

AUSWIRKUNGEN LUFTGETRAGENER STOFFE AUF VEGETATION UND BODEN VON GRÜNLANDÖKOSYSTEMEN

II. DIE KONZENTRATIONEN AUSGEWÄHLTER LUFTINHALTSSTOFFE IN SÜDOSTNIEDERSACHSEN IN DEN VERGANGENEN ZWEI JAHRZEHNTE

LUDGER GRÜNHAGE, ULRICH DÄMMGEN und HANS-JÜRGEN JÄGER

Institut für Produktions- und Ökotoxikologie

Einleitung

Retrospektive pflanzensoziologische Untersuchungen lassen vermuten, daß die Entwicklung landwirtschaftlich genutzter Ökosysteme neben den Faktorenkomplexen Bewirtschaftung, Wetter (physikalisches Klima), Boden und Wasserversorgung auch durch das chemische Klima (Immission, Deposition) maßgeblich beeinflusst wird (vgl. Jäger et al., 1988a). Schwefeldioxid, Ozon, Stickstoffdioxid und Ammoniak werden dabei als wichtige, den landwirtschaftlichen Pflanzenbau sowie die Wildpflanzen großräumig gefährdende Schadgase angesehen. Dies gilt insbesondere für die im Freiland in der Regel vorherrschende kombinierte Schadgas-einwirkung.

Vor diesem Hintergrund wird seit 1983/84 vom Institut für Produktions- und Ökotoxikologie untersucht, ob und inwiefern Grünlandökosysteme kurz-, mittel- und langfristig durch das chemische Klima (Stoffkonzentrationen in Luft und Niederschlägen, Stoffdepositionen) beeinflusst werden (vgl. Jäger et al. 1988b). Als Untersuchungsobjekt zur Beantwortung der immissionsökologischen Grundfrage

"Unter welchen Voraussetzungen und auf welchen Wegen führen Belastungen mit luftgetragenen Stoffen zu irreversiblen Veränderungen natürlicher oder vom Menschen beeinflusster Ökosysteme?"

dient uns eine Ende der Sechzigerjahre eingesäte Weidelgras-Weißklee-Weide innerhalb des Geländes der FAL am Stadtrand von Braunschweig. Die Versuchsfläche und ihre meßtechnische Ausstattung sind detailliert bei Jäger et al. (1988b) beschrieben.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine retrospektive Analyse der Belastung dieser Untersuchungsfläche durch luftgetragene Stoffe vorzunehmen. Wir haben hierzu neben eigenen Meßwerten die allgemein verfügbaren und veröffentlichten Daten für Braunschweig zusammengestellt und ausgewertet. Zur Bewertung der Repräsentativität der Immissions-situation im Großraum Braunschweig wurden die Meßwerte für das Belastungsgebiet Ruhrgebiet-West und die Meßwerte der quellenfernen Meßstation Waldhof des Umweltbundesamtes herangezogen.

1. Material und Methoden

Für den Raum Braunschweig liegen Meßdaten zu Stoff-

konzentrationen in der Luft für die Versuchsfläche innerhalb des FAL-Geländes, für das Stadtgebiet sowie für die Meßstelle Rotenkamp (Königsutter) des SFB 179 "Wasser- und Stoffdynamik in Agrar-Ökosystemen" der TU Braunschweig vor.

Die Einrichtungen der Meßstellen Rotenkamp und FAL und die verwendeten Meßmethoden sind bei Jäger et al. (1988b) im Detail beschrieben. Die Meßwerte für das Stadtgebiet von Braunschweig (Meßstellen Schloßpark, Broitzem, Siegfriedviertel, Sackring und Nehr Kornweg) entstammen den Veröffentlichungen der jeweils zuständigen niedersächsischen Landesministerien (Nds. Sozialminister, 1973; Nds. Sozialminister, 1981; Nds. Minister für Bundesangelegenheiten, 1983 und 1985; Bezirksregierung Braunschweig, Monatsberichte LÜND).

Die Meßergebnisse der Meßstelle Waldhof (im Uelzener Becken) des Umweltbundesamtes wurden laufenden Berichten aus dem Meßnetz (Umweltbundesamt, Monatsberichte Meßnetz) sowie de Haar (1979) entnommen.

Zu Vergleichszwecken wurden die verfügbaren Daten für das Belastungsgebiet Ruhrgebiet-West herangezogen (Landesanstalt für Immissionsschutz, Monatsberichte LIS; Buck et al., 1982).

Alle Wetterdaten (Meßstelle Braunschweig-Völkenrode) wurden den vom Deutschen Wetterdienst herausgegebenen Wetterkarten entnommen (Deutscher Wetterdienst, laufende Berichte).

Alle gleitenden Jahresmittelwerte (11-Werte) wurden als arithmetische Mittel der jeweils letzten 12 Monatsmittelwerte neu berechnet.

2. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Maße für die Belastung der terrestrischer Ökosysteme sind die potentiell wirksamen Konzentrationen der betreffenden Stoffe in der Umgebungsluft und die Stoffdepositionen aus Niederschlägen, Stäuben und Gasen. Davon liegen aber nur für die Konzentrationen einiger Gase Messungen vor, die hinreichend weit zurückreichen. Diese Messungen wurden vornehmlich aus arbeitshygienischer Sicht vorgenommen. Entsprechende Depositionsmessungen existieren nicht. Im folgenden wird die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen der für eine mögliche Beeinflussung von Agrarökosystemen relevanten Luftinhaltsstoffe dargestellt und diskutiert.

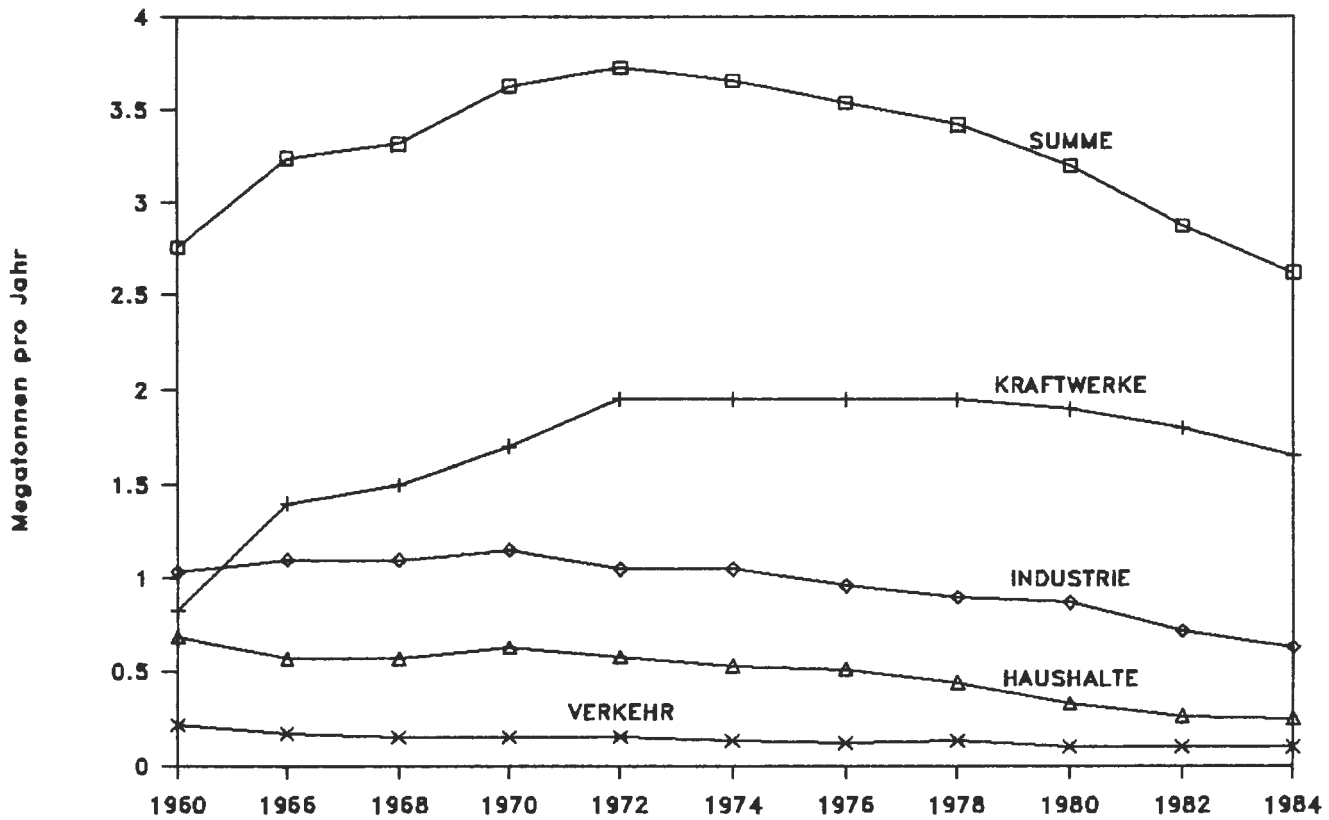


Abb. 1: Entwicklung der anthropogenen SO₂-Emissionen in der BRD Deutschland (nach Verein Deutscher Ingenieure 1972 bzw. Umweltbundesamt 1986a)

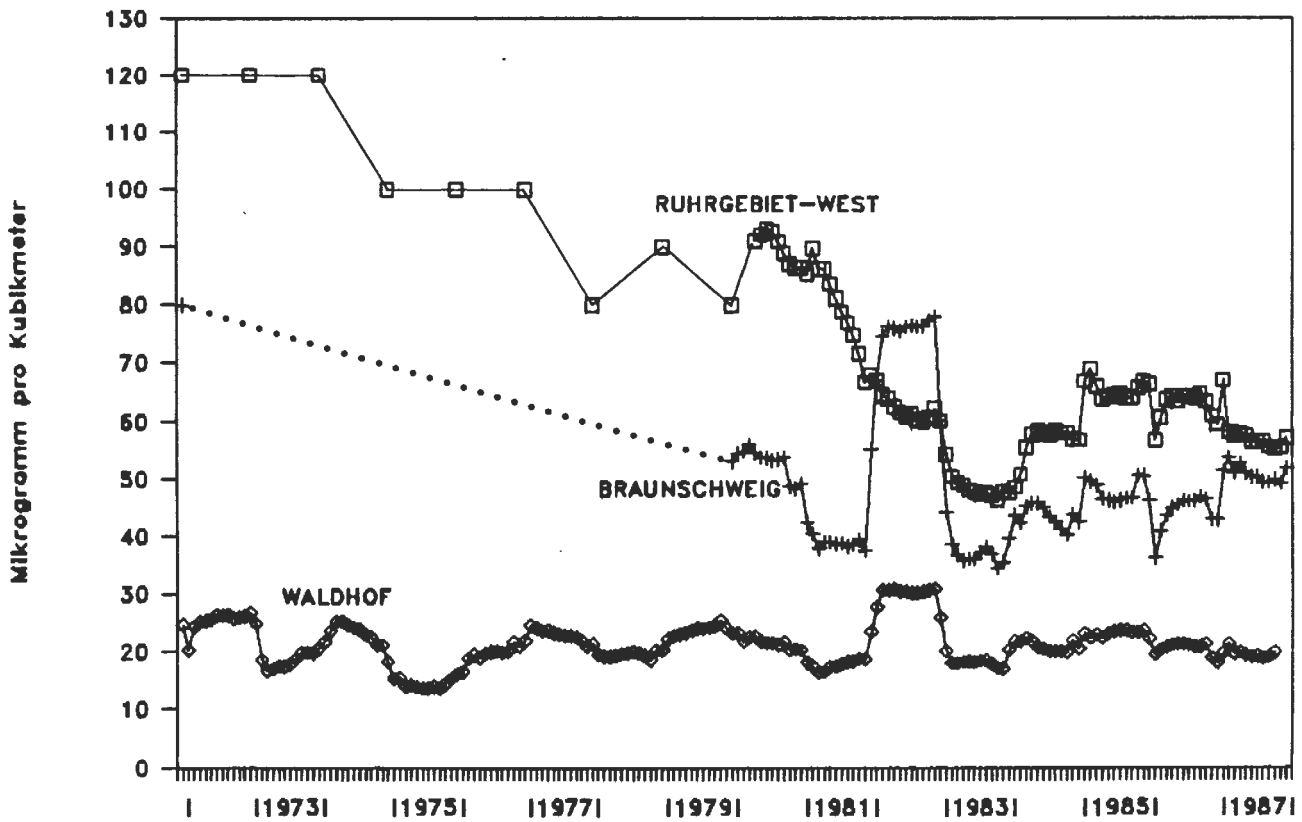


Abb. 2: Entwicklung der SO₂-Konzentrationen in der Umgebungsluft (gleitende Jahresmittel) für die Meßstelle Waldhof bzw. die Meßgebiete Braunschweig und Ruhrgebiet-West

2.1 Schwefeldioxid

In Abb. 1 wird die Entwicklung der Emissionssituation für Schwefeldioxid anthropogenen Ursprungs für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland wiedergegeben. Die Emissionen durchlaufen im dargestellten Zeitraum im Jahre 1972 ein Maximum. Die Verursachergruppen Kraftwerke, Industrie und Haushalte haben seitdem die Emissionen verringert; sie lagen 1984 bei 2,6 Mt/a. Hauptemittenten mit mehr als 50 % der Gesamtemissionen sind die Öl- und Kohlekraftwerke. Die Anteile von Haushalt und Verkehr sind vergleichsweise gering. Diese bundesweiten Angaben treffen für den Braunschweiger Raum insbesondere zu (vgl. Dämmgen et al., 1987).

