%. Die relative Steigerung (im Vergleich zu 1966) belief sich auf 37%. Zurückgegangen ist hingegen der Anteil der SO₂-Emission von Haushalten und Kleinverbrauchern von 650.000 t auf 508.000 t; hier betrug die Reduktion 22%. Eine große prozentuale Abnahme ergibt sich für den Bereich Industrie, und zwar reduzierte sich der SO₂-Ausstoß von 1,41 Mio. t (1966 = 40%) auf 1 Mio. t im Jahre 1978 (= 28%); die Abnahme betrug somit 29%, bezogen auf den Ausgangswert von 1966.

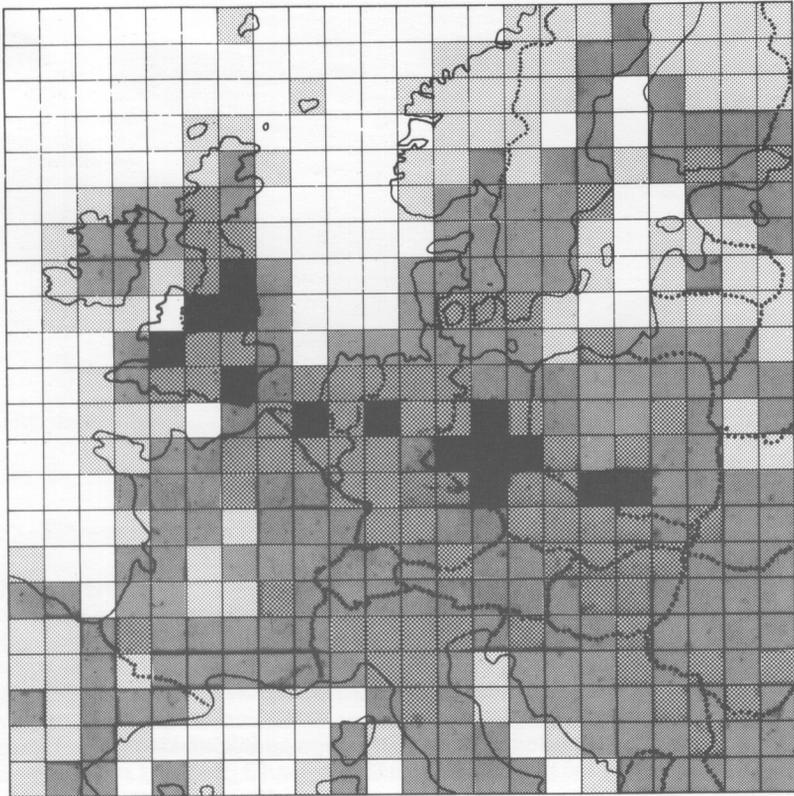


Dia 9

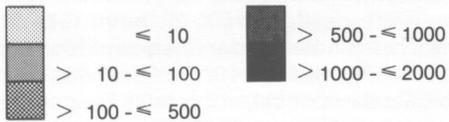
NO_x-Jahresemission in der Bundesrepublik Deutschland (Mittelwerte)

Im Gegensatz zur Emission an SO₂ ist diejenige an Stickoxiden (NO_x=NO u. NO₂) im Zeitraum 1966 bis 1978 von 1,978 Mio. t auf 3,094 Mio. t angestiegen. Bezogen auf den Ausgangswert des Jahres 1966 ergab sich somit eine Zunahme von 56% für den 13jährigen Meßzeitraum.

Von den vier Quellengruppen Kraftwerke/Fernheizwerke, Industrie, Haushalte/Kleinverbraucher und Verkehr wies letztgenannte im Jahre 1978 mit 1,321 Mio. t absolut gesehen den höchsten Anteil an der Gesamtemission auf. Vergleicht man die Jahreswerte 1966, 1970, 1974 und 1978 miteinander, dann verfügte die Gruppe Verkehr auch über die höchste prozentuale Steigerung, und zwar, bezogen auf den Wert des Jahres 1966, um 113%. Die zweitstärkste Zunahme verzeichnete die Gruppe Kraftwerke/Fernheizwerke (69%), die Haushalte/Kleinverbraucher steigerten ihre Emission um 36%. Bei der Industrie nahmen dagegen die NO_x-Emissionen von 588.000 t (1966) auf 509.000 t (1978), entsprechend 13% ab.

