

Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde
Herausgegeben vom Geographischen Institut der Universität Bonn

ISSN 0373-7187

Heft 23

**Luftverunreinigung und Stadtklima
im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet
und ihre Auswirkung
auf den Flechtenbewuchs der Bäume**

von

Manfred Domrös

1966

Bonn

**Manfred Domrös / Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-West-
fälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den
Flechtenbewuchs der Bäume**

Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde

Herausgegeben vom Geographischen Institut
der Universität Bonn

durch Carl Troll und Karlheinz Paffen
Schriftleitung: Gerhard Hard

Heft 23

Manfred Domrös

Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den Flechtenbewuchs der Bäume



1966

In Kommission bei
Ferd. Dummlers Verlag, Bonn

**Luftverunreinigung und Stadtklima
im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet
und ihre Auswirkung
auf den Flechtenbewuchs der Bäume**

**von
Manfred Domrös**

**Mit 17 Abbildungen und 13 Tabellen im Text,
7 tabellarischen Übersichten im Anhang, 2 Bildern in Kunstdruck
und einer Karte als Beilage**



**In Kommission bei
Ferd. Dummlers Verlag, Bonn**

Die Veröffentlichung wurde durch Druckkostenbeihilfen des
Landschaftsverbandes Rheinland in Köln ermöglicht.

Alle Rechte vorbehalten.

D5

Druck: Richard Mayr, Würzburg

Vorwort

Zunehmende Wohndichte und fortschreitende Industrialisierung in den Jahren nach dem II. Weltkrieg haben das Phänomen der Luftverunreinigung zu einer immer ernster zu nehmenden Gefahr werden lassen. Im Lebensraum von Menschen, Tieren und Pflanzen wirkt sich die Anreicherung der Luft mit festen und gasförmigen Verbrennungsrückständen schädigend auf alle Lebewesen aus. Das erst in jüngster Zeit gezeigte öffentliche Interesse an dem Problem der Luftverunreinigung zielt darauf ab, das Ausmaß der Verunreinigung soweit wie möglich einzugrenzen.

Allen Bemühungen und Maßnahmen zur Bekämpfung der Luftverunreinigung, die häufig in den utopischen Begriff „Reinhaltung der Luft“ gekleidet werden, sind aber Grenzen gesetzt. Denn fortschreitende technische Zivilisation ist notwendig mit der Verunreinigung der Luft verbunden.

Immerhin läßt sich die Luftverunreinigung durch technische Vorkehrungen eindämmen und lassen sich auch von seiten der Siedlungsplanung segensreiche Maßnahmen treffen. Voraussetzung dafür sind aber wissenschaftlich einwandfreie Kenntnisse über Herkunft, Ausbreitung und Auswirkung der schädlichen Einflüsse in Raum und Zeit. Auch die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur Erforschung des vielseitigen Komplexes der Luftverunreinigung dar, und zwar in einem Gebiet, das in dieser Hinsicht augenblicklich die größte Aktualität besitzt. Der neue Aspekt der Arbeit beruht darauf, in gleichem Raum Untersuchungen aus zwei verschiedenen Erfahrungsbereichen anzustellen und in Vergleich zu setzen: 1. die bisher angestellten Messungen über die Luftverunreinigung durch feste und gasförmige Bestandteile kritisch zu Karten zu verarbeiten; 2. eine biologische Erscheinung, die sich als besonders empfindlich gegen die Luftverunreinigung und die Wirkungen des Stadtklimas erwiesen hat, nämlich die rindenbewohnenden Flechten der Bäume, großmaßstäblich zu kartieren.

In dem Vergleich der beiden Methoden, also in der möglichst geschlossenen kartenmäßigen Erfassung der räumlichen Differenzierung der Stadt- und Industrielandschaft, soll der besondere Beitrag der Geographie zu der praktisch so wichtigen Frage liegen, für die auch Meteorologie, Botanik, Lufthygiene, Pflanzenbau und Technologie wichtige Grundlagen zu erarbeiten haben.

Unmöglich gewesen wäre die Durchführung der Untersuchung ohne die vielen sachlichen und methodischen Hinweise, Anregungen und Anleitungen meines hochverehrten Lehrers, Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Dr. h. c. CARL TROLL, des Direktors des Geographischen Institutes der Rheinischen Fried-

rich-Wilhelms-Universität in Bonn, dem ich auch die Anregung zum Thema verdanke. Ihm an dieser Stelle meinen tiefen Dank für seine mir jederzeit freundlichst und großzügig erzeigte Hilfe auszusprechen, ist mir eine große Freude.

Zu Dank verpflichtet bin ich allen denen, die mir durch die Bereitstellung von Meßergebnissen der Luftverunreinigung den Vergleich zwischen der Flechtenverbreitung und dem Grad der Luftverunreinigung ermöglichten: Herrn Dr. HOFFMANN, dem Leiter der Abteilung „Lufthygiene“ im „Hygiene-Institut des Ruhrgebiets“ in Gelsenkirchen, und seinem Vertreter, Herrn Dr. RICHERT, sowie Herrn Regierungsdirektor Dr. STRATMANN und seinem Mitarbeiter, Herrn Chem.-Ing. HÖLZEL, von der „Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz“ in Essen, ferner Herrn Obermedizinaldirektor Dr. FAERBER (Oberhausen) und den Herren Medizinadirektoren Dr. BEUKERT (Bochum), Dr. BECKER (Essen) und Dr. LANGMANN (Mülheim).

Danken möchte ich auch dem Wetteramt Essen-Mülheim für die jederzeit freundliche Auskunft über Witterungs- und Klimadaten sowie dem Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk in Essen, dem „informationsdienst ruhr“ in Essen und den Verwaltungen aller Städte des Untersuchungsgebietes für die kostenlose Bereitstellung der zur Kartierung der Flechtenverbreitung und ihrer Auswertung erforderlichen Karten.

Die Abbildungen dieser Arbeit und die beigelegte Karte hat freundlicherweise der Ingenieur für Landkartentechnik im Institut für Geographie am Südasien-Institut der Universität Heidelberg, Fräulein E. GEBHARDT, gezeichnet; dafür gilt ihr und dem Direktor des Institutes, Herrn Prof. Dr. U. SCHWEINFURTH, mein herzlicher Dank.

Auch den vielen, die durch mündliche Anregungen und Hinweise und durch die Zusendung wissenschaftlicher Veröffentlichungen meine Untersuchung unterstützt haben und die ich hier im einzelnen nicht aufzählen kann, gebührt mein aufrichtiger Dank.

