

Luftschadstoffe und Erholung

Thomas Littmann

Freizeitaktivitäten und Erholung in der Natur und im Freien stellen besonders hohe Anforderungen an die Luftqualität. Reine, trockene Luft besteht zu 78% Volumenanteilen aus Stickstoff, zu 21% aus Sauerstoff und zu 1% aus einigen natürlichen Spurengasen. Alle anderen partikel- und gasförmigen Beimengungen stellen Luftschadstoffe meist menschlichen Ursprungs dar und führen zur Beeinträchtigung des Erholungswertes von Landschaften und Freizeiteinrichtungen. Dieser Beitrag stellt die regionalen Unterschiede in der Belastung durch einige wichtige Luftschadstoffe in Deutschland vor und diskutiert die wesentlichen Ursachen und Hintergründe.

Beeinträchtigungen der Erholungsfunktion durch Luftschadstoffe

Die beeinträchtigenden Wirkungen der Luftschadstoffe beziehen sich neben den

wahrnehmbaren Belästigungen (z.B. Rauchwolken und Gerüche) auf die Schädigung der menschlichen Gesundheit, der Vegetation und von Materialien. Schwebstaub als partikelförmige Luftbeimengung wird je nach Korngröße in verschiedenen Teilen des menschlichen Atemtraktes deponiert, wobei Feinstäube ($> 2 \mu\text{m}$) irreversibel in die Lunge gelangen. Gasförmige Schadstoffe wirken als Reizgase und werden je nach Wasserlöslichkeit im oberen Atemtrakt oder ebenfalls in der Lunge (insbesondere Ozon) deponiert. Schwefeldioxid (SO_2) wirkt bei wiederholter Exposition und hohen Konzentrationen stark reizend, wobei ein besonderes Risiko chronischer Atemwegserkrankungen gegeben ist, wenn es an lungengängige Feinstäube adsorbiert ist und im Atemtrakt schweflige Säure gebildet wird. Stickstoffoxide (NO_x), insbesondere Stickstoffdioxid (NO_2), führten neben Geruchsbelästigungen zu einer

erhöhten Anfälligkeit gegenüber Atemwegsinfekten und das Ozon (O_3) darüber hinaus durch die Oxidation von Proteinen und anderen körpereigenen Stoffen zu Beeinträchtigungen der Lungenfunktion.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt sind Grenzwerte für die Immissionsbelastung durch einige wichtige Schadstoffe verbindlich. Da allerdings die Wirkung der Schadstoffe zumeist auf dem wiederholten Auftreten von Belastungsspitzen beruht, ist die Beurteilung der Immissionssituation in einem Gebiet auf der Basis von Jahresmittelwerten (TA Luft) oder anderen Zeitmitteln mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.

Auch die Vegetation kann durch Luftschadstoffe nachhaltig geschädigt werden. Die Wirkungen von Schadgasen auf die Laub- und Nadelwaldbestände in Deutschland sind im Zusammenhang der neuartigen Waldschäden, die

insbesondere die Hochlagen der Mittelgebirge betreffen, intensiv diskutiert worden. Alle Schadgase werden von den Pflanzen beim Gaswechsel aufgenommen, wobei SO_2 und NO_2 zu Stoffwechselstörungen führen und O_3 zusätzlich starke Gewebeschäden bewirkt. SO_2 -bedingte saure Niederschläge stören darüber hinaus den Stoffhaushalt von Waldbeständen ganz erheblich.

