

Sonderdruck aus: Bochumer Geographische Arbeiten, Heft 42,  
S. 24 - 66, 1982

# STAUSEE KEMNADE

Geographische Beiträge  
im interdisziplinären Forschungsprojekt  
der Ruhr-Universität Bochum

Herausgegeben von  
Detlef Schreiber und Karlheinz Hottes

FERDINAND SCHÖNINGH · PADERBORN · 1982

## NIEDERSCHLAGSWASSERANALYSEN IM RAHMEN DES STAUSEEPROJEKTES "KEMNADE"

Wilhelm Kuttler

Summary: Air pollutants are removed from the atmosphere by dry and wet deposition. It is difficult to estimate the extent of dry deposition because the specific deposition velocities are influenced by different parameters (meteorological, local and time factors). A much more easier possibility is the measurement of pollutants which are deposited by different forms of precipitation. Such investigations have been carried out since 1978 at Bochum (stations are located in the Botanical garden and around the storage-lake Kemnade) and are still running. Precipitation has been collected in open collectors (bulk-samplers) and weekly analysed on the contents of sulphate, calcium, chloride, ammonium; at the same time the pH-value has been determined. First preliminary results of a two year period can be presented.

### 1. Ziel der Untersuchungen

Im Rahmen der geländeklimatologischen Untersuchungen des im Süden Bochums im Gebiet des Witten - Kettwiger Ruhrtals gelegenen Stausees Kemnade (SCHREIBER 1982) wurden im Zusammenhang mit der Messung der Niederschlagsmengen die gesammelten festen und flüssigen Niederschläge einer chemischen Analyse der Spurenstoffe Sulfat, Calcium, Chlorid und Ammonium unterworfen; zusätzlich wurde der pH-Wert des Probengutes ermittelt.

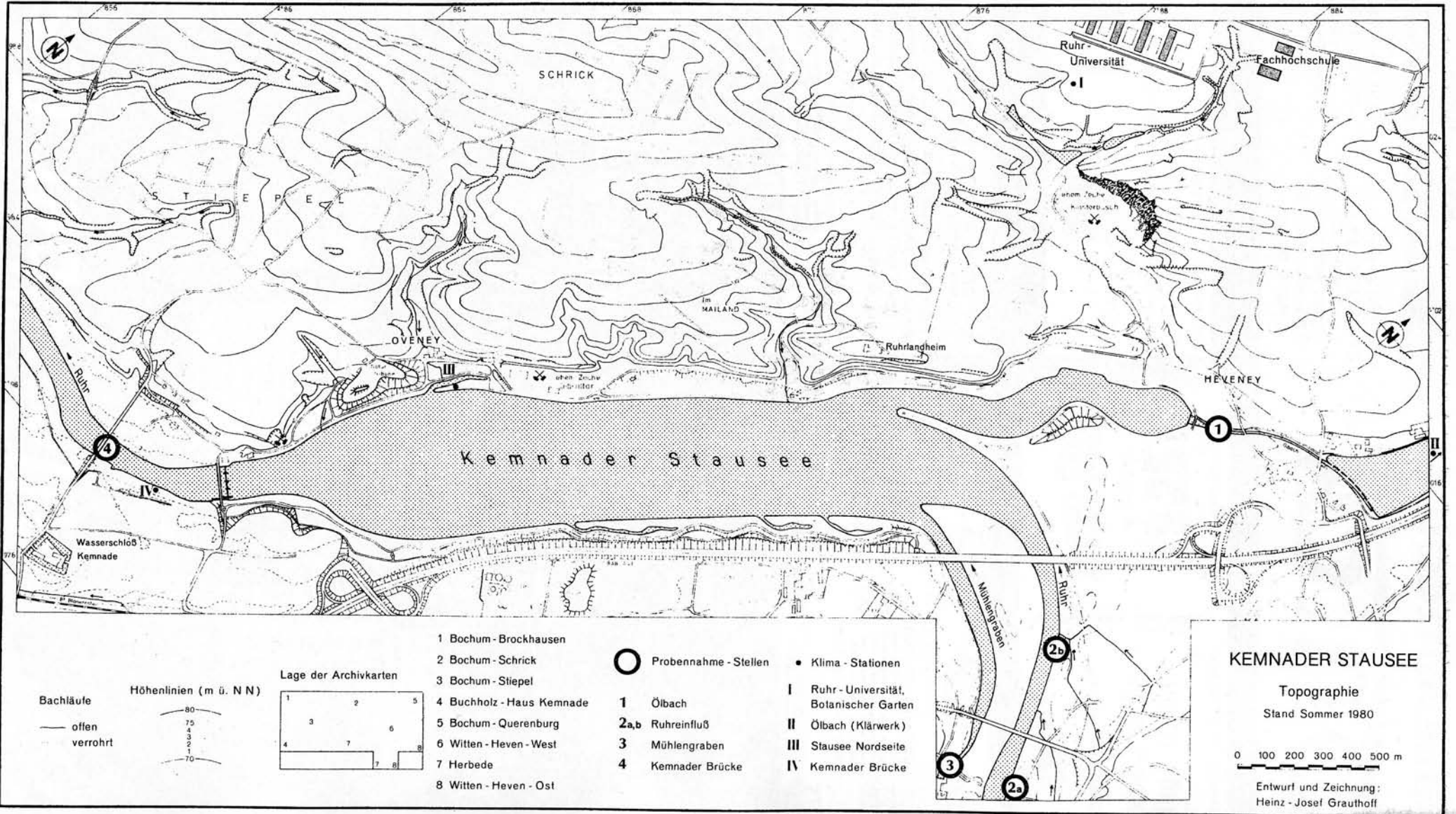
Ziel dieser Untersuchungen war es, mit Hilfe der Bestimmungen der gemessenen Spurenstoffkonzentrationen und der entsprechenden Niederschlagsmengen Aussagen über die Höhe der Spurenstoffdepositionen im Stauseebereich machen zu können.

Das ursprünglich mit vier Probenahmestationen (Lage der Stationen siehe Abbildung 1) lokal auf den Stauseebereich begrenzte Projekt "Niederschlagswasseranalysen ..." wurde nach Beendigung des interdisziplinären Forschungsvorhabens "Stausee Kemnade", an dem 16 Institute verschiedener Fachrichtungen beteiligt waren, im Jahre 1980 durch den Aufbau weiterer Niederschlagsmeßstationen in Geldern/Niederrhein, Lünen, Wuppertal und Lüdenscheid sowie zeitweise auch in Obergurgl/Tirol erweitert. Durch die räumliche Ausdehnung des Untersuchungsvorhabens auf Gebiete, die sowohl in lufthygienischer Hinsicht unterschiedliche Belastungsstufen repräsentieren als auch verschiedenen Niederschlagsregimen angehören, sollen nach Abschluß des Gesamtprojektes im Laufe des Jahres 1982 exemplarisch Aussagen über regional bedingte unterschiedlich hohe Spurenstoffbelastungen gemacht werden können.

Neben der räumlichen und zeitlichen Erweiterung der Untersuchungen wurde auch die Anzahl der analysierten Parameter vergrößert; zu den oben genannten Spurenstoffnachweisen kamen ferner Analysen auf Blei und Nitrat hinzu; ergänzend wurde jeweils die elektrische Leitfähigkeit der Proben ermittelt.

Über als vorläufig aufzufassende Teilergebnisse, die unter Zugrundelegung des zweijährigen Untersuchungszeitraumes Mai 1978 bis April 1980 anhand der Analysendaten der Probenahmestationen im Bereich des "Kemnader Stausees" zusammengestellt wurden, konnte unter Berücksichtigung einzelner Schwerpunktaspekte bereits auf verschiedenen Tagungen berichtet werden (KUTTLER 1981 a, b, c; 1982, a - d). Auf diese Einzelarbeiten wird in dem hier zu-

Abb. 1 Lage der Probenahmestationen am Kemnader Stausee



sammenfassend dargestellten vorläufigen Überblick, dem ebenfalls der Meßzeitraum Mai 1978 bis April 1980 zugrundeliegt, jeweils zurückgegriffen.

## 2. Luftchemische Zusammensetzung der Industriegebietsatmosphäre und Herkunft der Spurenstoffe

Da die Niederschlagswasseranreicherung durch verschiedene in diesem Forschungsvorhaben analysierte Spurenstoffe vorwiegend durch großräumig ablaufende meteorologische und luftchemische Prozesse gesteuert wird, soll nachfolgend anhand eines kurzen Überblicks auf das Auftreten und die Verbreitung der wichtigsten Inhaltsstoffe in der bodennahen Atmosphäre kurz eingegangen werden.

Definitionsgemäß ist troposphärische Luft ihrer chemischen Zusammensetzung nach ein aus mehreren Komponenten bestehendes Gasgemisch, in dem partikelförmige und flüssige Schwebstoffe dispers verteilt sind. Wird die "natürliche Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe" verändert, spricht man im Sinne der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft vom 28.08.1974) von verunreinigter Luft.

Die Liste der luftverunreinigenden Spurenstoffe umfaßt ein weitgespanntes Spektrum chemischer Verbindungen, deren wichtigste Schadstoffgruppen in Tabelle 1 zusammengefaßt sind.

### 1. Schwefelverbindungen

$\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CS}_2$

### 2. Stickstoffverbindungen

"nitrose Gase" ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ); Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ )

### 3. Kohlenmonoxid

$\text{CO}$

### 4. Halogene und Halogenverbindungen

Chlor-, Brom- sowie Fluorverbindungen (z. B.  $\text{HF}$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  und ihre Salze,  $\text{HCl}$ )

### 5. flüchtige aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe und ihre Oxidationsprodukte

z. B. Aldehyde, Ketone, Säuren, Peroxide

### 6. verschiedenartige belästigende Stoffe mit intensiverem Geruch

z. B. Amine, Merkaptane, Buttersäure, Pyridin

### 7. anorganische Stäube

Verbindungen von Blei, Eisen, Mangan, Chrom, Kupfer, Nickel, Vanadium, Beryllium, Zink, Arsen, Molybdän, Selen, Silizium u. a.

### 8. Ruß und organische Produkte

z. B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe wie das krebserzeugende 3,4-Benzpyren

### 9. Abrieb von Teer- und Asphaltstraßen sowie von Autoreifen

### 10. Oxidantien

z. B. Ozon ( $\text{O}_3$ ), eine allotrope Modifikation des Sauerstoffs

Im allgemeinen lassen sich zwischen 300 und 500 verschiedene luftfremde Stoffe unterscheiden, die als Luftverunreinigungen insbesondere in den bodennahen Luftschichten von Industriegebieten vorhanden sein können. Für einige ubiquitär auftretende Spurenstoffe wurden ihre Konzentrationswerte in unbelasteten und belasteten Atmosphären gegenübergestellt sowie die entsprechenden Verhältniswerte (belastet/unbelastet) berechnet (Tabelle 2). Die Anreicherungs-faktoren machen sehr deutlich, daß es vornehmlich das Schwefeldioxid, das Kohlenoxid und auch die Stäube sind, die unter den Immissionen in der Industriegebietsatmosphäre dominieren.

Spurenstoff	unbelastet	belastet	Verhältnis belastet/unbelastet
Staub	0,01 - 0,02 mg/m <sup>3</sup>	0,07 - 0,7 mg/m <sup>3</sup>	7 - 35
Schwefeldioxid	0,001 - 0,01 mg/m <sup>3</sup>	0,05 - 5,2 mg/m <sup>3</sup>	50 - 520
Kohlendioxid	310 - 330 ppm	350 - 700 ppm	1,1 - 2,1
Kohlenoxid	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

Tabelle 2: VERGLEICH ZWISCHEN EINER "REINLUFTATMOSPHERE" UND EINER "INDUSTRIEGEBIETSATMOSPHERE" (nach KUTTLER 1979 b)

Am Zustandekommen der unterschiedlich hohen Spurenstoffkonzentrationen sind sowohl emissionsbedingte topographische und jahreszeitliche als auch meteorologische Faktoren beteiligt, die im Mittel zu einem differenzierten Verteilungsmuster der Immissionskonzentrationen führen, wie es am Beispiel des nach wie vor wichtigsten Schadstoffes für den Rhein-Ruhr-Raum, des Schwefeldioxids in Abbildung 2 dargestellt ist.

Nach den Messungen der Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Essen, ergaben sich zum Beispiel im Durchschnitt höchste Immissionsbelastungen (>100 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) in den Städten Bottrop, Castrop-Rauxel, Oberhausen und Duisburg, mittlere Belastungen (90 - 100 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) in Mülheim-Styrum, Duisburg-Walsum, Duisburg-Buchholz, Bochum und Gelsenkirchen, geringere Belastungen (80 - 90 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) in Moers-Meerbeck, Recklinghausen, Wanne-Eickel, Essen und Düsseldorf, geringste Belastungen (<80 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) in Voerde-Spellen, Hagen, Rheinberg-Budberg, Hünxe und Duisburg-Kaldenhausen.

Neben der differenzierten horizontalen Verteilung der Immissionskonzentrationen lassen Messungen in der unteren Atmosphäre einen charakteristischen vertikalen Konzentrationsverlauf erkennen (Abb. 3), wonach die Immissionsbelastung an SO<sub>2</sub> vom Erdboden bis zu einer Höhe von 300 m ü. G. zuerst ab-, dann bis etwa 500 m ü. G. (im Bereich der effektiven Quellniveaus der Schornsteine) zunimmt und sich in größeren Höhen dann abfallend allmählich auf Grundbelastungswerte reduziert.

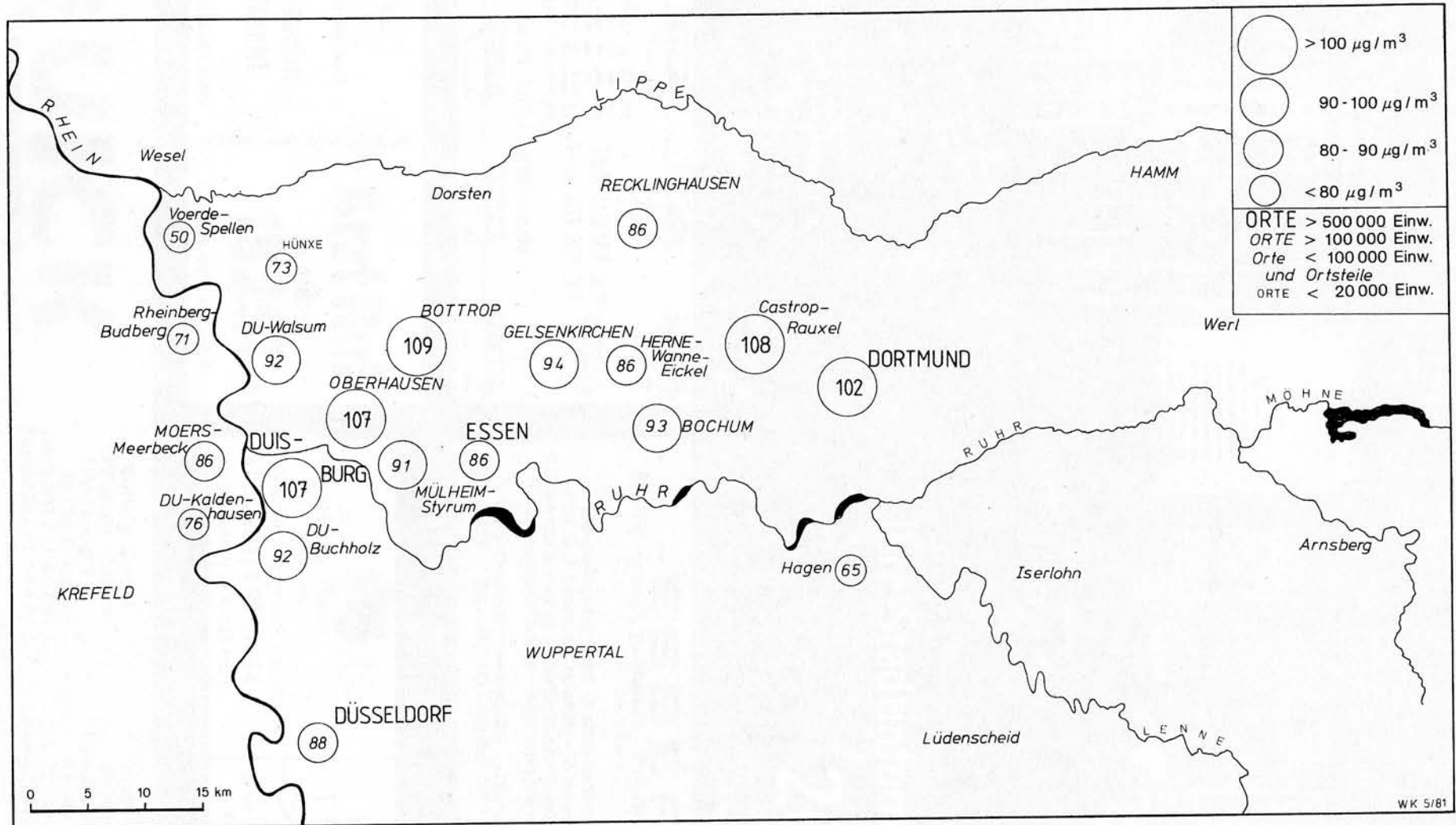


Abbildung 2: MITTLERE SO<sub>2</sub>-IMMISSIONSBELASTUNG IM JAHRE 1980 AN STATIONEN IM RHEIN-RUHR-RAUM

(berechnet nach Angaben der LIS Essen)

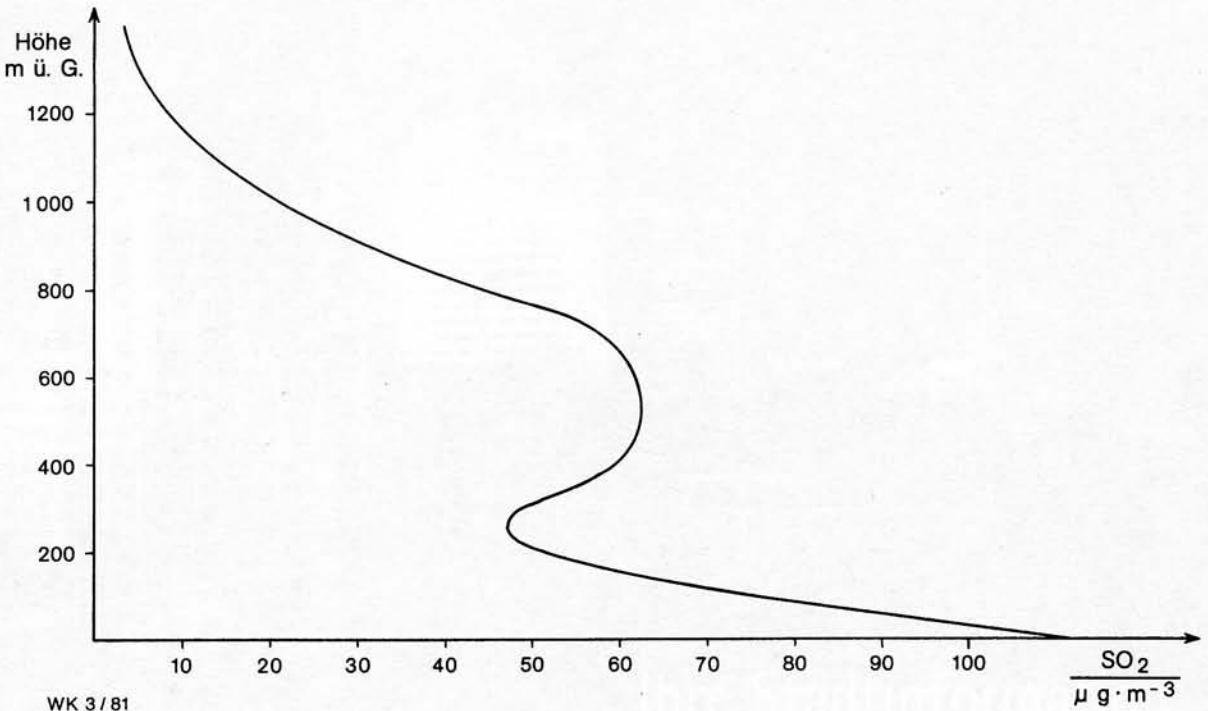


Abbildung 3: VERTIKALPROFIL DER SCHWEFELDIOXIDKONZENTRATIONEN DER LUFT  
 ÜBER DEM NÖRDLICHEN RUHRGEBIET  
 (nach BALTRUSCH 1979, schematisiert und verändert aus KUTTLER 1981 a)

Das Profil macht den Zweischichtcharakter des Konzentrationsverlaufes deutlich, wonach ein primäres Maximum in Bodennähe, ein sekundäres im Quellniveau der Schornsteine besteht. Während der jahreszeitliche Einfluß auf das sekundäre Maximum ohne großen Einfluß bleibt - es sei denn, Inversionsgrenzen liegen in nur geringer Höhe über dem Quellniveau der Schornsteine (GIEBEL 1974; REIDAT & BOHNSACK 1963) -, lassen sich in Bodennähe ausgeprägte Jahresgänge der Immissionskonzentrationen (Abb. 4) mit rund doppelt so hohen Winter- wie Sommerwerten beobachten.

Eine Korrelationsrechnung, die zwischen den langjährigen Monatsmitteln der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen und den langjährigen Monatsmitteln der Lufttemperaturen für die Station Bochum durchgeführt wurde, zeigte einen Korrelationskoeffizienten von  $r = -0,97$  und somit eine hochsignifikante umgekehrt proportionale Abhängigkeit der  $\text{SO}_2$ -Immissionskonzentrationen von der Höhe der Monatsmittel der Lufttemperaturen (KUTTLER 1981 a). Dies kann neben dem Einfluß der Austauschermut als Hinweis auf den außenlufttemperaturabhängigen Hausbrand gewertet werden, der als niedrige Flächenquelle stark luftverschmutzend insbesondere in heizungsintensiven Zeiten auftritt.

Die räumlichen (horizontalen sowie vertikalen) und zeitlichen Verteilungen der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen liefern somit Hinweise auf die Emittentengruppen des Schadstoffes. Einerseits nämlich entsteht Schwefeldioxid durch das Verbrennen schwefelhaltiger Brennstoffe, andererseits wird es in der Industrie beim Rösten beziehungsweise Entschwefeln sulfidischer Erze in Verhüttungsbetrieben und bei der Erzeugung von Dünger, Soda, Schwefelsäure und Zellulose freigesetzt; darüber hinaus ist es in den Abgasen von Raffinerien und Bleichereien enthalten. Nach seiner Freisetzung entsteht aus dem Schwefeldioxid durch photochemische Reaktionen und unter der katalytischen Wirkung von Ruß- und Staubpartikeln Sulfat (GEORGII 1981; GEORGII & HERRMANN 1979; GIEBEL 1977), das dann zu überwiegendem Teil durch die Niederschläge der Atmosphäre entzogen und dem Boden zugeführt wird. Den Zusammenhang zwischen Sulfatgehalten im Niederschlagswasser und den Schwefeldioxidkonzentrationen der Luft belegt Abb. 5, die unter Verwendung der Monatsmittelwerte beider Schadstoffkomponenten entstand.