MANFRED DOMRÖS

Inhalt

Ziel und Aufgabe der Arbeit	11
I. Allgemeine Grundzüge der Luftverunreinigung	14
1. Die Verunreinigung der Luft als ein Merkmal des Stadtklimas	14
2. Emissionen und Immissionen	17
Gasförmige, feste und flüssige Emissionen und ihre wesentlichen Vertreter	18
Immissionen und ihre Messung	19
3. Quellen der Luftverunreinigung	21
4. Hemmende und fördernde Faktoren der Luftverunreinigung	25
Die Höhe der Emissionen und die sie beeinflussenden Faktoren	25
Luftmassen und Wetterlagen	27
Wind	28
Turbulenz und vertikale Austauschvorgänge	29
Inversionen	31
Niederschlag und relative Luftfeuchte	33
Relief	34
Bebauungsdichte	35
Grünanlagen, Parks und Wälder	36
Zusammenfassende Betrachtung der hemmenden und fördernden Faktoren der Luftverunreinigung	38
5. Tages-, Wochen- und Jahresgang der Luftverunreinigung	39
6. Schäden durch Luftverunreinigungen	40
Gesundheitsschäden für den Menschen	41
Schädigung der Vegetation	42
II. Die städtische Flechtenvegetation und ihre Beeinflussung durch Umweltfaktoren	47
1. Grundzüge zur Biologie der Flechten, vornehmlich der Rindenflechten in Städten	47
2. Ökologie der Rindenflechten	48
Biotische Faktoren	48
Edaphische Faktoren	49
Klimatische Faktoren	50
3. Prinzipien zur Differenzierung der städtischen Flechtenvegetation in Flechtenwüste, Kampf- und Normalzone	53
4. Untersuchungen der städtischen Flechtenvegetation und ihre wesentlichen Aussagen	56
Untersuchungsgebiete und Erforscher der Flechtenverbreitung	56
Untersuchungsergebnisse und Begründung derselben	57
III. Luftverunreinigung und Flechtenbewuchs im mittleren Ruhrgebiet	62
1. Die Größe der die Luftverunreinigung beeinflussenden Faktoren im Ruhrgebiet	62
Meteorologische und klimatische Angaben	62
Orographische Verhältnisse und naturlandschaftliche Einordnung	73
Flächennutzung des mittleren Ruhrgebietes	76

2. Meßergebnisse der Luftverunreinigung	76
Bisherige Untersuchungen der Luftverunreinigung	77
Auswertung von Meßergebnissen fester Emissionen	79
Auswertung von Meßergebnissen gasförmiger Emissionen	85
3. Die Ausweisung von Immissionsbelastungszonen	90
4. Die Verbreitung rindenbewohnender Flechten	93
Untersuchungsmethode	93
Untersuchungsergebnis	95
Die Karte der Flechtenverbreitung	97
5. Vergleich zwischen der Flechtenverbreitung und den Immissions- belastungszonen	100
IV. Die Flechten als Indikator der Luftverunreinigung	102
1. Indikatorproblem	102
2. Expositionsverhältnisse	103
Zusammenfassung	107
Summary	108
Anhang	109
Literatur	123

Abbildungen, Tabellen, Übersichten, Bilder und Karten

Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet und die Lage der Staubniederschlagsmeßstellen des Hygiene-Institutes des Ruhrgebietes, Gelsenkirchen, und des Bundesgesundheitsamtes, Institut für Wasser-, Boden- und Luft-hygiene, Berlin-Dahlem	12
Abb. 2: Mittlere Jahreswindrose für Essen-Mülheim und Bochum	63
Abb. 3: Mittlere monatliche Windrichtungsverteilung der Jahre 1956—1963 für Essen-Mülheim	64
Abb. 4: Die Höhe des Staubniederschlags in Essen bei Winden mit vorherrschend nördlicher Komponente (April 1956)	66
Abb. 5: Die Höhe des Staubniederschlags in Essen bei Winden mit vorherrschend südlicher Komponente (Februar 1957)	67
Abb. 6: Die Beziehung zwischen Windrichtung und -stärke im Mittel der Jahre 1956—1963, sowie die mittlere jährliche Windrichtungsverteilung im Mittel der Jahre 1956—1963 bzw. 1931—1963 für Essen-Mülheim	68
Abb. 7: Die Beziehung zwischen Windrichtung und -stärke im Monatsmittel 1956—1963 für Essen-Mülheim	69
Abb. 8: Isoplethen der Anzahl der Tage pro Monat mit gleicher Windstärke, Mittel der Jahre 1956—1963	70
Abb. 9: Bewölkung und Sonnenscheindauer im langjährigen Monatsmittel für Essen-Mülheim und Bochum	73
Abb. 10: Die naturlandschaftliche Gliederung des mittleren Ruhrgebietes	74
Abb. 11: Nord-Süd-Profile durch das mittlere Ruhrgebiet	75
Abb. 12: Die Verunreinigung der Luft durch feste Immissionen, Mittel der Jahre 1956—1963	82
Abb. 13: Luftverunreinigung in Essen durch schwefelhaltige Immissionen	86
Abb. 14: Luftverunreinigung in Mülheim durch schwefelhaltige Immissionen	87
Abb. 15: Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid	89
Abb. 16: Die Belastung durch Emissionen	90
Abb. 17: Immissionsbelastungszonen	92
Tab. 1: Der Anteil von Industrie, Haushalt und Verkehr an der Höhe der Immissionen	24
Tab. 2: Mittlerer Aschegehalt der Ruhrbrennstoffe	26
Tab. 3: Der Anteil der Kohlensorten an flüchtigen Bestandteilen	26
Tab. 4: Bisherige Untersuchungen und Erforscher der städtischen Flechtenvegetation	58
Tab. 5: Vereinfachte Wetterlagenstatistik für Mitteleuropa 1881—1947	62
Tab. 6: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen im Jahr	63
Tab. 7: Mittlere monatliche Windstärke in m/sec (Bochum)	67
Tab. 8: Monatsmittel des Niederschlags (in mm)	71
Tab. 9: Monatsmittel der relativen Luftfeuchte	72
Tab. 10: Mittlere monatliche Anzahl der Tage mit Nebel und Tau in Bochum (1936—1950)	72

Tab. 11: Korrigierter monatlicher Staubniederschlag an den Meßstellen 5, 25 und 51	82
Tab. 12: Korrigierter monatlicher Staubniederschlag für den Meßpunkt 42	84
Tab. 13: Die Expositionsabhängigkeit der Rindenflechten	103

Übersicht 1: Die Lage der Staubniederschlagsmeßstellen des Hygiene-Institutes Gelsenkirchen und des Bundesgesundheitsamtes Berlin-Dahlem	111
Übersicht 1a: Die Dauer der Staubniederschlagsmessungen der vom Hygiene-Institut des Ruhrgebietes in Gelsenkirchen und vom Bundesgesundheitsamt in Berlin-Dahlem betriebenen Meßstellen	113
Übersicht 2: Die korrigierten Monatsmittelwerte (1956—1963) der Staubniederschlagsmessungen des Hygiene-Institutes und des Bundesgesundheitsamtes	114
Übersicht 3: Ergebnisse der Außenluftuntersuchungen mit dem Glockenverfahren nach LIESEGANG in Essen (21. 6. 1957 — 25. 6. 1957)	116
Übersicht 4: Ergebnisse der Außenluftuntersuchungen mit dem Glockenverfahren nach LIESEGANG in Essen (4. 11. 1957 — 8. 11. 1957)	117
Übersicht 5: Ergebnisse der Außenluftuntersuchungen mit dem Glockenverfahren nach LIESEGANG in Essen (23. 6. 1958 — 27. 6. 1958)	118
Übersicht 6: Ergebnisse der Außenluftuntersuchungen mit dem Glockenverfahren nach LIESEGANG in Mülheim (4. — 8. 4. 1960 und 7. — 11. 11. 1960)	119
Übersicht 7: Meßstellen und -ergebnisse der SO ₂ -Stichprobenuntersuchungen „Nördliches Ruhrgebiet“, Juli 1962 — Juni 1963	120

Bild 1: Warzige, krustenbildende Überzüge von vorwiegend Lecanora- und Pertusaria-Arten des epiphytischen Siedlungstypes der Punktflechten Kunstdrucktafel

Bild 2: Krustenflechten, Trägerpflanze: Spitzahorn. Aufnahme etwa zweifach vergrößert Kunstdrucktafel

