

1984



JAHRBUCH  
RUHR-UNIVERSITÄT  
BOCHUM

ISSN Nr. 0557-8981

## Untersuchungen zum Bochumer Stadtklima

Von Wilhelm Kuttler\*

Das Geographische Institut der Ruhr-Universität Bochum betreibt im Botanischen Garten eine Klimastation, an der folgende klimatologische Elemente mit Hilfe kontinuierlich registrierender Geräte aufgezeichnet werden:

- Luftdruck (seit März 1974)
- Lufttemperatur und -feuchte (seit Jan. 1978)
- Bodentemperaturen in 5 cm, 15 cm und 30 cm Tiefe (seit Nov. 1978)
- bodennahe Windrichtung und -geschwindigkeit (seit Jan. 1980)
- Niederschläge mit einem beheizbaren schreibenden Regenschirm (seit April 1980)
- Globalstrahlung (seit Juni 1980).

Abb. 1 zeigt als Fotomontage die verschiedenen Meßgerätetypen, Abb. 2 den Schaukasten der Arbeitsgruppe Klimageographie (im Gebäude NA 4/Süd); dieser enthält Diagrammstreifen und Monatsauswertungen, aktuelle Wetterkarten sowie die Tagesmittelwerte des Abflusses der Ruhr am Pegel Hattingen. Neben diesen Klimamessungen werden seit Mai 1978 auch Untersuchungen zum Spurenstoffgehalt von Niederschlägen und zur Spurenstoffdeposition mit mehreren Sammelgeräten durchgeführt.

Bevor einige dieser Ergebnisse vorgestellt werden, wird vorab ein kurzer Abriss der allgemeinen Klimageographie des mittleren Ruhrgebiets am Beispiel Bochums gegeben. Da man für eine solche Beschreibung auf langjährig ermittelte Werte der verschiedenen Klimaelemente zurückgreifen muß, werden hierzu die Daten der schon seit sehr langer Zeit bestehenden Klimamessungen der Westfälischen Bergwerkschaftskasse (WBK) herangezogen<sup>1</sup>.

### 1. Zur klimageographischen Lage Bochums

Die Lage Bochums im mittleren Ruhrgebiet an der Hellwegachse wird im Norden des Stadtgebietes naturräumlich geprägt von der Überleitung zum Emschertal, im Süden dagegen vom angrenzenden Süderbergland.

Hier verbinden sich zwei Naturräume miteinander, die in klimatischer Hinsicht deutliche Unterschiede aufweisen: Es sind dies die Westfälische Tieflandsbucht und das Bergisch-Sauerländische Gebirge (zur Lage vergleiche DODT & MAYR 1976, GES. F. GEOGR. 1965, MEYNEN & SCHMITHÜSEN 1959). Beide Naturräume üben aufgrund des unterschiedlichen Landschaftscharakters einen prägenden Einfluß auf das Makroklima des mittleren

<sup>1</sup> Die nachfolgend verwendeten langjährigen Meßwerte für Bochum wurden den Arbeiten entnommen: „Das Wetter in Bochum 1983 im Vergleich mit den langjährigen Meßreihen“, Hrsg. Westfälische Bergwerkschaftskasse sowie den „Beobachtungen der Wetterwarte der WBK zu Bochum, Januar bis Dezember 1983“. Dem meteorologischen Beobachter Ing. W. Spanke sei auch an dieser Stelle für die Überlassung des Datenmaterials gedankt. Ausführliches Datenmaterial für den Zeitraum 1888–1950 findet sich ferner in OBERHA-GEMANN (1952).

\* Dr. W. Kuttler, Geogr. Inst. Ruhr-Univ. Bochum, Postfach 102 148, 4630 Bochum 1

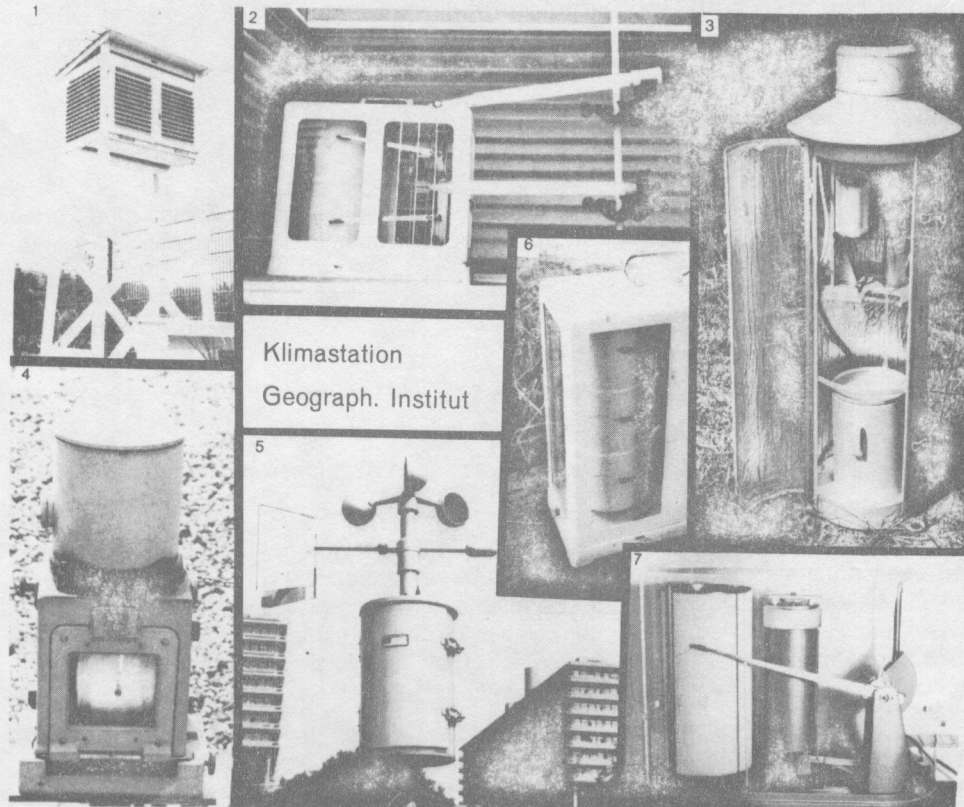


Abb. 1: Meßgeräte des Geographischen Instituts an der Klimastation im Botanischen Garten der Ruhr-Universität Bochum

1 Thermometerhütte. 2 Thermohygrograph (Aufzeichnung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit) mit Maximum- und Minimumthermometer. 3 Schreibender Regenmesser nach HELLMANN. 4 Bimetall-Aktinograph nach ROBITZSCH-FUESS (Aufzeichnung der direkten und indirekten Einstrahlungsintensität). 5 Mechanischer Windschreiber nach WOELFLE (Aufzeichnung des Windweges und der Windrichtung). 6 Dreifach-Bodenfernthermograph (Aufzeichnung der Bodentemperaturen). 7 Mikrobarograph (Aufzeichnung des Luftdrucks).

Ruhrgebiets, mithin auch auf Bochum aus. Aufgrund seiner geographischen Lage ( $51^{\circ} 30'$  n. Br.,  $7^{\circ} 13'$  ö. L.) kann Bochum – großräumig betrachtet – verschiedenen klimageographischen Ebenen zugeordnet werden: auf globaler dem Klimagürtel der Westwindzone, auf kontinentaler dem Klimabereich Westeuropa, auf großräumiger dem Klimabereich Nordwestdeutschland und auf regionaler dem Klimabezirk Münsterland. Allerdings – und darauf muß schon an dieser Stelle hingewiesen werden – wirken die städtischen und industriellen Agglomerationen des Ruhrgebiets auf das Klima in Bochum, so daß die obengenannten Klimafaktoren im Vergleich zum unbebauten Freiland mehr oder weniger stark verändert werden. Hierdurch entsteht – zumindest zeitweise und wetterlagenabhängig – ein durch die Baukörperstruktur bestimmtes (autochthones) Klima, das man ganz allgemein als Stadtklima bezeichnet.