Der Spurenstoff Calcium gelangt in den Verbindungen Calciumcarbonat beziehungsweise Calciumoxid in die Atmosphäre. Calcium entstammt in feinstverteilter Form Steinbrüchen, Steinerkleinerungsanlagen, Kalkbrennereien, kalkverarbeitenden Betrieben sowie Zementwerken, und da Calcium wesentlicher Bestandteil des Zements ist, gelangt dieser Spurenstoff auch noch durch erhöhte Bautätigkeit (Baustaub durch Abbruchtätigkeit) in die Luft.

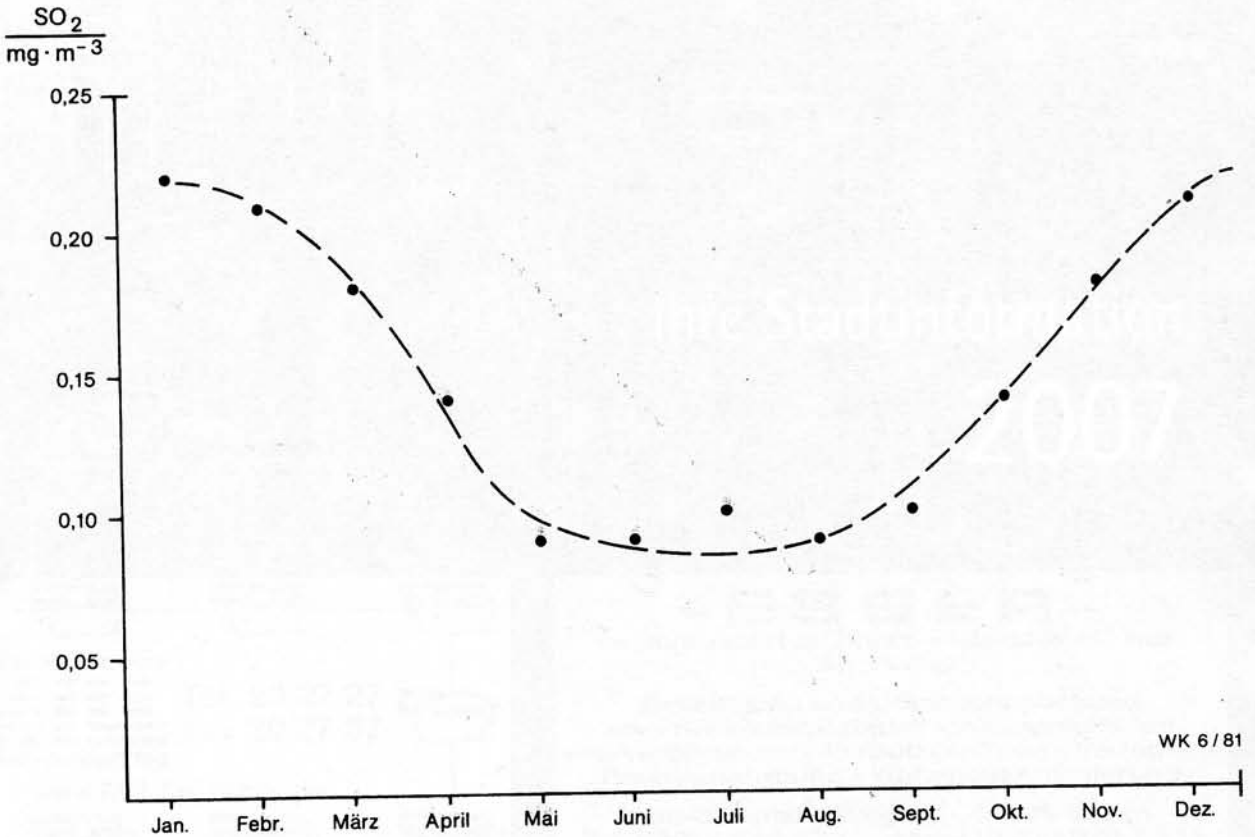


Abbildung 4: JAHRESGANG DER SO<sub>2</sub>-IMMISSIONSKONZENTRATIONEN AN DER STATION BOCHUM  
(nach KUTTLER 1981 a)

Ammoniak und Ammoniumsalze, die in wäßriger Lösung beide das Ammoniumion (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) enthalten, entstehen auf natürliche Weise bei Fäulnis- und Verwesungsprozessen. Darüber hinaus wird dieser Spurenstoff von Kokereien, Schwelereien, Harnstoff- und Gaswerken, landwirtschaftlichen beziehungsweise Reitsportbetrieben (Pferdeställe) sowie Ammoniakfabriken und deren Hydrieranlagen produziert.



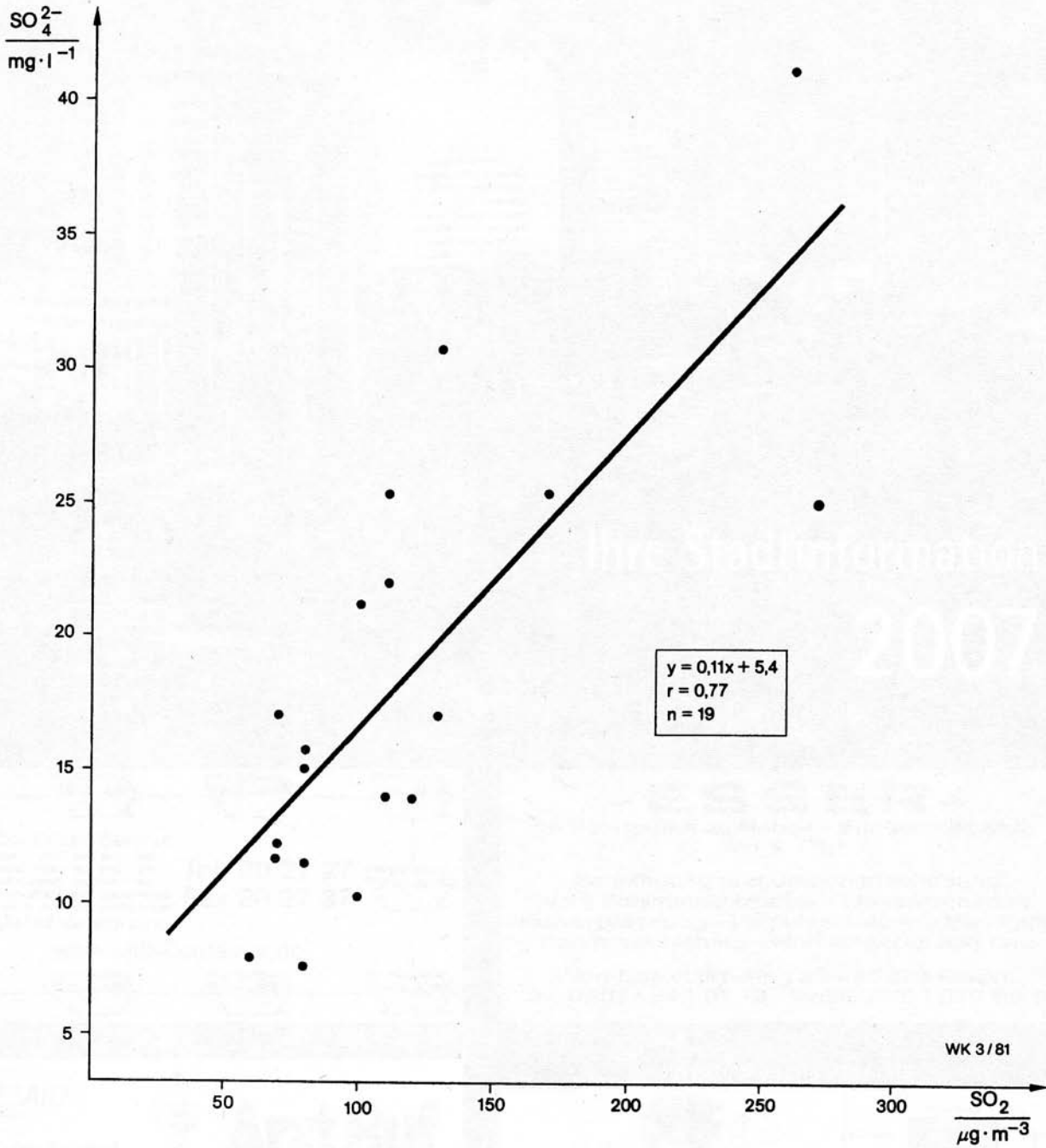


Abbildung 5: ABHÄNGIGKEIT DER SULFATKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER VON DEN SCHWEFELDIOXIDKONZENTRATIONEN DER LUFT (Oktober 1978 bis April 1980)

Chloridionen gelangen auf natürlichem Wege durch den durch die Meeresbrandung entstehenden Blasensprüh in die Atmosphäre. Als industrielle Quellen dieser Emissionen können chemische Betriebe genannt werden, in denen Chlor hergestellt oder verarbeitet wird (z. B. Düngemittel-, Emaille-, Kunstfaser- und Porzellanfabriken sowie Ziegeleien, Metallbeize-  
reien, Metallschmelzwerke und auch Müllverbrennungsanlagen).

### 3. Methode

Das an den vier Klimastationen im Stauseebereich aufgefangene Niederschlagswasser wurde auf die vier vorgenannten Spurenstoffe und den pH-Wert untersucht. Hierzu wurden die Niederschlagsmeßstationen mit Auffangtrichtern und Sammelflaschen aus Polyäthylen ausgerüstet und in 1,5 m Höhe über kurzgehaltenem Rasen installiert. Die Sammeltrichter besitzen eine Auffangfläche von 200 cm<sup>2</sup>, die mit ihnen verbundenen strahlungsgeschützt angebrachten Vorratsflaschen ein Fassungsvermögen von 1 l Regenwasser. Zur Vergrößerung der Auffangfläche wurde jede Klimastation mit zwei Niederschlagsmeßgeräten ausgerüstet. Bei diesen Geräten handelt es sich um offene Auffanggeräte (sogenannte "bulk-sampler"; WHITEHEAD & FETH 1964; MILLER & MILLER 1980), die zur Verhinderung von Vogelkotverschmutzung mit Schutzdrähten versehen sind. Proben, die offensichtlich dennoch durch Vogelkot verunreinigt waren, wurden ebenso verworfen wie solche, die makroskopisch Verunreinigungen durch Insektenleichen aufwiesen. Darüber hinaus waren einige wenige Proben durch die Fremdeinwirkung unbekannter Personen unbrauchbar gemacht worden.

Die Expositionsdauer der Geräte betrug eine Woche; jeweils montags wurden die Vorratsflaschen durch neue ersetzt und die Auffangtrichter mit destilliertem Wasser gründlich gereinigt. Ermittelt wurde die genaue Niederschlagsmenge mit den üblicherweise Verwendung findenden HELLMANN Regenmessern, die ebenfalls in 1,5 m Höhe über kurzgehaltenem Rasen errichtet worden waren. Auch an diesen Stationen wurde einmal wöchentlich, und zwar ebenfalls montags, die gefallene Niederschlagsmenge bestimmt. Für Kontrollbestimmungen standen die Meßergebnisse eines schreibenden Regenmessers der Klimastation des Geographischen Institutes im Botanischen Garten der Universität zur Verfügung. Die Regenwasseranalysen wurden sofort nach Entnahme an den vier Stationen im Labor des Geographischen Instituts durchgeführt; in denjenigen Fällen, in denen eine sofortige Spurenstoffbestimmung aus technischen oder personellen Gründen nicht möglich war, wurde das Probengut strahlungsgeschützt im Kühlschrank bei einer Temperatur von ca. +4°C bis zur endgültigen Verarbeitung aufbewahrt. In der Regel erfolgte eine Bearbeitung der Proben nicht später als 3 Tage nach erfolgter Probennahme. Von einer signifikanten Veränderung des Probengutes durch die 3tägige Lagerung im Kühlschrank braucht bei den hier untersuchten Spurenstoffen nach GEORGII et al. (1980) nicht ausgegangen zu werden.

Für die analysierten Spurenstoffe wurden die Konzentrationen in mg · l<sup>-1</sup> Regenwasser bestimmt; aus den ermittelten Wochenwerten wurden sodann die Monats-, Jahreszeiten- und Jahreswerte als arithmetische Mittel nach Gleichung (1) berechnet:

$$M_{arith} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i$$

$$\begin{aligned} M_{arith} &= \text{arithmetischer Mittelwert} \\ n &= \text{Anzahl der Proben} \\ K &= \text{Konzentrationen} \end{aligned} \quad (1)$$

Die gemessenen Niederschlagsmengen wurden in mm (gleichbedeutend mit l · m<sup>-2</sup>) angegeben. Aus den Spurenstoffkonzentrationen und der gefallenen Niederschlagsmenge wurde nach Gleichung (2) die entsprechende Bodenbelastung ermittelt:

$$D_t = K_t \cdot N_t$$

$D_t$  = Bodenbelastung [ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ ] im Zeitraum  $t$   
 $K_t$  = Konzentration [ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ] im Zeitraum  $t$  (2)  
 $N_t$  = Niederschlagsmenge [ $\text{l} \cdot \text{m}^{-2}$ ] im Zeitraum  $t$   
 $t$  = zugrundegelegter Meßzeitraum [Woche, Monat, Jahr]

Die Bodenbelastung wurde für den Bereich des Stausees in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Monat}^{-1}$  angegeben.

Aufgrund der offenen Bauart der über eine Woche lang exponierten Probennahmegefäße ließen sich die abgelagerten Spurenstoffe Calcium, Chlorid und Ammonium nicht hinsichtlich eines trockenen und nassen Depositionsanteiles unterscheiden. Es handelt sich hierbei also um Mischproben, für die eine Gesamtflächenbelastung berechnet wurde. Am Beispiel des Spurenstoffes Schwefel wird jedoch exemplarisch eine Berechnung der trocken und naß abgelagerten Mengen durchgeführt.

Zur Bestimmung der mittleren pH-Werte wurden die pH-Wert-Einheiten in  $\text{H}^+$ -Ionenkonzentrationen umgerechnet, hieraus die Mittelwerte bestimmt und anschließend wieder in die pH-Wert Einheit umgewandelt. Auf diese Selbstverständlichkeit wird deshalb hingewiesen, weil dies insbesondere in älteren Veröffentlichungen nicht immer für notwendig erachtet wurde (z. B. STEINHAUSER 1958).

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte für Monats-, Jahres-, Sommerhalbjahres- und Winterhalbjahreswerte. Die Berechnungsgrundlage für das Sommerhalbjahr umfaßte den Zeitraum vom 01. April bis 30. September, die für das Winterhalbjahr den vom 01. Oktober bis 31. März.

### 3.1 Analysenverfahren

Die Analysenverfahren und methodischen Schritte orientierten sich an folgenden Schriften: AUTORENTEAM (1971), IWANTSCHIEFF (1972), LANGE (1970).

#### 3.1.1 pH-Wert Bestimmung

Der pH-Wert wurde potentiometrisch mit einer Einstabmesskette (Glaselektrode, SCHOTT Nr. N 61) bestimmt. Die Meßkette besteht aus 2 Elektroden, einer Bezugslektrode (gesättigte Kalomel-Elektrode  $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) mit konstantem Potential und einer Meßelektrode (Glaselektrode), deren Potential spezifisch von der  $\text{H}^+$ -Ionenkonzentration beeinflußt wird. Einzelpotentiale können nicht gemessen werden, jedoch die zwischen den beiden Elektroden auftretenden Potentialdifferenzen, so daß hieraus der pH-Wert einer Lösung bestimmt werden kann. Da der Potentialverlauf einer Glaselektrode nicht völlig den berechneten theoretischen Werten entspricht, muß diese mit Pufferlösungen bestimmter pH-Werte geeicht werden. Die Reproduzierbarkeitsgrenze der Meßwerte liegt bei  $\pm 0,015$  pH-Einheiten.

### 3.1.2 Chloridbestimmung

Der Chloridgehalt des Niederschlagswassers wurde durch Fällungstiteration bestimmt. Es handelt sich hierbei um eine maßanalytische Methode, bei der der Titrationsverlauf und die Indikation des Äquivalenzpunktes potentiometrisch verfolgt werden können. Als Meßelektrode dient eine Silberelektrode, deren Oberfläche mit einem schwerlöslichem Salz ( $\text{AgCl}$ ) beschichtet ist. Die in der Lösung vorhandenen Chloridionen werden durch Zusatz der 0,01n-Silbernitratlösung ausgefällt. Der Punkt, an dem alle Chloridionen ausgefällt sind, entspricht einem Wendepunkt in der Potentialkurve, dieser wiederum einer bestimmten Spannung. Aus der bis zum Erreichen dieser Spannung verbrauchten Silbernitratmenge läßt sich die Konzentration der Chloridionen berechnen. Die Konzentration der Silbernitratlösung wird vor jeder Probenserie durch Titration mit einer Lösung bekannten Chloridgehaltes überprüft.

### 3.1.3 Sulfatbestimmung

Die Konzentration an Sulfationen wurde gravimetrisch durch Fällung als schwerlösliches Bariumsulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) bestimmt. Die Fällung muß in schwach salzsaure Lösung in der Siedehitze erfolgen. Das Filter muß vor dem Glühen bei niedriger Temperatur und Luftzutritt vollständig verascht werden. Die erhaltene Auswaage an  $\text{BaSO}_4$  wird anschließend auf  $\text{SO}_4^{2-}$  umgerechnet.

### 3.1.4 Calciumbestimmung

Der Calciumgehalt des Niederschlagswassers wurde mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS) ermittelt. Die Atomabsorption nutzt beim Durchsetzen einer Flamme die Schwächung einer jedes Element kennzeichnenden Linienstrahlung (Resonanzstrahlung) aus, die das zu analysierende Probegut in Form von freien Atomen enthält. Die Emission der Flamme wird durch Modulation der Lampenstrahlung in Verbindung mit einer Wechsellichtverstärkung unwirksam gemacht. Bei Verwendung von Acetylen - Luft als Brenngasgemisch und der Meßwellenlänge von 422,67 nm liegt die Nachweisgrenze in wäßriger Lösung bei  $0,04 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Ca}^{2+}$ . Störungen durch Phosphor, Schwefel, Nitrate etc. werden durch Zugabe von 1 % Lanthan zur Eich-, Blind- und Probelösung ausgeschaltet.

### 3.1.5 Ammoniumbestimmung

Die Konzentration an Ammoniumionen wurde photometrisch mit Hilfe von NEBLERS Reagenz bestimmt. Zur Maskierung von Schwermetallen wird Kaliumnatriumtartrat hinzugefügt. Das Meßergebnis kann beeinflusst werden durch Verbindungen, die  $\text{NH}_2$ -Gruppen enthalten, z. B. Aminosäuren ( $\rightarrow$  Insektenleichen).

### 3.2 Verwendung des Datenmaterials

Um zu prüfen, ob ein aus den Werten der 4 Stationen berechneter Mittelwert eine hinreichende Charakterisierung der Niederschlagswasserqualität im Stauseebereich ermöglicht, ohne daß die Analysenergebnisse der 4 Stationen einzeln besprochen werden müssen, wurden aus dem gesamten Datenmaterial der 4 Stationen zunächst arithmetische Mittelwerte für die einzelnen Spurenstoffe und die pH-Werte berechnet. Diese "Gebietsmittelwerte" wurden sodann mit den "Stationsmittelwerten" zueinander in Beziehung gesetzt, um festzustellen, welche Abweichungen zu den spurenstoffspezifischen "Gebietsmittelwerten" bestehen. Das Ergebnis ist in den Abbildungen 6 bis 10 dargestellt; Tabelle 3 enthält neben den Gleichungen der entsprechenden Regressionsgeraden hierzu weitere Angaben.