Karte: Die Flechtenvegetation im mittleren Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet, nach ihrem Deckungsgrad auf Bäumen an öffentlichen Straßen und Plätzen
Kartenmappe

Ziel und Aufgabe der Arbeit

Die Verunreinigung der Luft, die unter dem Begriff „air pollution“ in der internationalen Literatur bekannt ist, stellt in allen Ballungsräumen menschlicher Siedlungen und der Industrie eine tiefgreifende Veränderung des biologischen und menschlichen Lebensraumes dar. Weitgehend mit dem Phänomen der Dunstglocke verbunden (die jedoch nur bei Strahlungswetter sichtbar auftritt), greift die Luftverunreinigung in alle Bereiche der Biosphäre ein: Sie beeinflusst nachteilig die Gesundheit der Bevölkerung und verursacht Schäden an land- und forstwirtschaftlichen Kulturen sowie an Bauten und anderen Sachwerten. Die Bekämpfung der Luftverunreinigung ist deshalb eine vordringliche Forderung, die im Ausland vielfach schon seit Jahrzehnten, in Deutschland jedoch erst seit Jahren öffentliche Beachtung gefunden hat. Alle Bemühungen um die Verminderung des Grades der Luftverunreinigung erwiesen sich jedoch als äußerst problematisch, da die Verunreinigung der Luft von einer Anzahl räumlich und zeitlich schwankender, unterschiedlich wirkender und einander beeinflussender Faktoren abhängt. Die Verunreinigung wird vom Menschen erzeugt, und zwar als Folge der geschlossenen Besiedlung, der Industrialisierung und des Verkehrs. Bei der räumlichen und zeitlichen Ausbreitung der Luftverunreinigungen spielen die Witterungsverhältnisse, die Geländeform und der pflanzliche Bewuchs eine große Rolle. Die bisherige Methode, lediglich durch Messungen an einzelnen Stellen oder mittels eines weitmaschigen Meßstellennetzes den Grad der Luftverunreinigung zu bestimmen, haben sich als nicht ausreichend erwiesen.

Es muß deshalb nach einer Methode gesucht werden, deren Aussagewert eindeutig ist und die ein möglichst genaues Bild über die räumliche Verteilung des Grades der Luftverunreinigung liefert. Eine solche Methode schien sich endgültig anzubieten, als zwei unabhängig voneinander durchgeführte Untersuchungen von H. EMONDS über das Bonner Stadtklima (1954) sowie M. STEINER und D. SCHULZE-HORN über die Verbreitung der Rindenepiphyten in Bonn (1955) zu dem auffallenden Ergebnis führten, daß die nach EMONDS wohnklimatisch „sehr schlechten“ Gebiete Bonns weitgehend mit den Zonen fehlenden Flechtenbewuchses (genannt „Flechtenwüsten“) aus STEINER und SCHULZE-HORN'S Untersuchung übereinstimmten. Dies bestätigte die in zahlreichen vorhergehenden Untersuchungen der städtischen Flechtenvegetation gemachte Aussage, daß das Wachstum der Flechten in Städten geschädigt und sogar zum Erliegen gebracht wird und hierfür der Einfluß stadtbedingter Umweltfaktoren verantwortlich zu machen ist. Welche Faktoren dies sind, wird in den bisherigen Untersuchungen

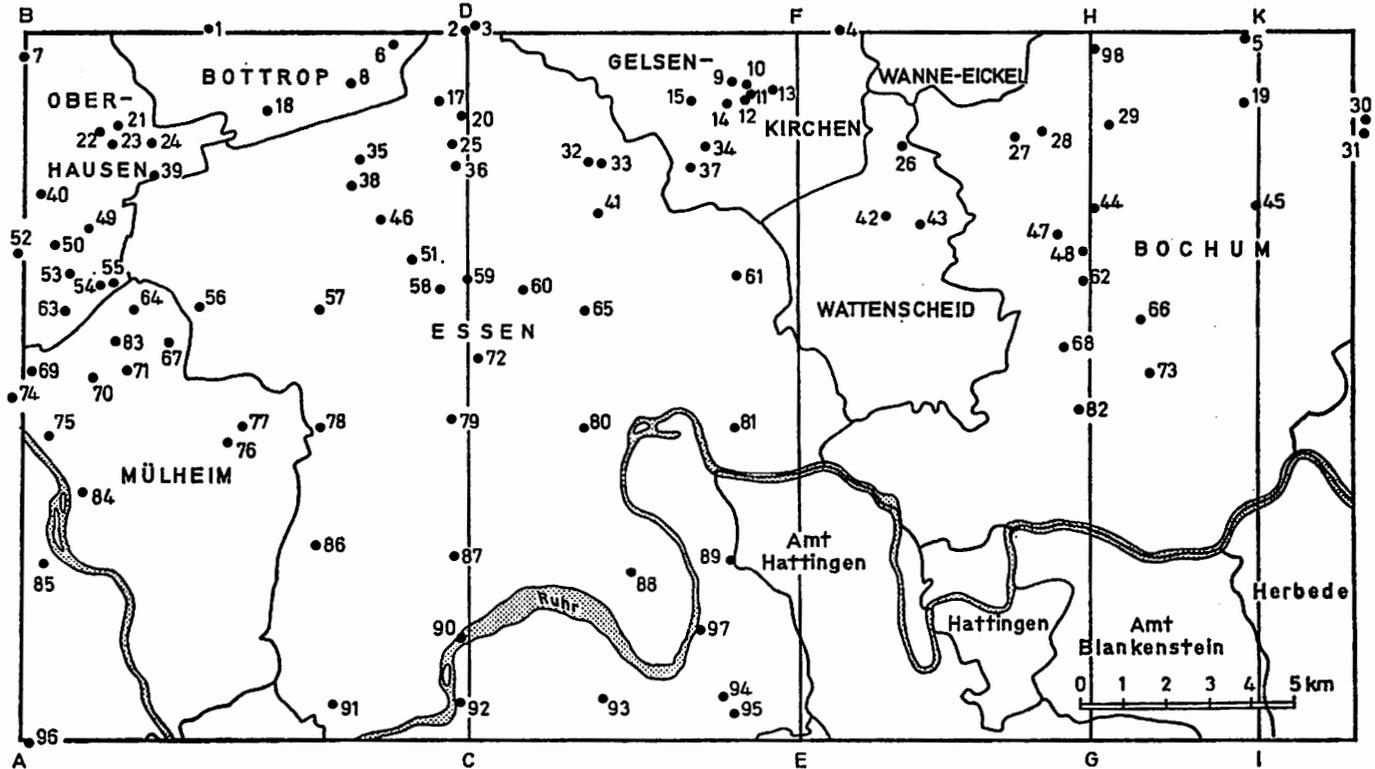


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet und die Lage der Staubbiederschlagsmeßstellen des Hygiene-Institutes des Ruhrgebietes, Gelsenkirchen, und des Bundesgesundheitsamtes, Institut für Wasser-, Boden- und Luftthygiene, Berlin-Dahlem. (Die genaue Lage der Meßstellen ist der Übersicht 1 im Anhang zu entnehmen). Die Linien A—B, C—D, E—F, G—H, I—K veranschaulichen die Lage von fünf Profilen, die in Abbildung 11 dargestellt sind.

Orig. M. Domrös

nicht übereinstimmend beantwortet; vielmehr wird die Schädigung der städtischen Flechtenvegetation auf die Verunreinigung der Luft oder auf einzelne Faktoren des Stadtklimas oder auch auf beide Faktorengruppen zurückgeführt. Kristallisiert hat sich aber die Erkenntnis, daß die Flechten ein empfindlicher Indikator der stadtbedingten Umweltfaktoren sind.