Zur Charakterisierung und Quantifizierung eines Stadtklimas bedarf es des Vergleichs der gemessenen Klimaelemente in der Stadt mit Werten, die an Stationen ermittelt wurden, die unbeeinflusst durch die Bebauung im Freiland liegen und das Großraumklima repräsentieren. Auf diese Unterschiede wird jedoch später eingegangen.

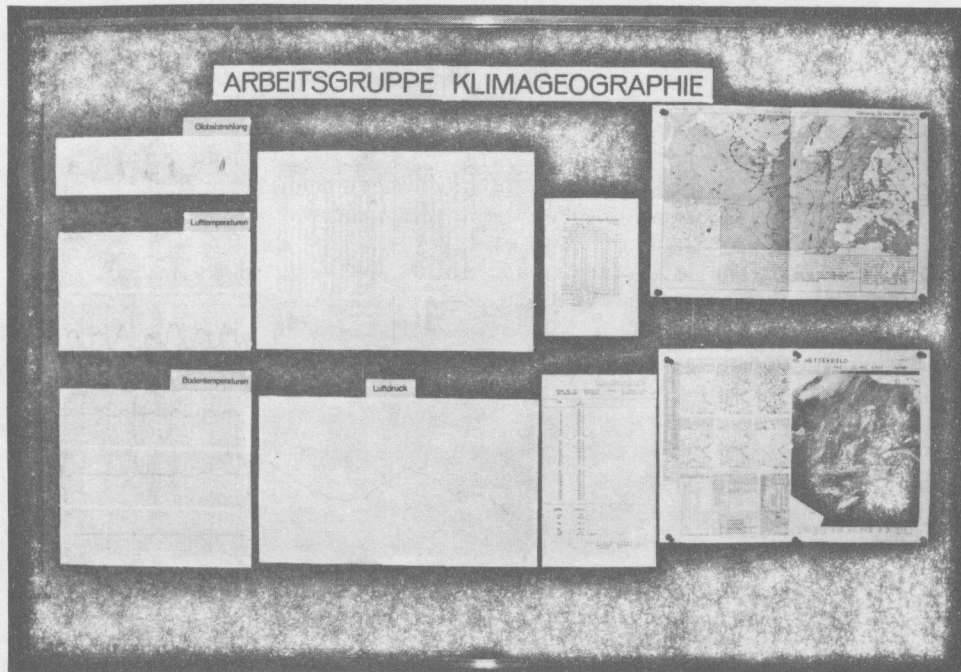


Abb. 2: Schaukasten der Arbeitsgruppe Klimageographie (Geographisches Institut Ruhr-Universität Bochum)

von links oben nach rechts unten:

- Wochenstreifen zur Registrierung der Globalstrahlung ( $\text{cal/cm}^2 \text{ min}$ )
- Wochenstreifen zur Registrierung der Lufttemperaturen (oben) und der Bodentemperaturen (unten) in  $^{\circ}\text{C}$
- Monatsübersicht über Tagesmittel der Lufttemperaturen und der Luftfeuchtigkeit
- Wochenstreifen zur Registrierung des Luftdrucks (in Torr)
- Monatsübersicht der Niederschlagsbeobachtungen
- Tagesmittelwerte des Abflusses der Ruhr am Pegel Hattingen
- Bodenwetterkarte mit Satellitenbild

Wetter, Witterung und schließlich das Klima werden im kurz- und langfristigen Wechsel bestimmt durch die Zufuhr von Luftmassen verschiedener Ursprungsgebiete, die in polaren oder tropischen Breiten liegen. Je nachdem auf welchem Weg die Luft dann in unsere Breiten gelangt, wird diese maritim oder kontinental geprägt sein.

Steuernde Elemente dieser Luftmassen sind die windbestimmenden Luftdruckunterschiede in ihrer großräumigen Ausbildung, die sich in Abhängigkeit von der Jahreszeit einzustellen pflegen.

So herrscht im Sommer in den mittleren Breiten häufig eine Luftdruckverteilung vor mit relativ hoher nördlicher Lage der subtropischen Hochdruckzellen und relativ niedrigem Luftdruck über Asien. Hieraus resultiert eine vorherrschende wetterbestimmende Nordwestströmung. Im Winter dagegen kann über Asien ein Kältehoch beobachtet werden, während die Subtropenhochs in niedrigeren Breiten dominieren. Als Ausgleichsströmungen stellen sich überwiegend südwestliche Winde ein. Für die Sommermonate ergibt sich hieraus eine Zufuhr meist kühlerer Nordatlantikluft, in den Wintermonaten wird dagegen recht häufig relativ warme Luft aus Südwesten nach Mitteleuropa geleitet. Hierdurch werden einerseits die Sommer-, andererseits die Wintertemperaturen gedämpft. Wegen seiner relativen Meeresnähe und insbesondere durch den Einfluß des Golfstroms ist das Klima Bochums maritim

getönt; allerdings fehlen auch kontinentale Merkmale nicht. Der maritime Einfluß zeigt sich z. B. an den relativ gemäßigten Wintertemperaturen, deren Monatsmittelwerte in keinem Monat die 0 °C-Grenze unterschreiten. Der Januar ist mit 2,8 °C der kälteste Monat, die höchsten Lufttemperaturen erreichen im Mittel im Juli 18,5 °C, für das Jahresmittel wurden 10,5 °C errechnet. Die mittlere Jahrestemperaturschwankung weist somit einen für maritim getönte Klimate charakteristischen niedrigen Wert auf (Abb. 3). Die relativ gemäßigten mittleren Lufttemperaturen spiegeln sich natürlich auch in den langjährigen Werten der mittleren Erdbodentemperatur wider. Wie die Tabelle 1 zeigt, nehmen die mittleren Temperaturwerte mit zunehmender Bodentiefe von 10,1 °C in 10 cm Tiefe auf 10,5 °C in 100 cm Tiefe zu. Ein Meter unter der Bodenoberfläche wird somit das Jahresmittel der Lufttemperatur (gemessen in 2 m über Grund) mit 10,5 °C wieder erreicht. Die Werte der absoluten Minima geben Auskunft über die Eindringtiefe des Bodenfrostes. Hiernach läßt sich dieser in Bochum allenfalls noch bis zu einer Tiefe von 50 cm beobachten.

**Tabelle 1**

Erbodentemperaturen in verschiedenen Tiefen an der Station Westfälische Berggewerkschaftskasse Bochum (Periode: 1931 – 1983).

Tiefe in cm	Monatsmittel in °C	Absolutes Minimum in °C
10	10,1	– 9,8
20	10,3	– 4,0
50	10,4	– 0,1
100	10,5	1,5

Ein Blick auf die mittlere Niederschlagsverteilung (Abb. 3) zeigt ein Sommermaximum im Juli mit 87 mm Niederschlagshöhe. Der niederschlagsärmste Monat Februar erreicht nur 55 mm. Einen Einfluß auf die Verteilung dürfte die Staulage Bochums vor dem weiter im Süden ansteigenden Süderbergland für Winde aus dem Sektor Nord bis Nordwest haben, die im Sommer für verstärkten Niederschlag sorgt.

Im Winter können sich – überwiegend bei Südwestwinden – regenträchtige Wolken schon an den Höhen der Eifel abregnen und Bochum somit weniger Niederschlag bringen (vgl. hierzu auch SCHREIBER 1982).

Bei einer langjährigen Niederschlagsjahressumme von 809 mm fallen 366 mm oder 45 % im hydrologischen Winterhalbjahr<sup>2</sup>, 443 mm oder 55 % im hydrologischen Sommerhalbjahr.