Die Minderung der anthropogenen SO₂-Emissionen um etwa 25 % seit 1972 hat nicht zu einem proportionalen Rückgang der SO₂-Konzentrationen in der Umgebungsluft geführt. Während in den Ballungsgebieten (Ruhrgebiet-West und Braunschweig) eine Abnahme um etwa 50 % zu beobachten ist, läßt sich für die emittentferne Meßstelle Waldhof kein Trend erkennen (Abb. 2). Dieser überproportionale Rückgang in den Belastungsgebieten ist sicher zum überwiegenden Teil auf die "Politik der hohen Schornsteine" in den Siebzigerjahren zurückzuführen. Sowohl in Braunschweig als auch im Ruhrgebiet scheinen die gleitenden Jahresmittel seit etwa 1983 leicht anzusteigen. Da aber einzelne Wetterereignisse (Smog-Episoden; vgl. Jahresmittel 1982 in Braunschweig und Waldhof) die gleitenden Jahresmittel drastisch beeinflussen können, ist zunächst nicht erkennbar, ob diese Steigerung auf erhöhte Emissionen im Nahbereich oder auf das Wettergeschehen zurückzuführen ist. Wir haben deshalb die Konzentrationsmittelwerte für die smogfreien Vegetationsperioden (Mai - September; Abb. 3) und für die Wintermonate (Abb. 4) gebildet.

Für Braunschweig ist ein eindeutiger Trend zu verringerten Konzentrationen während der Vegetationszeit zu erkennen, für die im Uelzener Becken gelegene Reiluftstation Waldhof dagegen bei Berücksichtigung des gesamten Datenmaterials nicht. Auch die Wintermittel der Meßstelle Waldhof weisen keinen Trend auf; die Mittel liegen dreimal so hoch wie im Sommer. Die Smog-Episoden im Winter 1981/82 spiegeln sich sowohl in Braunschweig als auch in Waldhof wider. Die Betrachtung der Monatsdaten (I1-Werte, I2-Werte) und der Vergleich mit der gesamten Immissionssituation im Ruhrgebiet (Külske, 1982) legen nahe, daß es sich in Braunschweig um ferntransportgeprägten Smog mit deutlicher Aufstockung aus dem Nahbereich handelte. Wegen der Überlagerung durch Smog-Episoden (vgl. Dämmgen et al., 1987) halten wir eine weitergehende Interpretation der Braunschweiger Kurve nicht für sinnvoll. Es ist jedoch festzuhalten, daß sich die Emissionssituation für SO₂ durch die 1987 erfolgte Inbetriebnahme der Rauchgasentschwefelungsanlage für die Kraftwerke Buschhaus und Offleben grundsätzlich geändert hat; die SO₂-Emissionen wurden von ca. 135.000 t/a (Nds. Min. f. Bundesangelegenheiten, 1983, 1985) auf bislang ca. 40.000 t/a reduziert.

Der Jahresgang der SO₂-Konzentrationen in der Umgebungsluft ist in Abb. 5 für die Meßstelle Rotenkamp (ROT) wiedergegeben; es besteht zwischen den Monatsmittelwerten für Rotenkamp und denen für das Stadtgebiet Braunschweig (BS) eine hohe Korrelation ($ROT = -4,6 + 0,93 \cdot BS$; $r = 0,92$). Neben ausgeprägten Maxima im Winter und Minima während der Vegetationsperioden ist eine signifikante Abhängigkeit der Höhe der SO₂-Konzentrationen in der Umgebungsluft von

der Windrichtung zu verzeichnen; die Jahresmittel der SO₂-Konzentrationen für Tage mit Winden aus östlichen Richtungen liegen 3 - 8 mal höher als die Jahresmittel für Tage mit Winden aus westlichen Richtungen (Tab. 1). Zur Abhängigkeit der SO₂-Konzentrationen von der Windrichtung vgl. auch Dämmgen (1985) und Grünhage et al. (1987).

Eine Abschätzung des Gefährdungspotentials nach Strattmann (1984; Abb. 6) zeigt, daß in Braunschweig schon durch die chronische Belastung ausschließlich mit SO₂ die Reizschwellendosis für sehr empfindliche Pflanzen nahezu erreicht wird. Zu den langlebigen gegenüber SO₂ sehr empfindlichen Pflanzen zählen nach VDI-RdL (1978) die Walnuß (*Juglans regia*), die Johannisbeere (*Ribes rubrum*), die Stachelbeere (*Ribes uva-crispa*), die Tanne (*Abies spec.*), die Fichte (*Picea spec.*), die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) und der

Tabelle 1: Jahresmittel der SO₂-Konzentrationen (µg/m³) für Tage mit Winden aus westlichen bzw. östlichen Richtungen. Meßstelle Rotenkamp

Jahr	Westwinde	Ostwinde
1984	13	102
1985	18	110
1986	21	66
1987	17	117

Klee (*Trifolium spec.*). Als empfindlich werden eingestuft die Linde (*Tilia spec.*), die Rotbuche (*Fagus sylvatica*), die Hainbuche (*Carpinus betulus*), der Apfel (*Malus domestica*), die Haselnuß (*Corylus avellana*), die Kiefer (*Pinus silvestris*), die Weymouthskiefer (*Pinus strobus*) und die Lärche (*Larix spec.*).

Aufgrund der oben beschriebenen Immissions- bzw. Emissionsverhältnisse kann prognostiziert werden, daß ein Absinken der Dosissummenkurve für Braunschweig unter die Reizschwellendosis für sehr empfindliche Pflanzen erst wahrscheinlich wird, wenn Stärke und Häufigkeit ferntransportgeprägter Smog-Episoden abnehmen.

Eine akute Gefährdung der Pflanzen durch SO₂ während der Vegetationsperioden kann ausgeschlossen werden.

2.2 Schwebstaub

Die Entwicklung der anthropogenen Staub-Emissionen für die BR Deutschland in den vergangenen 20 Jahren ist in Abb. 7 dargestellt. Insgesamt gesehen wird eine Verringerung der Emissionen um über 60 % angegeben. Die Gesamtemission wird wesentlich durch die industriellen Emissionen geprägt. Über die Staubmengen aus natürlichen Emissionen liegen für das Gebiet der Bundesrepublik keine Daten vor. Sie sind allerdings im Gegensatz zum SO₂ nicht zu vernachlässigen.

Wie beim SO₂ ist auch beim Schwebstaub eine drastische Reduktion der Konzentrationen in der Umgebungsluft in den Ballungsgebieten Braunschweig und Ruhrgebiet-West zu beobachten (Abb. 8). Die Konzentrationen in Braunschweig haben seit etwa Mitte der Achtzigerjahre das Niveau der Reiluftmeßstelle Waldhof erreicht. Für diese Meßstelle selber ist allerdings kein Trend erkennbar. Während in Waldhof für die Wintermittel (Oktober - April; Abb. 9) aufgrund der Smog-

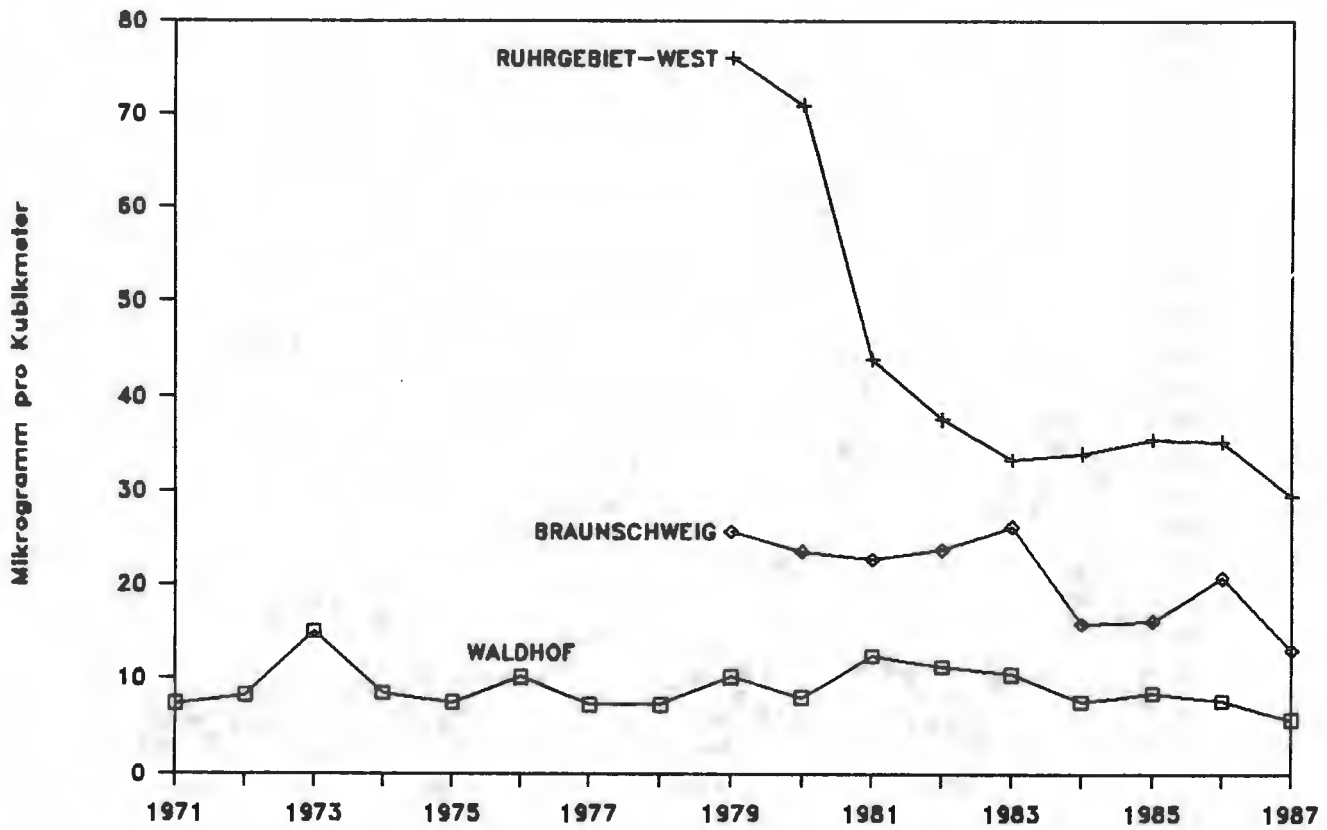


Abb. 3: Vegetationsperiodenmittelwerte (Mai - September) der SO₂-Konzentrationen in der Umgebungsluft für die Meßstelle Waldhof bzw. die Meßgebiete Braunschweig und Ruhrgebiet-West