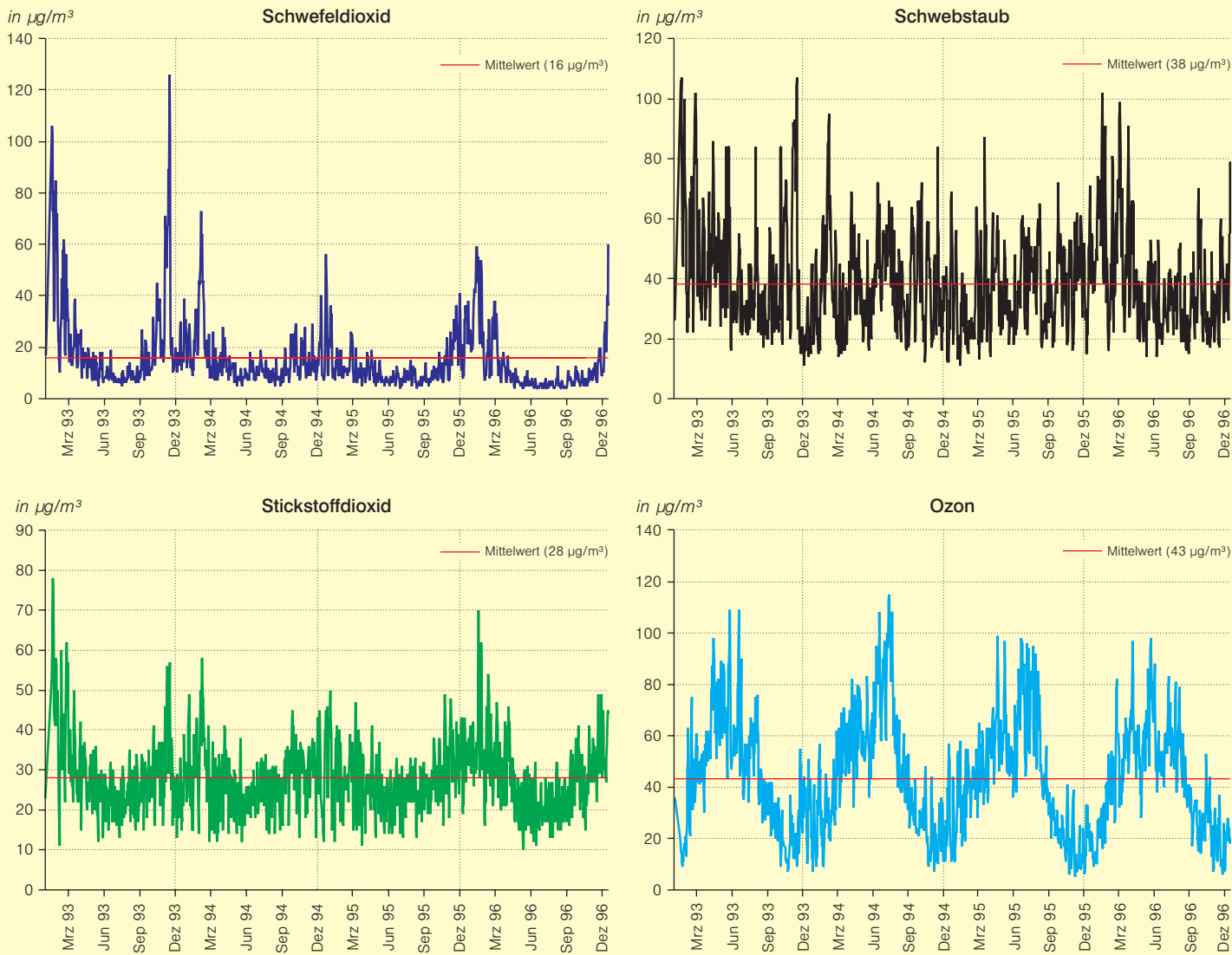
Quellen und Entstehung von Luftschadstoffen

Außer Ozon und Schwebstaub entstehen alle hier betrachteten Luftschadstoffe bei Verbrennungsprozessen in industriellen und häuslichen Feuerungsanlagen, in Kraftwerken und Verbrennungsmotoren ³. Schwebstaub wird überwiegend bei industriellen Prozessen emittiert, z.B. in Kokereien, bei der Zement-, Stahl- und Düngemittelproduktion. SO_2 entsteht bei der Verbrennung fossiler Energieträger, die Schwefelverbindungen enthalten. Dies betrifft in erster Linie Kohlekraftwerke und industrielle Anlagen, aber auch Hausheizfeuerungen.

NO_x entstehen durch Stickstoffoxidation bei Verbrennungsprozessen unter hohen Temperaturen, wie in Ottomotoren und Steinkohle-Staubfeuerungen von Kraftwerken. Stickstoffoxide entstehen auf diesem Wege zunächst als Stickstoffoxid (NO). NO ist bereits im Abgas, besonders aber in der Luft nicht stabil, sondern wird in Quellnähe mit Luftsauerstoff und Ozon zum giftigeren NO_2 oxidiert. Deswegen wird die Stickstoffoxid-Immission zumeist als NO_2 -Konzentration ausgedrückt. Darüber hinaus bestehen wichtige Zusammenhänge zwischen der Emission von NO und der luftchemischen Bildung von NO_2 und Ozon.

Ozon (O_3) bildet sich in der bodennahen Luftschicht bevorzugt bei intensiver Sonnenstrahlung in einer photochemischen Reaktion aus NO_2 und Luftsauerstoff. Bei ständiger NO -Nachlieferung, z.B. in der Umgebung vielbefahrener Strassen, wird O_3 zur Oxidation von NO_2 verbraucht, und die Ozonbelastung ist relativ gering. In Quellferne, etwa in verkehrsarmen Erholungsgebieten des ländlichen Raumes, liegt jedoch immer mehr NO_2 als NO vor, und die Ozonbelastung kann dort besonders bei sommerlichen Strahlungswetterlagen erheblich werden. Bei der Beurteilung der Immissionsbelastung durch SO_2 ist zu berücksichtigen, dass das Gas

1 Zeitlicher Verlauf der Immissionsbelastung durch Schadstoffe 1993-1996 in Deutschland



© Institut für Länderkunde, Leipzig 2000

Emissionen sind die von Anlagen, Fahrzeugen oder Produkten an die Umwelt abgegebenen Luftverunreinigungen in Form von Gasen und Stäuben.