Auf der Grundlage dieser Aussage ist es Aufgabe der vorliegenden Arbeit, am Beispiel des südlichen Kernes des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes — das sind die Städte Essen, Bochum und Wattenscheid, daneben Teile von Mülheim, Oberhausen, Bottrop, Gelsenkirchen, Wanne-Eickel, Witten und des Ennepe-Ruhr-Kreises (siehe Abbildung 1) — die Verbreitung rindenbewohnender Flechten zu untersuchen, das Ergebnis in Beziehung zum Grad der Luftverunreinigung und zu stadtklimatischen Tatsachen zu setzen (ersterer ist durch Meßergebnisse zu bestimmen) und mittels dieser Beziehung einen Beitrag zur Klärung der Frage zu leisten versuchen, ob — und wenn ja, inwieweit — die Flechten als Indikator der Luftverunreinigung und bzw. oder des Stadtklimas gelten können. Um dies zu erreichen, ist neben der Bestimmung des Grades der Luftverunreinigung und der Charakterisierung der Flechtenvegetation im Untersuchungsgebiet (auf Grund von Auswertungen exakter Messungen bzw. Beobachtungen des Flechtenbewuchses) eine kurze Einführung in das z. Z. überaus aktuelle und vielseitige Phänomen der Luftverunreinigung ebenso notwendig wie ein Rückblick auf die bisherigen Untersuchungen der städtischen Flechtenvegetation und ihre Ergebnisse. Erst auf der Grundlage und dem Verständnis dieser beiden Teile der Untersuchung ist es möglich, die Verunreinigung der Luft und das Wachstum der Rindenflechten im Untersuchungsgebiet zu behandeln und vor allem den Versuch zu unternehmen, die Schädigung der Flechtenvegetation in Städten zu begründen.

I. ALLGEMEINE GRUNDZÜGE DER LUFTVERUNREINIGUNG

Im Rahmen dieser Arbeit und auf Grund der Zielsetzung derselben kann es nicht Aufgabe sein, das vielseitige Problem der Luftverunreinigung in dem gebührenden Umfang zu bearbeiten. Vielmehr sollen im folgenden Abschnitt lediglich allgemein gültige Aussagen über die Verunreinigung der Luft gemacht werden, ohne dabei schon in jedem Fall Bezug zum Untersuchungsgebiet zu nehmen (siehe Abschnitt III). Hierzu gehören die Einordnung der Luftverunreinigung in den Komplex des Stadtklimas, die Gegenüberstellung von Emission und Immission einschließlich ihrer Hauptvertreter, die Kennzeichnung der Emissionsquellen (Emittenten), die Beschreibung der hemmenden und fördernden Faktoren der Luftverunreinigung, die Darlegung des Tages-, Wochen- und Jahresganges der Luftverunreinigung und die Wirkung derselben auf den Menschen und die Vegetation.

1. Die Verunreinigung der Luft als ein Merkmal des Stadtklimas

Im Bereich einer Stadt bewirkt die „völlige Umgestaltung der natürlichen Landschaft durch Häuser, Straßen, Plätze, große öffentliche Bauten, Hochhäuser und Industrieanlagen“ (R. GEIGER 1961, S. 512) auch eine Umgestaltung des Klimas, die sich in einer Veränderung des gesamten Wärme- und Wasserhaushaltes einer Stadt ausdrückt und damit ein Sonderklima in der Stadt schafft. Die Größe der Stadt (einschließlich ihrer Bebauungsdichte und -art, der Verteilung, Lage und Größe von Grün- und Parkflächen, der Zahl und Art der Industriebetriebe und der Dichte des Verkehrs) und die Größe und Wirksamkeit des Stadtklimas stehen in direkter Beziehung, derart daß mit der Größe einer Stadt auch die Ausgeprägtheit des Stadtklimas wächst. Deshalb ist das Phänomen des Stadtklimas gerade in Industriegebieten besonders ausgeprägt anzutreffen. Dies gilt auch für das Rheinisch-Westfälische Industriegebiet, in dessen Kern (dem Untersuchungsgebiet dieser Arbeit) auf einer Fläche von nur 1424 qkm 11 Städte mit 100 000 und mehr Einwohnern (Essen, Dortmund, Duisburg, Gelsenkirchen, Bochum, Oberhausen, Mülheim, Recklinghausen, Herne, Bottrop, Wanne-Eickel) und 8 Städte mit 50 000 bis 100 000 Einwohnern (Witten, Castrop-Rauxel, Gladbeck, Wattenscheid, Lünen, Hamm, Rheinhausen, Herten) liegen. Das entspricht einer Bevölkerungsdichte von 2901 E/qkm

(zum Vergleich: Nordrhein-Westfalen insgesamt: 468 E/qkm, Bundesrepublik Deutschland einschließlich West-Berlin: 226,1 E/qkm¹).

Das Stadtklima ist in starkem Maße zurückzuführen auf die Anreicherung der Stadtluft mit festen, flüssigen und gasförmigen Emissionen, die Tag für Tag aus Verbrennungsvorgängen in Industrie, Haushalt und Verkehr, aus technischen Vorgängen und durch Aufwirbelung in die Atmosphäre gelangen. Diese Anreicherung mit Emissionen verursacht den Stadtdunst in den untersten Schichten der Atmosphäre und die blaugrün bis violett gefärbte Dunstglocke über der Großstadt, die je nach der Belieferung mit festen Emissionen und den meteorologischen Bedingungen mit unterschiedlicher Höhe über der Großstadt lagert. Auch die Mächtigkeit der Dunsthaube schwankt, denn sie ist außer von der Menge der Emissionen auch von der Wetterlage abhängig: Bei ruhigem Wetter, Windstille und wolkenlosem Himmel ist sie am ausgeprägtesten; mit zunehmender Windstärke und -böigkeit werden die Aerosole (= Gesamtheit der Luftverunreinigungen) mit dem Wind abtransportiert und die Dunstmassen zerstreut und sogar verfrachtet. Am deutlichsten tritt die Dunstglocke bei stabiler Luftschichtung (geringe oder keine Turbulenz), vor allem bei Inversion und Windstille, in Erscheinung, wenn die Anreicherung der Stadtluft mit Fremdstoffen am größten ist. F. LINKE (1940) sieht deshalb das Phänomen des Stadtklimas lediglich als ein Schönwetterproblem an; bei starken Winden, Bewölkung und Regen sind nach LINKE die klimatischen Unterschiede zwischen Stadt und Land fast völlig verschwunden.

Die Anreicherung der Stadtluft mit Emissionen bewirkt eine Veränderung des gesamten Strahlungshaushaltes einer Großstadt. Die Strahlungsbilanz Q beträgt bei Tage (nach H. FLOHN, u. a. 1963):

$$Q = (S + H) (1 - a) - (E - G)$$

Hierin bedeuten: S: direkte Sonnenstrahlung, H: diffus gestreute Himmelsstrahlung, a: Albedo, E: tatsächliche Ausstrahlung der Erdoberfläche, G: Gegenstrahlung der Atmosphäre. In der Gleichung der Strahlungsbilanz stellt die Größe $(S + H) (1 - a)$ die effektive Einstrahlung dar, die Größe $(E - G)$ die effektive Ausstrahlung, so daß die Strahlungsbilanz die Differenz von effektiver Ein- und Ausstrahlung ist.