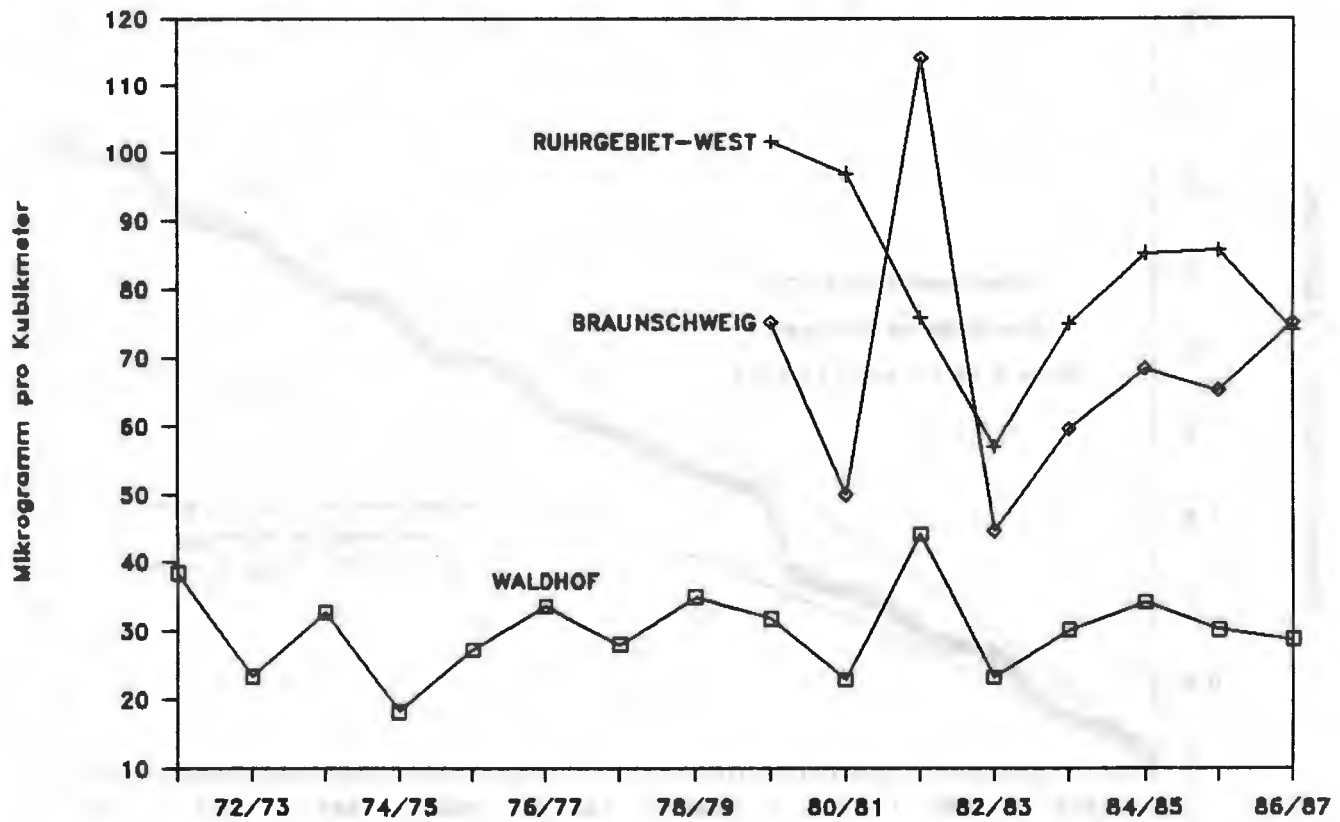


Abb. 4: Wintermittelwerte (Oktober - April) der SO₂-Konzentrationen in der Umgebungsluft für die Meßstelle Waldhof bzw. die Meßgebiete Braunschweig und Ruhrgebiet-West

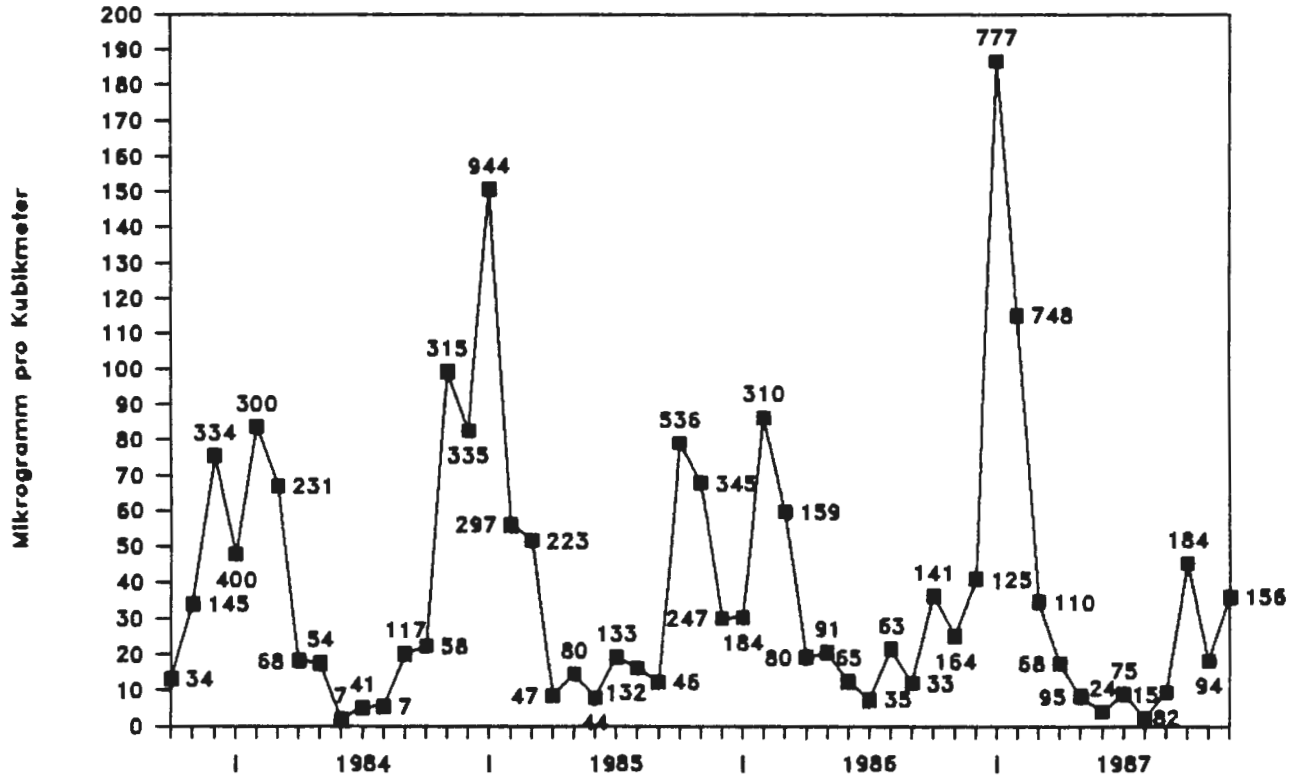


Abb. 5: Jahresgang der SO₂-Konzentrationen für die Meßstelle Rotenkamp (Monatsmittel und höchste Tagesmittel)

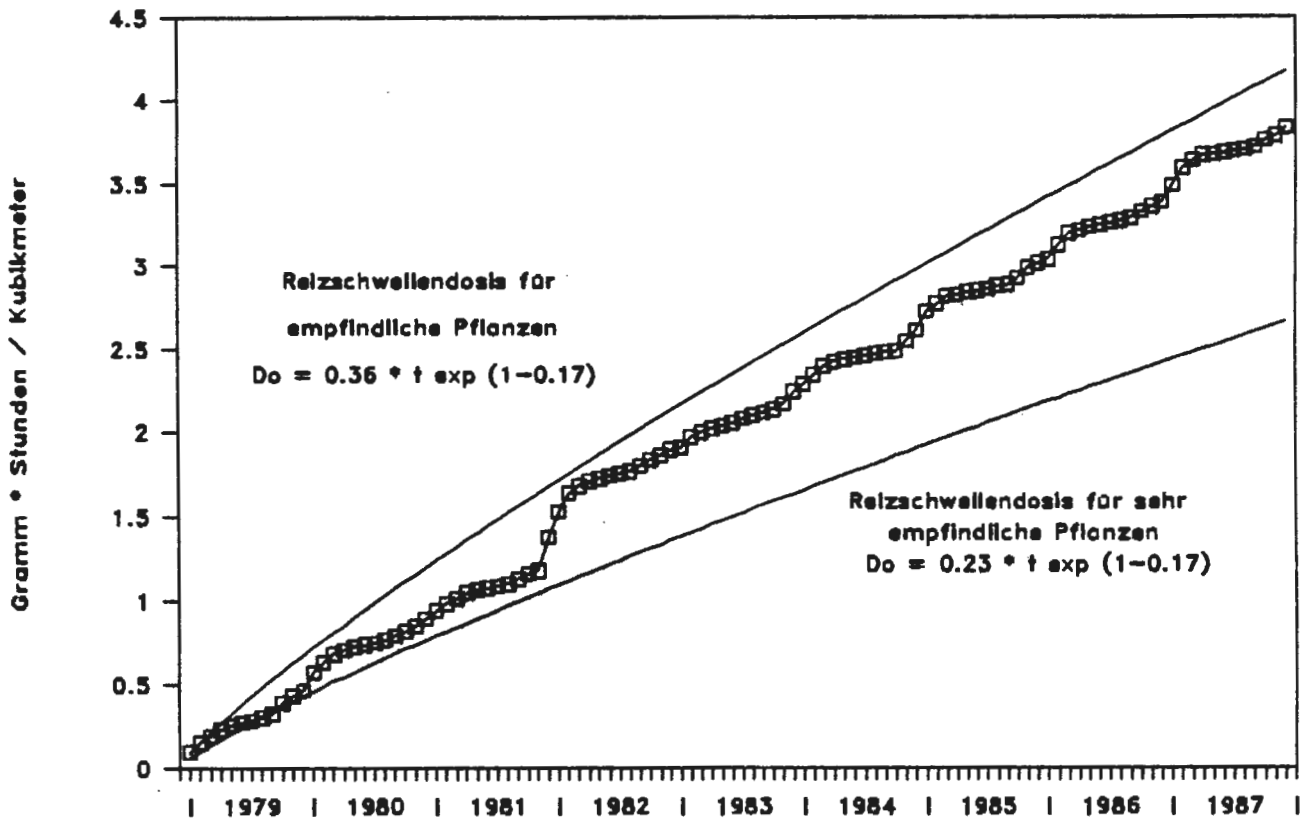


Abb. 6: Kumulative Schwefeldioxid-Dosis für Braunschweig berechnet nach dem Verfahren von Stratmann (1984)