Immissionen sind die Einwirkungen von Emissionen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Sachgüter. In diesem Zusammenhang werden die Konzentrationen von Luftschadstoffen auch als Immissionskonzentration oder Immissionsbelastung bezeichnet.

Deposition ist die Ablagerung von gas- oder partikelförmigen Luftschadstoffen auf Oberflächen oder im Organismus.

Schwebstaub sind Partikel mit aerodynamischem Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$, als Feinstaub sogar $< 2 \mu\text{m}$. Solche Partikel, die durch verschiedene industrielle Prozesse als Flugaschen oder von Bodenoberflächen emittiert werden, haben geringe Depositionsgeschwindigkeiten und können somit über mehrere Tage und über größere Strecken in der Luft transportiert werden.

Schwefeldioxid (SO_2) ist ein farbloses, stechend riechendes Gas, das bei der vollständigen Verbrennung des Schwefels in Brennstoffen (Kohle, Heizöl) entsteht.

Stickstoffoxide (NO_x) bilden sich bei hohen Verbrennungstemperaturen (Kraftwerke, Motoren) durch die Oxidation des Luft- und Brennstoff-Stickstoffs. Stickstoffmonoxid (NO) ist farblos und nicht reizend, wird aber in der Luft schnell zu Stickstoffdioxid (NO_2) oxidiert, und dieses ist ein beklemmend riechendes braunes Reizgas.

Ozon (O_3) bildet sich in einer photochemischen Reaktion aus NO_2 und Luftsauerstoff. Es ist ein farbloses, stark riechendes Gas mit starker Reizwirkung.

Adsorbieren bedeutet das Anlagern von in Gasen gelösten Stoffen an feste Oberflächen.

Großwetterlagen sind für den mitteleuropäischen Raum zusammengefasste, typische synoptische Situationen, die durch den Transport bestimmter Luftmassen gekennzeichnet sind. Die Herkunft und die Zugrichtung dieser Luftmassen hat große Bedeutung für die Immissionssituation.

TA Luft: Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz) legt für immissionsrechtliche Genehmigungsverfahren Richtlinien fest, nach denen Immissionskonzentrationen bestimmt werden sowie Grenzwerte für die Immissionsbelastung. Diese Immissionswerte werden als Langzeitwert (IW1, arithmetischer Mittelwert über ein Jahr) bzw. als Kurzzeitwert (IW2, definiert durch den 98%-Wert einer Summenhäufigkeitsverteilung) angegeben.

MIK-Werte (Maximale Immissions-Konzentration) des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) zielen darauf ab, nachteilige Wirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen und seine Umwelt zu verhindern, und sind in der VDI-Richtlinie 2310 festgelegt. Anders als bei der TA Luft beziehen sich die MIK-Werte auf kurzzeitige Mittelwerte (0,5 Stunden und 24 Stunden).

nur eine kurze Verweildauer in der Außenluft hat (etwa 1 Tag), die schädigende Wirkung aber auch nach Umwandlung in Nebel- und Regentropfchen zu

schwefliger Säure über längere Zeiträume gegeben ist. Im Winter ist diese temperaturabhängige chemische Umwandlung eingeschränkt, wodurch gasförmiges SO_2 über große Entfernungen transportiert werden kann.

Die Datenlage

Für diesen Beitrag wurden die Messwerte aller Stationen der für den Immissionsschutz zuständigen Behörden der Länder und des Bundes für die Jahre 1993 bis 1996 ausgewertet. Die Grafiken 1 zeigen die für die gesamte Bundesrepublik Deutschland gemittelten täglichen Konzentrationen von Schwebstaub, SO_2 , NO_2 und O_3 in diesem Zeitraum. Diese Art der Mittelung bewirkt, dass Einzelstationen nicht berücksichtigt werden und somit Situationen, in denen die gesetzlichen Grenzwerte im Einzelfall überschritten wurden, nicht mehr in Erscheinung treten. Die Schwefeldioxid-Immission zeigt deutliche jahreszeitliche Unterschiede – 21% der Werte in dieser Mittelwertreihe werden durch die Jahreszeit erklärt –, wobei die Wintermonate mit wesentlich höheren Belastungen regelmäßig hervortreten. Die Ursachen hierfür sind einerseits in der dann höheren Quellaktivität, andererseits in den günstigeren Ferntransportbedingungen in der kalten Jahreszeit zu suchen. Aufgrund ihrer recht deutlichen saisonalen Gemeinsamkeiten korrelieren die Immissionen von Schwebstaub, NO_2 und SO_2 signifikant positiv, d.h. die Wintermonate weisen eine höhere Immissionsbelastung durch alle drei Schadstoffe auf, während das Ozon nur mit NO_2 eine deutlich negative Korrelation zeigt.