Die Emissionen in der Stadtluft sind von besonderer Bedeutung für den Strahlungshaushalt einer Stadt, insofern sie eine Zunahme der atmosphärischen Gegenstrahlung G, damit eine Verringerung der effektiven Ausstrahlung $E - G$ und schließlich eine Zunahme der Strahlungsbilanz Q bewirken, was einen Anstieg der Lufttemperatur in der Stadt bedeutet. Die

¹ Die statistischen Angaben beziehen sich auf die Volkszählung vom 6. Juni 1961, enthalten in den Beiträgen zur Statistik des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 1, 1963, in der Sonderreihe Volkszählung 1961 und im Statistischen Jahrbuch der Bundesrepublik 1962.

durch die Emissionen bedingte Zunahme der atmosphärischen Gegenstrahlung ist z. T. auch dadurch bedingt, daß die Emissionen eine relativ hohe Temperatur besitzen — sie sind überwiegend Rückstände aus Verbrennungsvorgängen — und dadurch einen erheblichen Teil der Gegenstrahlung liefern.

Der Einfluß der Luftverunreinigung auf den Strahlungshaushalt bezieht sich aber auch auf die kurzwellige Einstrahlung $S + H$ (Globalstrahlung). Ihre Größe hängt ab von dem Transmissionskoeffizienten der Luft; dieser fällt mit zunehmender Luftverunreinigung, da die Emissionen die Luft undurchlässiger und trüber machen. Dadurch wird die direkte Sonnenstrahlung S verringert, die diffus gestreute Himmelsstrahlung H aber vergrößert. Dabei ist die Schwächung der direkten Sonnenstrahlung größer als die Zunahme der diffusen Himmelsstrahlung, wodurch insgesamt die Globalstrahlung $S + H$ durch die Luftverunreinigung geschwächt wird. „Eine Verringerung der direkten Sonnenstrahlung wird wenigstens teilweise aufgewogen durch eine Zunahme der diffus gestreuten Himmelsstrahlung“ (H. FLOHN 1963, S. 22). Nach R. GEIGER (1961) schwankt die Verminderung der Globalstrahlung in der Stadt zwischen 10 und 40 Prozent. Sie bewirkt in den Städten eine Abnahme der Himmelsbläue, einen Rückgang der Orts-helligkeit und eine Schwächung der Sicht. Nach Messungen des Hygiene-Institutes des Ruhrgebiets in Gelsenkirchen beträgt der Lichtabfall an wolkenlosen Tagen im Kern des Ruhrgebiets sogar bis zu 50 Prozent. Bei zahlreichen Messungen in England ist ermittelt worden, daß nur 25 bis 55 Prozent des Tageslichts während der Monate November bis März in Industriestädte einfiel (A. R. MEETHAM 1952).

Aus der Veränderung der Strahlungsverhältnisse in der Stadt resultiert die Veränderung der Temperaturverhältnisse derart, daß die Lufttemperatur und damit die -trockenheit in der Stadt höher ist als die in der Umgebung. Die höheren Lufttemperaturen in der Stadt beruhen auf der Verminderung der effektiven Ausstrahlung (siehe oben), auf der in den Steinmassen der Häuser sich vollziehenden Speicherung der eingestrahnten Wärme tagsüber und der langsamen Ausstrahlung in der Nacht, auf den zusätzlichen Wärmequellen in der Stadt (Haushalte, Industrie, Kraftverkehr), auf der Schwächung des Windes (siehe unten) und auf der in der Stadt nur in geringem Maße erforderlichen Verdunstungswärme, da die Stadt arm an Vegetation ist. Die höhere Lufttemperatur in der Stadt bewirkt auch eine Abnahme der relativen Luftfeuchte. Sie wird begünstigt durch den Mangel an Bodenfeuchte, den raschen Entzug der Niederschlagswässer durch die Kanalisation und durch die erhöhte Anlagerungsmöglichkeit des Wasserdampfes an den vielen (Emissions-) Kernen in der Stadtluft. Die Lufttemperatur in der Stadt liegt im Mittel nach F. LINKE 1 — 1,5 Grad Celsius, nach R. GEIGER sogar mehrere Grad Celsius über der Temperatur des umgebenden freien Landes. Die erhöhte Temperatur und die geringe relative Luftfeuchte in

den Städten bedeuten auch eine Verminderung der Tauhäufigkeit und des Taufalls in Städten.

Einen starken Einfluß übt die Stadt durch ihr „scharf zerschnittenes Relief mit dem Netz von Straßen, Plätzen, Parks, Höfen und den senkrechten Wänden der Gebäude“ (B. P. ALISSOW, O. A. DROSDOW, E. S. RUBINSTEIN 1956, S. 294) auf den Wind aus. Die Windgeschwindigkeit wird vermindert, da die ankommende Luftströmung durch die Anhäufung von Häusern gebremst und durch die Rauigkeit der Oberfläche in der Stadt gestaut wird. Aber auch die Windrichtung kann verändert werden, wenn der Wind vom Häusermeer der Stadt aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt und zum Umfließen des Häusermeeres gezwungen wird. In beiden Fällen wird der horizontale Abtransport der Emissionen geschwächt oder gänzlich unterbunden; ebenso wird aber auch der lufthygienisch wichtige, weil emissionsvermindernde Einfluß der Turbulenz verringert.

Die genannten Eigenschaften und Auswirkungen des Stadtklimas stellen an Menschen, Tiere und Pflanzen in der Stadt schärfere Lebensanforderungen als in der nichtstädtischen Umgebung, denn das letztlich anthropogen bedingte Sonderklima der Stadt verursacht eine Veränderung der „natürlichen Lebensbedingungen“, wie sie für Menschen, Tiere und Pflanzen von dem dem Großraum entsprechenden Klima geschaffen sind. Die erhöhten Lebensanforderungen in der Stadt zeigen sich in der empfindlichen Reaktion der Lebewesen auf die Eigenschaften des Stadtklimas, unter diesen vor allem auf die Luftverunreinigung (siehe Abschnitt 6).

2. Emissionen und Immissionen

Unter Emissionen sind alle diejenigen Luftfremdstoffe zu verstehen, die in irgendeinem Zustand und auf irgendeine Weise in die Atmosphäre gelangen, in der sie auf Grund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften eine Verschlechterung der natürlichen Luftbeschaffenheit bewirken. Emissionen können in gasförmigem, festem und flüssigem Zustand vor allem die erdbodennahen Luftschichten verunreinigen. Sie sind vorwiegend Verbrennungsrückstände aus Industrie, Haushalt und Verkehr und werden bei vielen industriellen Abbau-, Aufbereitungs- und Fabrikationsprozessen abgeschieden. Von untergeordneter Bedeutung sind demgegenüber jene Luftverunreinigungen, die aufgewirbelte feste Teilchen der Erdoberfläche (im äußersten Fall Sandstürme) oder von Halden (bestehend aus staubförmigen Produkten) sind oder gar beim Aufbau und Zerfall der Organismen hervorgerufen werden. Während unter „Emissionen“ alle in die Atmosphäre gelangten Fremdstoffe zu verstehen sind, drückt der Begriff „Immissionen“ die Einwirkungen emittierter gasförmiger, fester und flüssiger Luftfremdstoffe auf die belebte und unbelebte Welt aus. Die Höhe der Immissionen an einem bestimmten Ort, d. h. der dort in Bodennähe

wirksame Grad der Luftverunreinigung, hängt primär ab von der Menge der Emissionen, die von den Emittenten — das sind die Quellen der Luftverunreinigung — in die Atmosphäre gelangen, sekundär aber von meteorologischen, orographischen und anthropogenen Faktoren.