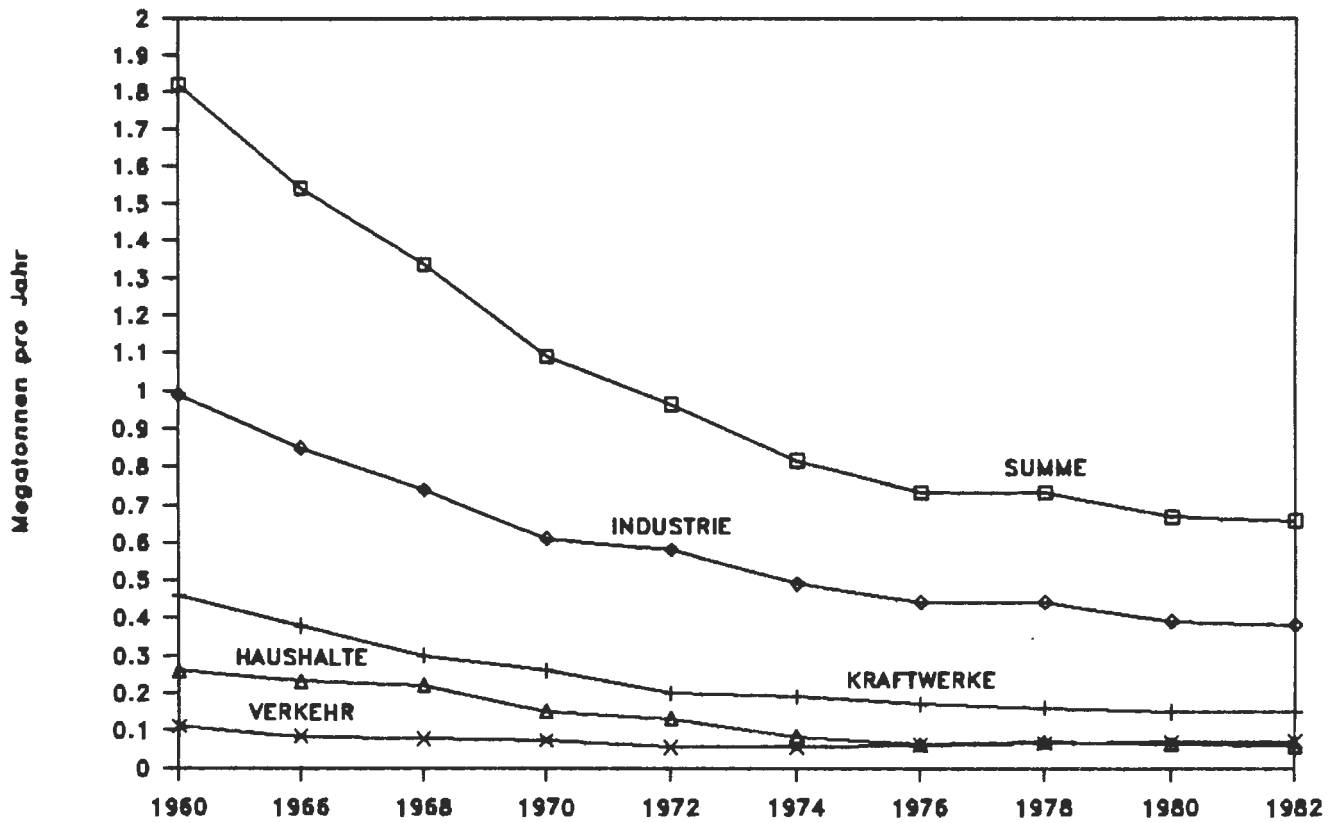


Abb. 7: Entwicklung der anthropogenen Staub-Emissionen in der BRD Deutschland (nach Umweltbundesamt 1986a)

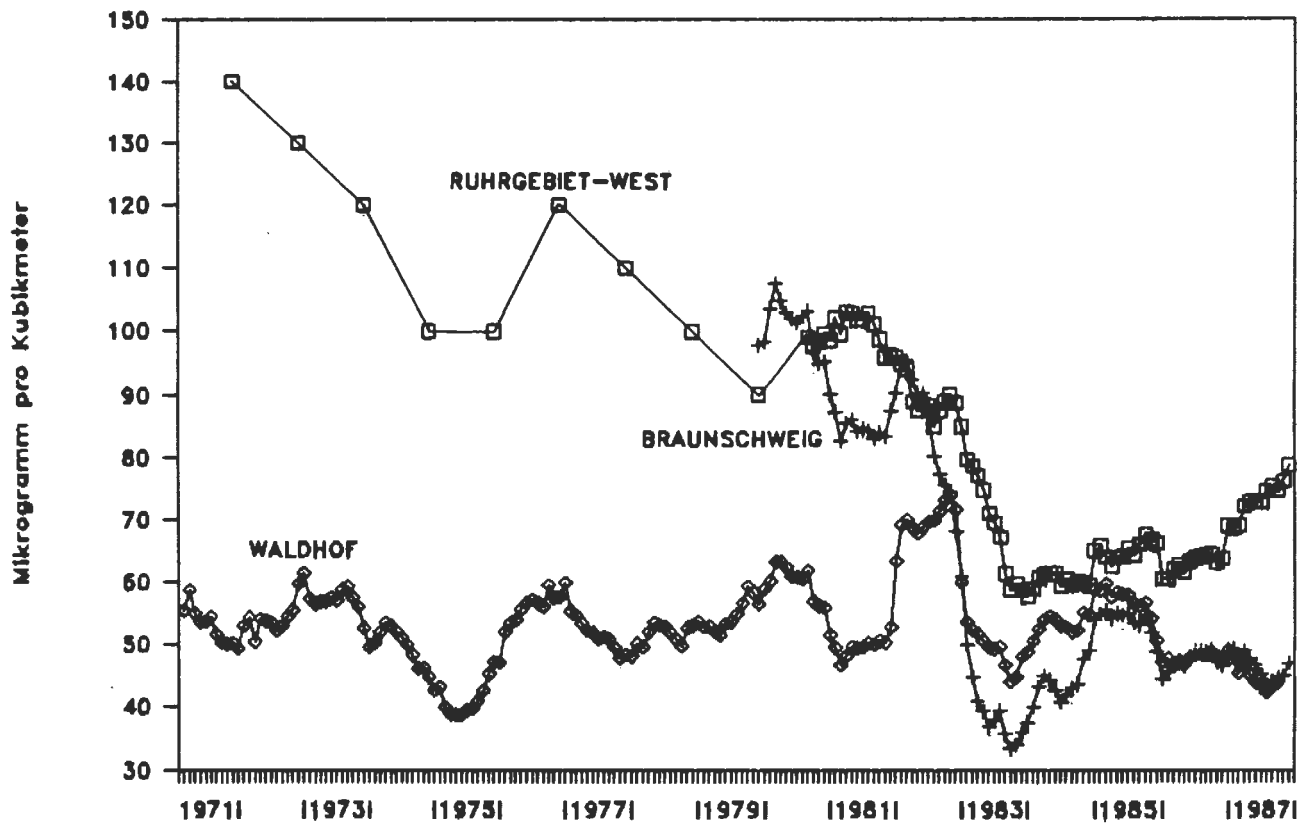


Abb. 8: Entwicklung der Schwebstaub-Konzentrationen in der Umgebungsluft (gleitende Jahresmittel) für die Meßstelle Waldhof bzw. die Meßgebiete Braunschweig und Ruhrgebiet-West

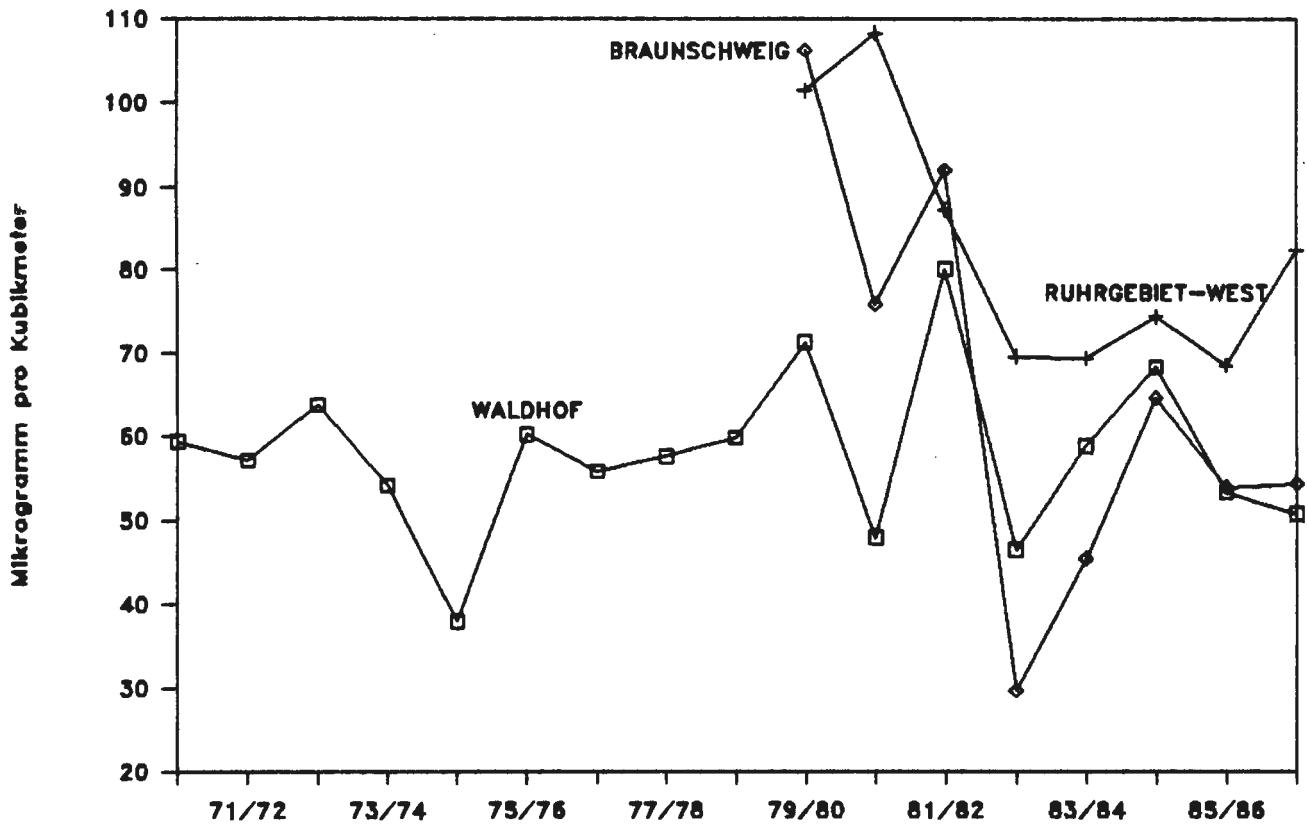


Abb. 9: Wintermittelwerte (Okt. - April) der Schwebstaub-Konzentrationen in der Umgebungsluft für die Meßstelle Waldhof bzw. die Meßgebiete Braunschweig und Ruhrgebiet-West

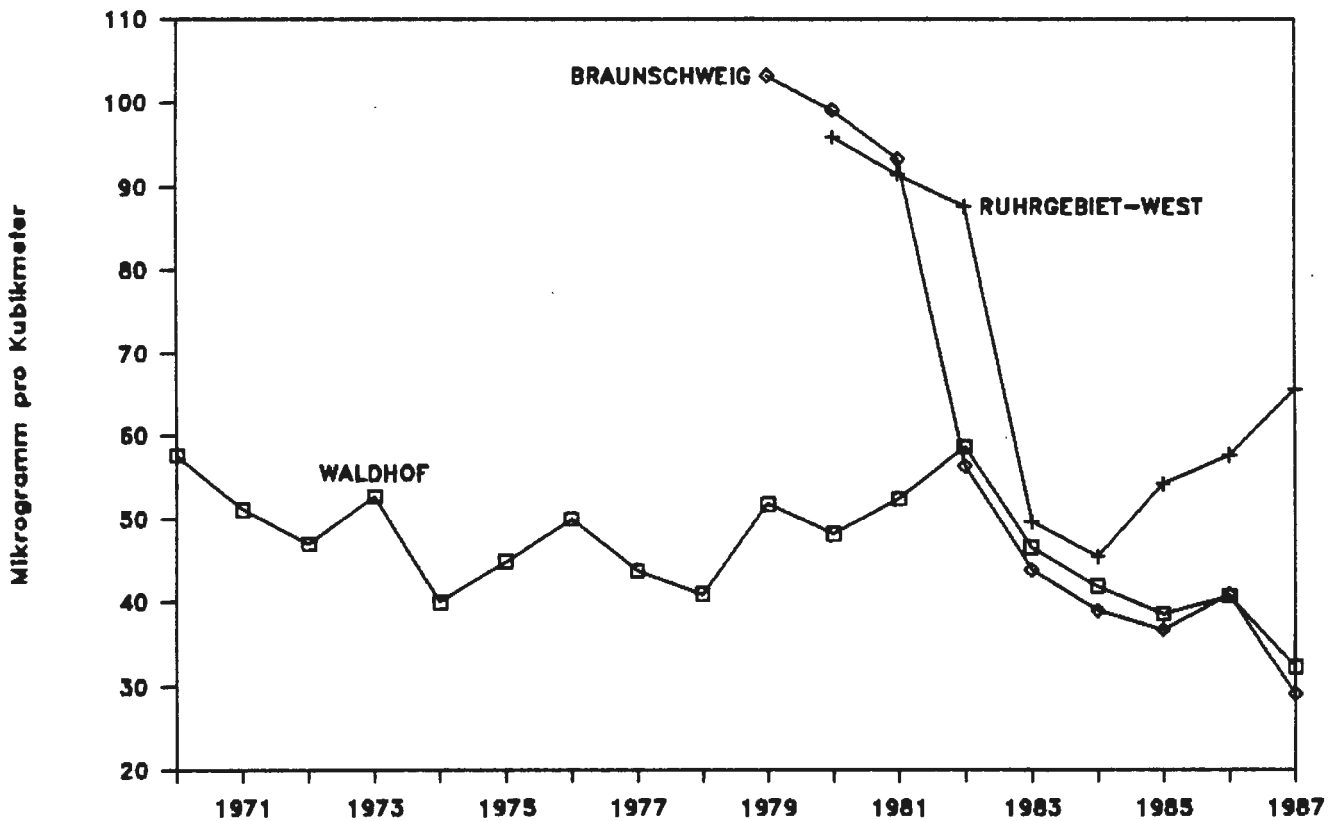


Abb. 10: Vegetationsperiodenmittelwerte (Mai - September) der Schwebstaub-Konzentrationen in der Umgebungsluft für die Meßstelle Waldhof bzw. die Meßgebiete Braunschweig und Ruhrgebiet-West