Im langjährigen Mittel regnet es an 196 Tagen pro Jahr in Bochum (ein Tag gilt als Niederschlagstag, wenn mindestens 0,1 mm Regen gefallen ist).

Die höchste Jahressumme der Meßperiode 1888–1983 konnte im Jahre 1961 mit 1118 mm errechnet werden, die niedrigste mit 514 mm 1959 (mit einem sehr trockenen Sommer). Abb. 4 zeigt den Verlauf der Niederschlagssummen für den Zeitraum 1888 bis 1983. 50,2 % oder 406 mm des Gesamtniederschlages werden im langjährigen Mittel der

<sup>2</sup> Hydrologisches Winterhalbjahr: November–April / hydrologisches Sommerhalbjahr: Mai–Oktober

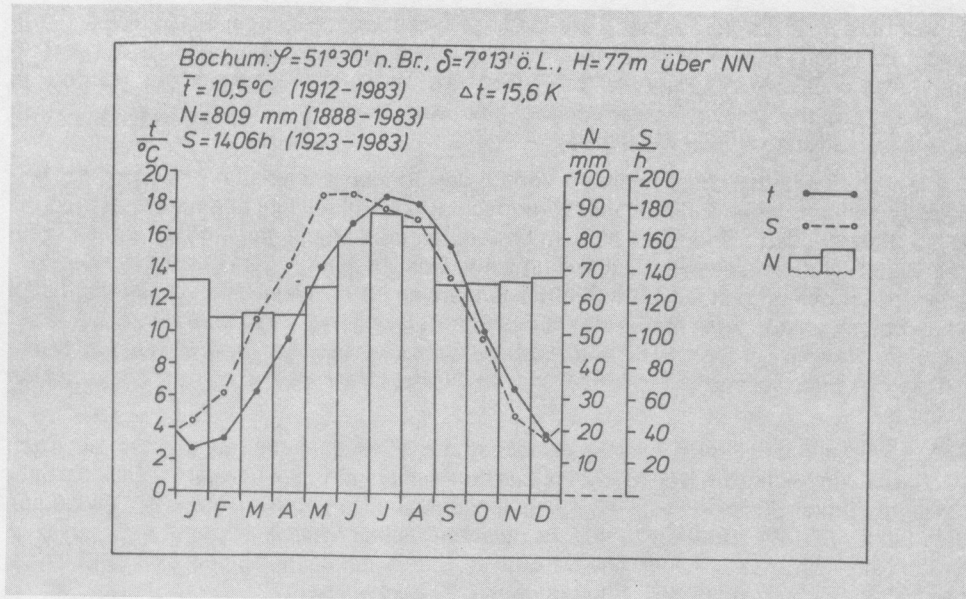


Abb. 3: Monatliche Sonnenscheindauer (S), Lufttemperaturen (t) und Niederschläge (N) im langjährigen Mittel in Bochum (Daten nach WBK 1984)

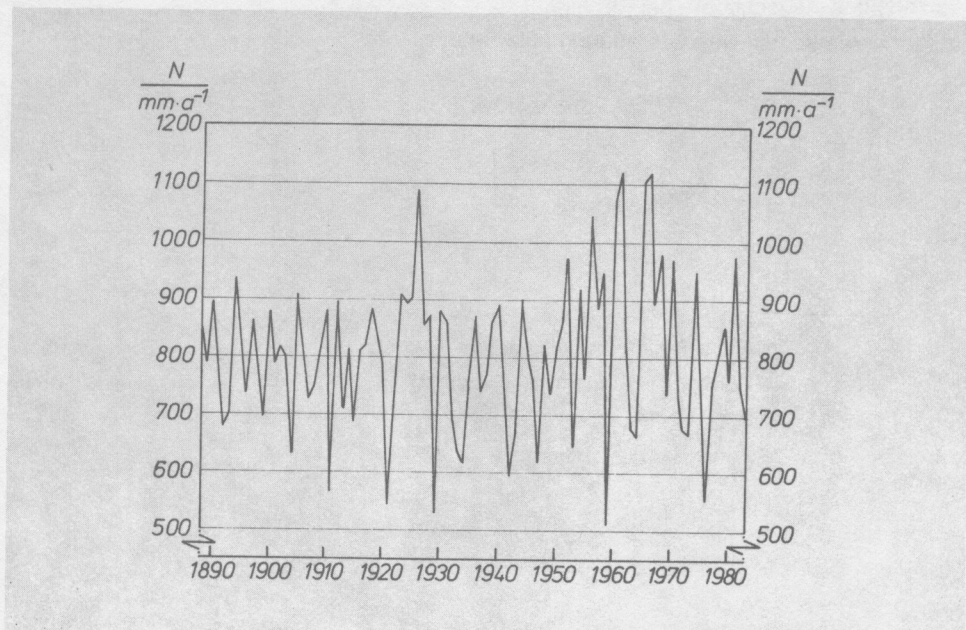


Abb. 4: Jahressummen des Niederschlags an der Station Westfälische Berggewerkschaftskasse Bochum für den Zeitraum 1888-1983

Atmosphäre über die Verdunstung wieder zugeführt (berechnet nach SCHREIBER 1978). Eine ausführliche Darstellung der Niederschlagsverhältnisse für den Zeitraum 1891–1950 findet sich in OBERHAGEMANN (1956). Bochum besitzt ein humides Klima, bei dem im Mittel alle Monate gut mit Wasser versorgt sind, was für die Grundwasserbildung und den landwirtschaftlichen Anbau wichtig ist.

Der in Abb. 3 eingezeichnete mittlere Verlauf der Sonnenscheindauer (= Anzahl der Monatsstunden, an denen Einstrahlung vorherrscht) erreicht im Juni den höchsten Wert mit 187,5 Stunden, den niedrigsten Wert im Dezember, dem Monat, in dem die Sonne nur für eine 39,5 Stunden dauernde Einstrahlung sorgt. Das langjährige Jahresmittel der Sonnenscheindauer beläuft sich auf 1406 Sonnenstunden; an 88 Tagen im Jahr scheint überhaupt keine Sonne, an 35 Tagen strahlt sie mindestens 10 Stunden pro Tag vom Himmel. Aus der Lage der Maxima der Sonnenscheindauer und der Lufttemperatur (Abb. 3) wird das Nachhinken der Lufterwärmung um einen ganzen Monat hinter dem Einstrahlungsmaximum deutlich.

Abb. 5 zeigt die langjährige mittlere Verteilung der Windrichtungen anhand der 16teiligen Windrose. Am häufigsten weht der Wind aus den Richtungen Südsüdwest (11,5 % der Jahresstunden) und Südwest (10,4 %), am seltensten aus Nordnordwest (2,2 %); Winde aus dem Sektor Süd-West wehen zu 46,3 %, aus dem Sektor West-Nord zu 12,4 %, aus dem Sektor Nord-Ost zu 21,1 % und aus Ost-Süd zu 15,9 % der Jahresstunden. Windstillen lassen sich in Bochum nur an 373 Stunden (= 4,3 %) beobachten.

Die Windgeschwindigkeit erreicht im langjährigen Mittel 3,9 m/s, das höchste Monatsmittel tritt im Januar mit 4,6 m/s, das niedrigste im August mit 3,2 m/s auf.

Ein eigenbürtiges Stadtklima entwickelt sich bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten (1–2 m/s) und insbesondere bei Strahlungswetterlagen, weil dann die durch die Siedlungsstruktur verursachten Überwärmungen auftreten.