SO₂-Emissionskataster für Europa

in 1000 t/a



Dia 10

SO₂-Emissionskataster für Europa

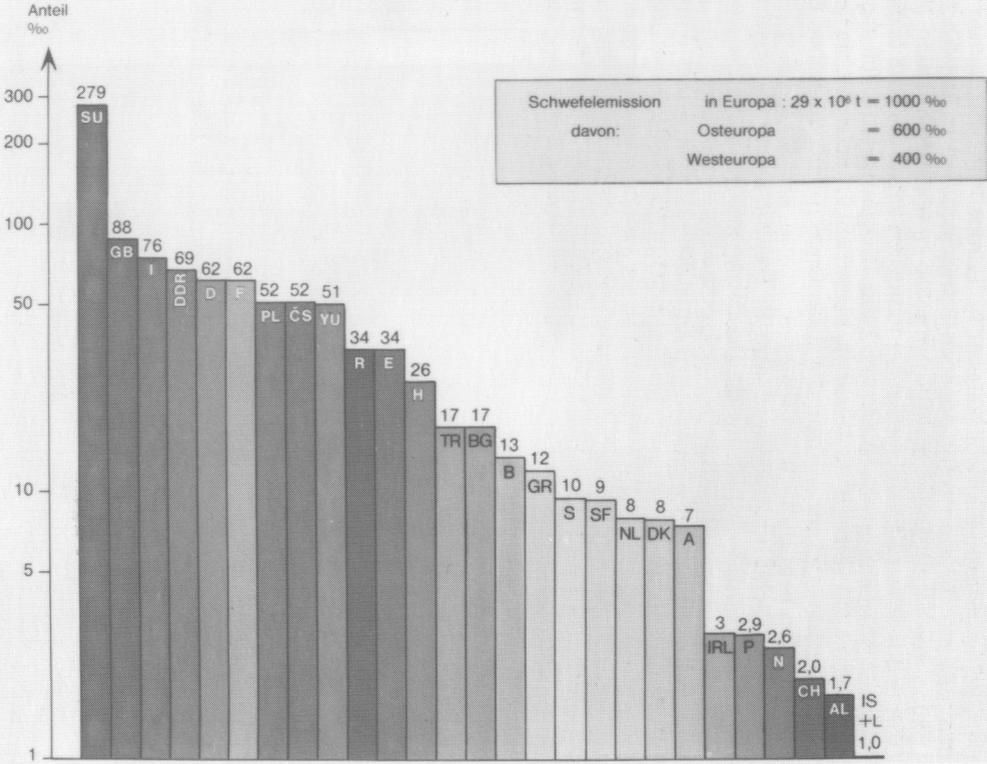
Dem Schwefeldioxid-Emissionskataster für Europa kann entnommen werden, daß die stärksten anthropogenen Schwefelquellen in Mittelengland, London, den Niederlanden und Belgien sowie im Rhein-Ruhr-Raum, in der DDR und in Polen (Industriegebiet bei Kattowitz) liegen und daß in diesen Gebieten jährlich zwischen 50000 t und 2 Mio. t SO₂ an die Außenluft abgegeben werden. Die vorliegende Abbildung basiert auf Erhebungen, die für das Jahr 1973 durchgeführt wurden. Die Seitenlänge der quadratischen Erhebungsflächen beträgt 127 km.

Das meiste Schwefeldioxid wird also in Ballungsräumen ausgestoßen. Ergänzend werden deshalb für die Bundesrepublik Deutschland die verschiedenen anthropogenen Schwefeldioxidquellen genannt.

Hier entstammt der große prozentuale Anteil den Kraftwerks- und Industriegebietsschlotten (insg. 84% = 2,94 Mio. t SO₂). Auf die Heizung und die Brauchwassererwärmung von Haushalten, Verwaltung und Gewerbe entfallen 14%, und der straßen-, schienen- und wassergebundene Verkehr steuert 2% oder 70.000 t zur gesamten Jahresemission bei. Dabei liegt der Schwefelgehalt der Abgase bei Dieselmotoren um den Faktor fünf höher als bei Ottomotoren.

LITERATUR:
OECD (1977)

Anteil der europäischen Staaten an der Schwefelemission im Jahre 1978



Dia 11

Anteil der europäischen Staaten an der Schwefelemission im Jahre 1978

In Europa wurden nach Messungen und Schätzungen im Jahre 1978 insgesamt rund 29 Mio. t Schwefel emittiert. Von diesen 29 Mio. t stammen 60% aus den Staaten des Ostblocks, 40% aus Westeuropa. Das Land, in dem die größten Schwefelmengen freigesetzt wurden, war der europäische Teil der Sowjetunion. Beinahe 28% der gesamten europäischen Schwefelemissionen (auf den logarithmischen Maßstab der Ordinate achten!) gelangten aus den russischen Ballungsräumen in die Atmosphäre.

Mit deutlichem Abstand und wesentlich niedrigeren Schwefelemissionen folgen in der Abstufung Großbritannien (8,8%), DDR (6,9%), Bundesrepublik Deutschland (6,2%) und Frankreich (6,2%).