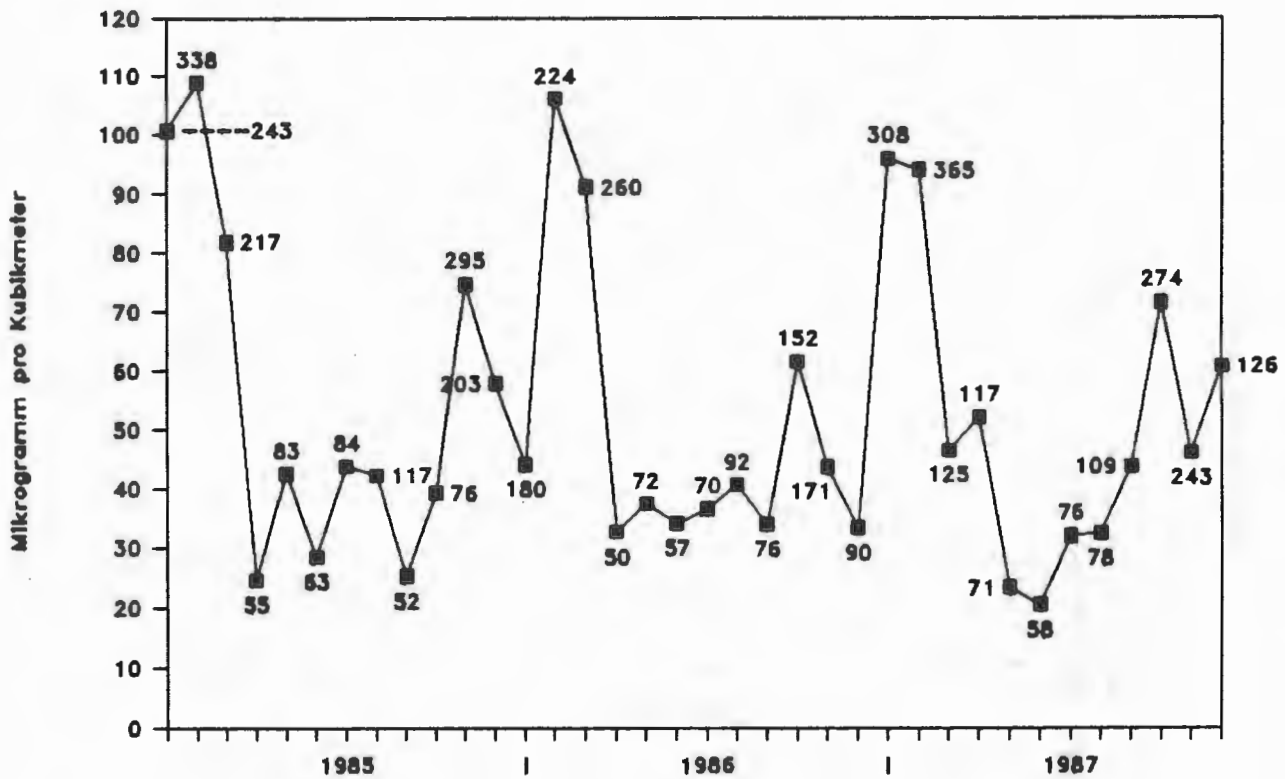


Abb. 11: Jahresgang der Schwebstaub-Konzentrationen für die Meßstelle Rotenkamp (Monatsmittel und höchste Tagesmittel)

Ereignisse kein Trend zu beobachten ist, erkennt man in der entsprechenden Darstellung für die Sommermonate (Abb. 10) auch in Waldhof eine Abnahme der Schwebstaubkonzentrationen, die der Abnahme der Gesamtemissionen (vgl. Abb. 7) proportional ist. Eine ökotoxikologische Bewertung der Staubkonzentrationen kann nur bei detaillierter Kenntnis der Inhaltsstoffe und der Korngrößenverteilung vorgenommen werden. Zu beidem fehlen Angaben für den Braunschweiger Raum.

Der Jahresgang der Schwebstaubkonzentrationen in der Umgebungsluft ist für die Meßstelle Rotenkamp in Abb. 11 dargestellt. Angaben zur Windrichtungsabhängigkeit der Schwebstaubkonzentrationen und der Konzentrationen ausgewählter Inhaltsstoffe sind Dämmgen (1986) zu entnehmen. Wie beim SO₂ ist die Höhe der Staubkonzentration abhängig von der herrschenden Windrichtung; die Jahresmittel für Tage mit Winden aus östlichen Richtungen liegen 2 - 3 mal über denen für Tage mit Winden aus westlichen Richtungen (Tab. 2).

Tabelle 2: Jahresmittel der Staub-Konzentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) für Tage mit Winden aus westlichen bzw. östlichen Richtungen

Jahr	Westwinde	Ostwinde
1985	38	89
1986	39	76
1987	32	101

2.3 Stickstoffoxide

Die Emissionen der Stickstoffoxide NO und NO₂ aus Verkehr, Kraftwerken, Industrie und Haushalten nahmen in dem betrachteten Zeitraum stetig zu (Abb. 12). Die Zunahme ist dabei praktisch ausschließlich auf Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr zurückzuführen. Dabei entsteht hier bei sehr geringer Quellhöhe vornehmlich das Stickstoffmonoxid NO.

Angaben über die ebenfalls als anthropogen anzusehenden Emissionen des Stickstoffoxids N₂O aus intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen fehlen in diesem Zusammenhang. Für das von uns untersuchte Grünlandökosystem ist nach Heinemeyer (1982) mit einer N₂O-Freisetzung von 2 - 30 kg N/ha * a in Abhängigkeit von der Witterung und der Höhe der N-Düngung zu rechnen.

Die NO_x-Konzentrationen (NO_x = NO + NO₂) in der Umgebungsluft werden in den Belastungsgebieten erst seit vergleichsweise kurzer Zeit gemessen. Die NO-Konzentrationen, die für das Ruhrgebiet-West und für Braunschweig in Abb. 13 dargestellt sind, lassen kaum Trends erkennen; allenfalls ist für Braunschweig ein geringfügiger Rückgang der Belastung beobachtbar. NO-Messungen für Waldhof liegen nicht vor, wohl aber solche für NO₂. Dabei ist hier eine steigende Tendenz festzustellen (vgl. auch Umweltbundesamt 1984; Abb. 14). Im Ruhrgebiet scheinen die NO₂-Konzentrationen dagegen zu sinken. In Braunschweig ist keine signifikante Änderung zu beobachten.

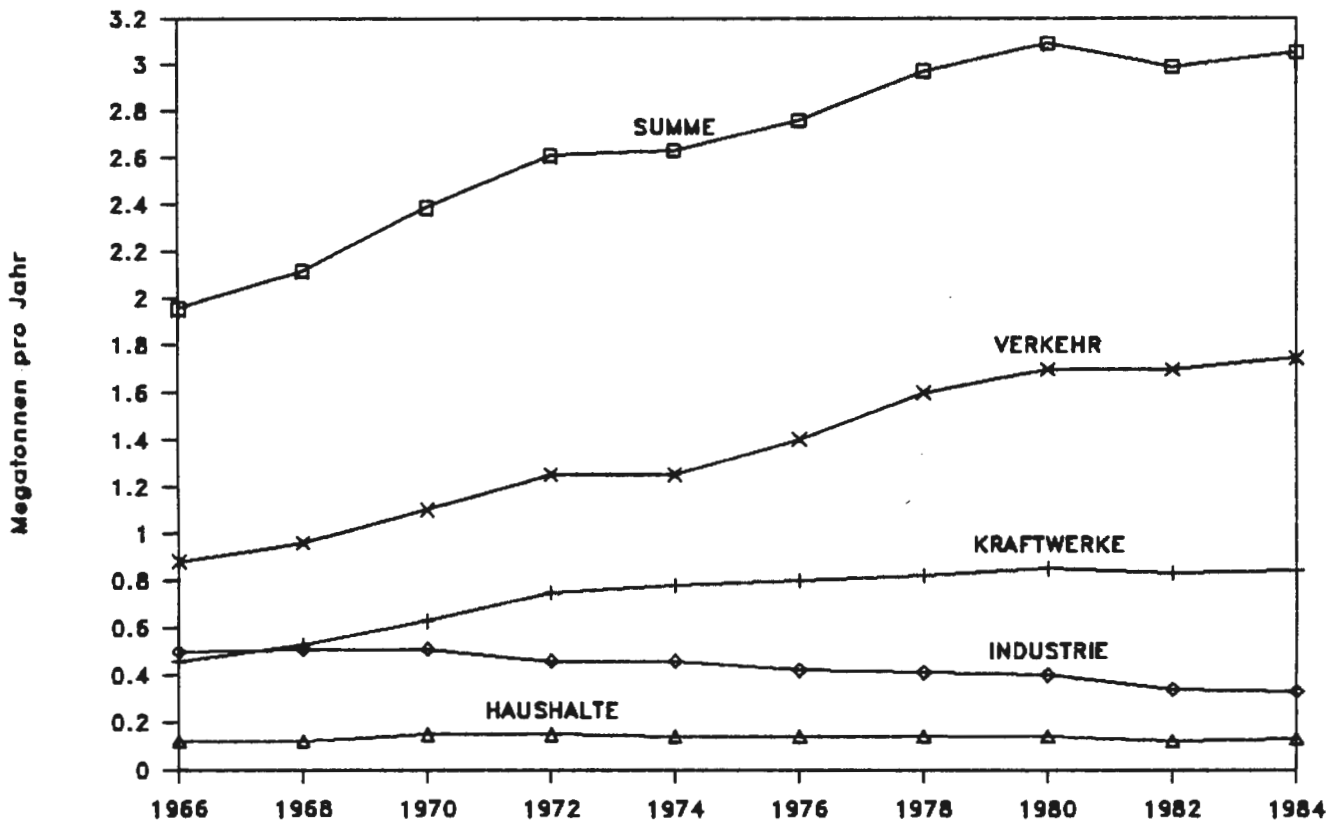


Abb. 12: Entwicklung der anthropogenen NO_x-Emissionen in der BRD (nach Umweltbundesamt 1986a)