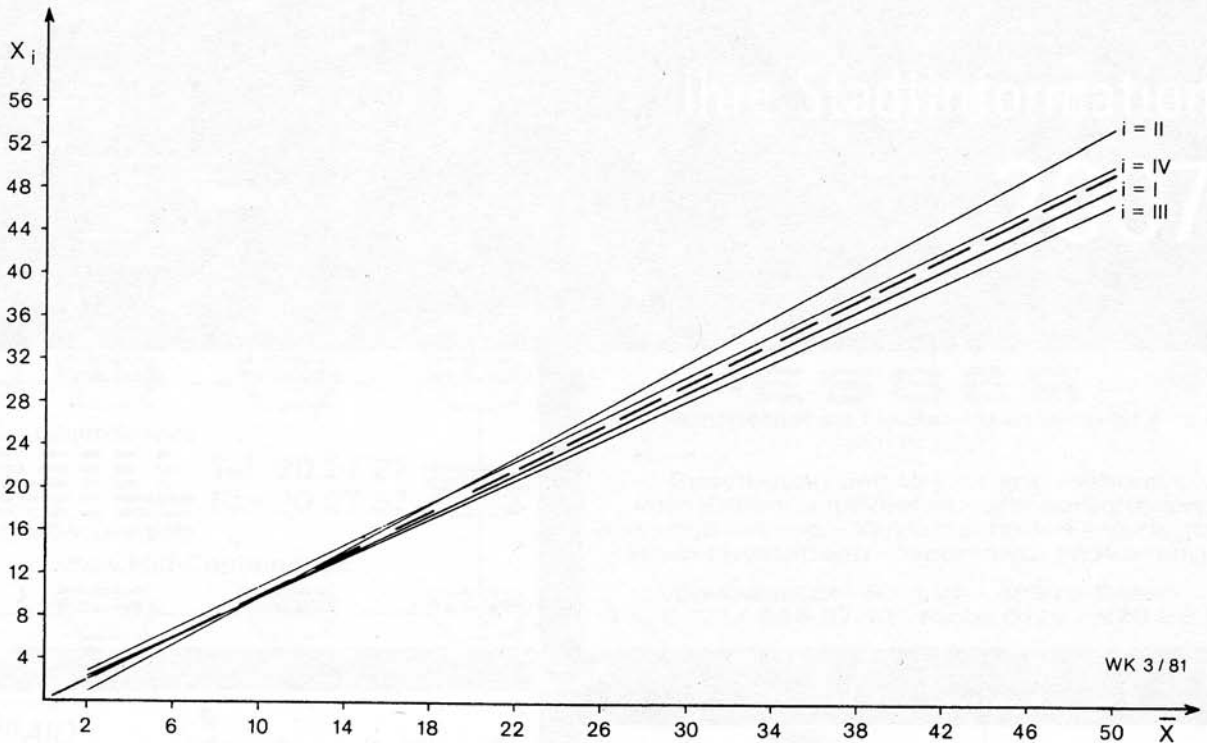


Abbildung 6: STATIONSMITTELWERTE ( $x_i$ ) DER SULFATKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) IM VERGLEICH ZUM GEBIETSMITTELWERT ( $\bar{x}$ ) (Mai 1978 bis April 1980)

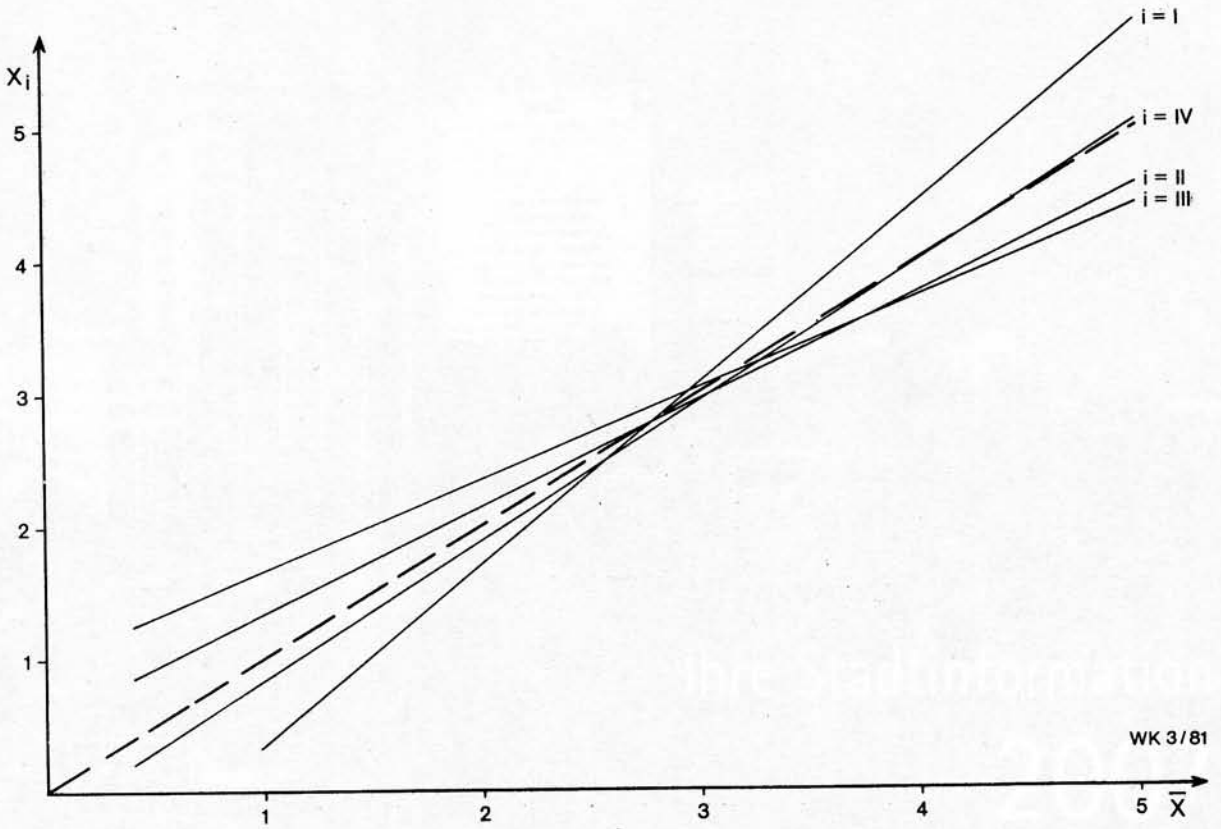


Abbildung 7: STATIONSMITTELWERTE ( $x_i$ ) DER CHLORIDKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) IM VERGLEICH ZUM GEBIETSMITTELWERT ( $\bar{x}$ ) (Mai 1978 bis April 1980)

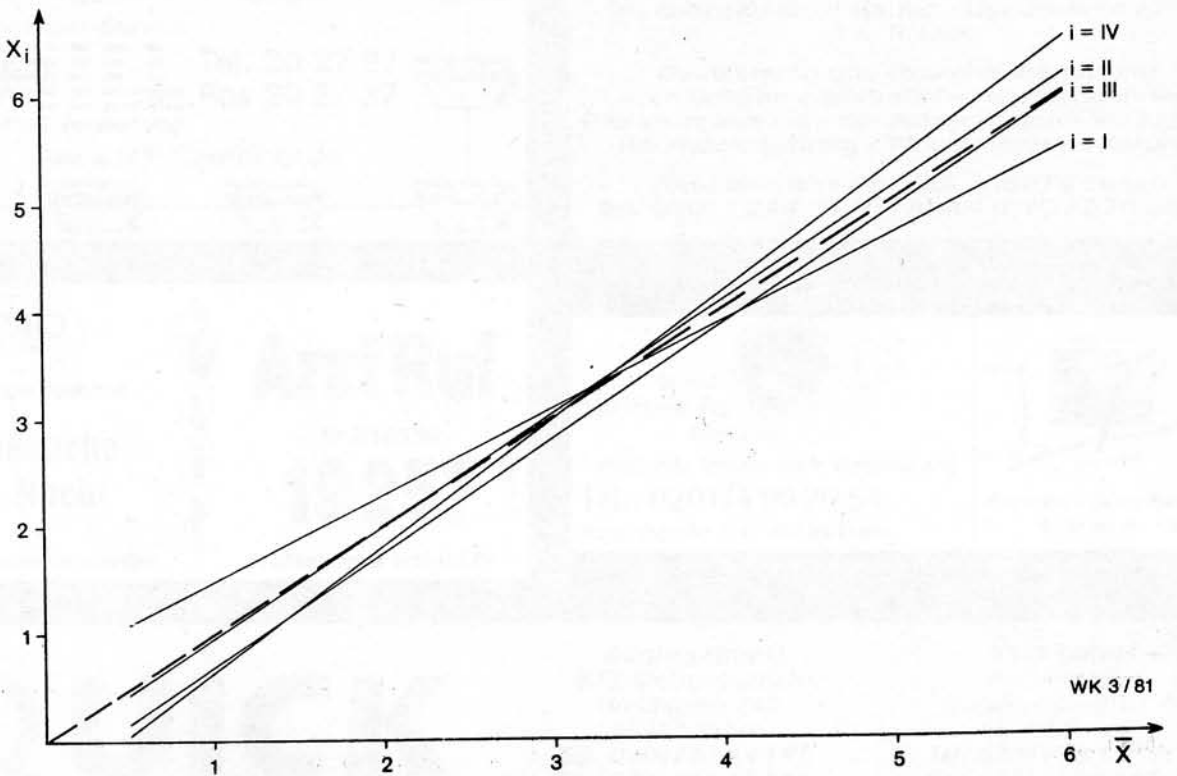


Abbildung 8: STATIONSMITTELWERTE ( $x_i$ ) DER CALCIUMKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) IM VERGLEICH ZUM GEBIETSMITTELWERT ( $\bar{x}$ ) (Mai 1978 bis April 1980)

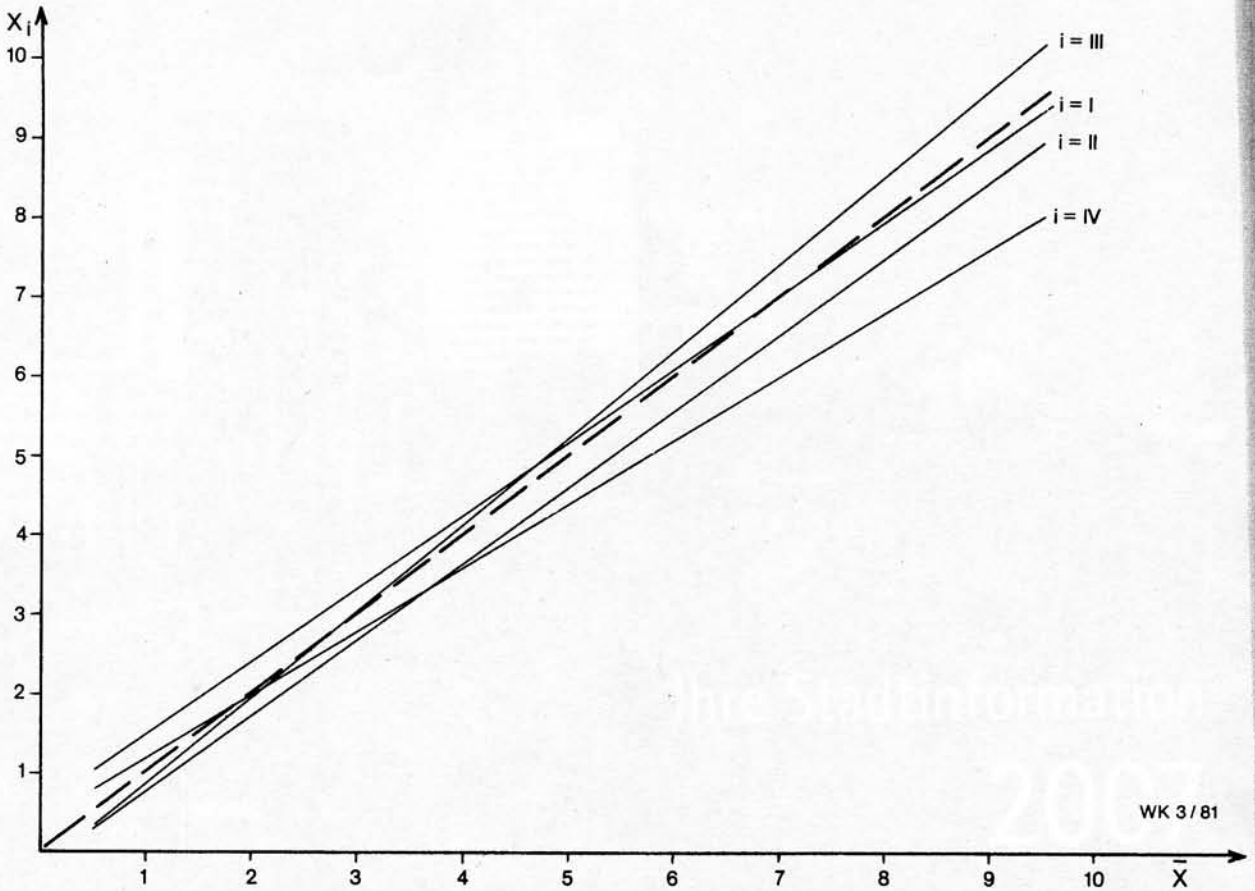


Abbildung 9: STATIONSMITTELWERTE ( $x_i$ ) DER AMMONIUMKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) IM VERGLEICH ZUM GEBIETSMITTELWERT ( $\bar{x}$ ) (Mai 1978 bis April 1980)

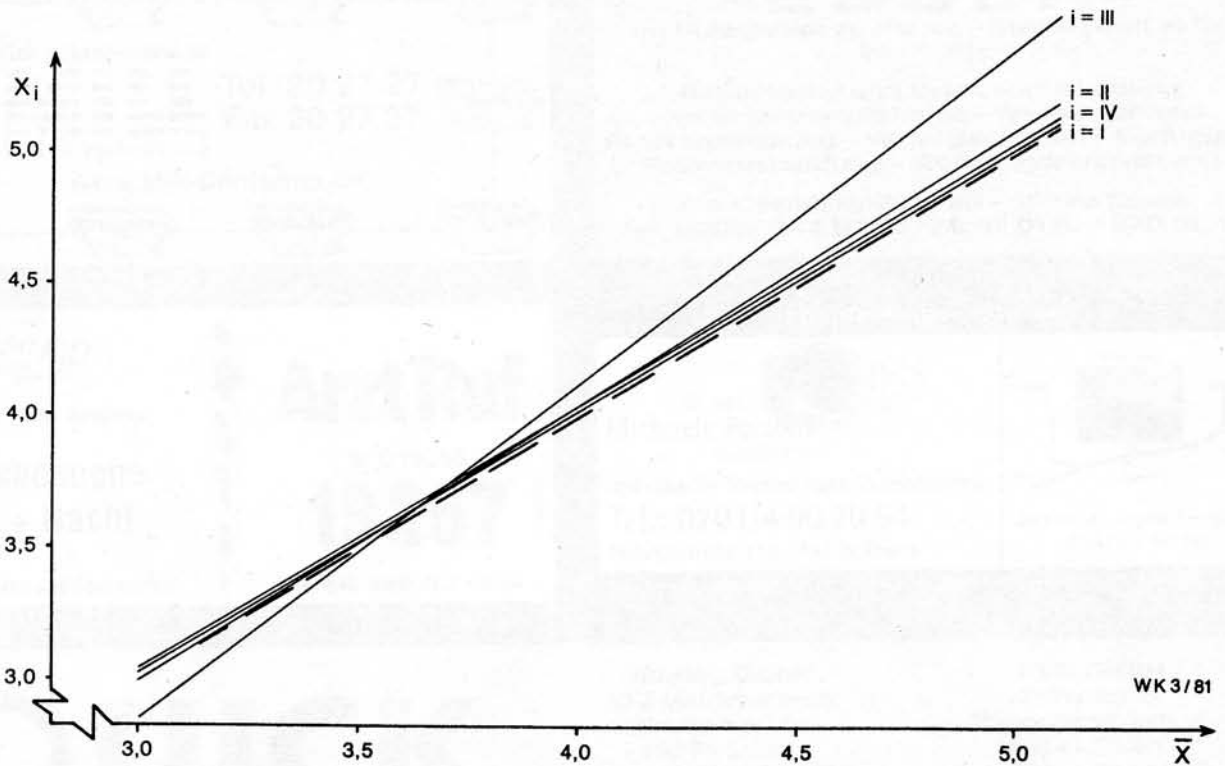


Abbildung 10: STATIONSMITTEL ( $x_i$ ) DER pH-WERTE IM NIEDERSCHLAGSWASSER IM VERGLEICH ZUM GEBIETSMITTELWERT ( $\bar{x}$ ) (Mai 1978 bis April 1980)

Station	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>				Ca <sup>2+</sup>				Cl <sup>-</sup>				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>				pH			
	n	r	$\bar{x}$	s	n	r	$\bar{x}$	s	n	r	$\bar{x}$	s	n	r	$\bar{x}$	s	n	r	$\bar{x}$	s
I	86	0,95	17,9	11,4	71	0,84	3,17	1,1	71	0,91	4,46	2,6	64	0,94	3,77	2,6	88	0,93	4,49	0,66
Regressionsgerade	$y = 0,96x + 1,05$				$y = 0,8x + 0,7$				$y = 1,35x - 1,0$				$y = 0,93x + 0,52$				$y = 1,0x + 0,002$			
II	79	0,96	18,3	11,4	66	0,93	3,11	1,0	65	0,94	4,14	2,5	59	0,84	3,61	2,3	81	0,75	4,38	0,56
Regressionsgerade	$y = 1,14x - 2,37$				$y = 1,07x - 0,08$				$y = 0,8x + 0,56$				$y = 0,96x - 0,27$				$y = 1,05x - 0,15$			
III	82	0,96	17,1	11,3	70	0,92	3,16	1,1	69	0,84	4,18	2,2	64	0,82	3,77	2,6	85	0,83	4,40	0,57
Regressionsgerade	$y = 0,88x + 1,65$				$y = 1,06x - 0,39$				$y = 0,68x - 0,99$				$y = 1,1x - 0,3$				$y = 1,29x - 1,05$			
IV	65	0,96	17,5	11,7	53	0,97	3,03	0,9	55	0,93	4,21	1,9	49	0,91	3,53	2,2	66	0,91	4,28	0,48
Regressionsgerade	$y = 1,03x - 0,62$				$y = 1,17x - 0,51$				$y = 1,06x - 0,25$				$y = 0,8x + 0,35$				$y = 1,0x + 0,006$			

Erläuterung der Zeichen:

n = Anzahl der Wochenwerte  
 r = Korrelationskoeffizient  
 $\bar{x}$  = arithm. Mittelwert der Station

s = Standardabweichung

$y = x_i$

i = Stationswert I, II, III, IV

x = Mittelwert der Stationswerte I - IV

Konzentrationsangaben für SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in mg/l<sup>-1</sup>

Tabelle 3: ANGABEN ZU DEN REGRESSIONSGERADEN DER ABBILDUNGEN 6 - 10

Es wird deutlich, daß die Stationsmittelwerte für die Spurenstoffe und für die pH-Werte nur bis zu etwa 10 % vom Gebietsmittelwert abweichen. Dies dürfte darauf zurückgeführt werden, daß geländebedingt unterschiedliche Niederschlagsmengen an den 4 Stationen aufgefangen wurden, wodurch stationsabhängige Unterschiede auftreten können. Aufgrund der Großräumigkeit der Niederschlagsgenese und der Inkorporation der Spurenstoffe in die Regentropfen sind bei der im Hinblick auf die Lage der vorherrschenden Emittenten im Ruhrgebiet verhältnismäßig kleinräumigen Verteilung der Meßstationen im Witten - Kettwiger Ruhrtal (Fläche des Meßgebietes rund 1,5 km<sup>2</sup>), keine emittentenabhängigen Stationsmittelwerte zu erwarten.

Aus diesem Grunde werden zur Vereinfachung und zur übersichtlicheren Darstellung der Gesamtmeßergebnisse für den Stauseebereich die aus den Stationsmittelwerten berechneten Gebietsmittelwerte der einzelnen Spurenstoffe und der pH-Werte zugrundegelegt.



#### 4. Auswertung der Ergebnisse

##### 4.1 Sulfat

Der arithmetische Mittelwert der Sulfatkonzentrationen lag für den zweijährigen Untersuchungszeitraum bei  $\bar{x} = 18$  mg Sulfat/l, mit mittleren Schwankungsbreiten von 12,4 bis 33,5 mg Sulfat/l. Aus den vorliegenden Wochenwerten wurden Monatsmittelwerte berechnet, die einen ausgeprägten Jahresgang mit höheren winterlichen Konzentrationen und niedrigeren Sommerwerten erkennen ließen<sup>1)</sup>. Der prozentualen Summenhäufigkeitsverteilung läßt sich entnehmen (Abbildung 11), daß der Medianwert bei 15 mg Sulfat/l lag, der 10 %-Wert bei 9 mg/l und der 90 %-Wert bei 31 mg/l.

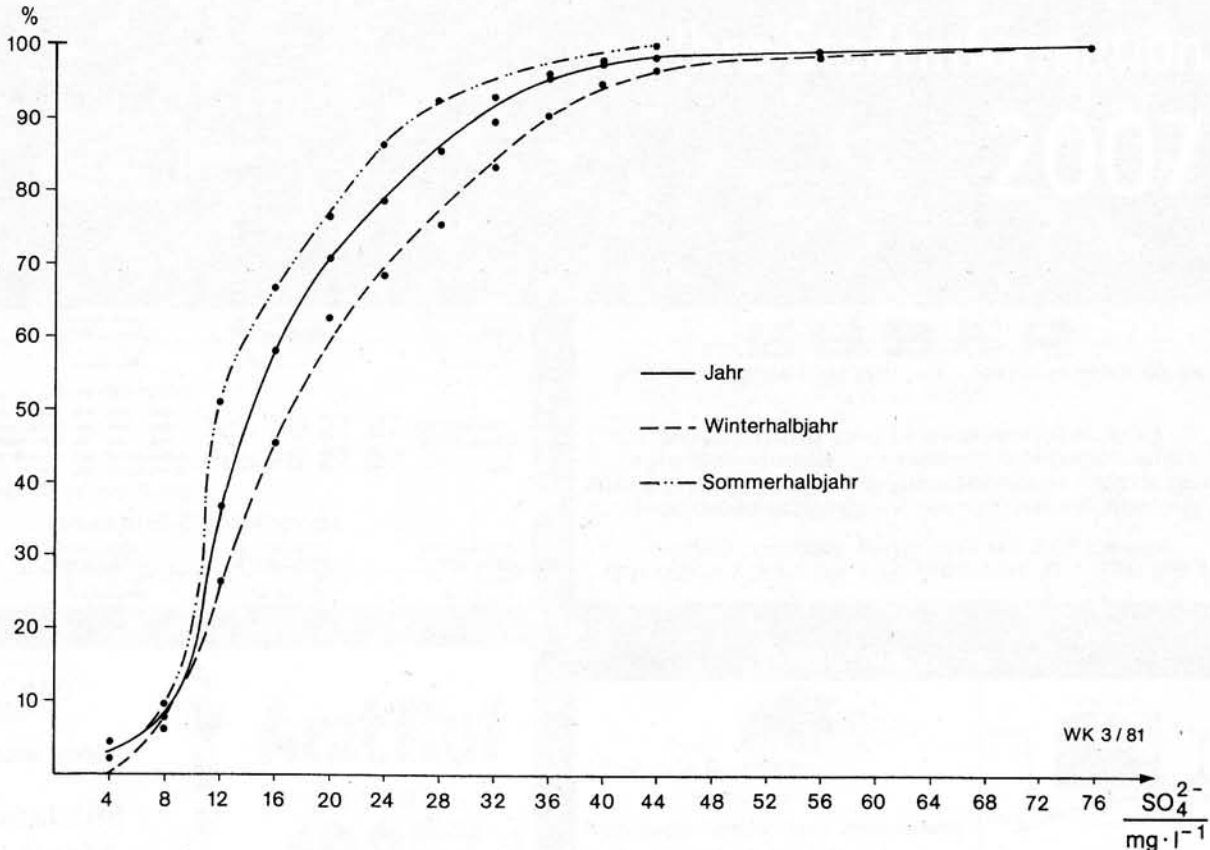


Abbildung 11: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER SULFATKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER (Mai 1978 bis April 1980)

<sup>1)</sup> Da es sich um "bulk-samples" handelt, könnten die höheren winterlichen Sulfatkonzentrationen zu einem geringen Teil durch trockene Sulfatablagerung verursacht sein, worauf GALLOWAY & LIKENS (1976) im Rahmen ihrer Untersuchungen hinweisen.

Im Sommerhalbjahr lag der Medianwert bei 12 mg/l, der 10 %-Wert bei 8 mg/l und der 90 %-Wert bei 26 mg/l. Im Winterhalbjahr dagegen erreichte der Medianwert 17 mg/l, der 10 %-Wert 9 mg/l und 90 % der Werte waren kleiner beziehungsweise gleich 36 mg/l.