Die Darstellung der regionalen Unterschiede der Immissionssituation (4 bis 7) berücksichtigt die Homogenisierung der Datengrundlage aller 255 Messstationen in Deutschland. Da die Stationsdichte in den Bundesländern sehr unterschiedlich ist, wurden in Relation zur Gesamtfläche Rasterflächen gebildet (Kantenlänge etwa 37 km), für die jeweils die Daten einer im Rasterfeld liegenden Station verwendet wurden. Bei mehreren Stationen im Rasterfeld (in den Verdichtungsräumen) wurde eine Mittelwertreihe der Stationen verwendet. Für weite Flächen in Norddeutschland und Bayern können somit wegen der dort geringen Stationsdichte keine Aussagen getroffen werden.

Regionale Unterschiede

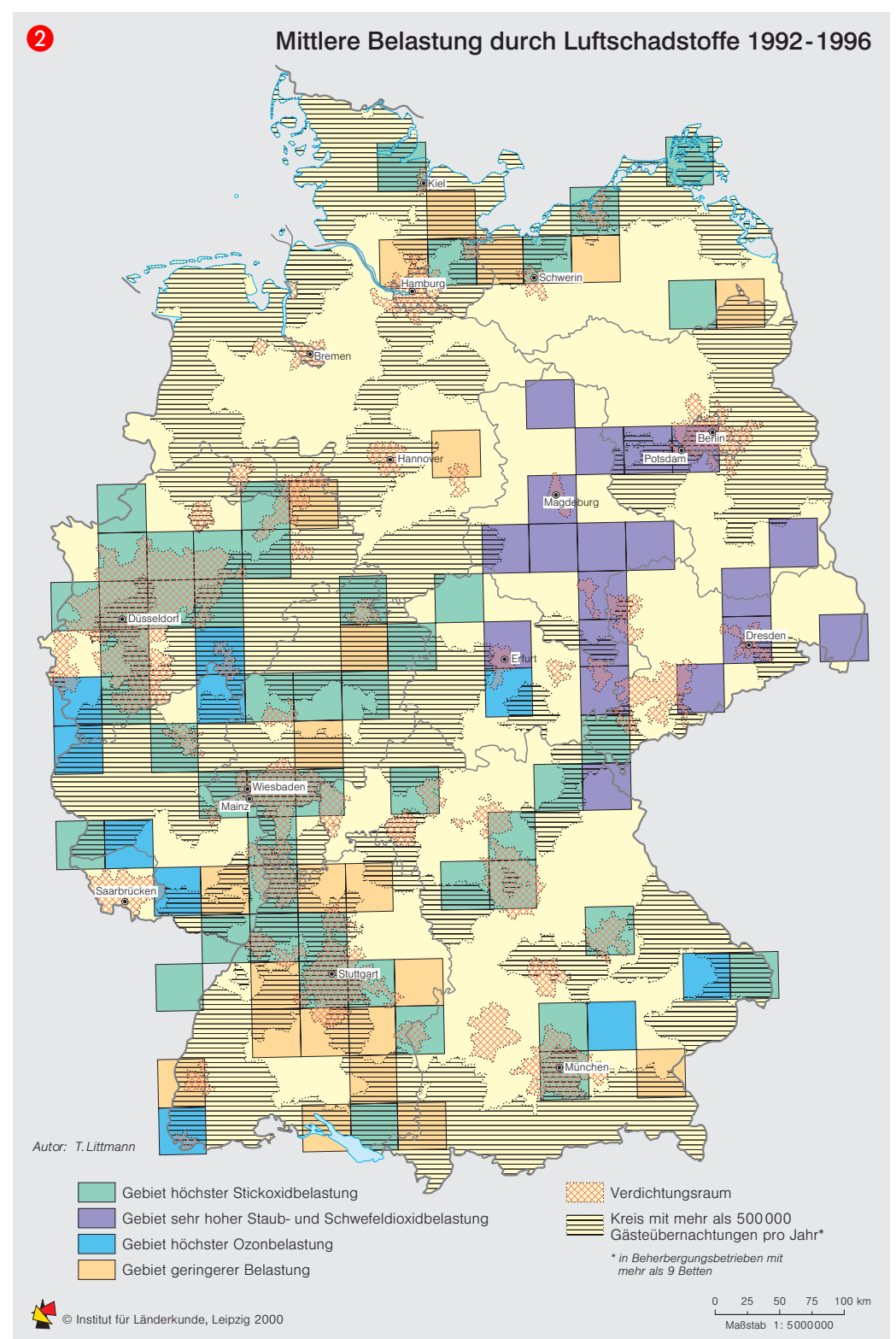
Die räumliche Struktur der mittleren Schwefeldioxid-Konzentrationen lässt eine deutliche Zuordnung zu den Quellgebieten erkennen (4). Besonders tritt dabei der mitteldeutsche Raum mit hohen Belastungen hervor. Mittlere Belastungen liegen in den nord- und westdeutschen Stadtregionen vor, während für die süddeutschen Verdichtungsräume im Mittel nur geringe Belastungen feststellbar sind. Die Bereiche mit mittleren und höheren Belastungen stimmen im Wesentlichen mit der Umgebung von Standorten der Stein-, Braun-