Gasförmige, feste und flüssige Emissionen und ihre wesentlichen Vertreter

Von größter lufthygienischer Bedeutung unter den Emissionen sind die Rauchgase (im Volksmund kurz „Rauch“ genannt), die die Summe aller festen und gasförmigen Rückstände aus Verbrennungsvorgängen in Industrie, Haushalt und Verkehr darstellen. Hierzu zählen in erster Linie als gasförmige Emissionen Schwefeldioxid und -trioxid sowie Kohlenoxid, als feste Emissionen Flugasche und Ruß.

Schwefeldioxid ist unter den gasförmigen Luftverunreinigungen die am häufigsten vorkommende und am weitesten verbreitete Verbindung. Auf Menschen, Tiere, Pflanzen und sogar Bauwerke wirkt Schwefeldioxid schädlich, wobei der Schädigungsgrad entscheidend bestimmt wird von der Verdünnung, die das SO_2 in der Luft enthält. Schwefeldioxid wird in Industrie- und besiedelten Gebieten in die Atmosphäre emittiert, denn es entsteht zum größten Teil bei der Verbrennung von Stein- und Braunkohle, Koks, Heizöl und Dieselöl aus den in ihnen enthaltenen organischen und anorganischen Schwefelverbindungen. Für die beim Verbrennungsprozeß in die Atmosphäre entweichende Schwefeldioxidmenge ist der Gesamtschwefelgehalt des Brennstoffes ausschlaggebend. Er beträgt bei Braunkohle 0,3—6,5 %, bei Steinkohle 0,2—2,3 %, bei Heizöl 0,5—4,0 %, bei dem er stark von der Sorte abhängt (leichtes, mittleres und schweres Heizöl).

Von Bedeutung sind unter den gasförmigen Luftverunreinigungen neben dem Schwefeldioxid im wesentlichen Fluorwasserstoff, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Schwefeltrioxid, Kohlenoxid und Stickoxide. Schwefelwasserstoff, das vornehmlich in Kokereien und Gaswerken als schwer zu beseitigendes Nebenprodukt anfällt, macht sich bereits in geringen Konzentrationen (1 ppm; 3—5 ppm H_2S gelten bereits als unangenehm und lästig) in der Außenluft geruchlich bemerkbar. Kohlenoxid ist bei Werten über 100 ccm/ m^3 gefährlich. Von Vorteil ist, daß es sich infolge seiner hohen Diffusionsgeschwindigkeit sehr rasch in der Atmosphäre ausbreitet. Die Giftigkeit gasförmiger Emissionen wird oftmals erst durch das Zusammenreffen und Vermischen mit anderen Gasen hervorgerufen und empfindlich gesteigert.

Emissionen in festem Zustand — weithin kurz „Staub“ genannt — sind alle in der Atmosphäre schwebenden, feinsten oder niederfallenden, mehr oder weniger feinen, festen Teilchen, die organischer und anorganischer Art sind und auf mannigfache Weise, vornehmlich durch Windaufwirbelung, industrielle Abbau-, Herstellungs- und Produktionsvorgänge sowie durch

den Verkehr, in die Atmosphäre gelangen. Auf Grund ihrer Größe (Durchmesser zwischen 1 und 50 μ) sind die Stube noch mikroskopisch sichtbar; je nach Größe beträgt ihre Sinkgeschwindigkeit 0,1—200 mm/sec (R. GEIGER 1961). Stube sind auf Grund ihrer Kleinheit durch große Flugfähigkeit ausgezeichnet und können deshalb sowohl vom Wind schnell aufgewirbelt, als auch von der Turbulenz lange Zeit in der Atmosphère gehalten werden. Besondere Bedeutung haben vor allem wegen ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung die Schwebestube, die wie Gase den Bewegungen der Luft folgen und wegen ihrer Feinheit keine merkliche Fallgeschwindigkeit haben.

Immissionen und ihre Messung

Die Verunreinigung der Luft ist durch feste, gasförmige und flüssige Emissionen bedingt. Aus diesem Grund bezieht sich auch die Messung der Luftverunreinigung, d. h. der Immissionen, auf die Messung fester, gasförmiger und flüssiger Luftfremdstoffe. Die Messung von Immissionen in festem und gasförmigem Zustand erfolgt auf verschiedene Weise, mit unterschiedlicher Zielsetzung und mit vielfachen Methoden. Im folgenden kann nur ein Überblick über die wichtigsten Meßmethoden von festen und gasförmigen Immissionen gegeben werden, der jedoch zum Verständnis vor allem der in Abschnitt III zu gebenden Auswertung von Messungen des Staubniederschlags und der Konzentration von Schwefeldioxid im Untersuchungsgebiet erforderlich ist.

Die Messung von Immissionen in festem Zustand kann grundsätzlich in zweifacher Hinsicht geschehen: 1. als Konzentrationsmessung, wobei der Gehalt der Luft an schwebenden festen Emissionen gemessen wird; 2. als Niederschlagsmessung, bei der die Höhe der zu Boden fallenden festen Immissionen bestimmt wird.

Die Geräte zur Konzentrationsmessung (in mg/m^3), z. B. Konimeter, Thermalprazitator, Tyndalloskop, sind kostspielig und in der Praxis für umfangreiche Langzeitversuche über größere Gebiete mit vielen Einzelmestellen und häufigen Einzelmessungen nicht brauchbar.

Die Niederschlagsmessung fester Immissionen — meistens in $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{Zeit}$ — geschieht mit Auffanggefaen und Haftgeraten, die im allgemeinen einfach in der Ausführung und leicht zu handhaben sind.

Auffanggefäße sind ähnlich den Regennessern normalerweise in Trichterform gebaut, wobei der in dem Auffangtrichter sedimentierte Staub bei Regen in eine unter dem Trichter befindliche Sammelflasche geleitet wird, die in bestimmten Zeitabständen (meistens monatlich) ausgewechselt und deren Inhalt nach ungelösten und gelösten Stoffen hin chemisch untersucht wird. Die bekanntesten Trichtergefae sind das Gerät von LIESEGANG/LÖBNER und der Hibernia-Trichter. Daneben gibt es eine Reihe von Auffang-

gefäßen, die vereinfachte Trichtergefäße darstellen (u. a. das BERGERHOFF-Gerät), das lediglich ein Einkochglas darstellt, in dem Staub und Niederschlagswasser aufgefangen werden. Auffanggefäße dienen vor allem zur quantitativen Untersuchung von Langzeitmessungen und bei wenigen Meßstellen. Sie sind besonders dazu geeignet, neben der Bestimmung der Gesamtmenge der niedergefallenen festen Immissionen pro Fläche und Zeiteinheit die Zusammensetzung des Staubes festzustellen, um daraus Schlüsse auf die Herkunft des Staubes und damit u. U. auf den Emittenten zu ziehen.