Neben der jahreszeitenabhängigen Unterschiedlichkeit der Sulfatkonzentrationen läßt sich anhand der Abbildung 12 die deutliche Abhängigkeit der Sulfatgehalte von der jeweiligen Niederschlagshöhe erkennen.

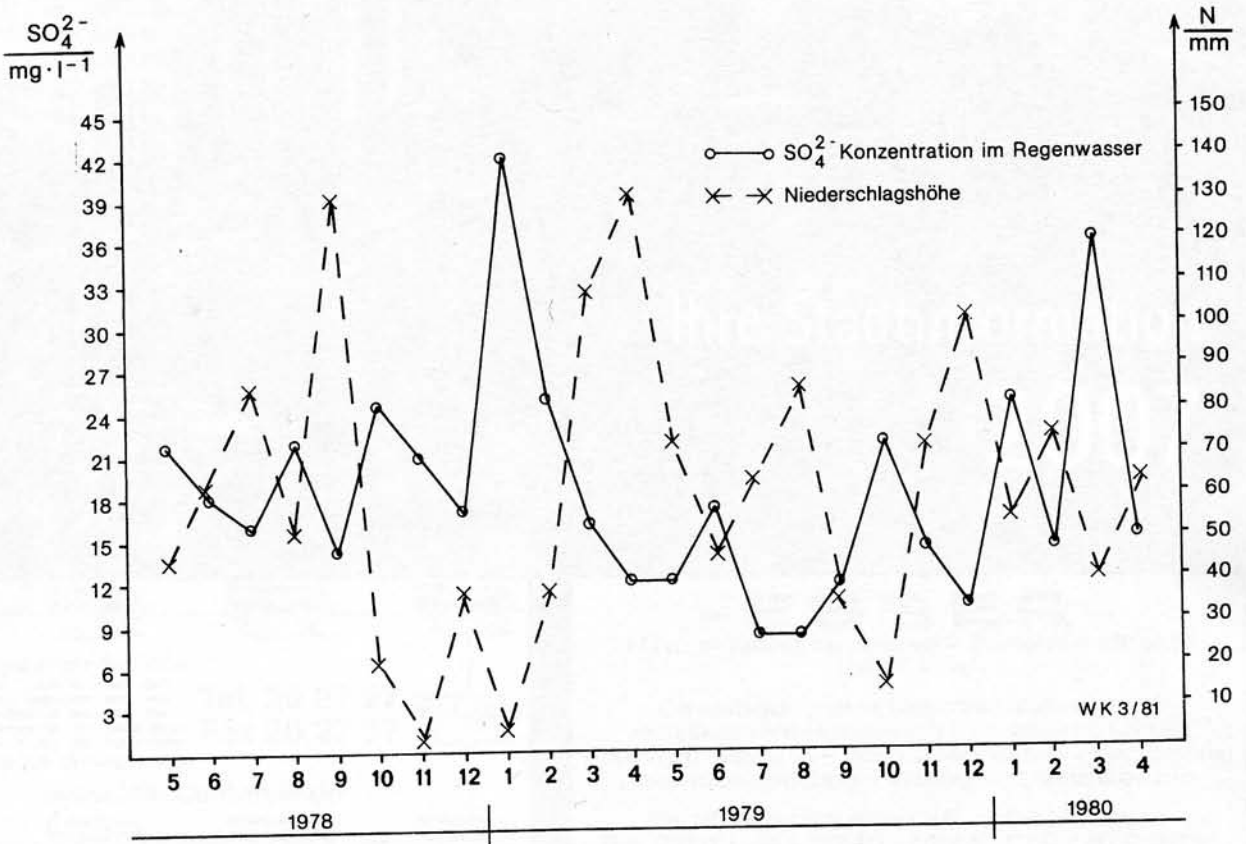


Abbildung 12: MITTLERE MONATLICHE SULFATKONZENTRATIONEN UND MONATLICHE NIEDERSCHLAGSHÖHEN (Mai 1978 bis April 1980)

Extrem hohe Konzentrationen gehen einher mit außerordentlich geringen Niederschlagshöhen, wie sie zum Beispiel im Januar 1979 auftraten. Sehr niedrige Sulfatkonzentrationen stellten sich dagegen in den Monaten Juli und August 1979 ein. Um festzustellen, in welcher Abhängigkeit die Sulfatkonzentrationen zu den entsprechenden Niederschlagshöhen stehen, wurde mit dem vorhandenen Datenmaterial eine Regressionsanalyse durchgeführt, deren Ergebnis Abbildung 13 enthält.

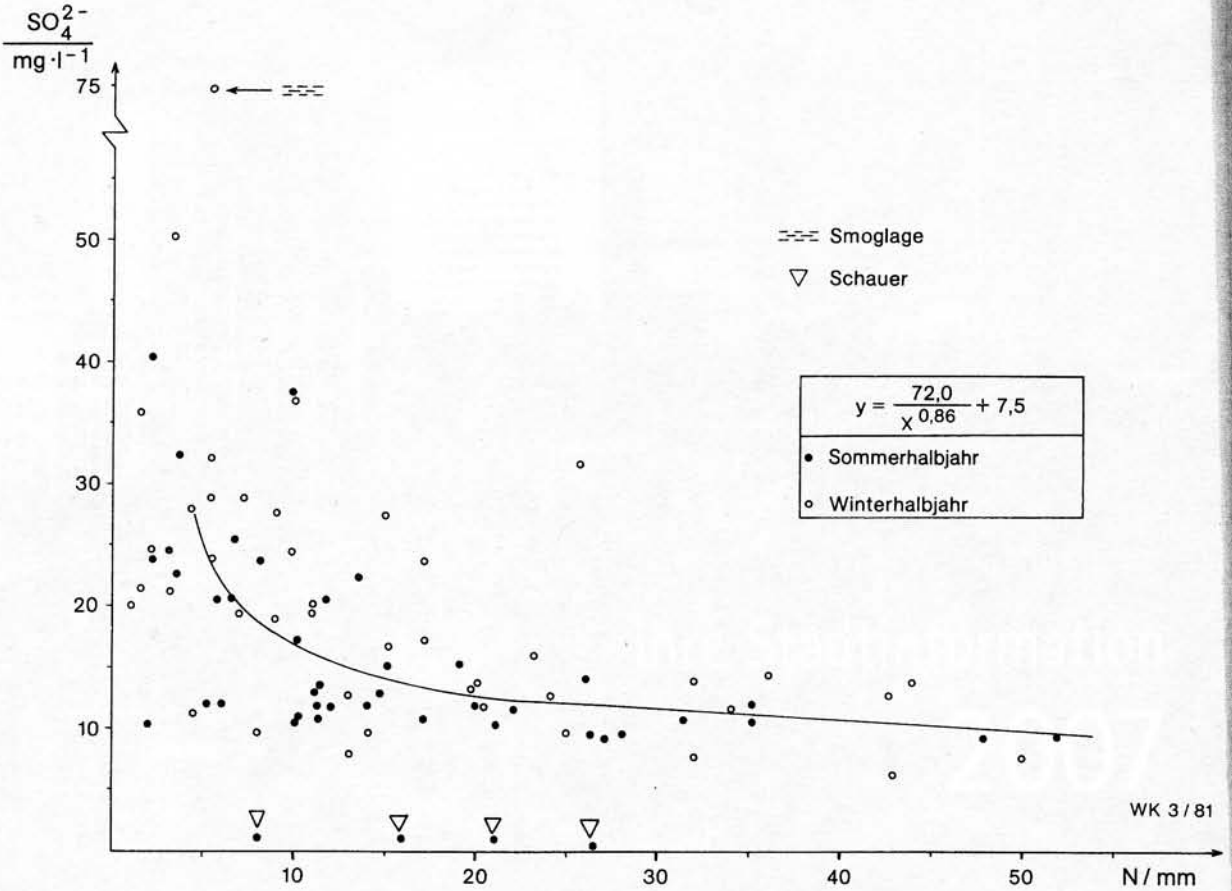


Abbildung 13: ABHÄNGIGKEIT DER SULFATKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER VON DEN WÖCHENTLICHEN NIEDERSCHLÄGEN (Mai 1978 bis April 1980)

Die berechnete Potenzfunktion macht eine nicht linear verlaufende Abhängigkeit deutlich, wobei die Schwankungsbreite der Konzentrationen bei Niederschlagshöhen unter 20 mm wesentlich größer ist als bei Niederschlagshöhen über 20 mm. Es zeigte sich, daß bei geringen wöchentlichen Niederschlagsmengen im überwiegenden Maße hohe Sulfatkonzentrationen im Winterhalbjahr auftraten, niedrigere Belastungen dagegen überwiegend im Sommerhalbjahr. Die relativ große Schwankungsbreite der Sulfatkonzentrationen bei Niederschlagshöhen unter 20 mm dürfte auf die unterschiedliche Niederschlagsintensität (Schauer-/Landregen) zurückzuführen sein, die verschieden hohe Auswaschraten zur Folge hat. Eine Analyse der Niederschlagshöhen in Abhängigkeit zur jeweils vorherrschenden Wetterlage (Tabelle 4) macht deutlich, daß sehr geringe Niederschlagshöhen erwartungsgemäß unter dem Einfluß hochdruckbestimmter Großwettertypen mit den Großwetterlagen HM/BM bzw. HFa, HNFz und HNFa auftreten. In Abhängigkeit von der Dauer ihres Vorherrschens können sich die Spurenstoffe in dem meist durch Absinkinversionen begrenzten Mischungsraum der unteren Troposphäre je nach Schwächung des Austausches ansammeln und einerseits trocken ablagern, andererseits mit dem möglicherweise aus der Inversionsbewölkung fallenden Niederschlag (Nieselregen) dem Boden zugeführt werden.

N mm	GW-Typ	Hoch	Nord	Nordwest	West	Südwest	Süd	Südost	Ost	Nordost
	GW-Lage	Mittel- Europa HM/BM	HNa, HNz, TrM, Nz, NWA	NWz, NWA	Ws, Wa, Wz	SWz, SWa	TB, TrW, Sa	SEz	HFa, HNFz, HNFa	NEa, NEz
0 - 5		11	2	1	2	1	1		4	2
6 - 10		5	2	2	4	1	3		2	
11 - 15		3	2	1	2		3			1
16 - 20		2	1		1	1	1	1		
21 - 25			2		2		1			
26 - 30			1		3					
31 - 35			1		2		2		1	
36 - 40							1			
41 - 45					4					
> 46					1					

Tabelle 4: GROSSWETTERTYPEN UND GROSSWETTERLAGEN<sup>1)</sup> SOWIE WÖCHENTLICHE NIEDERSCHLAGSHÖHEH (Mai 1978 - April 1980)

<sup>1)</sup> Einteilung nach HESS & BREZOWSKY (1977)

Niederschlagshöhen mit mehr als 30 mm zum Beispiel treten fast ausnahmslos bei Vorherrschen von West- und Südlagen auf, die sich meist durch höhere Windgeschwindigkeiten, damit einem besseren Durchmischungsgrad und häufiger erfolgenden, weil frontengebundenen Niederschlägen auszeichnen und somit zu einem wesentlich einheitlicheren Verhalten der Sulfatkonzentrationen im Niederschlagswasser führen.

Die sich hieraus ergebende Problematik soll anhand zweier Beispiele, nämlich an den bereits genannten extremen Sulfatkonzentrationen (Januar und Juli - August 1979; Schauer- und Nebelsymbol in Abbildung 13) näher gezeigt werden.

Die extrem niedrigen Sulfatkonzentrationen (weniger als 1 mg/l) wurden zwischen dem 09.07. und 06.08.1979 gemessen (Abbildung 14).

Während in den Wochen vor dem 09.07.1979 die Sulfatkonzentrationen Werte zwischen 12 und 13 mg/l erreichten, wurden in der Zeit vom 09.07. bis 06.08.1979 außerordentlich niedrige Werte gemessen. In der Zeit nach dem 06.08. stiegen die Konzentrationen wieder an. Die sehr niedrigen Werte wurden durch starke Gewitterschauer hervorgerufen, die in Verbindung mit Westwetterlagensteuerung vornehmlich maritime Tropikluft beziehungsweise gealterte maritime Tropikluft nach Mitteleuropa brachten. Da Schauerniederschläge von ihrer Entstehung her größere Tropfenradien besitzen als z. B. frontengebundener Landregen und dadurch viel höhere Fallgeschwindigkeiten aufweisen als letzterer (vgl. Tabelle 5), ist die zeitlich bedingte Aufnahmekapazität von Spurenstoffen wesentlich geringer als bei einem langsam fallenden Landregen. Hierauf wies unter anderem schon GEORGII (1965) im Rahmen seiner in Frankfurt/Main und auf dem Feldberg/Taunus durchgeführten niederschlagschemischen Untersuchungen hin.

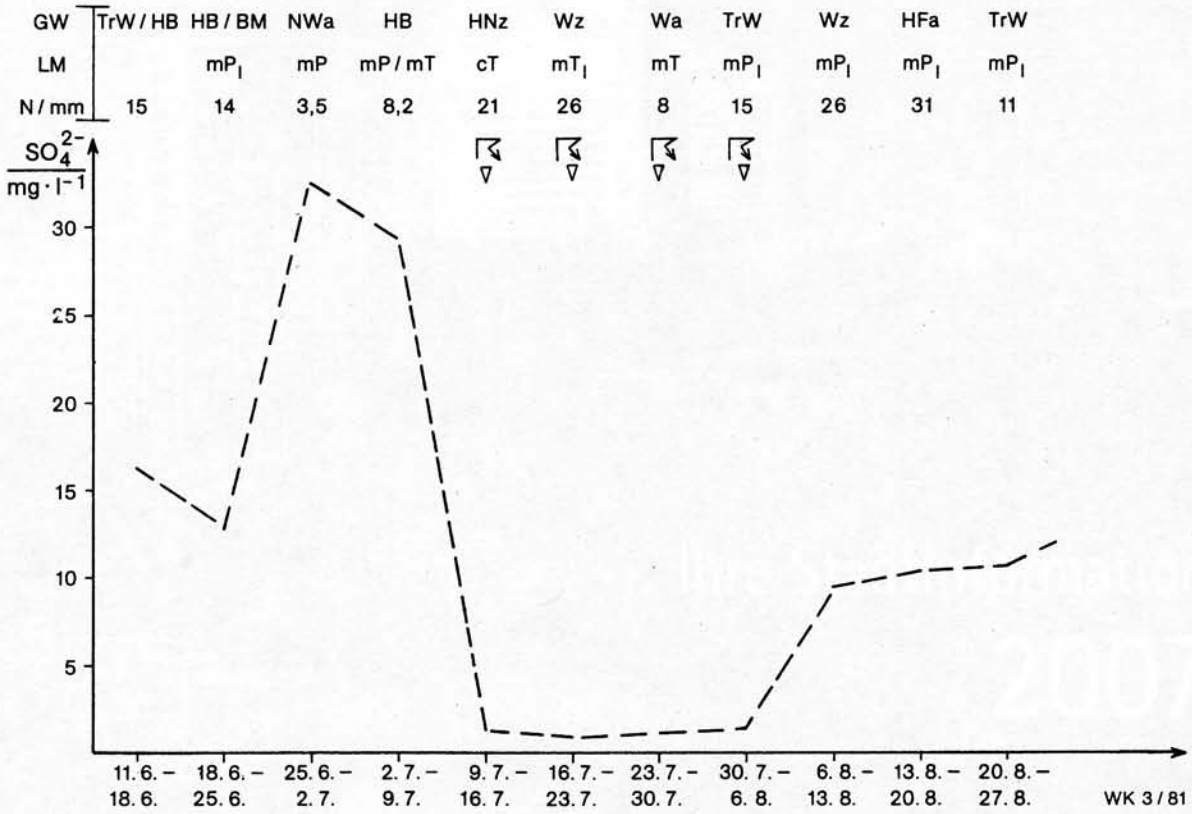


Abbildung 14: VERLAUF DER WÜCHENTLICHEN SULFATKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER FÜR DIE ZEIT VOM 11.06.1979 bis 27.08.1979

Tropfenradius mm	Fallgeschwindigkeit	Fallweg bei 90 % r. F. (Weglänge bis Tropfen verdunstet)	Falldauer bezogen auf 1 km
5 · 10 <sup>-6</sup>	7 cm/h		600 d
10 <sup>-5</sup>	43 cm/h		97 d
10 <sup>-4</sup>	43 m/h	0,3 mm	23 h
10 <sup>-1</sup>	2,6 km/h	3 cm	23 min
0,2	5,8 km/h		10 min
0,5	14,5 km/h	2 km	4 min
1,0	23,4 km/h		3 min
3,0	33,2 km/h		

Schauer - Landregen

Tabelle 5: FALLGESCHWINDIGKEIT VON REGENTROPFEN UNTER VERNACHLÄSSIGUNG DER AUFWINDGESCHWINDIGKEIT (nach SCHREIBER 1978, verändert)

Höchste Sulfatkonzentrationen mit 75 mg Sulfat/l wurden in der Woche vom 22. - 29.01. des Jahres 1979 ermittelt (Abbildung 15), da in der Woche zuvor kein Niederschlag gefallen war und sich die Spurenstoffe in der Atmosphäre ansammeln konnten, bis sie mit dem ersten Regenguß der darauffolgenden Woche dem Boden zugeführt wurden.

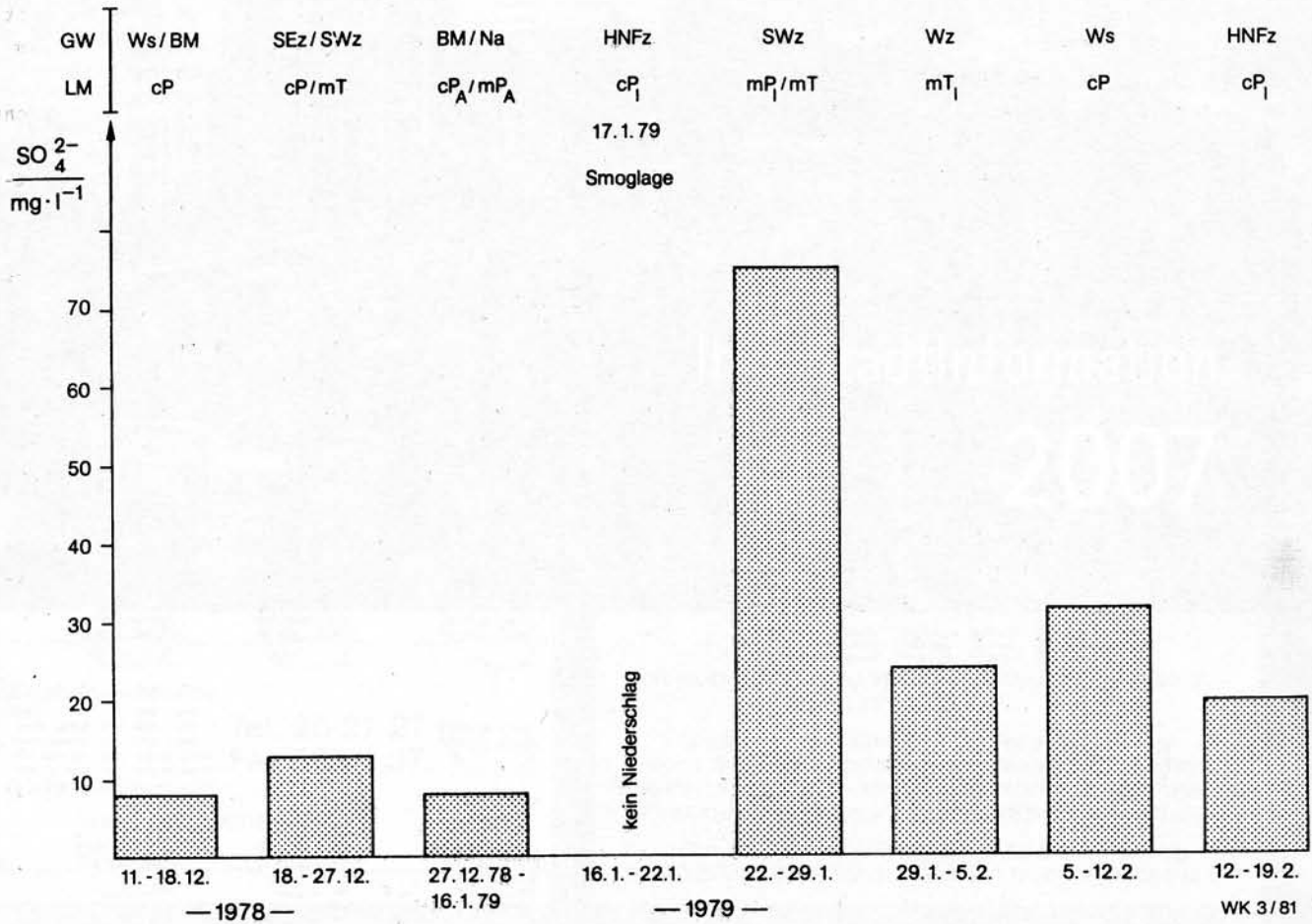


Abbildung 15: VERLAUF DER WÖCHENTLICHEN SULFATKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER FÜR DIE ZEIT VOM 11.12.1978 bis 19.02.1979

Wie stark die bodennahe Verschmutzung der Troposphäre war, wird auch daran ersichtlich, daß während dieser unter dem Einfluß gealterter kontinentaler Polarluft stehenden niederschlagsfreien Woche (HNfz-Lage mit vorausgehenden BM bzw. Na-Lagen nach HESS & BREZOWSKY 1977) zum ersten Mal in der Geschichte der Luftüberwachung in Nordrhein-Westfalen am 17.01.1979 wegen der Bildung von SO<sub>2</sub>-Smog (KUTTLER 1979 a) im westlichen Ruhrgebiet Smog-Alarm der Stufe I ausgelöst werden mußte, da die Schwefeldioxidwerte die vorgegebene Grenze überschritten hatten (GIEBEL & BACH 1979). In den darauffolgenden Wochen sanken die Sulfatkonzentrationen wieder auf niedrigere Werte ab.

#### 4.2 Zur trockenen und feuchten Schwefelablagerung im Bereich des Stausees Kemnade

Die bodennahe Atmosphäre entledigt sich der in ihr enthaltenen Spurenstoffe auf zweierlei Art und Weise, und zwar einerseits durch die trockene Deposition (dry deposition) der Schadstoffe, andererseits durch die feuchte Deposition (wet deposition), die durch die Intensität und durch die verschiedenen Aggregatformen des Niederschlags gesteuert wird. Über die Höhe der trockenen und feuchten Schwefelablagerung im mittleren Ruhrgebiet wurde bereits ausführlich an anderer Stelle berichtet (KUTTLER 1981 a), so daß in diesem Zusammenhang auf die bereits vorliegenden Ergebnisse zurückgegriffen werden kann.