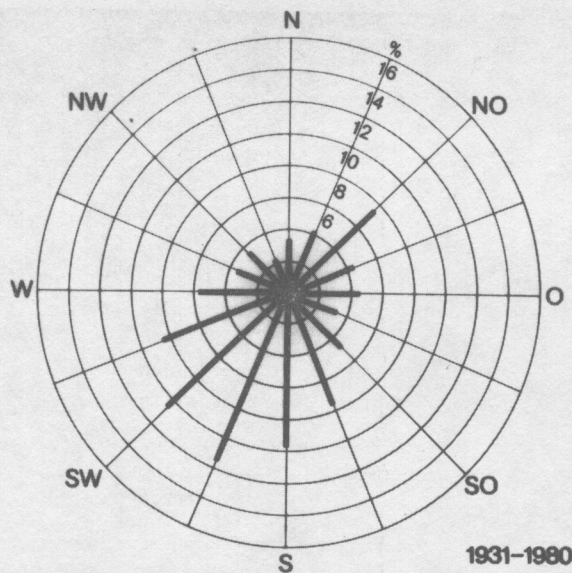


Abb. 5: Langjährige jährliche Windverteilung für Bochum (WBK) (Periode: 1931–1980)

## 2. Zum Stadtklima von Bochum

### 2.1 Temperatur und Niederschläge

Unter den vielen klimatischen Veränderungen, die in der Stadt verursacht werden, durch eine größere Rauigkeit der Oberfläche und den sehr unterschiedlich ausgeprägten Werten der Wärmekapazitäten und Wärmeleitfähigkeiten der Baumaterialien Beton, Asphalt und Ziegel, stellt die Erhöhung der Lufttemperatur – die Überwärmung des städtischen Lebensraumes – ein charakteristisches Kennzeichen dar. In der mittlerweile äußerst umfangreichen Literatur zur Stadtklimatologie (vgl. Zusammenstellungen in ERIKSEN 1975, LANDSBERG 1982, OKE 1983) wird in diesem Zusammenhang auch von der städtischen Wärmeinsel gesprochen. Diese wird jedoch nicht monozentrisch verursacht, sondern bildet sich in Abhängigkeit von der Siedlungs- und Baukörperstruktur aus vielen überwärmten städtischen Gebieten.

Vergleicht man einmal anhand langer Meßreihen, die für verschiedene Städte bereits zur Verfügung stehen, die Entwicklung der Jahresmittelwerte der Lufttemperaturen zwischen Meßbeginn und der heutigen Zeit, so zeigt sich, daß die Werte in den letzten Jahrzehnten angestiegen sind. Angaben hierzu finden sich für amerikanische und japanische Städte mit Bezug auf die Originalarbeiten in LANDSBERG (1982).

Auch Bochum ist durch die Klimastationen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in der außerordentlich günstigen Lage, seit 1911 über langjährige Lufttemperaturmessungen zu verfügen.

In Abb. 6 sind die Jahresmittelwerte der Lufttemperaturen für den Zeitraum 1911 bis 1983 dargestellt. Um größere Schwankungen in dieser 73jährigen Temperaturreihe ausschalten und den Trend der Werte besser darstellen zu können, wurden 10jährige übergreifende Mittel gebildet und die Regressionsgerade berechnet. Die Abbildung verdeutlicht den ansteigenden Trend der Jahresmittelwerte der Lufttemperaturen in Bochum. Rein rechnerisch nimmt die Lufttemperatur um  $0,0124 \text{ K/a}$  zu.

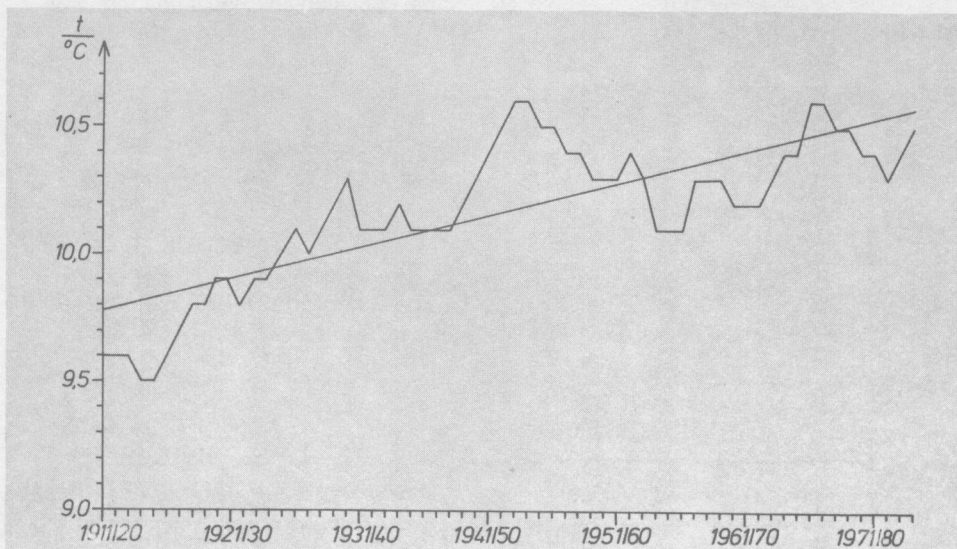


Abb. 6: 10jährige übergreifende Mittel der Jahresmittel der Lufttemperatur an einer Innenstadtstation in Bochum (WBK) (Periode: 1911–1983)



Vergleicht man diesen Wert einmal mit Meßergebnissen aus japanischen Städten, in denen vergleichbare Untersuchungen durchgeführt wurden (Tab. 2), dann würde Bochum in die Gruppe der Städte mit langsamem Flächen- und Bevölkerungswachstum eingeordnet werden müssen. Die Lufttemperaturen Tokios z. B. steigen im Vergleich zu denjenigen Bochums 2,5mal schneller.

**Tabelle 2**

Anstieg der Lufttemperaturen (in  $K \cdot a^{-1}$ ) für verschiedene japanische Städte und Bochum (nach FUKKI 1970, aus LANDSBERG 1982; um den Wert von Bochum erweitert).

Städte mit schnellem Flächen- und Bevölkerungswachstum		Städte mit langsamem Flächen- und Bevölkerungswachstum	
Tokio	0,032	Nemuro	0,005
Osaka	0,029	Tyoshi	0,011
Kyoto	0,032	Hikore	0,020
		Bochum	0,0124

Um festzustellen, wie stark die Lufttemperatur der Stadtstation von derjenigen des Umlandes abweicht, wurden die Werte der Tagesmittel der Lufttemperaturdifferenzen zwischen der Stadtstation und der Klimastation im Botanischen Garten (auf dem Universitätscampus) in Abb. 7 für die einzelnen Monate des Jahres 1983 dargestellt. Im Monatsmittel ist es an der Stadtstation um 1 K wärmer als an der Uni-Station. Die einzelnen Monatsmittel lassen jedoch unterschiedlich hohe Abweichungen erkennen. So finden sich die niedrigsten städtischen Überwärmungsraten im April 1983 mit 0,3 K, die höchsten im August und September mit 1,8 K.