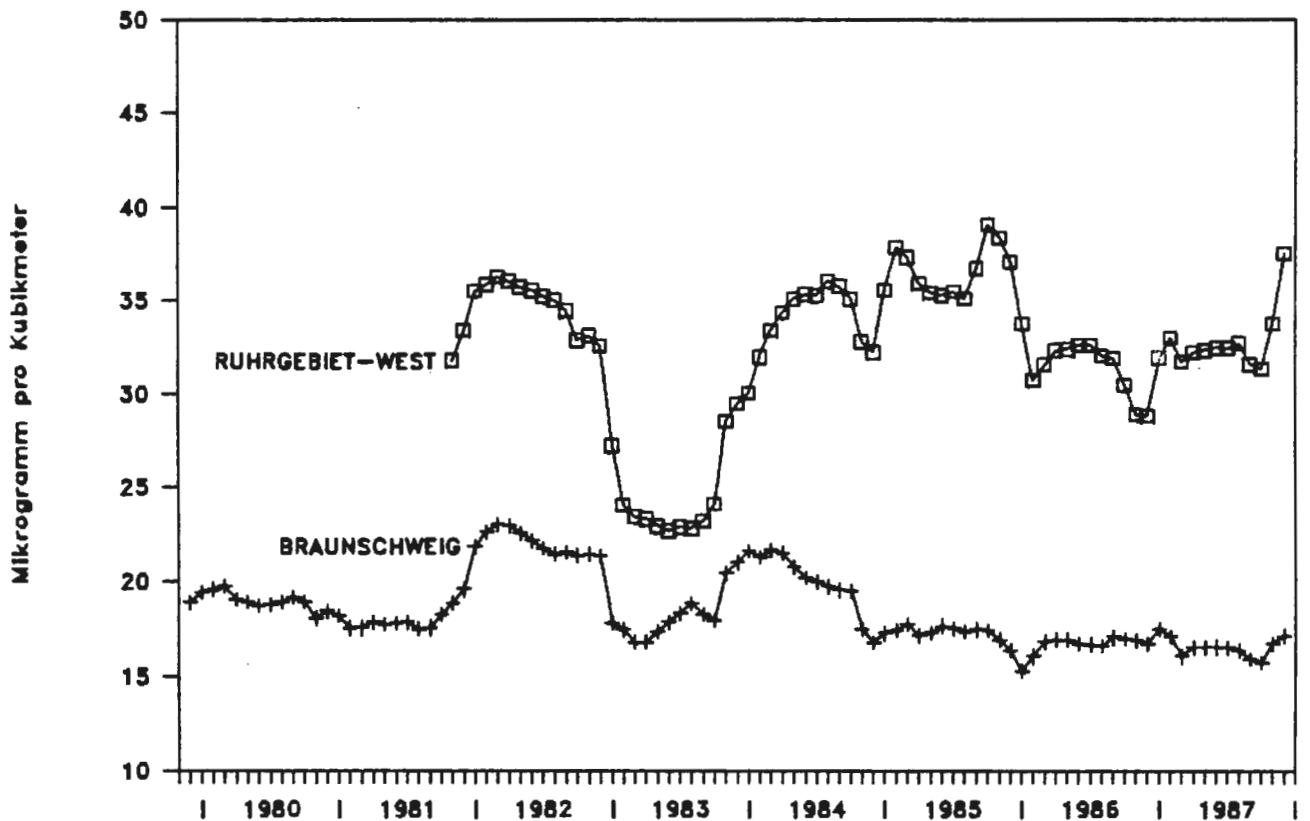


Abb. 13: Entwicklung der NO-Konzentrationen in der Umgebungsluft (gleitende Jahresmittel) für die Meßgebiete Braunschweig und Ruhrgebiet-West

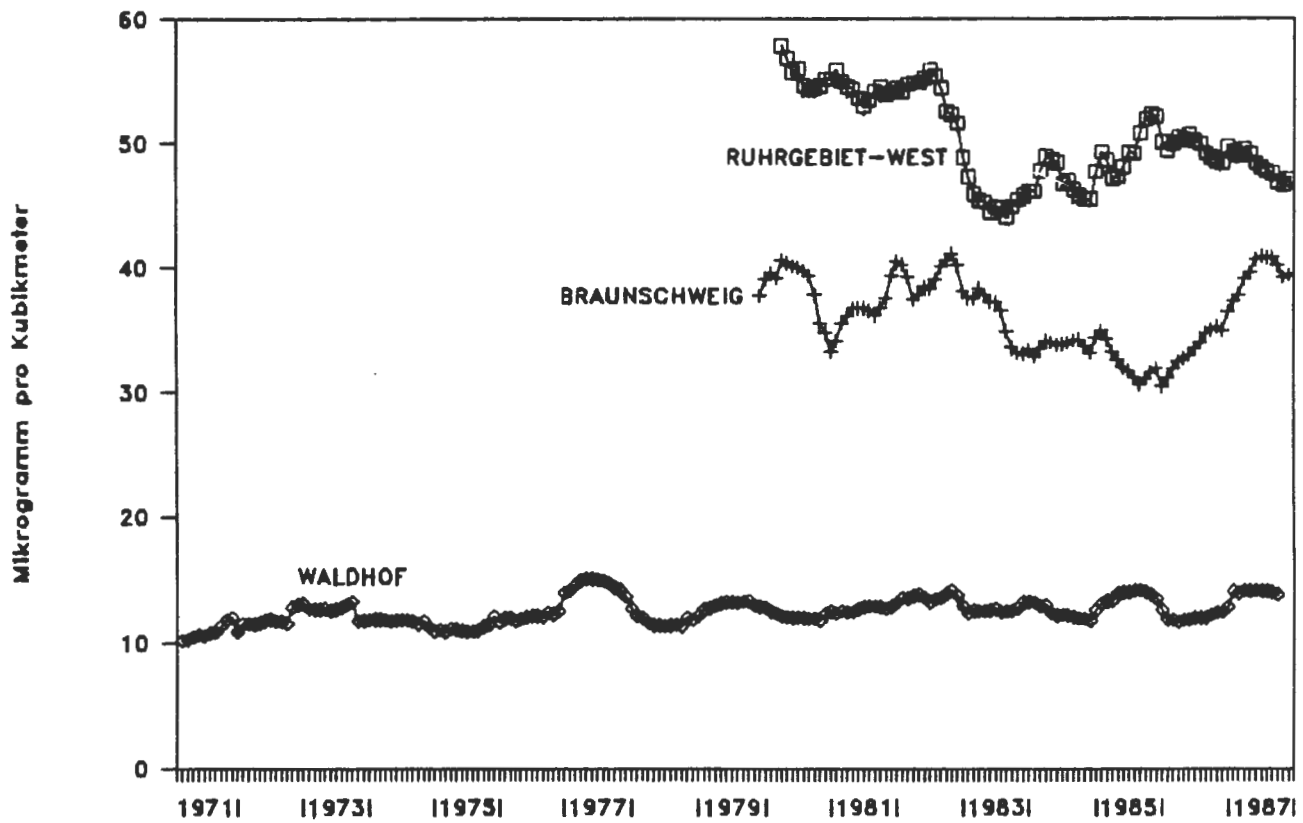


Abb. 14: Entwicklung der NO₂-Konzentrationen in der Umgebungsluft (gleitende Jahresmittel) für die Meßstelle Waldhof bzw. die Meßgebiete Braunschweig und Ruhrgebiet-West

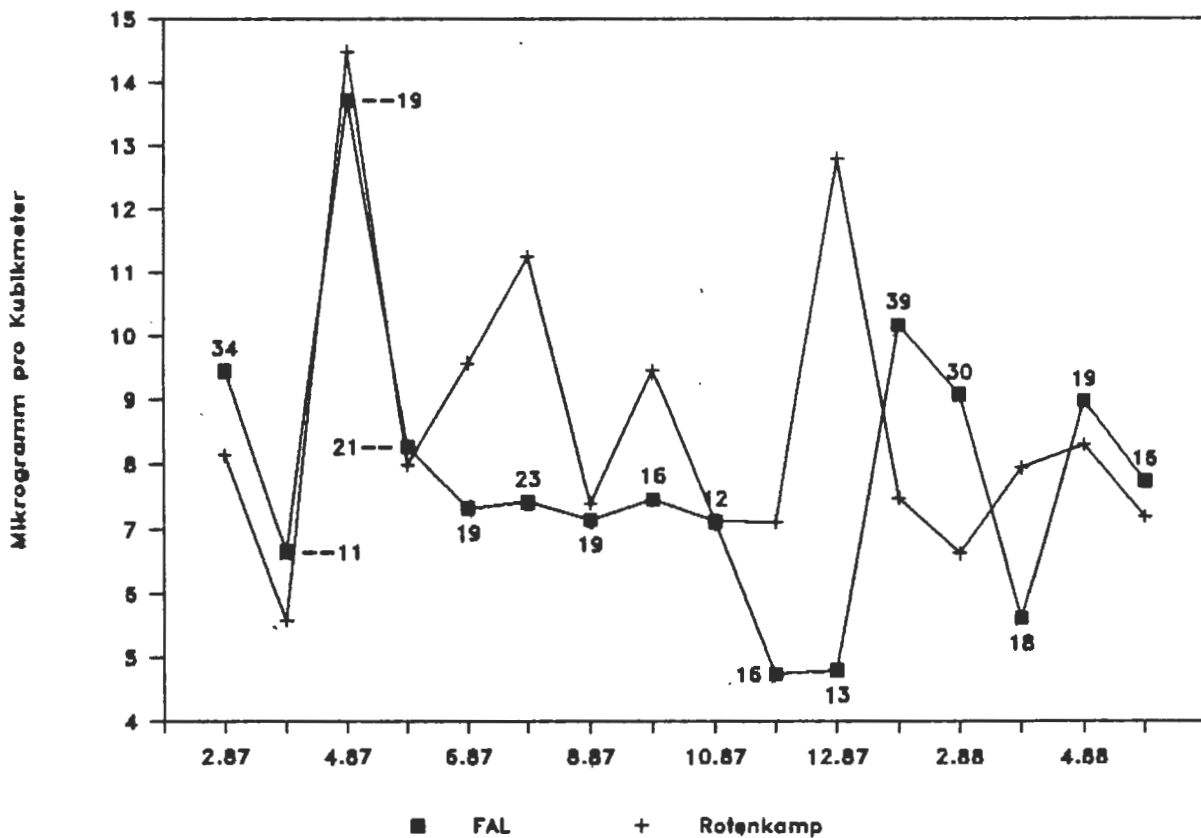


Abb. 15: Gang der Ammoniak-Konzentrationen (Monatsmittel und höchste Tagesmittel FAL) in der Umgebungsluft für die Meßstellen FAL und Rotenkamp

Bei den in Braunschweig herrschenden Konzentrationen an Stickstoffoxiden ist eine akute direkte Gefährdung von Pflanzen auszuschließen; NO wäre hierbei selbst bei sehr hohen Konzentrationen nicht toxisch. Für NO₂ sind jedoch synergistische Wechselwirkungen mit anderen Stressoren wie SO₂ und O₃ bekannt.

Eine Beeinträchtigung terrestrischer Ökosysteme ist zum einen über die Stoffeinträge aus der Deposition der Stickstoffoxide aus der Gasphase und die damit verbundene N-Düngung gegeben. Gefährdet sind alle Magerstandorte (Wälder, ombrogene Moore, Trockenrasen). Nach Meijer (1986) liegen die Grenzbelastungen (critical loads) für Wälder und Heiden bei 20 kg N/ ha * a. Diese Werte werden im Braunschweiger Raum durch die Depositionen von Stickstoffoxiden und Nitraten deutlich überschritten (Tab. 3).

2.4 Ammoniak

Es liegen keine den Abb. 1, 7 und 12 vergleichbaren Datensätze für die NH₃-Emissionen der BR Deutschland vor. Nach Buijsman (1987) werden als anthropogene NH₃-Emissionen 371.000 t/a angenommen (davon aus der Viehhaltung 329.000 t/a, aus Mineraldüngern 35.000 t/a und aus industri-

len Quellen 6.000 t/a). Über die Emissionen aus natürlichen Quellen existieren keine verlässlichen Schätzungen.

Im Braunschweiger Raum wird die NH₃-Konzentration in der Umgebungsluft auf der Versuchsfläche innerhalb des Geländes der FAL sowie an der Meßstelle Rotenkamp seit 1987 gemessen. Erste Ergebnisse sind in Abb. 15 dargestellt.

Bei Annahme realistischer Depositionsgeschwindigkeiten für kurze Vegetation werden die o.a. Grenzbelastungen (critical loads) für Stickstoff auch schon durch die Deposition von NH₃ und NH₄⁺-Verbindungen überschritten (vgl. Tab. 3).