Da Schwefel auf trockenem Wege hauptsächlich in Form des Schwefeldioxids und auf feuchtem Wege im wesentlichen als Sulfat abgelagert wird, wurden zur Abschätzung der trocken erfolgenden Deposition die mittleren monatlichen  $\text{SO}_2$ -Immissionskonzentrationen zur Ermittlung der nassen Ablagerung die gemessenen Sulfatkonzentrationen im Niederschlagswasser herangezogen.

Definitionsgemäß versteht man unter der trockenen Deposition von Spurengasen und Aerosolen die Ablagerung auf den verschiedenen der Atmosphäre ausgesetzten künstlichen und natürlichen Oberflächen, wie zum Beispiel dem Erdboden, dem Wasser, Bauwerken und der Vegetation. Der Umfang der abgelagerten Spurenstoffmengen wird dabei durch verschiedene Parameter gesteuert, wozu die meteorologischen Elemente beitragen, wie zum Beispiel die Windgeschwindigkeit, die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Stabilität der bodennahen Luftschichten wie auch die verschiedenen Rauigkeitsparameter der Oberflächen, Art und Zustand der Vegetation sowie die Konsistenz der Spurenstoffe (gasförmig bzw. fest). Bestimmt wird die Ablagerungsmenge der Spurenstoffe nach HORBERT (1978) aus dem "Verhältnis der abgelagerten Schadstoffmenge auf dem Boden oder der Vegetation und der Konzentration des betreffenden Schadstoffes in der bodennahen Luftschicht". Aufgrund der sich bei dieser Berechnung ergebenden Dimension ( $\text{cm/s}$  bzw.  $\text{m/s}$ ) nennt man diese Größe auch "Ablagerungsgeschwindigkeit" (deposition velocity). Nach GIEBEL (1977) kann dieser Sachverhalt formelmäßig wie folgt ausgedrückt werden:

$$V_g(z) = F : c(z)$$

$V_g(z)$  = Ablagerungsgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$  für die Höhe ( $z$ )  
 $F$  = Fluß eines Schadstoffes zur Erdoberfläche ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (3)  
 $c$  = Konzentration eines Stoffes in der Höhe ( $z$ ) über der Erdoberfläche ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

Für den Spurenstoff Schwefeldioxid sind unter Zugrundelegung verschiedener meteorologischer Bedingungen Ablagerungsgeschwindigkeiten zwischen  $0,2$  und  $2,2 \text{ cm/s}$  bestimmt worden (nach GARLAND 1973, 1974; CHAMBERLAIN 1973; WHELPDALE & SHAW 1974 alle in GEORGII & PERSEKE 1980). Auskunft über die Ablagerungsgeschwindigkeiten von  $\text{SO}_2$  für unterschiedlich strukturierte Oberflächen gibt Tabelle 6; Werte für unterschiedliche Pflanzenwuchsformen finden sich in FOWLER (1980).

Um für Oberflächen, die zum Beispiel so heterogen sind wie Landoberflächen, mit einheitlich verwendbaren Werten rechnen zu können, wurde für  $\text{SO}_2$  der vielfach benutzte Wert der Ablagerungsgeschwindigkeit von  $V_g = 0,8 \text{ cm/s}$  gewählt (vgl. OECD-Bericht 1974 in GIEBEL 1977; PERSEKE et al. 1980). Obwohl die Werte der Ablagerungsgeschwindigkeit - wie Tabelle 6 zeigt - außerordentlich stark von lokalen und wetterlagenbestimmten Parametern abhängig sind (vgl. hierzu BINGEMER 1977), wurde dieser Unsicherheitsfaktor bewußt in Kauf genommen. Aus Gleichung (3) läßt sich somit bei Kenntnis von  $V_g$  und nach Umformung in Gleichung (4) die  $\text{SO}_2$ -Deposition pro Zeiteinheit berechnen.

$$F = V_g(z) \cdot c(z) \quad (4)$$

Oberfläche	Ablagerungsgeschwindigkeit	
	Bereich	mittlerer Wert
KURZES Gras (0,1 m Höhe)	0,1 - 0,8 cm/s	0,5 cm/s
Getreide (0,1 m Höhe)	0,2 - 1,5 cm/s	0,7 cm/s
Wald (10 m Höhe)	0,2 - 2,0 cm/s	unsicher
Kalkboden pH 7, trocken	0,3 - 1,0 cm/s	0,8 cm/s
Kalkboden pH 7, feucht	0,3 - 1,0 cm/s	0,8 cm/s
Saure Böden pH 4, trocken	0,1 - 0,5 cm/s	0,4 cm/s
Saure Böden pH 4, feucht	0,1 - 0,8 cm/s	0,6 cm/s
Schnee, trocken	-	0,1 cm/s
Wasser	0,2 - 1,5 cm/s	1,0 cm/s
Land	0,2 - 2,0 cm/s	0,8 cm/s
Stadt (London)	-	0,7 cm/s

Tabelle 6: ABLAGERUNGSGESCHWINDIGKEITEN ÜBER VERSCHIEDENEN OBERFLÄCHEN (nach PERSEKE et al. 1980)

Beispielhaft wurde dieses für den Jahresverlauf 1979 gemacht, in dem von den Monatsmittelwerten der  $SO_2$ -Konzentrationen ausgegangen wurde, die an der Station Bochum durch die Landesanstalt für Immissionsschutz gemessen wurden. Da nach den Gleichungen (3) und (4) die abgelagerte Schwefelmenge von der Immissionskonzentration abhängig ist und diese einen ausgeprägten winterbetonten Jahresgang besitzt (vgl. Abbildung 4), weist die abgelagerte Schwefelmenge einen vergleichbaren Unterschied zwischen Sommer- und Winterwerten auf. Die für das Jahr 1979 durchgeführte Berechnung ergibt für die Station Bochum eine trocken abgelagerte Schwefelmenge von rund  $14 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Jahr}^{-1}$  bzw.  $140 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$  (vgl. Tabelle 7).

	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahres- mittel Jahres- summe
$SO_2$ [ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	0,26	0,27	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11
$SO_2$ -S [ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	2785	2612	856	726	750	726	856	642	829	1178	1140	1071	14.171

Tabelle 7: MONATSMITTELWERTE DER  $SO_2$ -IMMISSIONSKONZENTRATIONEN UND TROCKENE  $SO_2$ -S DEPOSITION AN DER STATION BOCHUM (1979)

Die feuchte Schwefeldeposition berechnet sich nach Gleichung (2) für das Jahr 1979 bei einer Niederschlagssumme von 732 mm (Station Botanischer Garten der Universität) zu  $3,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Jahr}^{-1}$  bzw.  $34 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$  (vgl. Tabelle 8), so daß bei einem Gesamtschwefeleintrag von rund  $174 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$  (vgl. Tabelle 9) auf die Fläche des Stauseebereiches (130 ha) von  $22,8 \text{ t} \cdot \text{Jahr}^{-1}$  ausgegangen werden muß.



	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahres- summe Jahres- mittel
$SO_4^{2-}-S$ [mg·l <sup>-1</sup> ]	14,0	8,3	5,3	4,0	4,0	5,7	2,7	2,7	4,0	7,3	4,7	3,3	5,5
N [mm]	26	37	131	47	72	47	63	85	34	16	72	102	732
$S_{na\beta}$ [mg·m <sup>-2</sup> ]	364	307	694	188	288	268	170	229	136	117	338	337	3436

Tabelle 8:  $SO_4^{2-}$ -KONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER, MONATLICHE NIEDERSCHLAGSHÖHEN (N) UND MONATLICHE NASSE SCHWEFELDEPOSITIONEN ( $S_{na\beta}$ ) AN DER STATION BOCHUM (1979)

	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahres- summe	
$SO_2-S_{tr.}$ [mg·m <sup>-2</sup> ]	2785	2612	856	726	750	726	856	642	829	1178	1140	1071	14.171	
$SO_4^{2-}-S_{na\beta}$ [mg·m <sup>-2</sup> ]	364	307	694	188	288	268	170	229	136	117	338	337	3.436	
$\sum_{na\beta, tr.}$ [mg·m <sup>-2</sup> ]	3149	2919	1550	914	1038	994	1026	871	965	1295	1478	1408	17.607	
pro- zen- tua- ler An- teil	tr.	88	89	55	79	72	73	83	74	86	91	77	76	80
	na $\beta$	12	11	45	21	28	27	17	26	14	9	23	24	20

Tabelle 9: TROCKENE, NASSE UND GESAMTSCHWEFELDEPOSITION IM JAHRE 1979 an der Station Bochum

Im Mittel werden nach den vorliegenden Untersuchungen für diesen Zeitraum rund 20 % des Schwefeleintrags auf feuchtem Wege abgelagert (die monatlichen Effektivitätsschwankungen der trockenen und nassen Ablagerungsraten können Tabelle 9 entnommen werden), was mit den in der Literatur angegebenen Werten, die eine Schwankungsbreite von 8 % - 27 % für luftverunreinigte Gebiete aufweisen sollen (nach CHAMBERLAIN 1973 und WHELPDALE 1974 in GEORGII & PERSEKE 1980), recht gut übereinstimmt. Für den Stauseebereich bedeutet dies, daß rund 1/5 aller Schwefelablagerungen aus der Atmosphäre über die Niederschläge erfolgt, während 4/5 über die trockene Deposition auf den Erdboden gelangen.

### 4.3 pH-Werte

Der Mittelwert der pH-Werte im Niederschlagswasser lag bei  $\text{pH} = 4,3$  mit einem mittlerem Schwankungsbereich von 3,8 bis 5,1. Abbildung 16 zeigt den Jahresgang der pH-Werte, dem der Zeitraum Mai 1978 bis April 1980 zugrunde gelegt wurde.

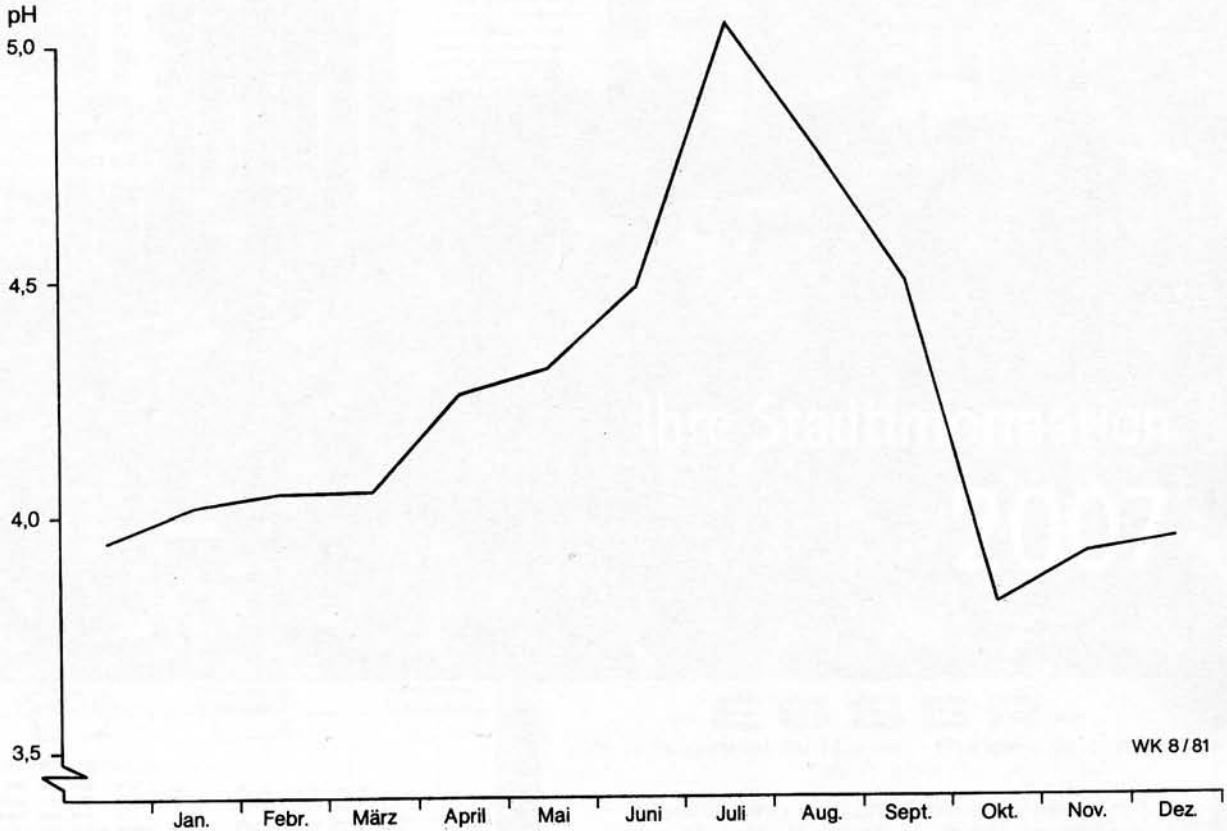
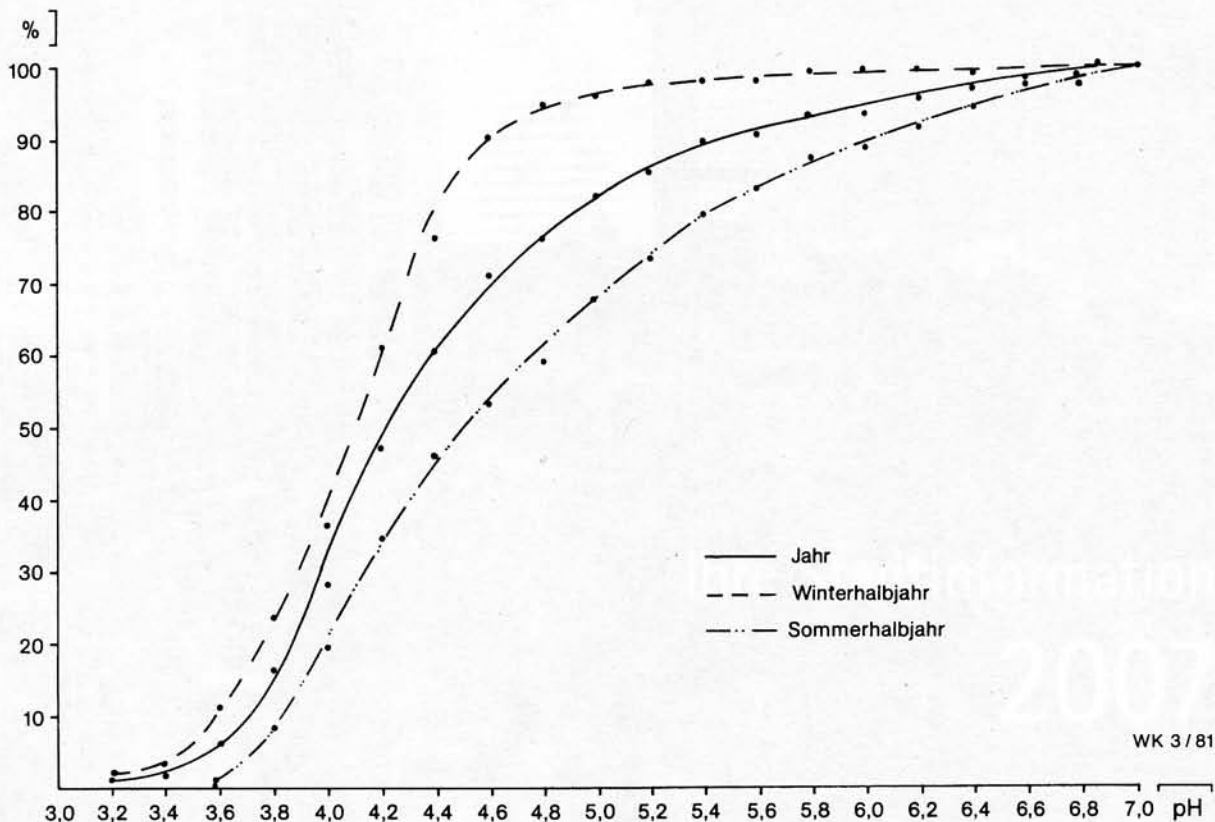


Abbildung 16: ÜBER EINEN ZEITRAUM VON 2 JAHREN (Mai 1978 bis April 1980) GEMITTELTER JAHRESGANG DER pH-WERTE VON NIEDERSCHLÄGEN AN DER STATION BOTANISCHER GARTEN, UNIVERSITÄT BOCHUM

Hiernach traten die höchsten Säurekonzentrationen in den Monaten November bis April auf mit einem niedrigsten pH-Wert von 3,8 im November. Höhere pH-Werte ließen sich in den Monaten Mai bis Oktober beobachten, wobei im August das Zweijahresmittel der pH-Werte über 5 lag.

Eine für das Sommer- und das Winterhalbjahr durchgeführte Berechnung der Summenhäufigkeitsverteilung der pH-Werte läßt die Unterschiede zwischen den Jahresmittelwerten und den beiden Halbjahren erkennen (Abbildung 17). In den Winter- und Frühjahrsmonaten ergab sich im Mittel ein wesentlich höherer Säuregehalt im Niederschlagswasser ( $\text{pH} = 4,0$ ) als in den übrigen Monaten des Jahres.



WK 3/81

Abbildung 17: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER pH-WERTE IM NIEDERSCHLAGSWASSER  
(Mai 1978 bis April 1980)

Im Durchschnitt wies das Niederschlagswasser im Bereich des Stausees Kemnade in den Wintermonaten eine um mehr als dreimal höhere  $H^+$ -Ionenkonzentration auf als in den Sommermonaten. Diese in Abhängigkeit von den Jahreszeiten auftretenden unterschiedlich hohen pH-Werte, wie sie zum Beispiel die Ergebnisse der neunjährigen Meßreihe auf dem Schauinsland zeigen (Abbildung 18), wurden auch schon von anderer Seite beschrieben (KAYSER et al. 1974; KLOCKOW 1978). Allgemein werden die höheren winterlichen Säurekonzentrationen auf die verstärkte Heizintensität und den dadurch verstärkten Ausstoß verschiedener säureproduzierender bzw. -haltiger luftfremder Stoffe zurückgeführt.

Neben der periodischen Jahresschwankung läßt Abbildung 18 ein Absinken der pH-Werte um rund eine Einheit von 1965 bis 1973 erkennen; das bedeutet, daß der Säuregehalt des Niederschlagswassers zugenommen hat, was auch sehr deutlich die in Tabelle 10 gegenübergestellten Vergleichswerte der Stationen Gelsenkirchen für den Zeitraum 1967 bis 1972 und Stausee Kemnade für den Zeitraum 1978 bis 1980 zeigen.

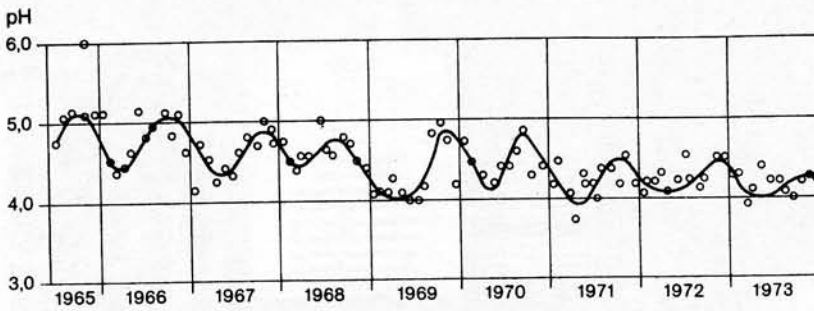


Abbildung 18: VERLAUF DER pH-WERTE DES NIEDERSCHLAGS AN DER STATION SCHAUINSLAND (Meßzeitraum: 1965 - 1973; nach KAYSER et al. 1974)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	$\bar{x}$
Gelsenkirchen	5,2	5,5	5,5	5,6	5,4	5,3	5,2	5,1	5,3	5,0	4,8	4,8	5,2
Bochum	3,95	4,02	4,05	4,05	4,26	4,31	4,49	5,05	4,78	4,49	3,81	3,92	4,3
$\text{pH}_{\text{Gel}} - \text{pH}_{\text{Bo}}$	1,25	1,48	1,45	1,55	1,14	0,99	0,71	0,05	0,52	0,51	0,99	0,98	0,9

Tabelle 10: JAHRESGANG DER pH-WERTE AN DEN STATIONEN GELSENKIRCHEN (Mittel der Jahre 1967 - 1972; nach KAYSER et al. 1974) UND BOCHUM (Mittel der Jahre 1978 - 1980)

Im Mittel unterscheidet sich der pH-Wert beider Stationen um 0,9 Einheiten, wobei die Unterschiede in den Monaten Januar bis Mai am größten, in den Monaten Juli bis September dagegen am geringsten sind. Auf das nordhemisphärisch großräumig auftretende Absinken der pH-Werte wurde zum Beispiel für den europäischen und nordamerikanischen Raum verschiedentlich hingewiesen (z. B. durch GILLBERG 1977 bzw. DRABLØS & TOLLAN 1980 sowie LIKENS 1976).

Damit die vorliegenden Ergebnisse richtig interpretiert werden, sollte in diesem Zusammenhang beachtet werden, daß auch nicht verschmutztes Regenwasser einen leicht in den sauren Bereich verschobenen pH-Wert von etwa 5,6 annimmt, was auf die Lösung des in der Luft enthaltenen Kohlendioxids, das unsere Atmosphäre zu rund 324 ppm (Angabe für 1972; BLOTHGEN & WEISCHET 1980) enthält, zurückzuführen ist (STEINHAUSER 1958; CAUER 1956). pH-Werte, die - vergleichbar den Bochumer Ergebnissen - deutlich unter diesem "biologischen Neutralpunkt" (KAYSER et al. 1974) liegen, müssen somit durch andere ansäuernde Substanzen verursacht sein (z. B.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCL}$ ), "denn selbst in einer 100 %igen  $\text{CO}_2$ -Atmosphäre würden derart niedrige pH-Werte nicht erreicht werden" (JESSEL 1964, S. 1). Somit kann auch der seit der Jahrhundertwende zu beobachtende  $\text{CO}_2$ -Anstieg, dessen Zunahme seit 1958 erst 0,7 ppm, dann etwa 1 ppm/Jahr beträgt (nach KEELING & BACASTOW 1977 in BACH 1980), für die zunehmende Acidität der Niederschläge nicht verantwortlich gemacht werden.

Erst wenn der gemessene pH-Wert einer Niederschlagsprobe unter dem Wert von 5,6 liegt, sollte man vom "sauren Regen" sprechen.