Haftgeräte zur Staubniederschlagsmessung sind im allgemeinen Folien von unterschiedlicher Größe und Formgebung, die mit einem Haftmittel, z. B. Vaseline oder Glyzerin, bestrichen sind, auf dem die festen Immissionen haften bleiben. Die Menge des Staubniederschlags ergibt sich aus der Gewichts-differenz der Folie vor und nach dem Aussetzen im Gelände. Durch mikroskopische Untersuchung des Staubbela-ges auf der Haftfolie ist es sogar möglich, grobe Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der aufgefangenen festen Immissionen zu ziehen. Am bekanntesten ist die von DIEM entwickelte Haftfolie, die eine mit reiner Vaseline bestrichene Aluminiumblechfolie darstellt. Haftfolien sind billig und in der Auswertung einfach zu handhaben. Als Vorrichtung zur Messung des Staubniederschlags eignen sie sich deshalb überall dort, wo viele Meßstellen und kurze Expositionszeiten erwünscht sind. Anwendung finden Haftfolien z. B. bei der Detailstruktur-Untersuchung des Staubpegels eines größeren Gebietes, wie es z.B. bei Untersuchungen des Technischen Überwachungs-Vereins in Essen (SCHWARZ, GILBERT, RATZKI 1959), Berlin (BRACHT 1960) und Stuttgart (GREINER 1962) geschehen ist. Nachteile dieser Meßmethode sind Gewichtsverluste auf der Haftfolie, die durch Abtragung der Haftschrift und damit des Staubniederschlags bei Schwerstregen, Graupel, Hagel und Schnee sowie bei Regenschauern nach starker Sonneneinstrahlung entstehen können.

Bei der Messung gasförmiger Immissionen handelt es sich um Konzentrationsmessungen. Die folgenden kurzen Ausführungen hierüber sollen sich lediglich auf gebräuchliche Meßmethoden des Schwefeldioxids beziehen, da SO_2 mengenmäßig als Luftverunreiniger an der Spitze steht. Es tritt nämlich bei allen Verbrennungsvorgängen, aber auch bei vielen anderen technischen Prozessen in den Abgasen auf.

Die konventionelle Methode zur Bestimmung der Schwefeldioxid-Immission ist die Glockenmethode nach LIESEGANG, eine Art von Niederschlagsmessung, die heute jedoch kaum noch Anwendung findet, da sie sehr kostspielig ist, eine registrierende Windmeßanlage und ein chemisches Laboratorium erfordert und die Aufarbeitung der Proben sehr zeitraubend ist.

In den letzten Jahren wurde der Wunsch nach Angaben über die Konzentration des Schwefeldioxids in der Luft und nach dem Verlauf des SO_2 -Gehalts der Luft in Abhängigkeit von der Zeit immer stärker. Als wesentliche Konzentrations-Meßverfahren sind entwickelt worden:

- a. Probenahmegerät nach STRATMANN: Durch ein mit Silikagel gefülltes Probenahmerohr wird die Luft angesaugt; das Silikagel absorbiert das in der Luft enthaltene SO_2 , das zu Schwefelwasserstoff reduziert wird; der Schwefelwasserstoff wiederum färbt eine Ammoniummolybdatlösung mehr oder weniger blau. Aus der Farbtonung wird die vorhandene Menge SO_2 (in mg/m^3) bestimmt und diese schließlich in $\text{mg SO}_2/\text{m}^3$ umgerechnet.
- b. WÖSTHOFF-Gerät: Bei ihm wird die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit einer verdünnten Schwefelsäure durch die Absorption von SO_2 als Meßgröße ausgewertet.
- c. Trommeluhr mit SO_2 -Indikator der Farbwerke Hoechst: In einer sog. Trommeluhr läuft an einer genau festgelegten Öffnung ein mit einer Indikatorlösung imprägniertes Filterband vorbei, das je nach dem SO_2 -Gehalt der Luft verfärbt wird.
- d. Glockengerät nach LIESEGANG: Eine zylindrische Extraktionshülse wird mit einer alkalischen Lösung getränkt und der atmosphärischen Luft ausgesetzt. Die in der Luft befindlichen schwefelhaltigen Abgase werden auf Grund ihrer sauren Natur von dem Papier gebunden. Nach 100stündiger Expositionszeit wird die Glocke eingezogen. Die absorbierten Verbindungen werden im Laboratorium extrahiert, zu Sulfat aufoxidiert und als Bariumsulfat bestimmt. Die Angabe des Meßwertes erfolgt in mg Schwefel je Glocke und 100 Stunden; der Wert ist also nicht absolut, sondern relativ. Das Verfahren ist auch nicht für Schwefeldioxid spezifisch, sondern alle schwefelhaltigen Gase der Luft werden bestimmt. Um die erhaltenen Relativwerte in absolute Werte umzuwandeln, hat W. LIESEGANG zwischen diesen und der SO_2 -Konzentration durch zahlreiche Vergleichsmessungen folgende Beziehung gefunden:

<i>Glockenwert</i>	<i>mg SO_2/m^3</i>
10	0,1
10—20	0,1—0,2
20—50	0,2—0,5
50—200	0,5—1,0

3. Quellen der Luftverunreinigung

Unter den Emittenten² spielt ohne Zweifel die Industrie die größte Rolle, da in ihr gegenüber Haushalt und Verkehr sich die stärksten Ver-

² Als Quellen der Luftverunreinigung führt H. OLIVER (1960) an: Heizkraftwerke, Hüttenwerke, Stahlwerke, Metallgießereien, Zementfabriken, Bergbauanlagen, Kokereien, chemische Fabriken, Mineralö Raffinerien, Gasfabriken, Industrie der Steine und Erden, Dampflokomotiven, Dampfschiffahrt, Kleingewerbef Feuerungen, Industrieheizanlagen, Verbrennungskraftmaschinen, Hausbrand u. a. Das vom Verein Deutscher Ingenieure, Kommission „Reinhaltung der Luft“, im Februar 1958 herausgegebene Merkblatt 2090 gibt folgende Emittenten an: Bergbau, chemische und verwandte Industrie, Eisenhütten und Gießereien, Feuerungen (auch Kleingewerbe und Hausbrand), Metallhütten, Mineralölindustrie, Industrie der Steine und Erden, Verkehr, Verschiedene.

brennungsvorgänge abspielen und in ihr auch die bei technischen Fabrikationsprozessen anfallenden festen und gasförmigen Emissionen produziert werden. Die Höhe der industriellen Emissionen rührt einerseits aus den verwendeten Brennstoffen (hoher Anteil nicht brennbarer Stoffe und hoher Schwefelgehalt) und andererseits aus dem technischen Stand der Fabrikationsanlagen (z. B. Kesselanlagen in Kraftwerken), vor allem hinsichtlich der Emissionsbekämpfung, her. So werden aus Gründen der Wirtschaftlichkeit in Industriebetrieben ballastreiche (billige) Kohlen verfeuert, die bis zu 30 Prozent nicht brennbarer Stoffe enthalten. In zeheneigenen Kraftwerken im Ruhrgebiet wird sogar Kohle mit 35 Prozent Ballastanteil verbrannt, die anderweitig nicht abzusetzen ist. Die Industriezweige mit dem höchsten Auswurf an festen und gasförmigen Emissionen sind Kraftwerke, Kohleaufbereitungsanlagen, Zementfabriken, Eisen- und Stahlwerke und Metallhütten. Durch kostspielige technische Vorkehrungen ist es jedoch möglich, Emissionen in festem Zustand annähernd vollständig auszufiltern. Weit schwieriger, aber umso dringlicher ist die Bekämpfung der giftigen gasförmigen Emissionen, unter denen am häufigsten das Schwefeldioxid auftritt, das für die Pflanzenwelt als Assimilationsgift sogar noch in Verdünnungen mit Luft im Verhältnis von 1 : 4 bis 1 : 5 Millionen gefährlich ist.