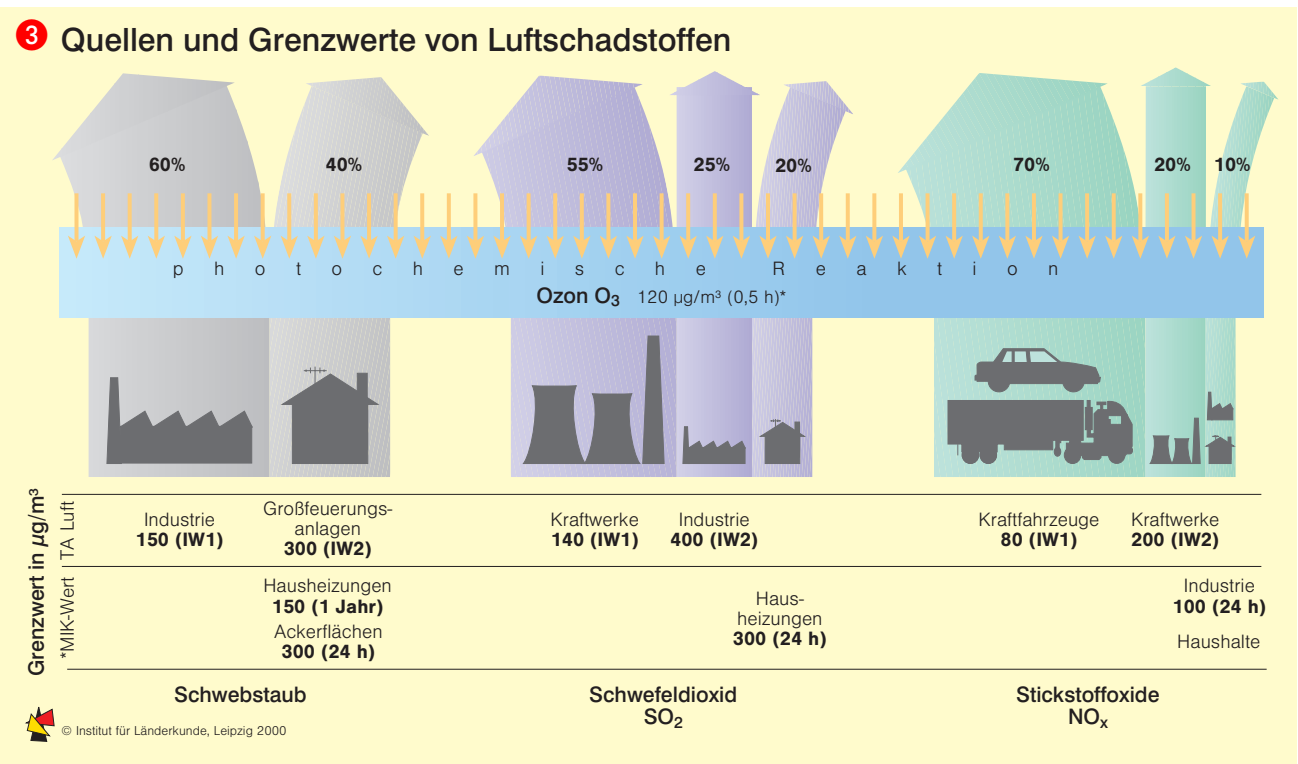
kohle- und Mischfeuerungskraftwerke überein. Als größere Waldgebiete sind – vornehmlich durch Ferntransporte – der Thüringer Wald, das Fichtelgebirge und der Oberpfälzer Wald betroffen.

Aufgrund ähnlicher Emittentengruppen zeigt die Verteilung der Schwebstaub-Immission (5) eine gewisse Ähnlichkeit zu der der Schwefeldioxid-Belastung. Auch hier treten die höheren Belastungen in den Gebieten mit einer hohen Konzentration von Großfeuerungsanlagen auf, zusätzlich jedoch in der Umgebung staubemittierender Industriebetriebe, wovon auch Standorte im süddeutschen Raum betroffen sind. Mittlere Schwebstaub-Immissionen sind allerdings wesentlich flächenhafter verteilt als die SO_2 -Immissionen. Dies betrifft mehrere Wald- und Erholungsgebiete in Mittelgebirgen.