Orientiert man einen Vergleich der an der Station Bochum ermittelten Ergebnisse am pH-Wert des "biologischen Neutralpunktes", so wird deutlich, daß etwa 83 % der Sommerniederschläge und 98 % der Winterniederschläge als "saurer Regen" zu bezeichnen sind; ferner bedeutet das, daß das im Stauseebereich aufgefangene Regenwasser im Winter etwa vierzigmal und im Sommer etwa dreizehnmal saurer ist als nicht industrierverschmutzter Niederschlag.

Um festzustellen, ob ein Einfluß verschiedener Luftmassen auf die Höhe der pH-Werte vorliegt, wurden 91 Wochenwerte folgenden Luftmassen zugeordnet: maritime Polarluft (mP), maritime Tropikluft (mT), kontinentale Polarluft (cP) und kontinentale Tropikluft (cT). Nach der Luftmassencharakterisierung bei SCHREIBER (1957) führen die dem Sektor West bis Nord entstammenden maritimen Polarluftmassen sowie die dem Sektor Südwest zuzuordnenden maritimen Tropikluftmassen zu meist unbeständigem niederschlagsreichen Wetter. Kontinentale Polarluft dagegen gelangt im wesentlichen bei Hochdruckwetterlagen aus dem Sektor Nord bis Ost nach Mitteleuropa; unter ihrem Einfluß herrscht meist wolkenarmes Wetter mit überwiegend den Luftaustausch behindernden Absink- und/oder Bodeninversionen vor, so daß sich luftfremde Stoffe in der bodennahen Atmosphäre ansammeln können. Kontinentale Tropikluft fließt aus dem südlichen Sektor nach Mitteleuropa und kann zu Gewitterniederschlägen führen. Aus der Anzahl der ausgewerteten Luftmassen/pH-Wert-Verteilungen (Tabelle 11) wird deutlich, daß Niederschläge zum überwiegenden Teil bei Vorherrschen maritimer Luftmassen (52 Fälle), wesentlich seltener unter dem Einfluß maritimer (19 Fälle) und kontinentaler Tropikluftmassen (12 Fälle) und außerordentlich selten bei Vorherrschen kontinentaler Polarluftmassen (8 Fälle) auftreten.

pH-Wert	mP	mT	cP	cT	
< 3,4			1	1	
3,45 - 3,80	4	2	4	-	
3,85 - 4,20	9	6	-	4	
4,25 - 4,60	15	5	3	2	
4,65 - 5,00	9	3	-	-	
5,05 - 5,40	7	1	-	2	
5,45 - 5,80	3	2	-	2	
5,85 - 6,20	4	-	-	1	
6,25 - 6,60	1	-	-	-	
Absolutanzahl	52	19	8	12	$\Sigma = 91$ Wochen untersucht

mP = maritime Polarluft                      cP = kontinentale Polarluft  
 mT = maritime Tropikluft                    cT = kontinentale Tropikluft

Tabelle 11: HÄUFIGKEITSVERTEILUNGEN DER pH-WERTE BEI VERSCHIEDENEN LUFTMASSEN

Für jede der vier untersuchten Luftmassen wurde zum Zwecke einer besseren Vergleichbarkeit jeweils die Absolutanzahl der ausgewerteten Fälle = 100 % gesetzt und in Abbildung 19 die prozentuale luftmassenabhängige Häufigkeitsverteilung der pH-Werte für jede einzelne Luftmasse dargestellt. Das erzielte Ergebnis ist nicht eindeutig und läßt eine strenge Einflußnahme der jeweiligen Luftmassen auf die Höhe der pH-Werte nicht erkennen.

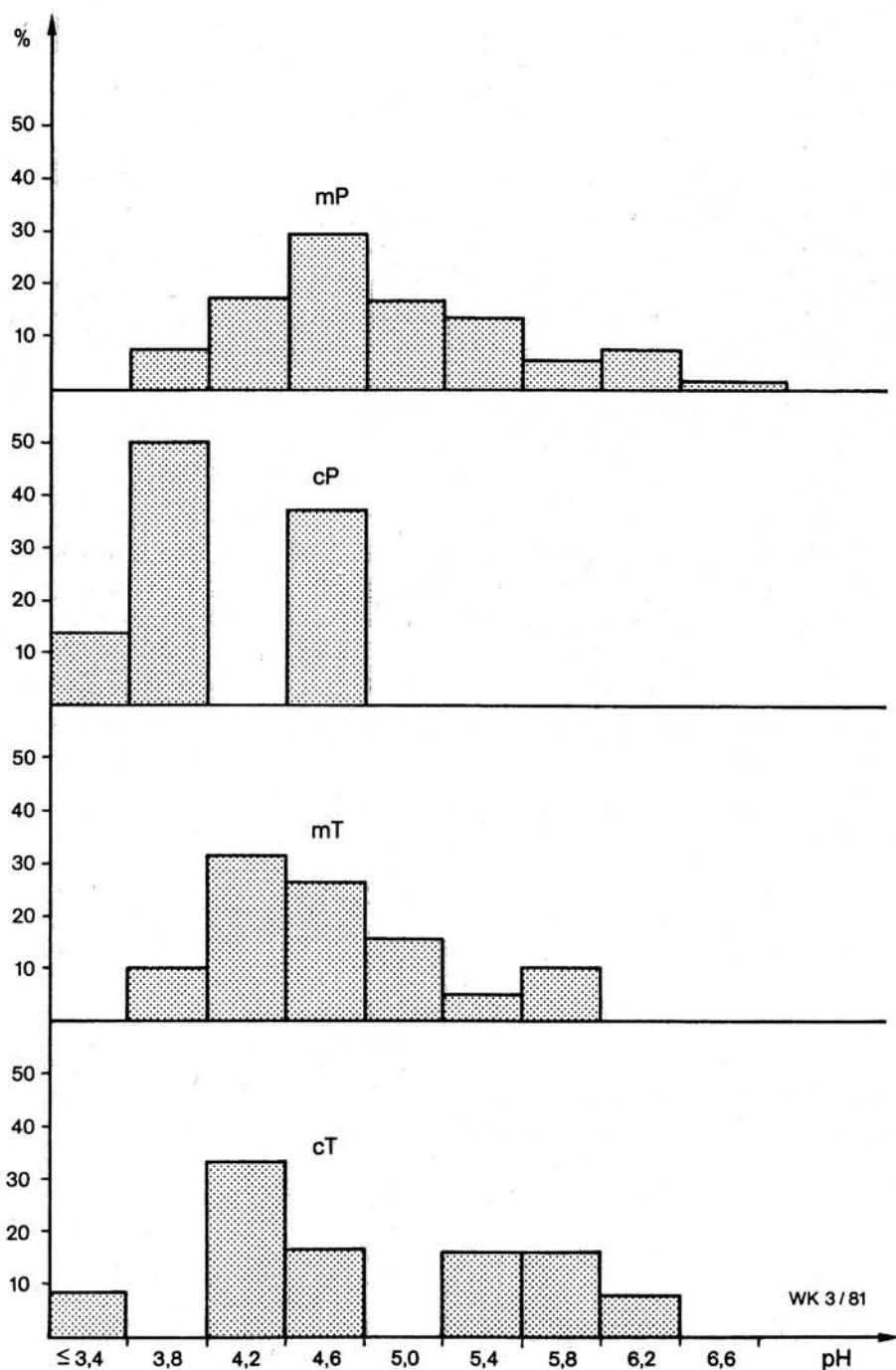


Abbildung 19: PROZENTUALE HÄUFIGKEITSVERTEILUNGEN DER pH-WERTE BEI VERSCHIEDENEN LUFTMASSEN

WK 3/81

Ein ähnliches Ergebnis zeigten auch die an Einzelniederschlägen durchgeführten Untersuchungen von BERG (1959), der keine Abhängigkeit der pH-Werte von der Luftmasse im Raum Köln nachweisen konnte. BERG konnte bei seinen Untersuchungen lediglich eine Häufung niedriger pH-Werte dann feststellen, wenn Niederschläge aus dem Sektor Ost bis Nord vorherrschten. Dies kann durch die Bochumer Untersuchungen indirekt dadurch bestätigt werden, daß eine außerordentlich starke prozentuale Häufung von pH-Werten zwischen 3,6 und 3,8 (50 %) und zwischen 4,4 und 4,6 (38 %) bei der Zufuhr kontinentaler Polarluftmassen gefunden werden konnte. Die zwar im Untersuchungszeitraum sehr selten auftretende Zufuhr kontinentaler Polarluft aus dem Sektor Nord bis Ost weist dafür mehrheitlich extrem niedrige pH-Werte (kleiner gleich 3,8) auf. Dies dürfte wohl mit dem Charakter dieser Luftmassen zusammenhängen, die meist unter Hochdruckeinfluß zu geringen Windgeschwindigkeiten und schlechten Austauschverhältnissen führen, so daß sich Spurenstoffe in der unteren Troposphäre verstärkt ansammeln können und mit einsetzendem Regen ausgewaschen werden.

#### 4.4 Calcium

Der Gehalt an Calcium belief sich für den vorgegebenen Untersuchungszeitraum im Mittel auf  $\bar{x} = 3,2$  mg Calcium/l bei einer mittleren Schwankungsbreite, die zwischen 2,3 und 4,0 mg/l lag. Vergleichbar den Summenkurven für Sulfat und den pH-Werten zeigte auch dieser Spurenstoff einen Jahresgang der Konzentrationswerte mit relativ niedrigen Werten im Winter sowie im Frühjahr und etwas erhöhten Werten in den Sommermonaten (vgl. Abbildung 20).

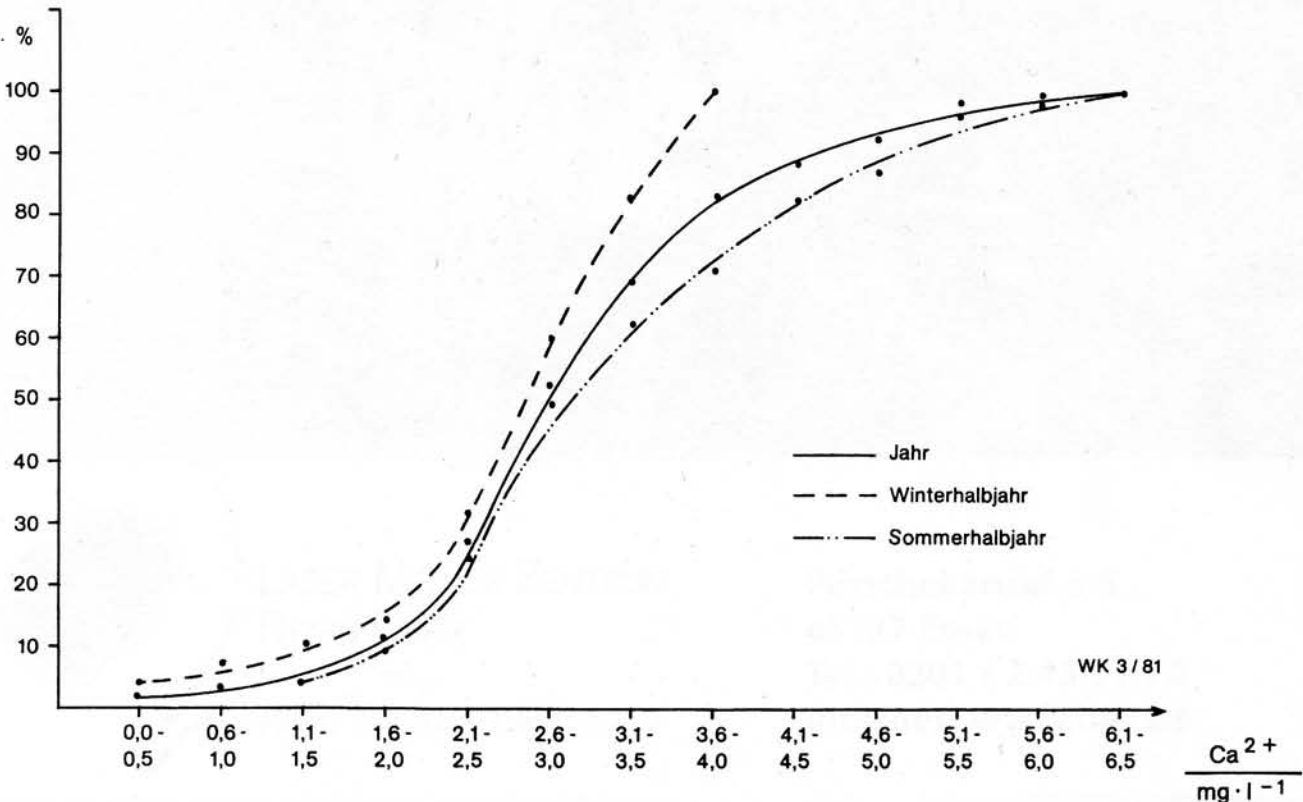


Abbildung 20: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER CALCIUMKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER (Mai 1978 bis April 1980)

Während im Winterhalbjahr Werte bis 4,0 mg/l auftraten, konnten im Sommerhalbjahr Maximalwerte von bis zu 6,5 mg/l festgestellt werden. Bezogen auf den arithmetischen Mittelwert ( $\bar{x} = 3,2$  mg/l) ergaben sich im Sommerhalbjahr im Mittel um 11 % höhere Werte, während im Winterhalbjahr um 18 % niedrigere Konzentrationen gemessen wurden. Da Calcium ein wesentlicher Bestandteil des atmosphärischen Staubes ist und hauptsächlich in der Bauindustrie als Zement verwendet wird, könnten die höheren Sommerwerte möglicherweise durch verstärkte Bautätigkeit interpretiert werden.

#### 4.5 Chlorid

Als Mittelwert der Chloridkonzentrationen wurden  $\bar{x} = 4,4$  mg Chlorid/l mit einer mittleren Schwankungsbreite von 2,4 bis 7,1 mg/l ermittelt. Den vorläufigen Ergebnissen zufolge wiesen die Chloridgehalte im Niederschlagswasser keinen Jahrgang auf. Die prozentuale Summenhäufigkeitsverteilung zeigt Abbildung 21.

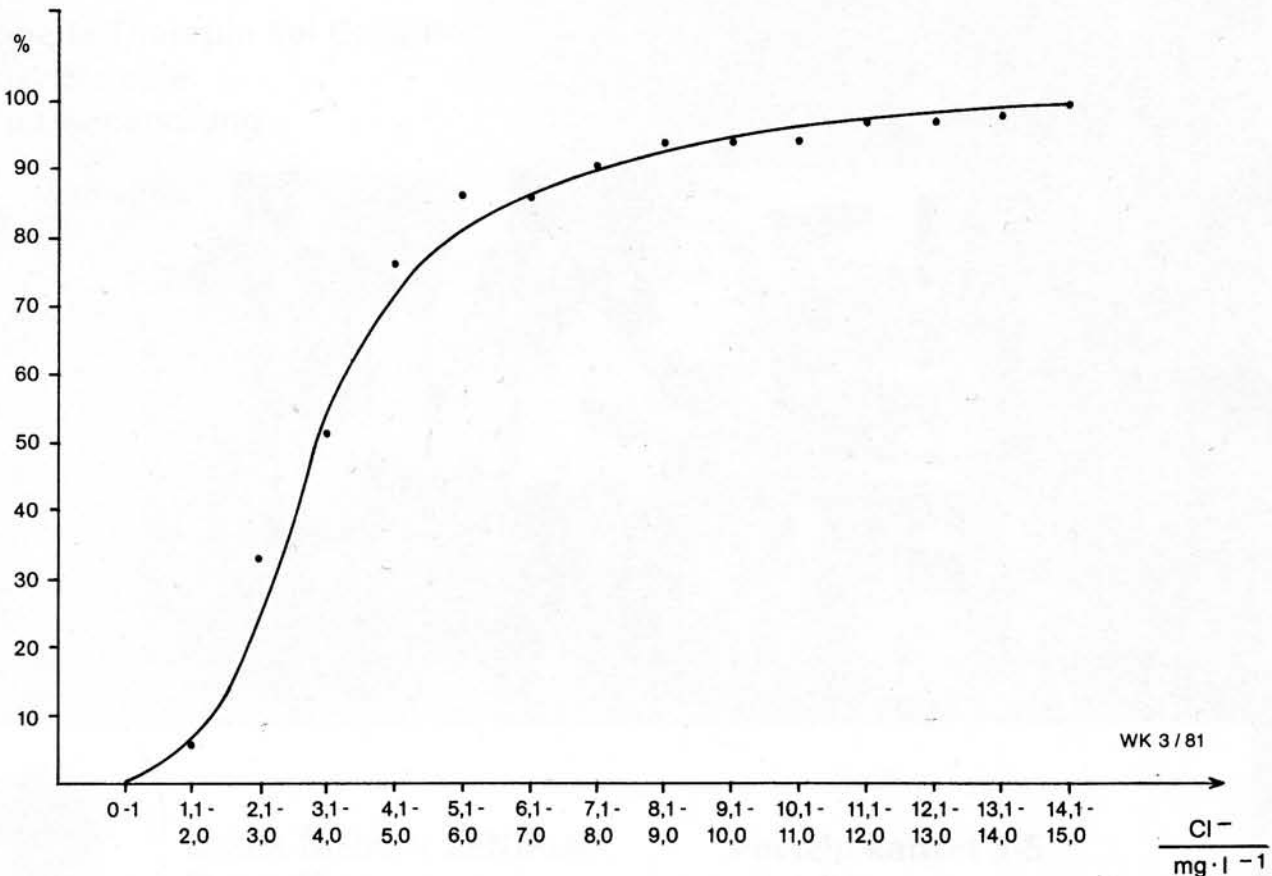


Abbildung 21: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER CHLORIDKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER (Mai 1978 bis April 1980)



#### 4.6 Ammonium

Auch die Verteilung der Ammoniumkonzentrationen zeigt im zweijährigen Untersuchungszeitraum keinen deutlich ausgeprägten Jahresgang. Bei einem Mittelwert von  $\bar{x} = 3,8$  mg/l traten in den Wintermonaten mit 3,2 mg/l die niedrigsten und im Herbst mit 4,4 mg/l die höchsten Konzentrationen auf. Abbildung 22 zeigt die prozentuale Summenhäufigkeitsverteilung.

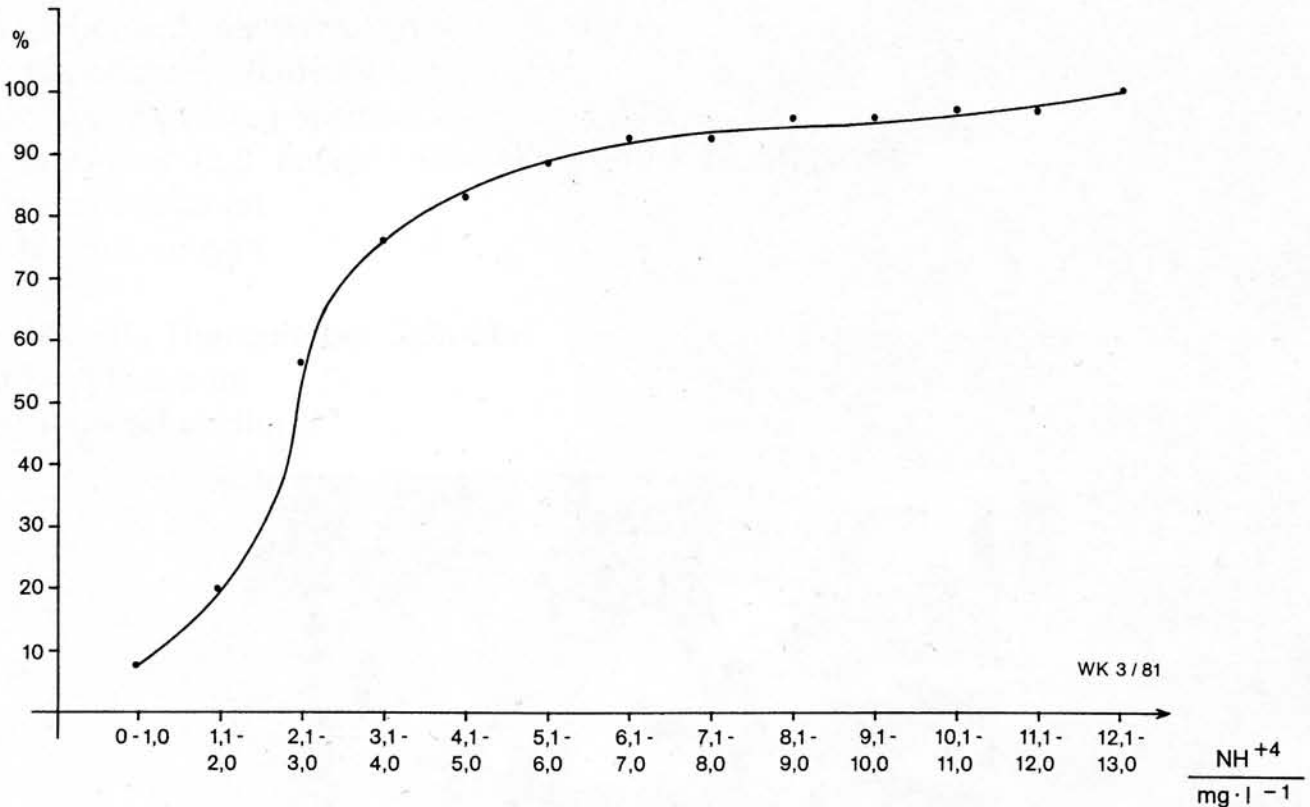


Abbildung 22: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER AMMONIUMKONZENTRATIONEN IM NIEDERSCHLAGSWASSER (Mai 1978 bis April 1980)

#### 5. Abhängigkeit der Spurenstoffdepositionsmengen von den Niederschlagshöhen

Um feststellen zu können, welcher Zusammenhang zwischen der abgelagerten Spurenstoffmenge und der Niederschlagshöhe besteht, wurde aus den jeweils bestimmten Spurenstoffkonzentrationen und den ermittelten Niederschlagshöhen nach Gleichung (2) die monatliche Spurenstoffdeposition im  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Monat}^{-1}$  berechnet und in Abhängigkeit von der Monatsniederschlagssumme für die einzelnen Spurenstoffe in den Abbildungen 23 bis 27 dargestellt.