Die geringsten Beiträge zum anthropogenen Schwefelbudget liefern Island und Luxemburg mit zusammen 0,1% an der Gesamtemissionsrate.

LITERATUR:

UBA (1982)

Prozentualer Anteil der Schwefelemissionen europäischer Verursacherstaaten an der Gesamt-Jahresschwefelablagerung in den Empfängerstaaten

VERURSACHERLAND	EMPFÄNGERLAND											GESAMTSCHWEFEL- ABLAGERUNG in kt S a ⁻¹
	A	N	NL	DK	S	ČSSR	PL	D	F	DDR	GB	
GB	1	21	23	15	8	1	2	6	14	3	92	314
DDR	10	10	5	10	7	29	25	13	3	59	1	-
F	3	4	10	4	2	1	1	11	58	2	2	199
D	16	10	23	15	7	6	5	50	9	19	2	117
PL	4	4	1	5	6	12	46	1	1	3	0	-
ČSSR	21	3	2	3	3	41	13	6	1	9	0	1.117
S	0	11	0	4	39	0	0	0	0	0	0	1.462
DK	0	9	0	37	17	0	1	1	0	1	0	1.530
NL	0	2	24	2	1	0	0	3	1	1	1	1.424
N	0	21	0	1	6	0	0	0	0	0	0	817
A	17	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	897

Dia 12

Prozentualer Anteil der Schwefelemissionen europäischer Verursacherstaaten an der Gesamt-Jahresschwefelablagerung in den Empfängerländern

Die Abbildung enthält Bilanzen des Spurenstoffs Schwefel für verschiedene europäische Staaten.

Auf der „Ordinate“ sind die Länder eingetragen, in denen der Schwefel freigesetzt wird (Verursacherländer), auf der „Abszisse“ diejenigen, in denen er abgelagert wird (Empfängerländer).

Lesebeispiele sollen die Tabelle erläutern helfen:

Einige Lesebeispiele sollen die Tabelle erläutern helfen:

In Großbritannien (auf der Abszisse rechts) werden rund 897 kt S/a (= 897.000 t S/a) abgelagert. 92% dieser Menge stammen aus den Ballungsgebieten des eigenen Landes, jeweils 1% werden aus der DDR und den Niederlanden herantransportiert, 2% aus Frankreich und der Bundesrepublik Deutschland (= 98%; die fehlenden Prozentpunkte wurden nicht ermittelt). Großbritannien ist somit hinsichtlich der Schwefelbilanz ein Gebiet, dessen innerhalb seiner Grenzen abgelagerter Schwefel fast ausschließlich im eigenen Land erzeugt wird.

In der Bundesrepublik Deutschland werden rund 1.600 kt S/a deponiert. 50% entstammen eigenen Quellen, 13% kommen aus der DDR, 11% aus Frankreich, 6% sowohl aus Großbritannien als auch aus der CSSR, 3% aus den Niederlanden und jeweils 1% aus Polen, Dänemark und Österreich.

Das zu Großbritannien hinsichtlich der Schwefelbilanz andere Extrem ist Österreich. Während 17% der hier insgesamt abgelagerten 314 kt S/a aus eigenen Schornsteinen stammen, erhält das Land insbesondere aus der CSSR 21%, aus der Bundesrepublik Deutschland 16%, aus der DDR 10%, aus Polen 4% und aus Frankreich 3%. Österreich ist somit ein Land, das den größten Teil des dort zur Ablagerung kommenden Schwefels importiert. Das trifft in etwas geringerem Maße auch für Norwegen zu, wo bis auf 21% Eigenbeteiligung der dort deponierte Schwefel aus anderen Ländern kommt.

LITERATUR:

KUTTLER (1984 b)

Quellenverzeichnis der Dia-Abbildungen

- Dia 1: KUTTLER, unveröff.
 Dia 2: KUTTLER, unveröff.
 Dia 3: KUTTLER, unveröff.
 Dia 4: KUTTLER (1979 b)
 Dia 5: KUTTLER (1984 c)
 Dia 6: KUTTLER (1983)
 Dia 7: UBA (1982)
 Dia 8: aus KUTTLER (1984 b), nach UBA (1981)
 Dia 9: KUTTLER, unveröff., Daten nach UBA (1981)
 Dia 10: aus OECD (1977)
 Dia 11: KUTTLER (1983), Daten nach UMWELT (1982)
 Dia 12: KUTTLER (1984 b), Daten nach UMWELT (1982)