2.5 Ozon

Ozon unterscheidet sich von den anderen bisher besprochenen Stoffen dadurch, daß es keine "echte" anthropogene Quelle hat. Es bildet sich unter den in der BR Deutschland herrschenden Immissionsverhältnissen vornehmlich aus NO₂ unter Lichteinwirkung. Die chemischen Reaktionen, an denen O₃ in der Luft beteiligt ist, sind insgesamt sehr komplex; so stellen z.B. Luftinhaltsstoffe wie NO reduzierende Reaktionspartner für O₃ dar. Hierauf sind die im Vergleich zu ländlichen Gebieten niedrigeren Konzentrationen in den Ballungsgebiete-

Tabelle 3: Abschätzung der N-Einträge in Grünlandökosysteme (Meßjahr 1987/88)

	Konzentration (µg/m ³)	Depositions- geschwindigkeit (cm/s)	Depositionsrate (kg N/ha*a)
aus der Gasphase:			
NO	14	0,1 (Hill 1971)	2
NO ₂	40	0,5 (Hill 1971; Droppo et al. 1976)	19
		1,9 (Droppo et al. 1976; Schwela 1977)	73
NH ₃	8	0,7 (Schwela 1977)	15
		1,9 (Duyzer et al. 1987)	39
aus sedimentierenden Niederschlägen:			
NH ₄ ⁺ -N			7
NO ₃ ⁻ -N			9
Gesamt-N-Einträge bei Annahme mittlerer Depositionsgeschwindigkeiten: 91 kg N/ha*a			
Gesamt-N-Einträge bei Annahme niedriger Depositionsgeschwindigkeiten: 52 kg N/ha*a			
Gesamt-N-Einträge bei Annahme hoher Depositionsgeschwindigkeiten : 130 kg N/ha*a			

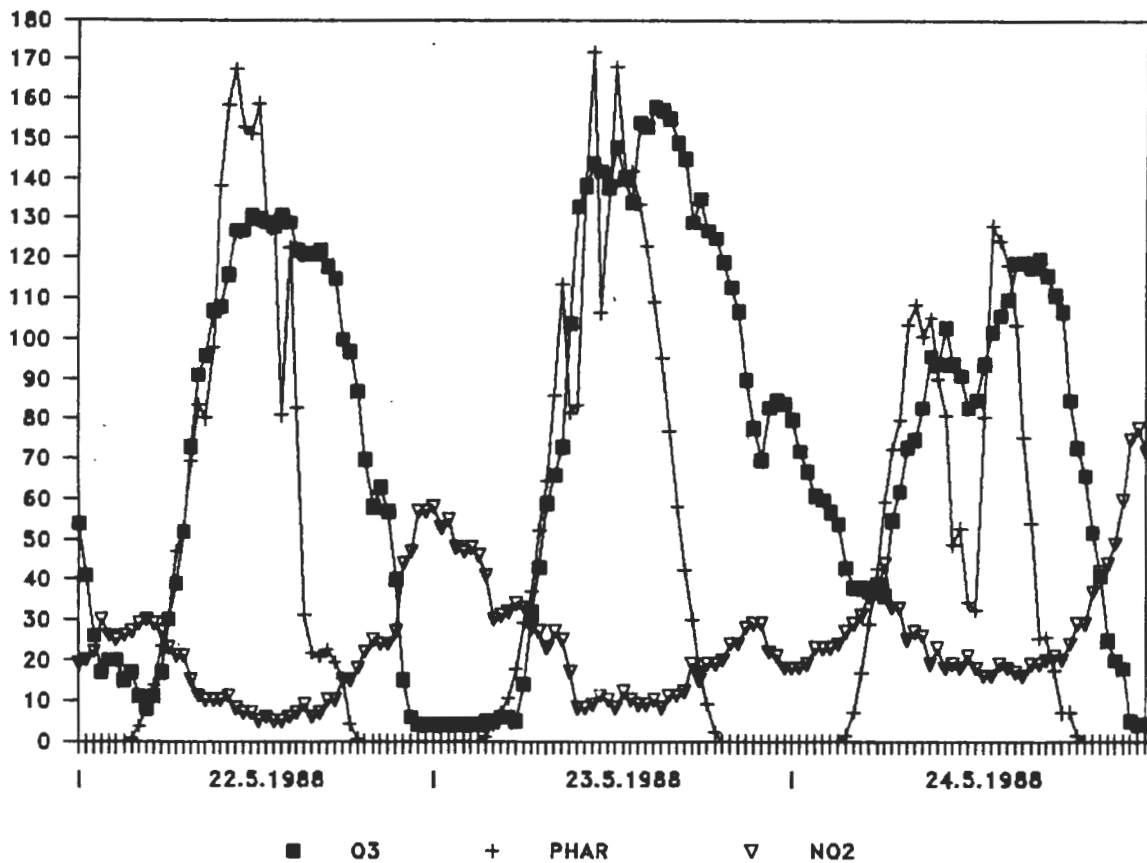


Abb. 16: Tagesgänge der O₃- und NO₂-Konzentrationen (µg/m³) in der Umgebungsluft sowie der photosynthetisch aktiven Strahlung (µE/m²*s*10). Meßstelle FAL

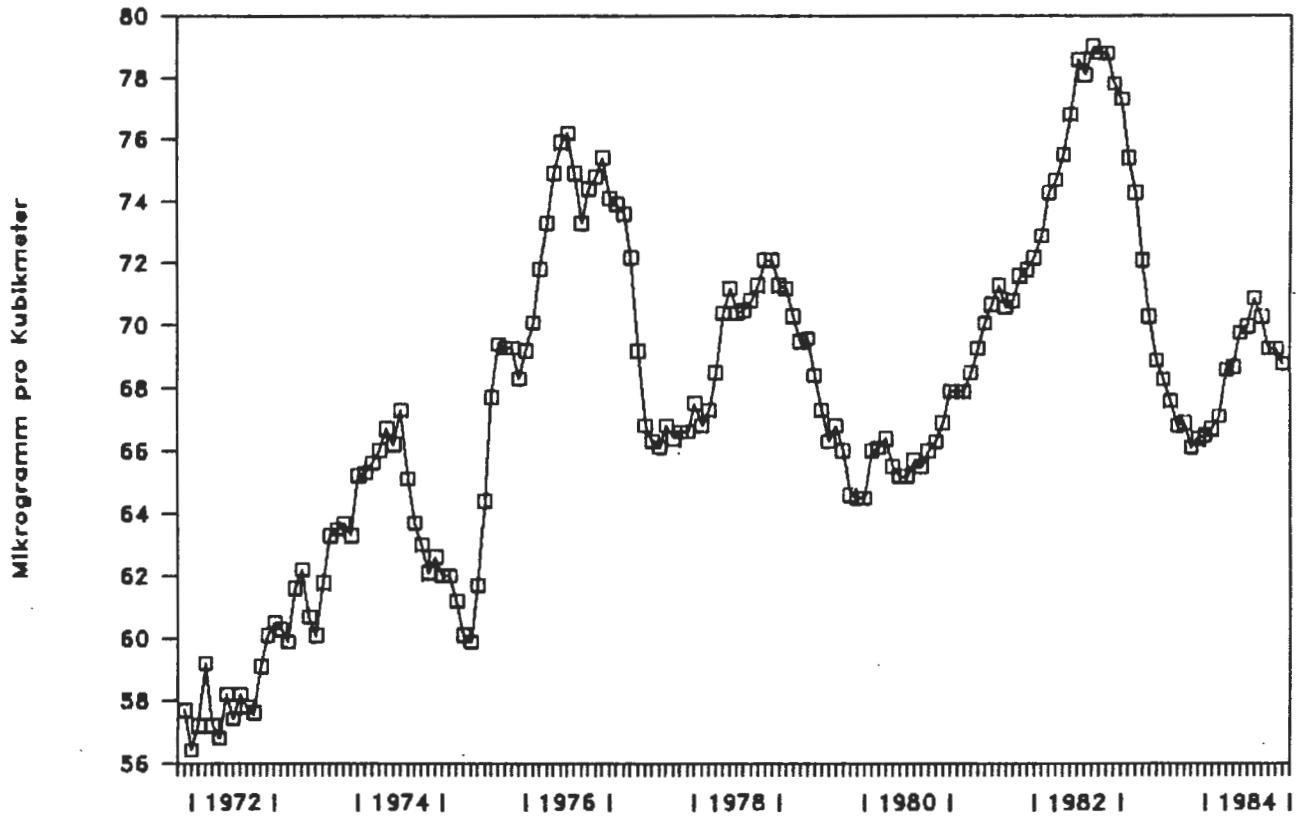


Abb. 17: Gleitendes Jahresmittel O₃ der Luftmeßstation Hohenpeißenberg (aus Grünhage und Jäger 1988 nach Umweltbundesamt 1986 b)

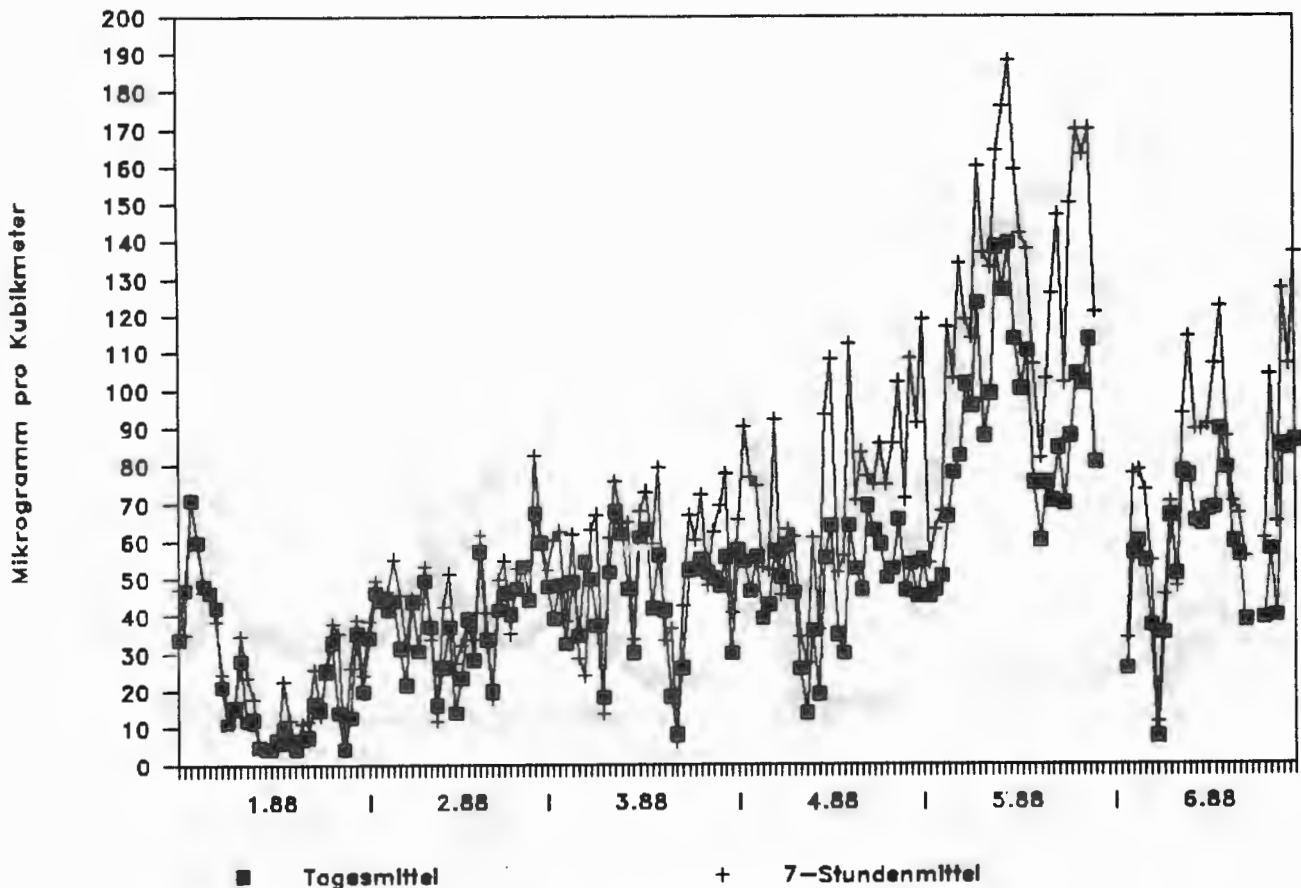


Abb. 18: Gang der O₃-Konzentrationen in der Umgebungsluft für die Meßstelle FAL

ten zurückzuführen. Das Zusammenspiel von O₃ und NO₂ im täglichen Zyklus geht aus Abb. 16 beispielhaft hervor.