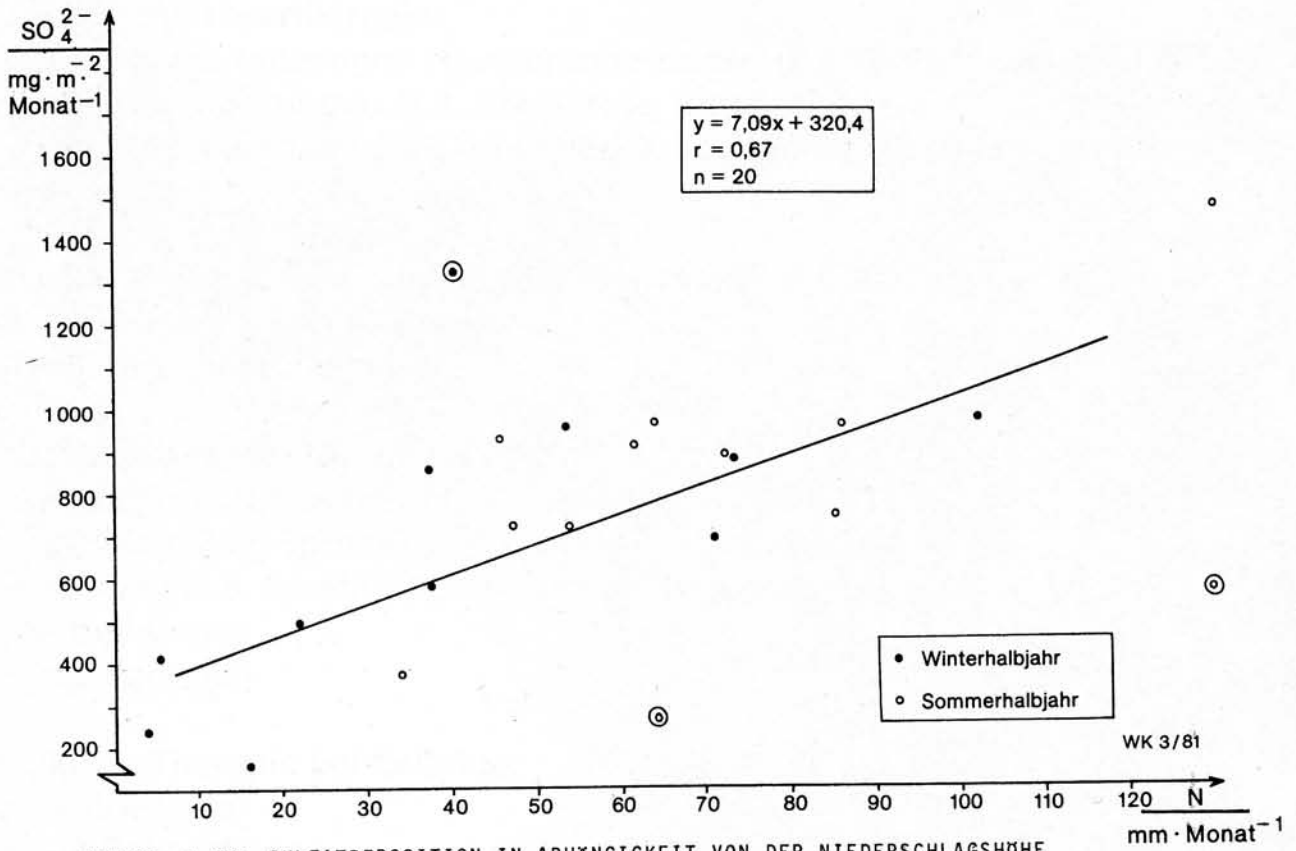


Abbildung 23: SULFATDEPOSITION IN ABHÄNGIGKEIT VON DER NIEDERSCHLAGSHÖHE  
(Mai 1978 bis April 1980)

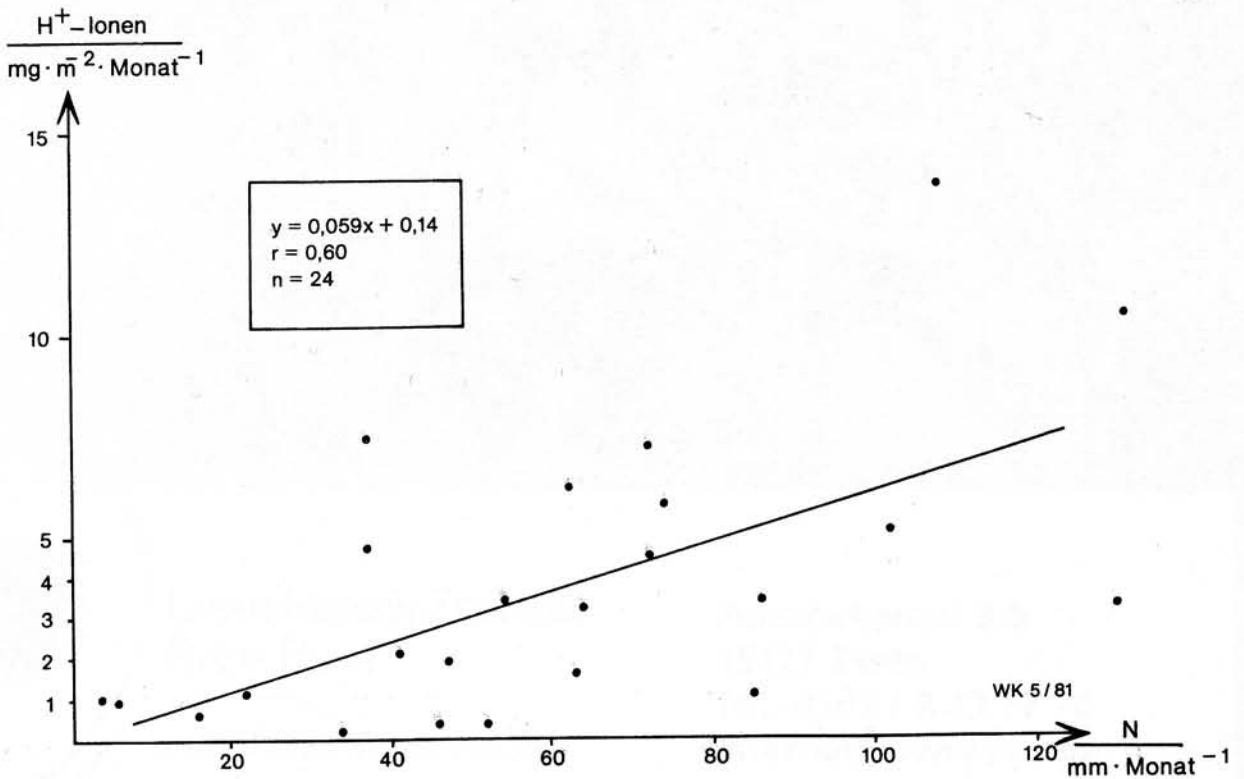


Abbildung 24: H<sup>+</sup>-IONENDEPOSITION IN ABHÄNGIGKEIT VON DER NIEDERSCHLAGSHÖHE  
(Mai 1978 bis April 1980)

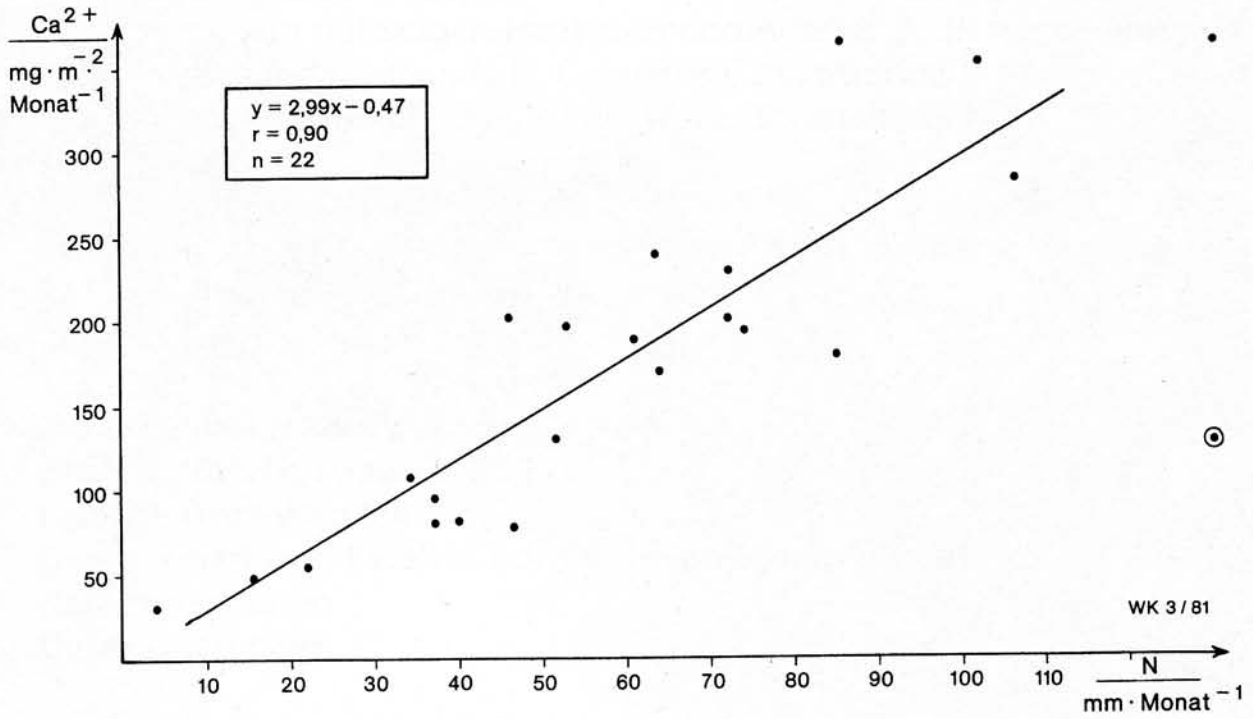


Abbildung 25: CALCIUMDEPOSITION IN ABHÄNGIGKEIT VON DER NIEDERSCHLAGSHÖHE  
(Mai 1978 bis April 1980)

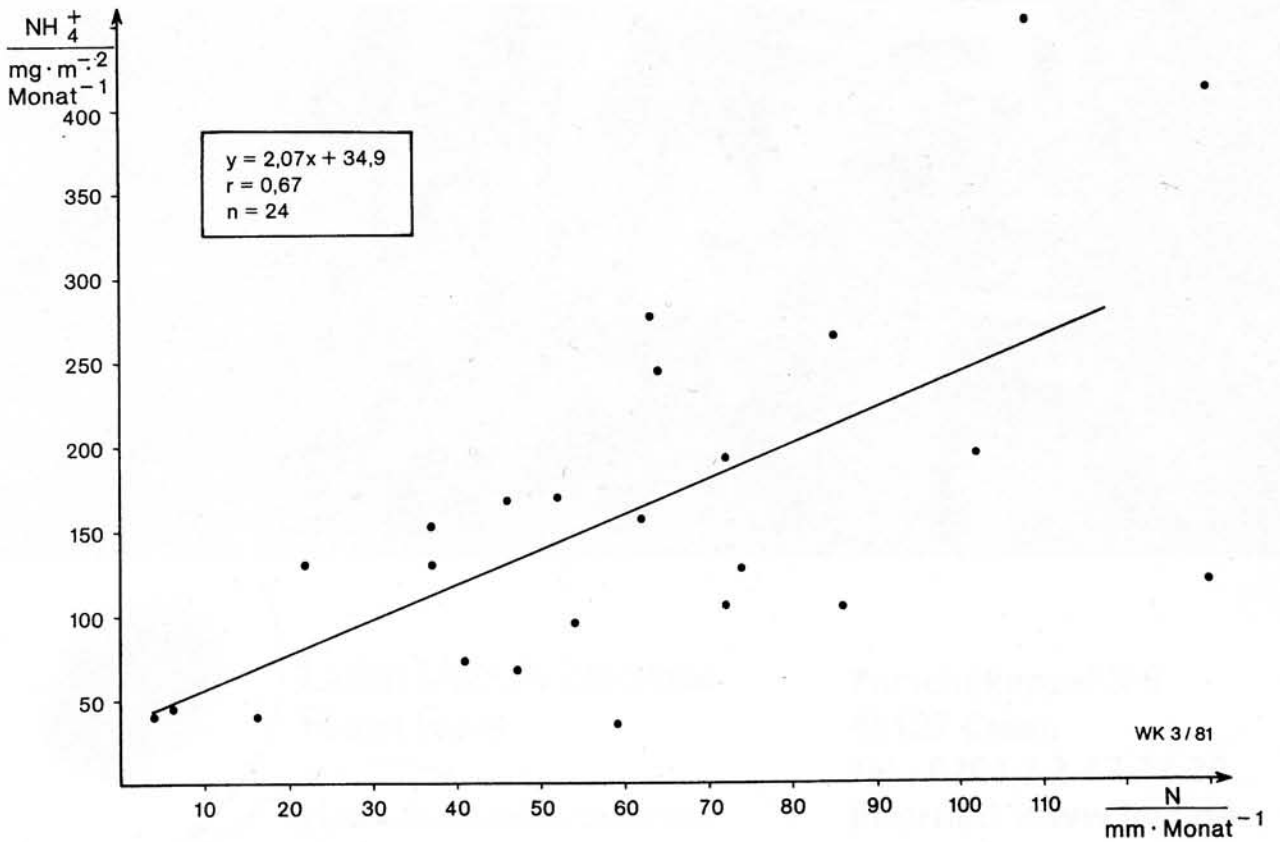


Abbildung 26: AMMONIUMDEPOSITION IN ABHÄNGIGKEIT VON DER NIEDERSCHLAGSHÖHE  
(Mai 1978 bis April 1980)

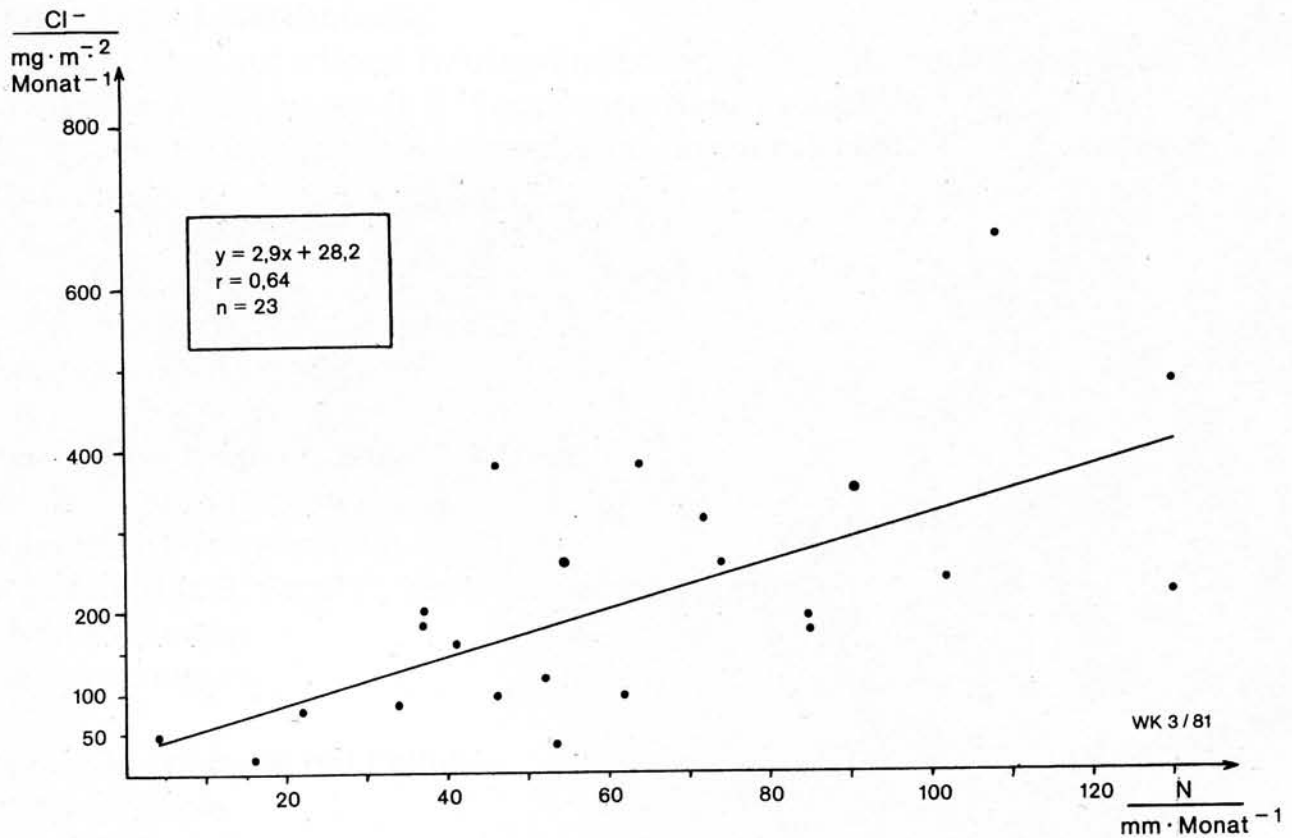


Abbildung 27: CHLORIDDEPOSITION IN ABHÄNGIGKEIT VON DER NIEDERSCHLAGSHÖHE  
(Mai 1978 bis April 1980)

Schon diese vorläufigen Ergebnisse des zweijährigen Untersuchungszeitraumes lassen Zusammenhänge und Abhängigkeiten der einzelnen Spurenstoffdepositionsmengen zur gefallenem Niederschlagshöhe erkennen. Die eingezeichneten Regressionsgeraden, die aus den Wertepaaren berechnet wurden, ermöglichen darüber hinaus - bei Kenntnis der gefallenem Niederschlagshöhe - Rückschlüsse auf die monatliche Depositionsmenge. Umkreiste Punktsignaturen in den Abbildungen 23 und 25 wurden nicht zur Auswertung herangezogen.

## 6. Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

In den Tabellen 12 und 13 sind für den Zeitraum Mai 1978 bis April 1980 neben den für die entsprechenden Monate aufgelisteten Wochenmittelwerten auch noch die Wochenminima und -maxima enthalten. Darüber hinaus wurde in Tabelle 12 die Anzahl der in den einzelnen Monaten durchgeführten Probenahmen hinzugefügt. Vergleichbare Werte der Probenahmeanzahl gelten für die in Tabelle 13 aufgelisteten Flächenbelastungsdaten. Die Werte in beiden Tabellen sind auf- bzw. abgerundet, so daß im einen oder anderen Fall Rundungsfehler beim Vergleich mit den in den vorausgegangenen Kapiteln genannten Werten auftreten

können. Jeder Monatsmittelwert wurde je nach Ergiebigkeit der Niederschläge aus mindestens zwei und maximal fünf Einzelwerten berechnet. Die monatliche Spurenstoffdepositionsmenge (Tabelle 13) enthält für jeden Monat die aus Spurenstoffkonzentration und entsprechender wöchentlicher Niederschlagsmenge berechnete wöchentliche Flächenbelastung. Die mittlere monatliche Flächenbelastung wurde aus den einzelnen Wochensummenwerten ermittelt.

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			Ca <sup>2+</sup>			Cl <sup>-</sup>			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			pH			Niederschlag		
	$\bar{x}$	n	Min./Max.	$\bar{x}$	n	Min./Max.	$\bar{x}$	n	Min./Max.	$\bar{x}$	n	Min./Max.	$\bar{x}$	n	Min./Max.	$\bar{x}$	n	Min./Max.
1978																		
Mai	22	4	11 - 39	5	4	4 - 6	13	2	11 - 14	11	2	9 - 13	5,1	4	4,6 - 6,5	11	4	6 - 19
Juni	18	4	11 - 25	3	3	2 - 6	7	3	3 - 13	4	3	3 - 5	4,3	4	3,9 - 5,5	16	4	3 - 27
Juli	16	5	9 - 26	4	5	2 - 5	3	5	2 - 8	1	4	1	4,4	5	4,0 - 4,9	21	4	4 - 48
Aug.	22	4	12 - 41	3	2	2 - 3	3	2	2 - 3	6	2	1 - 10	5,2	4	5,0 - 6,2	13	4	2 - 35
Sept.	14	5	9 - 22	3	5	2 - 5	4	5	3 - 6	5	4	2 - 10	4,6	5	4,4 - 4,8	26	5	7 - 51
Okt.	25	3	19 - 29	3	2	3 - 4	5	2	4 - 6	8	2	3 - 13	4,3	3	4,2 - 4,4	5	4	2 - 9
Nov.	21	2	18 - 24	3	1	3	5	1	5	4	1	4	3,6	3	3,3 - 4,2	4	3	1 - 10
Dez.	17	4	8 - 24	3	4	2 - 3	6	4	4 - 12	4	4	3 - 5	3,7	4	3,4 - 4,3	11	3	5 - 19
1979																		
Jan.	42	2	8 - 75	*	*	*	*	*	*	5	2	1 - 8	3,8	4	3,6 - 4,1	13	2	10 - 16
Feb.	25	4	20 - 31	2	4	0 - 3	5	4	2 - 8	4	3	3 - 5	3,9	4	3,8 - 4,2	12	3	10 - 17
März	16	5	10 - 28	2	5	2	5	5	2 - 8	3	5	3 - 4	3,9	5	3,6 - 4,3	26	5	14 - 42
April	12	4	11 - 24	3	4	2 - 3	5	4	5	3	4	2 - 3	4,1	4	3,9 - 4,3	12	4	6 - 17
Mai	12	4	12 - 13	3	4	3	4	4	4	3	4	3	4,0	4	3,8 - 4,9	18	4	5 - 34
Juni	17	5	12 - 32	3	3	3	4	3	3 - 5	3	3	2 - 3	4,4	5	4,2 - 5,7	12	4	3 - 15
Juli	8	4	1 - 28	5	2	5	4	4	2 - 6	5	3	4 - 6	4,6	4	4,2 - 5,4	16	4	8 - 26
Aug.	8	4	1 - 11	4	4	4 - 5	2	4	2 - 3	3	4	2 - 5	4,9	4	4,8 - 5,3	21	4	12 - 32
Sept.	12	3	11 - 12	4	2	4	3	2	3	3	1	3	5,2	3	5,0 - 5,7	7	5	0 - 19
Okt.	22	2	8 - 36	4	1	4	2	1	2	3	1	3	4,9	3	4,5 - 6,9	5	3	1 - 13
Nov.	14	3	6 - 20	4	2	3 - 4	3	2	3	2	3	1 - 3	4,2	4	3,8 - 4,8	18	4	1 - 43
Dez.	10	4	8 - 14	4	4	3 - 4	2	4	2 - 3	2	4	1 - 3	4,3	4	4,0 - 4,7	26	4	8 - 50
1980																		
Jan.	25	2	14 - 37	4	2	4	4	2	4 - 5	2	2	2 - 3	4,2	2	4,2 - 4,3	27	2	9 - 44
Feb.	14	3	8 - 19	3	2	3	4	3	3 - 5	2	2	2 - 3	4,1	4	4,06 - 4,4	19	4	1 - 32
März	36	4	29 - 51	3	2	3	7	3	3 - 9	3	1	3	4,3	5	4,2 - 4,4	8	5	1 - 26
April	15	5	12 - 19	3	5	3	3	2	3	5	2	4 - 7	4,0	4	3,9 - 4,2	12	5	4 - 21