Die räumliche Struktur der Stickstoffdioxid-Immission (6) lässt eine enge Bindung an die Quellgruppe des Straßenverkehrs erkennen. So treten die meisten Verdichtungsgebiete und Verkehrsknotenpunkte mit sehr hohem Verkehrsaufkommen hervor. Rings um die- →





se zum Teil linienhaften Hauptquellen der Stickstoffoxide liegen Bereiche mittlerer Belastung, wobei der ländliche Raum entweder geringe Konzentrationen aufweist oder wegen fehlender Sta-

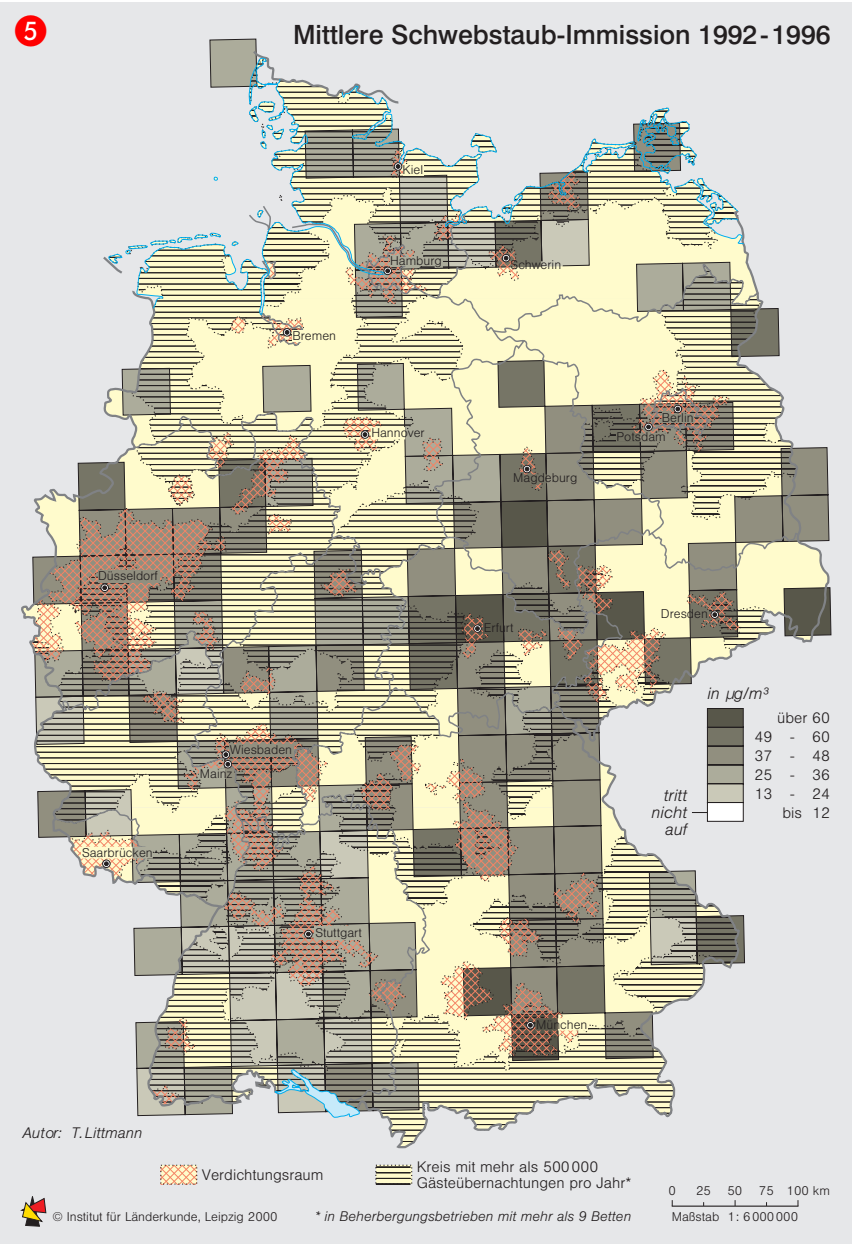
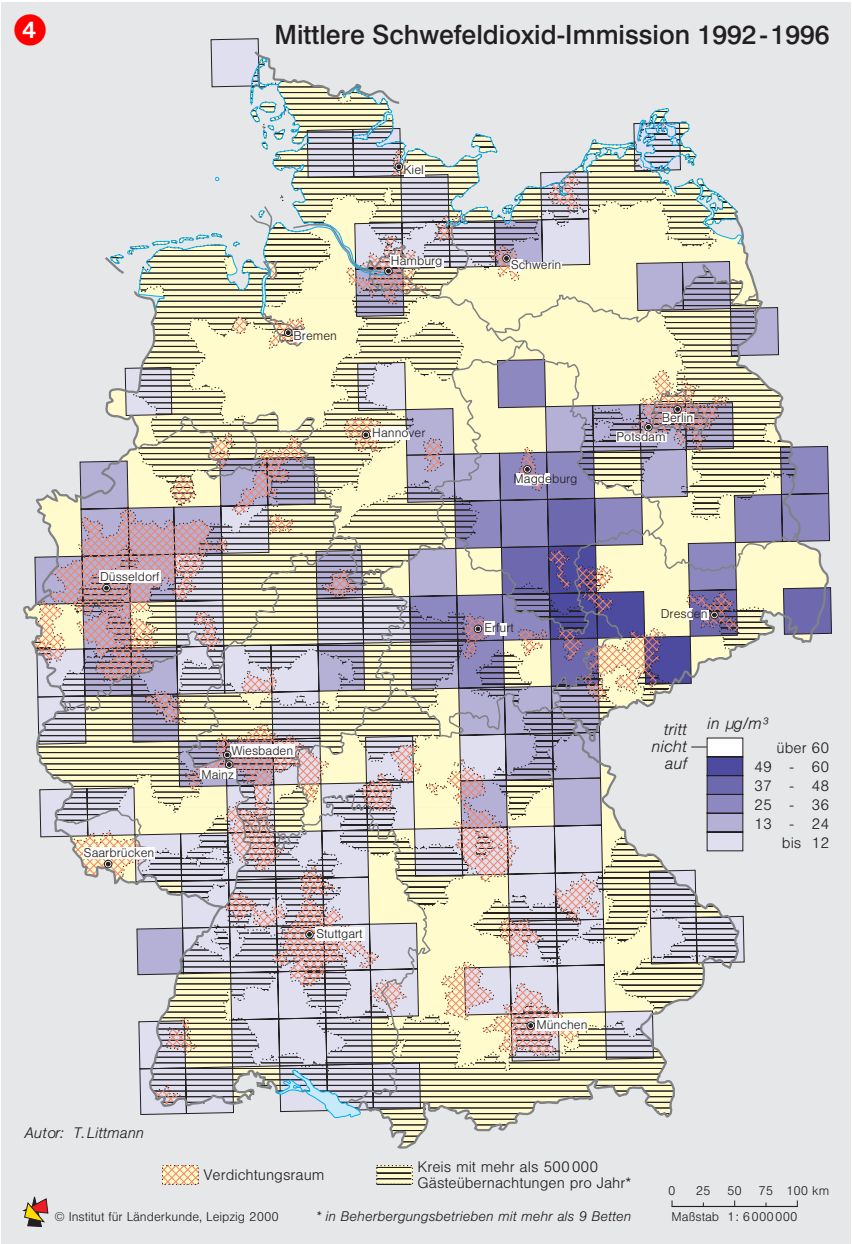
tionen nicht erfasst ist. Eine Ausnahme bildet auch hier das Gebiet zwischen Fichtelgebirge und Oberpfälzer Wald. Die höchsten mittleren Ozon-Immissionen **7** treten aufgrund der genannten