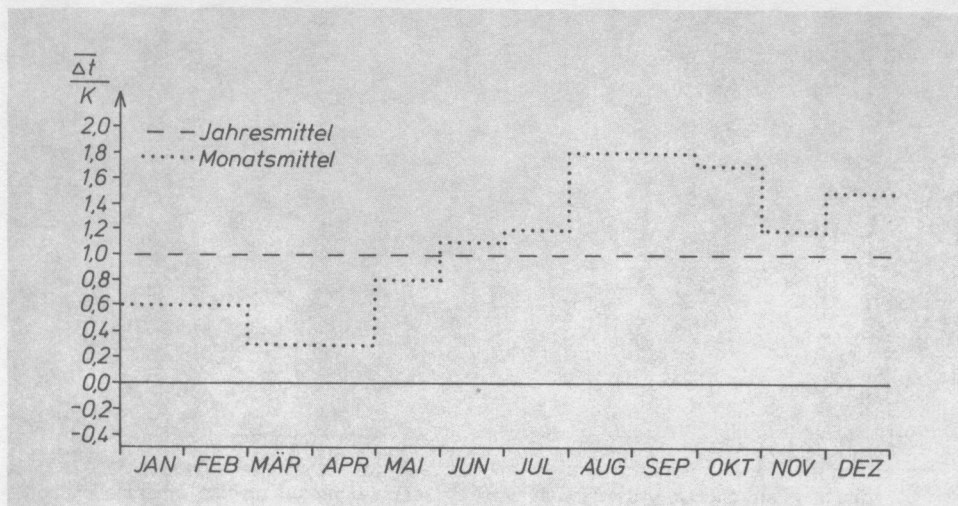


Abb. 7: Mittelwerte der Lufttemperaturdifferenzen  $\overline{\Delta t}$  ( $t_{\text{Stadt}} - t_{\text{Bot. Garten}}$ ) in Bochum im Jahre 1983

Im Winterhalbjahr ist die Stadt im Mittel mit 0,75 K nur etwa halb so stark überwärmt wie im Sommerhalbjahr mit 1,4 K. Im Vergleich mit Angaben aus der Literatur können hiermit die Gründe für die Überwärmung wahrscheinlich gemacht werden: Nicht ausnahmslos die anthropogene Freisetzung von Abwärme (z. B. verursacht durch das Beheizen der Wohnhäuser und Gewerbebetriebe im Winter) führt zur städtischen Überwärmung, sondern die Wärmespeicherfähigkeit der horizontalen und vertikalen künstlichen Oberflächen (Glas- und Betonwände) sorgt durch die verstärkte und vor allen Dingen zeitversetzte Ausstrahlung für den Wärmeinseleffekt. Letztgenannte Tatsache läßt sich auch deutlich anhand der stündlichen Lufttemperaturdifferenzen zwischen einer Innenstadt- (Bochum-Wattenscheid) und einer Freilandstation (Bochum-Westenfeld) im Tagesverlauf erkennen (Abb. 8): Die geringsten Temperaturunterschiede traten zwischen Stadt und Umland tagsüber zwischen 8 und 17 Uhr auf ( $t = -0,1$  K bis  $-0,5$  K; die Stadtluft war sogar geringfügig kühler als die des Umlandes), die größten Differenzen wurden abends und besonders nachts beobachtet, wo es in der Stadt um bis zu 3,5 K wärmer war als im Umland.

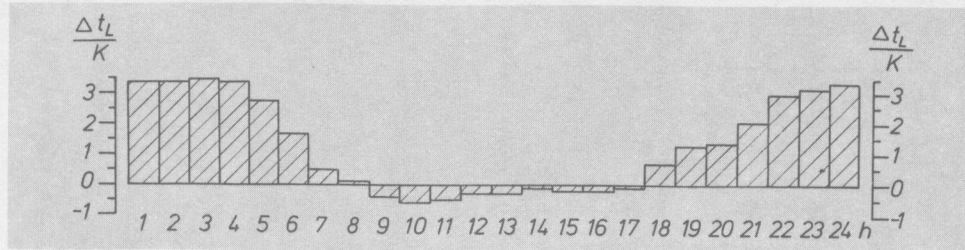


Abb. 8: Mittlerer Tagesgang der Lufttemperaturdifferenzen ( $\Delta t_L$ ) zwischen einer Innenstadt- und Freilandstation ( $t_{\text{Stadt}} - t_{\text{Freiland}}$ ) im Stadtgebiet Bochums (Juli 1983)

Hieraus wird ersichtlich, daß die Überwärmung der Städte im Sommer nicht durch hohe Maxima der Lufttemperaturen verursacht wird, sondern dadurch, daß nachts vergleichsweise hohe Minima auftreten, was sich natürlich auch in einer kleineren Tagestemperaturamplitude äußert. NÜBLER (1979) spricht in diesem Zusammenhang treffend von einem städtischen „Wärmespeicherofen“, der die Temperaturen in der Nacht nicht so weit wie im Umland absinken läßt.

Eine Auswirkung des städtisch überwärmten Baukörpers und der verstärkten Spurenstoffemission wird auch in einer Vermehrung der Niederschläge gesehen; ein Phänomen, das in der älteren stadtklimatologischen Literatur (z. B. bei KRATZER 1956) häufig beschrieben ist. Auch in neueren Arbeiten wird auf diesen Zusammenhang, insbesondere für Gewitter- und Starkregenniederschläge (Zellenniederschläge), verstärkt Bezug genommen (MALKOWSKI 1964, REIDAT 1971, SCHERHAG 1981).

HAVLIK (1981) konnte z. B. in einer Untersuchung über die Anzahl und Ergiebigkeit von Gewitterniederschlägen im Vergleich zwischen den Städten Bochum und Arnberg feststellen, daß die mittlere Differenz der Anzahl der Gewittertage (Bochum minus Arnberg) von 1,6 Tagen (1941/45) auf 10,5 Tage (1956/60) anstieg. Ferner nahm in Bochum der Anteil der Niederschlagssummen an Gewittertagen bezogen auf den Gesamtniederschlag in den Sommermonaten Mai bis Oktober von 2,6 % (1940/44) auf 27,1 % (1956/60) zu. HAVLIK führt die Zunahme der Anzahl an Gewittertagen und die gestiegene Ergiebigkeit einzelner Gewitterschauer auf den in den letzten Jahrzehnten stärker gewordenen Stadteinfluß Bochums gegenüber Arnberg zurück.

Selbst auf die wochentägliche Verteilung der Niederschläge soll das (Groß-) Stadtgebiet einen Einfluß besitzen, wie DETTWILER (1970) für Paris nachgewiesen haben will. Nach

Auswertung einer achtjährigen Niederschlagsreihe (1960–1967) zeigte sich, daß an den Wochentagen Montag bis Freitag mehr Niederschlag fällt (ca. 2,1 mm/d) als am Wochenende (Samstag und Sonntag, ca. 1,4 mm/d). Begründet wird dies mit einem höheren Treibstoffverbrauch in der Woche im Vergleich zum Wochenende, wodurch unterschiedliche Emissionsraten hervorgerufen werden. FREDERICK (1970 in LANDSBERG 1982) konnte nach Auswertung von 22 Meßstationen im Osten der USA ebenfalls einen Wochenzyklus nachweisen, allerdings nur für den Winter. Die Wochenendwerte lagen um 8 % unter denen der wochentäglichen Niederschlagssummen. Für die übrigen Jahreszeiten konnte dies nicht nachgewiesen werden. LANDSBERG vermutet, daß für den winterlichen Wochenzyklus die Heizperiode verantwortlich ist, da wohl in der Woche mehr Öl und Heizstoffe verbraucht würden als am Wochenende. Da für die Klimastation des Geographischen Instituts im Botanischen Garten kontinuierliche Niederschlagsmessungen vorliegen, konnten für drei Jahre die wochentäglichen Niederschlagssummen ausgewertet werden<sup>3</sup>. In Abb. 9 sind für die Jahreszeiten und das Jahresmittel die Ergebnisse dargestellt.