LITERATURVERZEICHNIS

- BACH, W. (1982):** Gefahr für unser Klima, Karlsruhe
- BECKER, K.-H. (1971):** Physikalisch-chemische Probleme der Luftverunreinigung. - In: Chemie in unserer Zeit 5 (1), S. 9 - 18
- BLÜTHGEN, J. & W. WEISCHET (1980):** Allgemeine Klimageographie, Berlin, New York
- BRASSER, L.J.; R. GUICHERIT & C. HUYGEN (1977):** The occurrence of photochemical smog-formation in Western Europe. - In: VDI-Berichte, Düsseldorf, Nr. 270, S. 25 - 32
- BUCK, M.; H. IXFELD & K. ELLERMANN (1982):** Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region. In: LIS-Berichte (Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW., Essen) Nr. 18
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (1976):** Monatlicher Witterungsbericht Dezember 1975, Nr. 12
- HÄCKEL, H. (1985):** Meteorologie, Stuttgart
- ISRAEL, H. & G.W. ISRAEL (1973):** Spurenstoffe in der Atmosphäre, Stuttgart
- KÖHLER, A. & W. FLECK (1969):** Konzentration gasförmiger Luftverunreinigungen in belasteten und "reinen" Gebieten. - In: Staub-Reinhaltung der Luft 29, S. 499 - 503
- KUTTLER, W. (1979 a):** Einflußgrößen gesundheitsgefährdender Wetterlagen und deren bioklimatische Auswirkung auf potentielle Erholungsgebiete - dargestellt am Beispiel des Ruhrgebietes und des Sauerlandes. - Bochumer Geographische Arbeiten Heft 36
- KUTTLER, W. (1979 b):** London-Smog und Los Angeles-Smog. - In: Erdkunde, Bd. 33, Lfg. 3, S. 236 - 240
- KUTTLER, W. (1982):** Niederschlagswasseranalysen im Rahmen des Stauseeprojektes "Kemnade". - In: SCHREIBER, D. & K.-H. HOTTES:

Stausee Kemnade, Bochumer Geographische Arbeiten, Hefte 42, S. 24 - 66

- KUTTLER, W. (1983):** Neuere Ergebnisse zum Problem "Saure Niederschläge". Bericht über eine Internationale Tagung über "Acid Precipitation" in Lindau /Bodensee, vom 7. - 9.6. 1983.- In: Monatsberichte aus dem Meßnetz, Nr. 4/83, Umweltbundesamt, Berlin, Okt. 1983, S. 2 - 24
- KUTTLER, W. (1984 a):** Stadtklimatologische Untersuchungen in Lünen. - In: KUTTLER, W. & D. SCHREIBER: Stadt- und geländeklimatische Untersuchungen im südlichen Münsterland. In: Materialien zur Raumordnung, Geogr. Inst. Ruhr-Univ. Bochum, Bd. XXV, S. 15 - 76
- KUTTLER, W. (1984 b):** Spurenstoffe in der Atmosphäre-ihre Verteilung und regionale Ablagerung. - In: Geoökodynamik, Bd. 5, H. 1/2, S. 29 - 75
- KUTTLER, W. (1984 c):** Peripheral clean air areas near industrial regions during smog weather conditons - contribution to planning of industrial near by clean air areas. - In: Energy and Buildings, Vol. 7, No. 3, S. 181 - 194
- KUTTLER, W. (1986, im Druck):** Immissionsklimatologische Probleme und Entwicklungen im Rhein-Ruhr-Gebiet. - In: Der Raum Dortmund Entwicklung, Struktur und Planung im östl. Ruhrgebiet. - In: Spieker, Bd. 32
- LILJEQUIST, G. & K. CEHAK (1984):** Allgemeine Meteorologie, 3. Auflage, Braunschweig
- LIS (= Landesanstalt für Immissionsschutz; Hrsg.) (1984):** Fortschreibung des LIS-Berichtes Nr. 18 (1982) "Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region". - In: Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW, H. 61, S. 109 - 117, Essen
- Mc CORMACK, B.M. (1971):** Introduction of the Scientific Study of Atmospheric Pollution, Dordrecht
- OECD (1977):** The OECD programme on long-range transport of air pollution, OECD, Paris
- SCHREIBER, D. (1982):** Meteorologie - Klimatologie, 3. verb. Auflage, Bochum
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (1981):** Luftreinhalung '81-Entwicklungs-Stand-Tendenzen, Berlin
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (1982):** Großräumige Luftverunreinigungen in der Bundesrepublik Deutschland. Texte 33/82
- UMWELT (1982):** Informationen des Bundesministers des Innern zur Umweltplanung und zum Umweltschutz, Nr. 88
- VDI RDL (Verein Deutscher Ingenieure - Kommission Reinhaltung der Luft) (Hrsg.) (1983):** Säurehaltige Niederschläge - Entstehung und Wirkung auf terrestrische Ökosysteme, Düsseldorf