Entstehungsprozesse im Umland der städtischen Gebiete mit hoher NO₂-Emission auf. Besonders betroffen sind mit sommerlichen Spitzenbelastungen Erholungs- und Naturschutzgebiete in

Nordostdeutschland wie auch die meisten Mittelgebirge.

Veränderung durch Luftmassentransporte

Bei verschiedenen Wetterlagen lassen sich zum Teil stark veränderte räumliche Muster der Immissionsbelastung feststellen, die auch in quellfernen Erholungsgebieten zu erheblichen Konzentrationen von Luftschadstoffen führen können. Wetterlagen, in generalisierter Form als Großwetterlagen in Mitteleuropa klassifiziert, zeichnen sich im Hinblick auf die Ausbreitungsbedingungen für gas- und partikelförmige Schadstoffe in der Luft dadurch aus, dass sie durch großräumige Luftmassentransporte für eine Verfrachtung der Schadstoffe über große Distanzen sorgen, eine Konzentrationsverdünnung durch einen großen Luftmassendurchsatz erreichen können oder als austauscharme Wetterlage zu einer quellenahen Anreicherungen der Schadstoffe führen. In einer Darstellung der prozentualen Abweichungen der Immissionsbelastung durch Schwebstaub, SO₂, NO₂ und O₃ vom jeweiligen Mittelwert, bezogen auf ganz Deutschland **8**, ist zu erkennen, dass die hier als Großwettertypen aggregierten, zumeist atlantischen