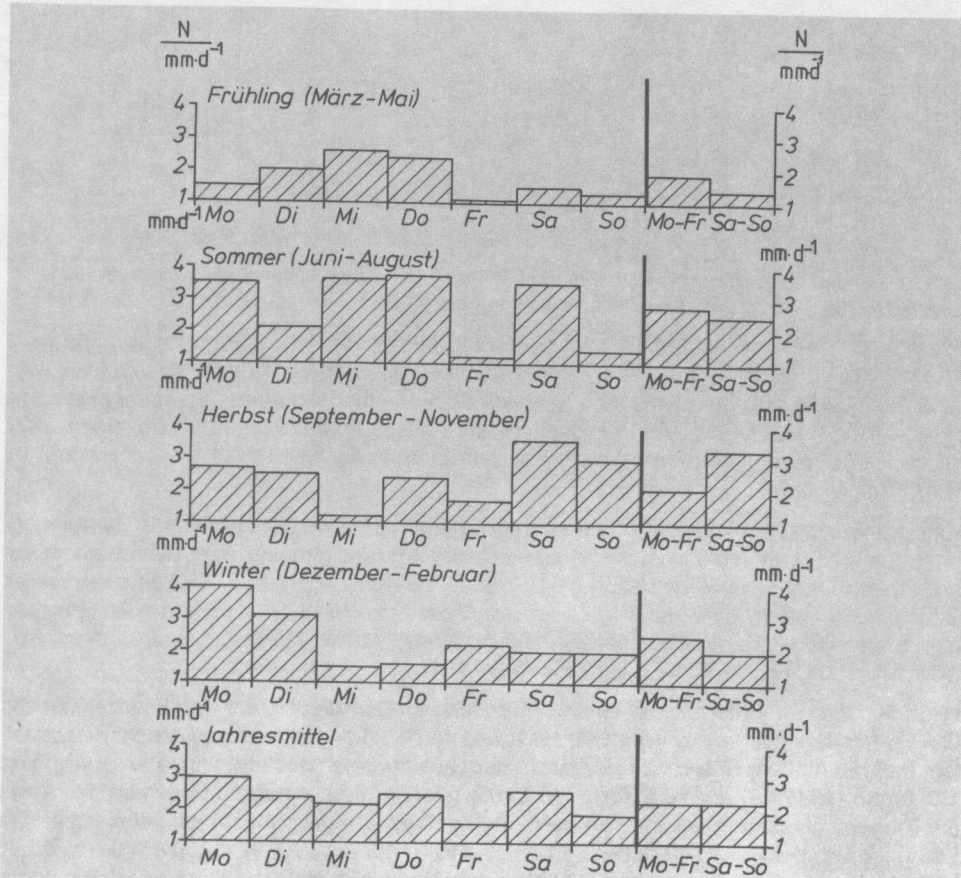


Abb. 9: Mittlere tägliche Niederschlagshöhe an der Klimastation des Geographischen Instituts im Bot. Garten (Periode: April 1981–März 1984)

<sup>3</sup> Für die rechnergestützte Auswertung danke ich Frau Techn. Ass. G. Hackel und Herrn Dipl.-Geogr. P. M. Klecker

Um es vorwegzunehmen, in Bochum läßt sich dieser für Paris und einige amerikanische Städte beschriebene Wochengang der Niederschläge nicht (vielleicht noch nicht) erkennen. Das kann verschiedene Gründe haben: einerseits hat sich die Immissionssituation seit den 60er Jahren verändert, andererseits kann die hier verwendete Meßreihe zu kurz sein; ferner ist es auch möglich, daß sich dieser Effekt in Bochum wegen der zu geringen Unterschiede der Schadstoffbelastung in der Woche und an den Wochenenden nicht zeigt.

Im Jahresmittel war der Montag der regenreichste Tag der Woche; am wenigsten Niederschlag fiel am Freitag (1,6 mm) und am Sonntag (1,9 mm).

Im Frühling regnete es am Mittwoch am meisten, sehr wenig zwischen Freitag und Montag.

Im Sommer wurden hohe Werte am Montag, Mittwoch, Donnerstag und Samstag gemessen, sehr niedrige am Freitag und Sonntag. Im Herbst avancierte der Samstag zum regenreichsten Tag der Woche, mit 7,6 mm gelangte dreimal soviel zur Erde wie am niederschlagsärmsten Tag, dem Mittwoch.

Im Winter dagegen wurden für Montag und Dienstag die höchsten Tagesniederschlagssummen verzeichnet.

Im Frühling, Sommer und Winter zeichnen sich im Mittel für die Wochentage Montag bis Freitag geringfügig höhere Niederschlagssummen ab als für die Wochenenden. Vielleicht läßt eine längere Meßreihe, die zu einem späteren Zeitpunkt ausgewertet wird, den gleichen Effekt erkennen, wie er von FREDERICK (s. o.) für die nordamerikanischen Städte gefunden wurde.

## 2.2. Immissionssituation und Spurenstoffablagerung

Messungen zur Feststellung bestimmter luftgetragener Immissionen in der Atemluft werden von der Landesanstalt für Immissionsschutz NW, Essen seit den 60er Jahren an verschiedenen Meßstationen in den Belastungsräumen des Rhein-Ruhr-Gebietes, u. a. auch an einer Meßstelle in Bochum durchgeführt. Für drei häufig in der Atemluft auftretende anthropogene Spurenstoffe ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) wurden anhand der Datenverfügbarkeit die Meßwerte in Abb. 10 für den Zeitraum Januar bis Dezember 1983 (Station Bochum) dargestellt<sup>4</sup>.

Die  $\text{SO}_2$ -Werte zeigen einen relativ ausgeprägten Jahrgang mit höheren Winter- und niedrigeren Sommerwerten. Kaum jahreszeitliche Beeinflussung vermittelt der Kurvenverlauf für  $\text{NO}_2$ , geringere Sommer- als Winterwerte lassen sich hingegen für das  $\text{NO}$  erkennen.

Die Ausbildung von Jahrgängen verschiedener Schadstoffkonzentrationen wird gesteuert durch das Emissionsverhalten und die Ausbreitungsmöglichkeiten der Spurenstoffe in der unteren Atmosphäre.

Austauscharme Wetterlagen in Wintermonaten können bei mehrtägiger Dauer z. T. sehr hohe Schadstoffkonzentrationen verursachen (KUTTLER 1979).

In den vergangenen zwanzig Jahren hat sich die lufthygienische Situation in Bochum und auch im Ruhrgebiet jedoch wesentlich verbessert: Ein Vergleich der  $\text{SO}_2$ -Immissionskonzentrationen für die Jahre 1965 und 1978 an der Station Bochum (Abb. 11) bestätigt dies. Während 1965 im Jahresmittel noch  $0,18 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  gemessen und berechnet wurden, waren es 1978 nur noch  $0,05 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ ; dies entspricht einer Abnahme von über 70 %, bezogen auf den Ausgangswert.

<sup>4</sup> Daten entnommen aus „Monatsbericht über die Luftqualität an Rhein und Ruhr, 1/83 bis 12/83“, hrsg. v. d. Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW, Essen.

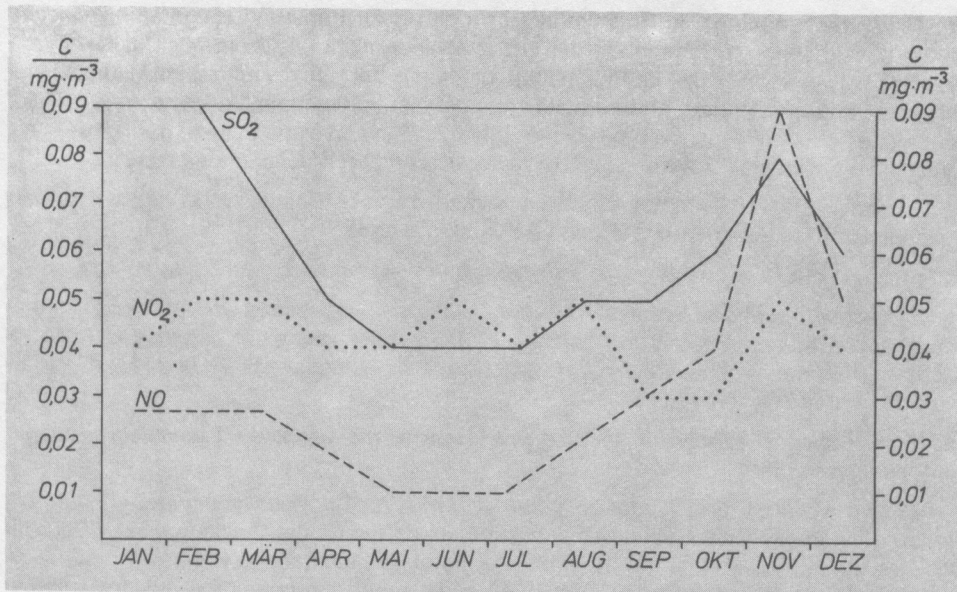


Abb. 10: Monatsmittel der Immissionskonzentrationen für SO<sub>2</sub>, NO und NO<sub>2</sub> der Station Bochum (Jan.–Dez. 1983)