Da die Emissionen von NO_x als Quelle für O₃ in den vergangenen zwei Jahrzehnten stetig zugenommen haben (vgl. Abb. 12), ist ein entsprechender Anstieg der O₃-Konzentrationen in ländlichen Gebieten zu erwarten. Hinreichend weit in die Vergangenheit zurückreichende Meßdaten für O₃ liegen nur für wenige Meßstellen vor. In Abb. 17 ist die Entwicklung der gleitenden Jahresmittel O₃ für die Luftmeßstation Hohenpeißenberg (Kreis Schongau, Obb.) angeführt: Es ist ein deutlicher Anstieg der O₃-Belastung zu beobachten.

Nach Lefohn und Mohren (1986) treten in Südostniedersachsen Spitzenkonzentrationen von bis zu 300 µg O₃/m³ Luft (Stundenmittel über 200 µg O₃/m³ Luft sind dabei relativ häufig; während der Vegetationssperiode 1985 z.B. wurde dieser Wert an der Meßstelle Waldhof an 15 Tagen überschritten (Grennfelt et al., 1987).

In Abb. 18 ist der Gang der O₃-Konzentrationen in der Umgebungsluft für die Meßstelle FAL angegeben. Es ist ein deutlicher Rückgang der Konzentrationen in den Wintermonaten zu verzeichnen. Für das Stadtgebiet Braunschweig werden Monatsmittel von ca. 10 bis ca. 70 µg O₃/m³ Luft (1983 - 1987) gemessen. Es ist allerdings zu berücksichtigen, daß Mittelwerte auf Tagesbasis wenig aussagekräftig für die Beurteilung des Gefährdungspotentials für die Vegetation sind. Geeignete Kriterien sind das sog. Siebenstundenmittel (9.00 - 16.00 Uhr MEZ) und die Häufigkeit und Höhe der Spitzenkonzentrationen,

wie sie in den I2-Werten zum Ausdruck kommen. Eine Bewertung der in Abb. 18 dargestellten Zusammenhänge bleibt einer späteren Arbeit vorbehalten.

Zusammenfassung

Seit 1983/84 werden vom Institut Untersuchungen zur Bewertung der Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Grünlandökosysteme vorgenommen. Die Versuchsflächen wurden Ende der Sechziger Jahre angelegt. Der Zustand des untersuchten Ökosystems zu Versuchsbeginn sehen wir als Ergebnis der Einflüsse (Faktorenkomplexe) des Wettergeschehens, der Bewirtschaftungsmaßnahmen, der Bodenverhältnisse (Wasserversorgung) und des chemischen Klimas (Stoffkonzentrationen in Luft und Niederschlägen, Stoffdepositionen) an. Aus vorhandenen Literaturdaten und eigenen Meßdaten wurde versucht, die möglichen Belastungen der untersuchten Fläche durch Schwefeldioxid, Schwebstaub, Stickstoffoxide, Ammoniak und Ozon retrospektiv zu ermitteln. Eine Gefährdung langlebiger gegenüber SO₂ sehr empfindlicher Pflanzen ist sehr wahrscheinlich. Unter den derzeitigen Emissionsverhältnissen für SO₂ in Südostniedersachsen wird sich das Gefährdungspotential erst dann verringern, wenn Stärke und Häufigkeit ferntransportgeprägter Smog-

Ereignisse abnehmen. Die Stickstoffeinträge aus der Luft überschreiten die critical loads für Wälder und Heiden (Magerstandorte) bei weitem.

Effects of air pollutants on vegetation and soils of grassland ecosystems

II. The concentrations of selected air pollutants in South East Lower Saxony in the past two decades

Investigations in order to evaluate the influence of air-pollutants on permanent grassland ecosystems have been performed since 1983/84. The plots, however, were installed in the late sixties. We regard the condition of the ecosystem under investigation in 1983 as the result of the influences of the physical climate, the management, the soil conditions including water supply and of the chemical climate (concentrations of gases and particulate matter, depositions). Therefore we investigated the potential load of our plots in the past with sulphur dioxide, suspended particulate matter, nitrogen oxides, ammonia, and ozone using data provided by literature and by own measurements. There is a definite risk for very sensitive plants to be affected by SO₂. This will be diminished only, when in addition to the present emission situation in South East Lower Saxony the intensity and the frequency of "imported" London type smog episodes are reduced. The N inputs exceed the generally accepted critical loads for forests and heath ecosystems by far.

Literatur

- Bezirksregierung Braunschweig (Hrsg.): Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN), Monatliche Meßergebnisse für die Überwachungsregion Braunschweig.
- Buijsman, E.: Ammonia emission calculation: fiction and reality. - In: Asman, W.A.H. und Diederer, H.S.M.A. (Eds.): Ammonia and acidification. Proc. Symposium of the European Association for the Science of Air Pollution (EURASAP), Bilthoven (Netherlands), April 13-15 (1987), S. 13 - 27.
- Buck, M., Ixfeld, H. und Ellermann, K.: Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region. - LIS-Ber. 18 (1982).
- Dämmgen, U.: Luftbelastung durch Schwefeldioxid im Raum Königslutter. - Braunsch. Naturk. Schr. 2 (1985), S. 373 -382.
- Dämmgen, U.: Schwebstaub-Konzentrationen im Raum Königslutter östlich von Braunschweig. - Braunsch. Naturk. Schr. 2 (1986), S. 595 - 602.
- Dämmgen, U., Grünhage, L. und Jäger, H.-J.: Analysen der Smog-Episoden im Januar 1985 und im Januar und Februar 1987 in Südostniedersachsen. - Braunsch. Naturk. Schr. 2 (1987), S. 759 - 772.
- Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes. Amtsblatt des Seewetteramtes und der Wetterämter Bremen, Essen, Hannover u. Schleswig.
- Droppo, J.G., Glover, D.W., Abbey, O.B., Spicer, C.W. und Cooper, J.: Measurement of dry deposition of fossil fuel plant pollutants. - EPA-600/4-76-056, EPA, Research Triangle Park, NC. (1976).
- Duyzer, J.H., Bouwman, A.M.M., van Aalst, R.M. und Diederer, H.S.M.A.: Assessment of dry deposition fluxes of NH₃ and NH₄ over natural terrains. - In: Asman, W.A.H. und Diederer, H.S.M.A. (Eds.): Ammonia and acidification. Proc. Symposium of the European Association for the Science of Air Pollution (EURASAP), Bilthoven (Netherlands), April 13-15 (1987), S. 97 - 106.
- Grennfelt, P., Saltbones, J. und Schjoldager, J.: Oxidant data collection in OECD-Europe 1985-87 (OXIDATE). Report on ozone, nitrogen dioxide and peroxyacetyl nitrate, April - September 1985. - Norsk Inst. for Luftforskning, NILU OR: 22/87, Lillestrom 1987.
- Grünhage, L., Dämmgen, U., Hertstein, U. und Jäger, H.-J.: Belastung von Grünlandökosystemen mit sauerstoffhaltigen Schwefelverbindungen. - Verh. Ges. Ökologie (Gießen 1986) 16 (1987), S. 131 - 135.
- Grünhage, L. und Jäger, H.-J.: Entwicklung der Nährstoff- und Schwermetallgehalte in Fichtennadeln aus dem Rhein-Main-Gebiet. - Angew. Botanik 62 (1988), S. 85 - 91.
- Haar, U. de: Das Meßstellen-Projekt. - Mitt. Komm. zur Erforschung der Luftverunreinigung 16 (1979), S. 60 - 119.
- Heinemeyer, O.: Ermittlung ökologischer Grenzbedingungen für Denitrifikationsprozesse; Entbindung von N₂O aus landwirtschaftlich genutzten Böden. - Jahresbericht 1982 der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), S. G29.
- Hill, A.C.: Vegetation: a sink for atmospheric pollutants. - J. Air Pollut. Control Ass. 21 (1971), S. 341 - 346.
- Jäger, H.-J., Grünhage, L. und Hertstein, U.: Auswirkungen von luftgetragenen Schadstoffen auf Grünlandökosysteme - Methodische Ansätze und erste Ergebnisse. - In: Inst. f. Pflanzenphysiologie, Karl-Franzens-Universität Graz (Hrsg.): Ökophysiologische Probleme durch Luftverunreinigungen (1988a), S. 41 - 56.
- Jäger, H.-J., Grünhage, L., Dämmgen, U., Hertstein U. und Fleckenstein, J.: Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Vegetation und Boden von Grünlandökosystemen. - I. Zusammenhänge, Arbeits- und Meßkonzept. - Landbauforschung Völkenrode 2 (1988b), S. 57 - 89.
- Külske, S.: Analyse der Periode sehr hoher lokaler Luftbelastungen vom 15. 01. 1982 bis 20. 01. 1982. - LIS-Berichte 24 (1982), S. 5 - 80.
- Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen (Hrsg.): Monatsberichte über die Luftqualität an Rhein und Ruhr, 1/1978 - 12/1987.
- Lefohn, A.S. und Mohnen, V.A.: The characterization of ozone, sulfur dioxide, and nitrogen dioxide for selected monitoring sites in the Federal Republic of Germany. - J. Air Pollution Control Association 36 (1986), S. 1329 - 1337.
- Meijer, K.: Critical loads for sulphur and nitrogen deposition in the Netherlands. - In: Nilsson, J.(Ed.): Critical loads for ni-

trogen and sulphur. Nordisk ministerråd, miljö rapport 11 (1986), S. 223 - 232.

Nds. Minister für Bundesangelegenheiten (Hrsg.): Reinhaltung der Luft 7 (1983), S. 192 - 193, 201 - 202.

Nds. Sozialminister (Hrsg.): Reinhaltung der Luft 1 (1973), S. 61 - 86.

Nds. Sozialminister (Hrsg.): Reinhaltung der Luft 6 (1981), S. 201 - 202.

Schwela, D.: Die trockene Deposition gasförmiger Luftverunreinigungen. - Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz (LIS) 42 (1977), S. 46 - 85.

Stratmann, H.: Wirkung von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. - LIS-Berichte 49 (1984), S. 5 - 37.

Umweltbundesamt (Hrsg.): Monatsberichte aus dem Meßnetz.

Umweltbundesamt (Hrsg.): Die Zeitreihe "Immissionskonzentrationen" I. - Monatsberichte aus dem Meßnetz 8/84 (1984), S. 3 - 37.

Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt. - Schmidt, Berlin (1986a)

Umweltbundesamt (Hrsg.): Zeitreihenanalyse von Immissionswerten. - Monatsberichte aus dem Meßnetz 7/86 (1986b), S. 3 - 41.

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Die Emission von Schwefelverbindungen. Die Entwicklung der Emissionsmengen in der Bundesrepublik Deutschland seit 1960. - VDI-Ber. 186 (1972).

VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (VDI-RdL): Maximale Immissions-Werte zum Schutze der Vegetation. Maximale Immissions-Werte für Schwefeldioxid. - VDI 2310, Bl.2 (1978).

Verfasser: Grünhage, Ludger, Dr. rer. nat.; Jäger, Hans-Jürgen, Prof. Dr. rer. nat.; Institut für Produktions- und Ökotoxikologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Institutsleiter: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Jäger.

Dämmgen, Ulrich, Dr. rer. nat.; Sonderforschungsbereich "Wasser- und Stoffdynamik in Agrar-Ökosystemen" (SFB 179), Technische Universität Braunschweig