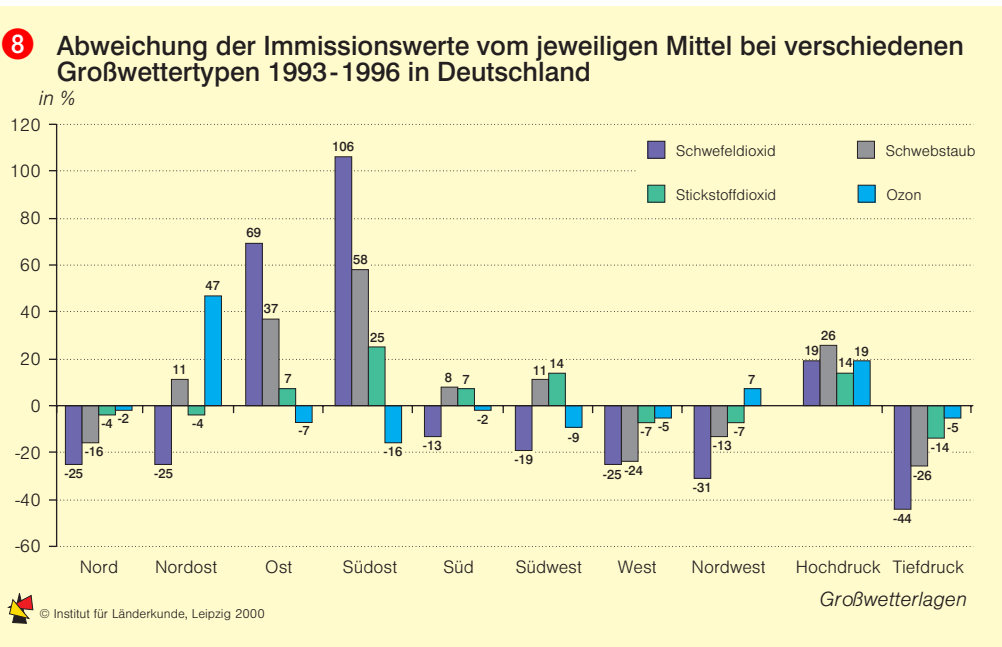
Luftmassentransporte aus südlichen und insbesondere westlichen Richtungen in den meisten Fällen zu einer Abnahme der Belastungen führen, vor allem bei SO₂ und Schwebstaub. Ähnliches gilt auch für Nordlagen, die zu allen Jahreszeiten relativ unbelastete Luft vom Nordatlantik heranführen, und für die seltenen sommerlichen Tiefdrucklagen über Mitteleuropa, bei denen es zu einer effektiven Durchmischung kommt.

Diesen Großwettertypen stehen jene gegenüber, bei denen es zu einer großräumigen Zunahme der Immissionsbelastung kommt. Dieses ist wiederum von der Jahreszeit und somit von der schadstoffspezifischen Quellaktivität abhängig. Austauscharme Hochdrucklagen führen im Winter und insbesondere im durch stärkere Reliefs geprägten süddeutschen Raum zu einer deutlichen Zunahme der regionalspezifischen Belastung durch SO₂, Schwebstaub und NO₂, im Sommer zu hohen O₃-Konzentrationen in ländlichen Räumen aufgrund der dann hohen Strahlungsintensität. Extreme Belastungssituationen für SO₂, Schwebstaub und NO₂ im nord- und ostdeutschen Raum bringen im Winter Ost- und besonders Südostlagen. In diesen Fällen liegt wegen der dann zumeist kalten Witterung nicht

nur eine verstärkte Heizaktivität vor, sondern es kommt auch zu großräumigen Verfrachtungen dieser Schadstoffe aus osteuropäischen Quellgebieten mit enorm hohen Emissionen (Russland, Polen, Tschechien). Nordostlagen treten mit trockener Witterung bevorzugt im Sommer auf und führen zu einem extremen Anstieg der Ozonkonzentrationen. Aufgrund dieser Zusammenhänge können die täglichen Fluktuationen der Schadstoffbelastung durch SO₂ zu 21% und durch Schwebstaub zu 32% durch Luftmassentransporte erklärt werden, während großräumige Verfrachtungen für NO₂ (10% Erklärung durch Großwettertypen) und insbesondere O₃ (5%) keine Rolle spielen.

Fazit

Ungeachtet derzeit geltender gesetzlicher Grenzwerte stellt die Immissionsbelastung durch Luftschadstoffe einen wichtigen humanökologischen Belastungsfaktor für die Erholung dar. Im Mittel werden die höchsten Belastungen 2 in den Verdichtungsräumen und angrenzenden Gebieten erreicht, wobei bei Schwefeldioxid und Schwebstaub der ostdeutsche Raum besonders hervortritt. Die höchsten Stickstoffdioxid-Belastungen werden im Umfeld der



Hauptverkehrsachsen beobachtet. Alle drei Schadstoffe haben ein ausgesprochenes Maximum in den Wintermonaten, während die Ozonimmission auf die Sommermonate und auf relative Reinluftgebiete des ländlichen Raumes beschränkt ist. Durch Schadstoffverfrachtung im Zusammenhang mit Luftmassentransporten kann es aber gerade

in den Erholungsgebieten der Bundesrepublik Deutschland zu erheblichen Zunahmen der Immissionsbelastung durch SO₂, Schwebstaub und NO₂ im Winter und durch Ozon im Sommer kommen. Dabei treten Ost- und Südostlagen sowie Hochdrucklagen besonders hervor. ♦