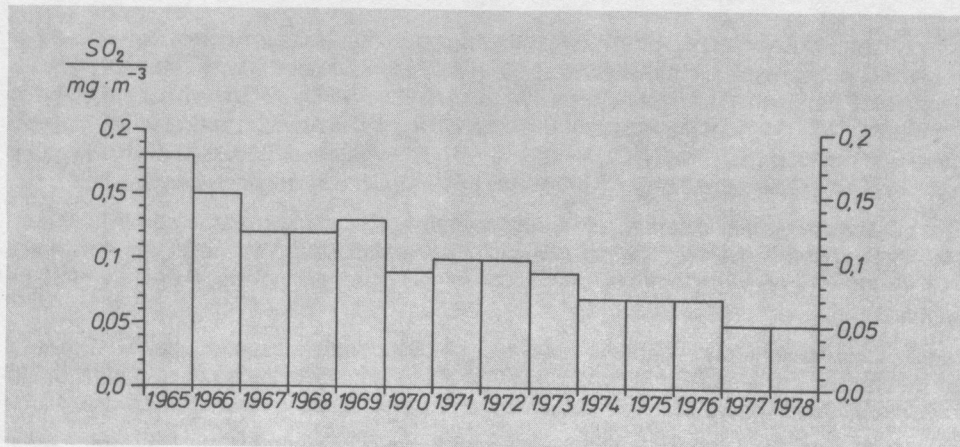


Abb. 11: Jahresmittel der SO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen an der Station Bochum im Zeitraum 1965 bis 1978

Auch für die einzelnen Belastungsgebiete des Rhein-Ruhr-Raumes lassen sich Abnahmen der SO<sub>2</sub>-Belastung um 40 %–50 % der Ausgangswerte erkennen (Abb. 12); für Schwebstoffe in der Luft – hier nicht dargestellt – sind vergleichbare Reduzierungen zu erkennen.

Hierfür dürften vielerlei Gründe zu nennen sein; unter ihnen die Erhöhung der Schornsteine (mit ihrer Auswirkung auf den Ferntransport), der Einbau von Filtern sowie ein Ausbau des Fernwärmenetzes in den Industriegebieten.

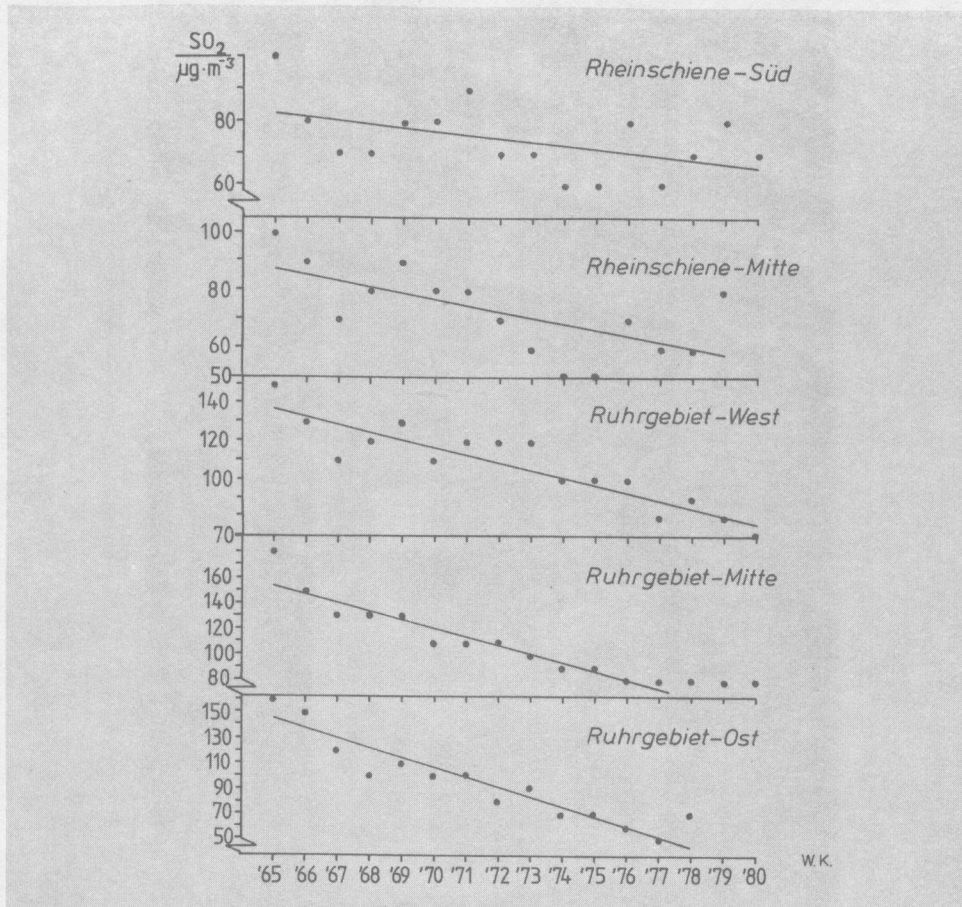


Abb. 12: Trends der SO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen in den Belastungsgebieten des Rhein-Ruhr-Raumes (Werte nach LIS, aus KUTTLER 1983, verändert)

Nach unterschiedlich langer Aufenthaltsdauer in der Luft werden Spurenstoffe aus der Atmosphäre entweder mit Hilfe des Niederschlags in Form von Regen oder Schnee oder auf trockenem Wege durch Sedimentation, Impaktion, Ad- und Absorption wieder entfernt.

Messungen zur Spurenstoffablagerung verschiedener luftfremder Stoffe werden vom Geographischen Institut seit Mai 1978 mit verschiedenen Geräten durchgeführt. Abb. 13 zeigt einen Trocken-/Naßsampler, der vom Labor des Geographischen Instituts in Zusammenarbeit mit der Gemeinschaftswerkstatt Geologie/Geophysik der Ruhr-Universität Bochum und dem Institut für Meteorologie, Frankfurt/M. gebaut wurde. Mit Hilfe dieses Gerätes können trockene und nasse Ablagerungen getrennt aufgefangen werden. Die beiden Sammelbehälter – einer für die trockenen, der andere für die nassen Depositionen – werden wechselseitig bei Regenbeginn/-ende durch *einen* Deckel verschlossen. Ein Regenwächter (in