Erläuterung der Zeichen:  $\bar{x}$  = arithmetischer Mittelwert  
n = Anzahl der Proben

Min./Max. = absolute Minima und Maxima der Monatswerte

\* = keine Berechnung möglich wegen zu geringer Niederschlagsmenge

Tabelle 12: SPURENSTOFFKONZENTRATIONEN (in mg · l<sup>-1</sup>), pH-WERTE UND MITTLERE NIEDERSCHLAGSHÖHE (in mm · Woche<sup>-1</sup>) FÜR DEN ZEITRAUM Mai 1978 bis April 1980 (Werte gerundet)

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Cl <sup>-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	
	$\bar{x}$	Min./Max.	$\bar{x}$	Min./Max.	$\bar{x}$	Min./Max.	$\bar{x}$	Min./Max.
1978								
Mai	235	121 - 367	52	39 - 81	188	106 - 271	84	83 - 86
Juni	241	64 - 376	57	42 - 75	126	65 - 181	82	67 - 108
Juli	239	79 - 425	45	19 - 82	44	26 - 78	34	4 - 90
Aug.	176	35 - 413	66	31 - 101	58	37 - 79	85	35 - 136
Sept.	293	140 - 496	73	34 - 138	97	20 - 223	103	94 - 127
Okt.	163	117 - 207	27	22 - 31	39	30 - 47	65	21 - 110
Nov.	120	54 - 186	30	30	49	49	39	39
Dez.	195	129 - 255	40	31 - 50	67	36 - 101	44	18 - 74
1979								
Jan.	659	80 - 1239	*	*	*	*	46	46
Feb.	285	216 - 401	32	21 - 51	61	23 - 83	49	44 - 56
März	390	134 - 551	58	29 - 91	133	50 - 315	91	41 - 176
April	140	80 - 185	31	16 - 48	56	32 - 76	31	19 - 45
Mai	219	64 - 440	50	16 - 94	79	24 - 155	48	15 - 58
Juni	117	114 - 250	41	39 - 44	49	44 - 53	34	34
Juli	70	8 - 225	120	105 - 134	51	35 - 79	92	49 - 132
Aug.	185	19 - 339	91	45 - 133	49	31 - 67	66	31 - 123
Sept.	132	32 - 228	54	39 - 69	44	35 - 52	58	58
Okt.	79	52 - 106	49	49	22	22	40	40
Nov.	231	20 - 395	116	81 - 152	99	72 - 125	52	29 - 75
Dez.	243	78 - 381	88	27 - 165	59	56 - 105	49	14 - 75
1980								
Jan.	476	347 - 605	99	32 - 167	121	38 - 203	49	23 - 74
Feb.	294	171 - 449	98	90 - 106	86	41 - 120	63	52 - 74
März	332	156 - 822	41	10 - 72	55	42 - 74	74	74
April	183	48 - 316	38	13 - 62	49	42 - 56	79	48 - 109

Erläuterung der Zeichen:  $\bar{x}$  = arithmetischer Mittelwert  
 Min./Max. = absolute monatliche Minima und Maxima der Flächenbelastung  
 \* = keine Berechnung möglich wegen zu geringer Niederschlagsmenge

Tabelle 13: FLÄCHENBELASTUNG VERSCHIEDENER SPURENSTOFFE (in mg · m<sup>-2</sup> · Woche<sup>-1</sup>)  
 FÜR DEN ZEITRAUM Mai 1978 bis April 1980 (Werte gerundet)

Zusammenfassend sind in den Tabellen 14 und 15 die Mittelwerte sowie die monatlichen Minima und Maxima der Spurenstoffe eingetragen.

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	pH
$\bar{x}$	18,6	3,2	4,4	3,8	4,3
Min./Max.	8,2 - 42,4	2,3 - 4,1	2,0 - 13,0	1,0 - 11,0	3,6 - 5,2

Tabelle 14: MITTLERE SPURENSTOFFKONZENTRATIONEN (in mg · l<sup>-1</sup>) UND pH-WERTE FÜR DEN ZEITRAUM Mai 1978 bis April 1980 IM STAUSEEBEREICH KEMNADE

	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NH}_4^+$
$\bar{x}$	8,28	1,75	2,1	1,6
Min./Max.	1,56 - 19,50	0,30 - 3,64	0,22 - 6,63	0,39 - 4,13

Tabelle 15: MITTLERE MONATLICHE FLÄCHENBELASTUNG VERSCHIEDENER SPURENSTOFFE  
 FOR DEN ZEITRAUM Mai 1978 bis April 1980 (in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )  
 IM STAUSEEBEREICH KEMNADE

### 7. Die Ergebnisse im Vergleich mit anderen Stationen

Ein Vergleich der im Bereich des Stausees Kemnade ermittelten Spurenstoffkonzentrationen und -depositionen mit den Ergebnissen, die an anderen Stationen ermittelt wurden, läßt sich nur bedingt durchführen, da in den meisten Fällen weder die Untersuchungszeiträume noch die Auffang- und Analysenmethoden einander vergleichbar sind. Trotz dieser vielfach nicht immer nachprüfbaren, jedoch wichtigen Faktoren, unter denen das jeweilige Datenmaterial betrachtet werden muß, wird im Sinne einer Bewertung und einer notwendigen geographischen Zuordnung ein solcher Vergleich mit den Ergebnissen, die im Bereich des Stausees Kemnade gefunden wurden, durchgeführt (vgl. hierzu Tabelle 16).

Die Werte der Spalten 1 bis 5 der Tabelle 16, die weitgehend unbelastete Gebiete charakterisieren sollen, entstammen küstennahen und küstenfernen sowie Mittel- und Hochgebirgsstationen. Der Einfluß des Meeres auf die Konzentrationsstärke zeigt sich besonders stark an den für Reinluftgebiete recht hohen Calcium-, Chlorid- und Sulfatwerten, die an den Küsten Westirlands (Spalte 1) gemessen wurden und wesentlich höher liegen als Werte binnenländischer Stationen.

Darüber hinaus machen sich die zu unterschiedlichen Zeiten genommenen Proben zum Beispiel beim Vergleich der Werte von Spalte 2 (1956) mit denen von Spalte 4 (1980) insofern bemerkbar, als über diesen Zeitraum von einer Zunahme des Verschmutzungsgrades der Atmosphäre ausgegangen werden muß, was sich zum Beispiel in einer globalen Absenkung der pH-Werte ausdrückt. Ein Blick auf die pH-Werte der Stationen in belasteten Gebieten (Spalte 6 bis 13) macht sehr deutlich, daß mit Ausnahme der Meßergebnisse in New Hampshire (Spalte 9) und in Hamburg (Spalte 12) die Werte ähnlich niedrig sind wie in unbelasteten Gebieten. Ein wesentlicher Unterschied im Säuregehalt des Niederschlagswassers läßt sich zum Beispiel zwischen der unbelasteten Gebiets-Station Brotjacklriegel (Spalte 4) und der belasteten Station Bochum (Spalte 13) nicht feststellen. Zur Kennzeichnung der Niederschlagswassergüte reicht demnach eine Messung der pH-Werte nicht aus. Unter den belasteten Gebieten weist die Station Bochum (Spalte 13) für den Spurenstoff Calcium die höchsten Werte auf, während die Ergebnisse der Ammoniumanalyse dieser Station gut vergleichbar sind mit denjenigen aus Rotterdam (Spalte 10) und Frankfurt/Main (Spalte 6).

Sieht man beim Vergleich der Chloridgehalte einmal von den sehr hohen Werten der südnorwegischen Küste (Spalte 8) ab, so ergeben sich in Frankfurt/Main (Spalte 6) annähernd gleichhohe Werte wie in Bochum (Spalte 13), die nur von denjenigen in Rotterdam übertroffen werden.

Spalte	unbelastet					belastet							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Küstengebiet mit sauberer Luft Westirland 1967	Binnenland mit sauberer Luft Nordschweden 1956	Taunus-Observatorium - Kleiner Feldberg 1957	Brotjacklriegel/Bayerischer Wald 1980	Hohenpeissenberg 1979/80	Frankfurt/Main 1960/61	Binnenland mit schmutziger Luft Südnorwegen 1974/75	Küstengebiet mit schmutziger Luft Südnorwegen 1972	Binnenland mit schmutziger Luft New Hampshire 1973/74	Rotterdam 1980	Eindhoven 1980	Ham-burg 1979/80	Bochum Ruhrgebietsstadt 1978/80
pH-Wert	5,8	5,4	0	4,25	4,20	0	4,3	4,2	3,9	4,25	4,19	3,86	4,3
Calcium	3,0	1,4	1,6	0,36	0	1,9	0,3	1,8	0,4	0,84	0,6	0	3,2
Ammonium	0,02	0	1,6	0,56	0	3,2	0,4	0,9	0,4	3,3	1,28	0	3,8
Chlorid	35,9	0,4	1,8	0,49	1,13	3,9	0,4	20,9	0,4	6,6	2,5	2,6	4,4
Sulfat	12,6	2,8	5,3	3,6	6,12	16,3	5,0	15,7	10,6	7,2	6,1	9,9	18,6

1) Werte der Spalten 1, 2, 7 bis 9 nach LIKENS et al. (1979); umgerechnet; Art der Probennahme nicht mitgeteilt.

Werte der Spalten 3 und 6 nach GEORGII (1965); Analyse von Einzelniederschlägen.

Werte der Spalte 4 nach UMWELTBUNDESAMT (1981); Analyse von Monatssummenniederschlägen.

Werte der Spalten 10 und 11 nach RIDDER (1981); bulk-samples; Analyse von Monatssummenniederschlägen.

Werte der Spalte 5 nach GEORGII et al. (1981); Analyse von Einzelniederschlägen; angegebene Werte aus den Monatsmittelwerten 8/1979 bis 9/1980 berechnet; pH-Werte aus 12, Chlorid aus 14, Sulfat aus 14 Monatsmittelwerten berechnet.

Werte der Spalte 12 nach GEORGII et al. (1981); Analyse von Einzelniederschlägen; angegebener Wert aus den Monatsmittelwerten 10/1979, 11/1979 und 02/1980 bis 09/1980 berechnet; pH-Werte aus 10, Chlorid aus 12, Sulfat aus 12 Monatsmittelwerten berechnet.

Werte der Spalte 13 berechnet aus Wochenniederschlagssummen; bulk-samples.

Tabelle 16: VERGLEICH DER pH-WERTE UND DER SCHADSTOFFKONZENTRATIONEN (in mg/l) IM NIEDERSCHLAGSWASSER <sup>1)</sup>  
FOR VERSCHIEDENE GEBIETE



Die Sulfatbelastung erreichte nach dieser Zusammenstellung an der Station Bochum (Spalte 13), Frankfurt/Main (Spalte 6) und in Südnorwegen (Spalte 8) sehr hohe Werte.

Die relativ hohe Flächenbelastung der Station Bochum nicht nur an Sulfat, sondern auch an den anderen Spurenstoffen zeigen die im Vergleich zum unbelasteten Gebiet berechneten Depositionsmengen für das Jahr 1980, die für Sulfat fast den dreifachen, für Calcium und Chlorid den über sechsfachen und für Ammonium den fünffachen Wert eines Reinluftgebietes (Brotjacklriegel, Bayerischer Wald; vgl. Tabelle 17) erreichten.

	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NH}_4^+$
belastet	104,0	23,0	32,0	28,0
unbelastet	36,0	3,6	5,0	5,6
Verhältnis belastet/unbelastet	2,9	6,4	6,4	5,0

Tabelle 17: JÄHRLICHE FLÄCHENBELASTUNG VERSCHIEDENER SPURENSTOFFE EINER BELASTETEN (Bochum) UND EINER UNBELASTETEN STATION (Brotjacklriegel, Bayerischer Wald) IM JAHRE 1980 (in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Jahr}$ )

Zusammenfassend kann aufgrund dieser vorläufigen Untersuchungsergebnisse für den Stauseebereich Kemnade in Bochum im Vergleich zu anderen Gebieten festgestellt werden, daß die Belastung dieser Region als relativ hoch angesehen werden muß.

#### 8. Danksagung

Die zahlreichen chemischen Analysen wurden im Labor des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum von Frau Chem.-Lab. Gerlinde Stein und Herrn Chem.-Lab. Willi Gosda durchgeführt; Frau Phys.-Lab. Gisela Hackel und Herr Arnd Pohle übernahmen die Wartung der Geräte. Allen Beteiligten sage ich herzlichen Dank.

Literaturverzeichnis:

- AUTORENTEAM (1971): Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung. Band I Chemische, physikalisch-chemische, physikalische und elektrochemische Methoden. - Jena.
- BACH, W. (1980): Untersuchung der Beeinflussung des Klimas durch anthropogene Faktoren. - Münstersche Geographische Arbeiten, Band 6, 7-34.
- BALTRUSCH, M. (1979): Flugzeugmessungen von Schwefeldioxid und Sulfat in der Abgasfahne des Ruhrgebietes. - Staub - Reinhaltung der Luft 39, 7, 252-256.
- BERG, H. (1959): PH-Werte des Niederschlags in Köln. - Meteorologische Rundschau 47, 2, 47-51.
- BINGEMER, H. (1977): Transport und Abbau schwefelförmiger Luftverunreinigungen im Lee großer Flächenquellen. - Dipl.-Arbeit Inst. f. Met. u. Geophysik Univ. Frankfurt/Main.
- BLOTHGEN, J. & WEISCHET, W. (1980): Allgemeine Klimageographie. - Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, 3. Auflage, Berlin.
- CAUER, H. (1956): Die pH-Werte von Aerosolen und Niederschlägen und ihre lufthygienische und bioklimatische Indikatorbedeutung. - Zeitschrift für Aerosolforschung und -therapie 5, 459-509.
- DRABLØS, D. & TOLLAN, A. (Hrsg.) (1980): Ecological impact of acid precipitation. - Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip., Norwegen, SNSF-Projekt, Oslo, 383 Seiten.
- FOWLER, D. (1980): Removal of sulphur and nitrogen compounds from the atmosphere in rain and by dry deposition. - Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip., Norwegen, SNSF-Projekt, 22-32.
- GALLOWAY, J. N. & LIKENS, G. E. (1976): Calibration of Collection procedures for the determination of precipitation chemistry. - Water, Air and Soil Pollution 6, 242-258.
- GEORGII, H. W. (1965): Untersuchungen über Ausregnen und Auswaschen atmosphärischer Spurenstoffe durch Wolken und Niederschlag. - Ber. Dt. Wetterdienst, 14, 100.
- GEORGII, H. W. (1981): Luftchemische Umsetzungen und Verweildauer von Luftverunreinigungen beim regionalen und globalen Transport. - In: Hohe Schornsteine als Element der Luftreinhaltepolitik in Nordrhein-Westfalen, hrsg. vom Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, 39-53.
- GEORGII, H. W. & HERRMANN, K. (1979): Umwandlung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre. - Umwelt 6, 463-465.
- GEORGII, H. W., & PERSEKE, C. (1980): Die Selbstreinigung der Atmosphäre von Schwefelverbindungen durch trockene und nasse Ablagerung (dry and wet deposition). - In: Luftchemisches Verhalten anthropogener Schadstoffe; VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Ergebnisse der Arbeitsgruppe "Luftchemie" in der VDI-Kommission der Luft, Düsseldorf, als Manuskript gedruckt.
- GEORGII, H. W., PERSEKE, C., ROHBOCK, E. & GRAVENHORST, G. (1980): Untersuchung über die trockene und feuchte Deposition von Luftverunreinigungen in der Bundesrepublik Deutschland. - Forschungsbericht des Universitätsinstituts für Meteorologie und Geophysik, Frankfurt/Main, im Auftrag des Umweltbundesamtes.

- GEORGII, H. W., PERSEKE, C. & ROHBOCK, E. (1981): Feststellung der Deposition von sauren und langzeitwirksamen Luftverunreinigungen aus Belastungsgebieten. Datenband Juli 1979 bis September 1980. - Umweltforschungsplan des Bundesministers des Innern. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- GIEBEL, J. (1974): Meteorologie und Luftverschmutzung. - Therapiewoche 43, 5000-5007.
- GIEBEL, J. (1977): Untersuchungen zur Abbaurate von Schwefeldioxid in der Atmosphäre. - Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen, 40, 13-22.
- GIEBEL, J. & BACH, R. W. (1979): Ursachenanalyse der Immissionsbelastung während der Smog-Situation am 17.01.1979. - Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen, 47, 60-73.
- GILLBERG, B. (1977): Tusentals sjoär hotas av fiskdöd. - Miljö och framtid, 2, 4-8.
- HESS, F. & BREZOWSKY, H. (1977): Katalog der Großwetterlagen Europas. - Ber. Dt. Wetterdienst 15, 113.
- HORBERT, M. (1978): Klimatische und lufthygienische Aspekte der Stadt- und Landschaftsplanung. - In: Natur und Heimat, 38 (1/2), 34-49.
- IWANTSCHIEFF, G. (1972): Das Dithizon und seine Anwendung in der Mikro- und Spurenanalyse. - Weinheim/Bergstraße.
- JESSEL, U. (1964): Mitteilung über eine auffällige Zunahme der Niederschlagsazidität in Europa in der Zeit von 1955 bis zur Gegenwart. - Fundamenta Balneo-Bioclimatologica, 3, 1-12.
- KAYSER, K., JESSEL, K., KÖHLER, A. & RÖNICKE, G. (1974): Die pH-Werte des Niederschlags in der Bundesrepublik Deutschland 1967 - 1972. - Deutsche Forschungsgemeinschaft, Mitteilungen IX der Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung.
- KLOCKOW, D., DENZINGER, H. & RÖNICKE, G. (1978): Zum Zusammenhang zwischen pH-Wert und Elektrolytzusammensetzung von Niederschlägen. - In: VDI-Berichte Nr. 314, 21-26.
- KUTTNER, W. (1979 a): London-Smog und Los Angeles-Smog. - In: Erdkunde 33, 3, 236-240.
- KUTTNER, W. (1979 b): Einflußgrößen gesundheitsgefährdender Wetterlagen und deren bioklimatische Auswirkungen auf potentielle Erholungsgebiete - dargestellt am Beispiel des Ruhrgebietes und des Sauerlandes. - Bochumer Geographische Arbeiten, Heft 36, Schöningh Paderborn, 130 Seiten.
- KUTTNER, W. (1981 a): Trockene und nasse Schwefeldepositionen im Mittleren Ruhrgebiet. - 11. Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie vom 28.09. - 03.10.1981 in Mainz, im Druck.
- KUTTNER, W. (1981 b): Zur Niederschlagswasserqualität eines Ballungsraumes. - 43. Deutscher Geographentag vom 05. - 10.10.1981, Mannheim, im Druck.
- KUTTNER, W. (1981 c): Niederschlagswasseranalysen im Rahmen des Projekts "Stausee Kemnade". - Abschlußbericht zum interdisziplinären Forschungsprojekt "Stausee Kemnade", im Druck.

- KUTTLER, W. (1982 a): Investigations about wet deposition of pollutants in an urban ecosystem. - In: GEORGII, H. W. & PANKRATH, J. (eds.): Deposition of Atmospheric Pollutants. - Dordrecht, Holland, 97-113.
- KUTTLER, W. (1982 b): The quality of precipitation in an industrial area. - Proc. of the Symposium "Building Climatology", Moscow, Sept. 20 - 24, Part I, 225-244.
- KUTTLER, W. (1982 c): Zur Niederschlagswasserqualität eines industriellen Ballungsraumes. Vorläufige Ergebnisse einer Untersuchung über die Belastung urbaner Ökosysteme durch anthropogene Schadstoffe. - Mannheimer Geographische Arbeiten, Heft 14, im Druck.
- KUTTLER, W. (1982 d): Saure Niederschläge als Umweltproblem. - Vortrag auf dem Kolloquium des Instituts für Umweltschutz der Universität Dortmund (INFU) am 07.07.1982, im Druck.
- LANGE, B. (1970): Kolorimetrische Analyse. - Weinheim/Bergstraße.
- LIKENS, G. E. (1976): Acid precipitation. - Chemical and Engineering, 22, 29-44.
- MILLER, H. G. & MILLER, J. D. (1980): Collection and retention of atmospheric pollutants by vegetation. - In: Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip., Norwegen, SNSF-Projekt, 33-40.
- PERSEKE, C., BEILKE, S. & GEORGII, H. W. (1980): Die Gesamtschwefeldeposition in der Bundesrepublik Deutschland auf der Grundlage von Meßdaten des Jahres 1974. - Ber. des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/M., Nr. 40.
- REIDAT, R. & BOHNSACK, G. (1963): Auf- und Abbau von Bodeninversionen. - Mitt. Vereinig. Großkesselbesitzer 87, 401-408.
- RIDDER, T. B. (1981): Meetnet voor bepaling van de chemische Samenstelling van de Neerslag in Nederland. Jaaroverzicht 1980. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt. Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven.
- SCHREIBER, D. (1957): Physische Geographie von Deutschland III (Klima). - Lehrbrief für das Fernstudium der Oberstufenlehrer, Berlin.
- SCHREIBER, D. (1978): Meteorologie - Klimatologie. 2. verb. Auflage. - Bochum.
- SCHREIBER, D. (1982): Untersuchungen über die Veränderung des Mikro- und Geländeklimas infolge der vergrößerten Wasserfläche durch Aufstauung der Ruhr. - Bochumer Geographische Arbeiten, Heft 42,
- SCHWEDT, G. & SCHNEPEL, F.-M. (1981): Analytisch-chemisches Umweltpraktikum. Anleitung zur Untersuchung von Luft, Wasser und Boden. - Stuttgart.
- STEINHAUSER, F. (1958): Über die pH-Werte des Niederschlags, der Schneedecke und des Grundwassers in Wien. - Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie (Serie B) 9, 86-100.
- UMWELTBUNDESAMT (1981): Luftqualität 1980, Meßnetz des Umweltbundesamtes, Pilotstation Schauland. Datenband.
- WHITEHEAD, H. C. & FETH, J. H. (1964): Chemical Composition of Rain, Dry Fallout, and Bulk Precipitation at Menlo Park, California, 1957 - 1959. - Journal of Geophysical Research 69, 16, 3319-3333.