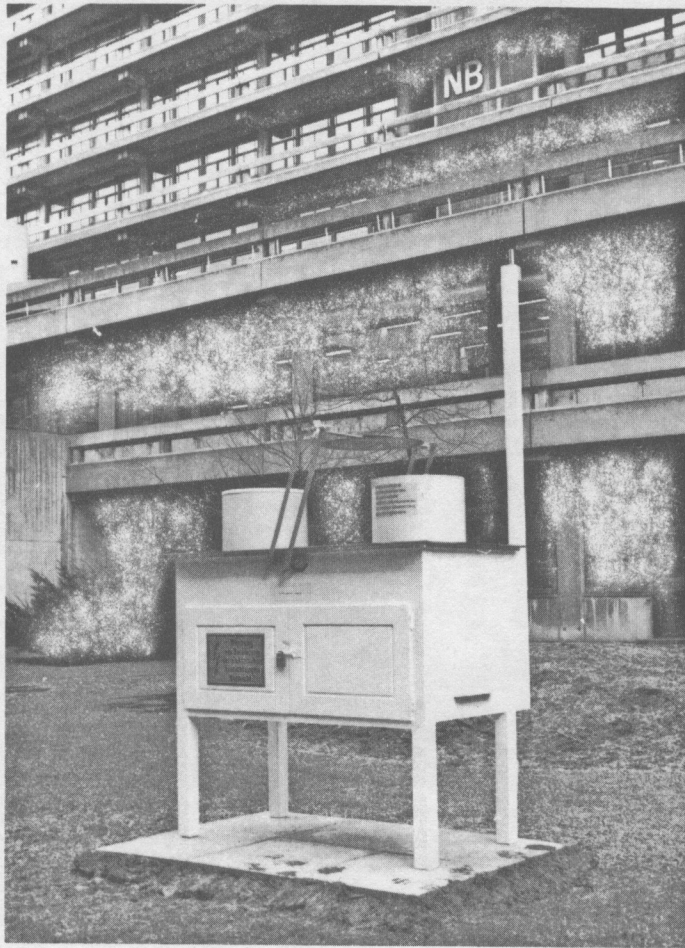


Abb. 13: Trocken-/Naßdepositionssammler für Luftschadstoffe

Abb. 13 am oberen Ende der Stange, rechts) meldet einsetzenden Niederschlag und überträgt den Befehl auf einen Elektromotor, der dafür sorgt, daß das Trockensammelgefäß geschlossen und das Naßsammelgefäß geöffnet wird. Nachdem die letzten Regentropfen oder Schneeflocken zur Erde gefallen sind, wird das Trockensammelgefäß wieder geöffnet und das Naßsammelgefäß geschlossen. Tabelle 3 zeigt für eine einjährige Meßperiode die Konzentrationen der Spurenstoffe im Niederschlagswasser sowie den pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit. Die an der Station Bochum analysierten Werte entsprechen denen, die an Meßstationen in anderen Industrieräumen bestimmt wurden (KUTTLER 1984).

Die Messungen werden fortgeführt und nach Abschluß des Forschungsprojektes in einer umfassenden Arbeit veröffentlicht.

**Tabelle 3**

Spurenstoffkonzentrationen in Niederschlägen an der Station Bochum Botanischer Garten (Zeitraum: Oktober 1981 – September 1982).

		Arith. Mittel	Minimum	Maximum	Standard- abweichung	Variabilität	Anzahl der Proben
		(x)	(x <sub>min</sub> )	(x <sub>max</sub> )	(S)	(V)	(n)
Niederschlags- intensität	(mm/h)	2,9	0,04	73,5	9,24	315,8	78
pH-Wert		4,17	3,4	6,0	0,44	10,6	78
Leitfähigkeit	( $\mu$ S/cm)	66,67	12,0	281,0	45,85	68,8	78
Ca	(mg/l)	0,91	0,2	3,3	0,69	76,2	59
SO <sub>4</sub> -S	(mg/l)	2,5	0,69	7,59	1,33	53,2	72
Cl	(mg/l)	3,26	0,14	18,63	3,65	111,8	65
NH <sub>4</sub> -N	(mg/l)	1,69	0,26	5,37	1,04	61,6	61
NO <sub>3</sub> -N	(mg/l)	0,79	0,08	6,09	0,87	111,5	72
Pb	(mg/l)	0,029	0,01	0,081	0,018	62,7	27

#### LITERATUR

- DETTWILER, J. (1970): Incidence possible de l'activité industrielle sur les précipitations à Paris. – In: WMO-Technical Note No. 108, S. 361–362
- DODT, J. & A. MAYR (Hrsg.) (1976): Bochum im Luftbild. – Bochumer Geogr. Arbeiten, Sonderreihe Bd. 8, Paderborn
- ERIKSEN, W. (1975): Probleme der Stadt- und Geländeklimatologie, Darmstadt
- GESELLSCHAFT F. GEOGRAPHIE U. GEOLOGIE (Hrsg.) (1965): Bochum und das mittlere Ruhrgebiet. Schriftleitung: P. BUSCH, H. CROON, C. HAHNE. (= Heft 1 der Bochumer Geogr. Arbeiten). Paderborn
- HAVLIK, D. (1981): Großstädtische Wärmeinsel und Gewitterbildung – Ein Beispiel anthropogener Klimamodifikation. – In: Aachener Geogr. Arbeiten, H. 14, Teil 1, S. 91–109
- KRATZER, P. A. (1956): Das Stadtklima. 2. Aufl., Braunschweig
- KUTTLER, W. (1979): Einflußgrößen gesundheitsgefährdender Wetterlagen und deren bioklimatische Auswirkungen auf potentielle Erholungsgebiete – dargestellt am Beispiel des Ruhrgebietes und des Sauerlandes. – Bochumer Geogr. Arbeiten, Heft 36
- KUTTLER, W. (1983): Neuere Ergebnisse zum Problem „Saure Niederschläge“. Bericht über eine internationale Tagung über „Acid precipitation“ in Lindau/Bodensee vom 7.–9. 6. 1983. In: Monatsberichte aus dem Meßnetz, Nr. 43, Umweltbundesamt, Berlin, Okt. 1983, S. 2–24
- KUTTLER, W. (1984): Spurenstoffe in der Atmosphäre, ihre Verteilung und regionale Ablagerung. In: Geoökodynamik, Bd. 5, H. 1/2, S. 29–75
- LANDSBERG, H. E. (1981): The urban climate. New York
- MALKOWSKI, Q. (1964): Analysen des Stadteinflusses auf die Niederschlagstätigkeit nach mehrjährigen Wetterradarbeobachtungen in Berlin. – In: Wetter und Leben, 16, S. 147–153
- MEYNEN, E., & J. SCHMITHÜSEN (Hrsg.) (1959): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. – Veröff. der Bundesanstalt f. Landeskunde und des Deutschen Instituts f. Landeskunde, Remagen
- NÜBLER, W. (1979): Konfiguration und Genese der Wärmeinsel der Stadt Freiburg i. Br. – Freiburger Geogr. Hefte, H. 16



- OBERHAGEMANN, E. (1952): Ergebnisse langjähriger Witterungsbeobachtungen in Bochum 1888–1950. – Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 3, März 1952, Bochum
- OBERHAGEMANN, E. (1956): Die Niederschlagsverhältnisse im rheinisch-westfälischen Industriegebiet während der Jahre 1891–1950. – Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 10, Oktober 1956, Bochum
- OKE, T. (1983): Bibliography of urban climate, 1977–1980 WMO-Veröffentlichung WCP-45
- REIDAT, W. (1971): Über den Einfluß der Stadt auf die Niederschlagsverteilung bei starken Regenfällen in Hamburg. – In: Wetter und Leben 23, S. 1–6
- SCHERHAG, R. (1964): Der Berliner Siebenschläfer-Wolkenbruch. – In: Beilage zur Berliner Wetterkarte vom 29. 9. 64, 74/64, SO 34/64
- SCHREIBER, D. (1973): Entwurf einer Klimaeinteilung für landwirtschaftliche Belange – Bochumer Geogr. Arbeiten, Sonderreihe Bd. 3, Paderborn
- SCHREIBER, D. (1982): Meteorologie – Klimatologie, 3. verb. Aufl., Bochum
- WBK (= Westfälische Berggewerkschaftskasse) (Hrsg.) (1984): Das Wetter in Bochum 1983 im Vergleich mit den langjährigen Meßreihen.