Die obige Aussage, daß unter den Emittenten die Industrie die größte Rolle spielt, darf keineswegs in der Richtung verallgemeinert werden, daß die Luftverunreinigungen auch im Lebensraum des Menschen weitgehend industrieller Herkunft sind. Denn die Höhe der Immissionen braucht nicht unbedingt von der Höhe der Emissionen abzuhängen, wofür u. a. technische Einrichtungen zur „Luftreinhaltung“ verantwortlich zu machen sind. Durch den Bau hoher Schornsteine ist es den Industriebetrieben möglich, ihre staub- und gasförmige Verbrennungs- und Fabrikationsrückstände in höhere Luftschichten zu befördern, wo die Emissionen vom Windstrom mitgerissen und erst in größerer Entfernung vom Emittenten und über eine größere Fläche verteilt auf dem Erdboden sedimentiert werden. In der Umgebung eines einzelnen Industriebetriebes oder innerhalb eines Industriegebietes braucht also der Grad der Luftverunreinigung in der Grundsicht der Atmosphäre keineswegs vorrangig aus industriellen Emissionen herzuführen.

Unmittelbar abhängig ist die Höhe der Immissionen in einem bestimmten Gebiet vielmehr oft von denjenigen Emissionen, die aus niedrigen Quellhöhen (Schornsteinhöhen) stammen, da sie in der unmittelbaren Umgebung des Emittenten sedimentiert werden. Hierzu zählen die Emissionen des Hausbrandes und die aus kleinen Industriefeuerungen. Im Gegensatz zu den großen Luftverschmutzern sind ihre Emissionen einmal durch die niedrige Quellhöhe des Einzelemittenten, zum andern durch eine flächenhafte Verteilung vieler einzelner Emittenten über einen Siedlungsraum charakterisiert. Beide Eigenschaften tragen dazu bei, daß den

Bemühungen zur Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse gerade bei diesen Emissionen größte Schwierigkeiten entgegenstehen. Die Emissionen von Haushalt und Kleingewerbe sind fast ausschließlich gas- und staubförmige Rückstände von Verbrennungsvorgängen. Haus- und Kleingewerbefeuerungen tragen vor allem dadurch zur Verunreinigung der Luft bei, daß die Feuerstätten oft veraltet sind und ungeeignete Brennstoffe verwendet werden, die z.T. nur unvollständig verbrannt und deren Rückstände nicht genügend gefiltert werden. Die durch Haushalt und Kleingewerbe bedingte Luftverunreinigung wird im Winter³ und in den Übergangsjahreszeiten häufig auch durch kurzzeitig auftretende Bodeninversionen verstärkt, wodurch die Verbrennungsrückstände je nach dem Abstand der Inversionsschicht vom Erdboden in einer mehr oder weniger dünnen Luftschicht über der Erdoberfläche angesammelt werden können. Dies kann leicht zu einem raschen Anstieg der Verschmutzungskonzentration in der Atemluft beitragen. Eine weitere Zunahme der durch die Emissionen der Hausfeuerungen bedingten Luftverunreinigung ist auf den Anstieg von Ölheizungen in Haushaltungen zurückzuführen, in denen Heizöl mit hohem Schwefelgehalt verbrannt wird. So ist z. B. der Auswurf von Schwefeldioxid aus häuslichen Ölheizungen doppelt so groß wie bei Koksheizungen. Bei Kohlefeuerungen wird ein nicht unbeträchtlicher Teil des Schwefels in der Asche zurückgehalten.

Die dritte Gruppe unter den Emittenten ist der V e r k e h r. Sein Anteil an der Luftverunreinigung sind einerseits die gasförmigen Emissionen, die als Verbrennungsrückstände aus den Treibstoffen der Kraftfahrzeuge in die Atmosphäre gelangen, und andererseits der Staub, der von den Straßen aufgewirbelt wird. (Die Aufwirbelung, die primär von der Beschaffenheit der Straßendecke abhängt, wächst mit der Geschwindigkeit, mit der sich ein Fahrzeug bewegt.) Von weit größerer lufthygienischer Bedeutung als die festen Emissionen in Form von aufgewirbeltem Staub sind als gasförmige Emissionen die giftigen Auspuffgase der Kraftfahrzeuge. Zu nennen sind vor allem Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe, daneben aber auch Benzpyrene, die nach neueren Untersuchungen bereits in minimaler Konzentration die menschliche Gesundheit gefährden können. Die steigende Motorisierung nach dem Zweiten Weltkrieg⁴ und die damit verbundene ständig zunehmende Verkehrsdichte in den Städten bewirkt hier eine Zunahme der Auspuffgas-Konzentration, die vor allem durch schlechte innerstädtische Entlüftung (geringe Ventilation) gefördert wird. In diesem Fall werden die Autoabgase oft lange Zeit in den Straßenzeilen gehalten, bevor sie durch die Turbulenz in obere Luftschichten transportiert werden. Eine

³ Nach Schätzungen von WILKINS soll auf Grund des winterlichen Nebelmaximums der Hausbrand in England im Winter bis zu 60 Prozent an der Luftverunreinigung beteiligt sein.

⁴ Kraftfahrzeugbestand (in 1000) in der Bundesrepublik Deutschland (ohne West-Berlin): 1. Juli 1951: 2 474,1; 1. Juli 1962: 9 461,3 (laut Statist. Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland).

Verminderung der durch den Kraftfahrzeugverkehr bedingten Emissionen kann nur durch eine Entgiftung der Autoabgase erreicht werden (D. MATTHEIS 1964). Die Eisenbahnen spielen als Emittent heute bei weitem nicht mehr die Rolle wie noch vor wenigen Jahren, da der Eisenbahnbetrieb mehr und mehr elektrifiziert wird. Bis vor wenigen Jahren noch galten Bahnhofsanlagen und Rangierbahnhöfe als Gebiete, die durch einen hohen Grad der Luftverunreinigung (vor allem durch feste Immissionen) gekennzeichnet waren.

Sehr umstritten ist die vor allem zur Verminderung der Luftverunreinigung wichtige Frage, in welchem Maße die drei großen Gruppen der Emittenten — die Industrie, der Haushalt und der Verkehr — an dem Gesamtgrad der Luftverunreinigung in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche beteiligt sind. Die Beantwortung dieser Frage kann nämlich nicht auf der Auswertung exakter Messungen beruhen, da diese immer Immissionsmessungen sind und daher stets das Ergebnis eines Gemisches von Emissionen verschiedener Emittenten darstellen. Zur korrekten Bestimmung des Anteils der einzelnen Emittenten an der Größe der Immission müssen die Emissionen gemessen werden, was aber auf Grund der hierfür nötigen, ungeheuer aufwendigen und praktisch nur schwer durchführbaren technischen Vorkehrungen kaum möglich ist. Deshalb beruhen alle Angaben über den Anteil von Industrie, Haushalt und Verkehr an der Höhe der Immission auf Schätzungen und Berechnungen. Diese Tatsache ist ein Grund für die von verschiedenen Autoren gemachten unterschiedlichen Angaben über den Anteil der drei Emittentengruppen an der Höhe der Immissionen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Der Anteil von Industrie, Haushalt und Verkehr an der Höhe der Immissionen (in Prozent).

Industrie	Haushalt	Verkehr	Quelle
40	20—25	30—35	R. MELDAU 1953, bezogen auf das Ruhrgebiet
50	35	15	STELL 1962
50—63	26—42	8—11	zit. nach D. HENNEBO
35	23	42	Deutscher Gemeindetag 1964

Einleuchtend ist, daß der Anteil der einzelnen Emittenten regional nicht gleich groß ist, da er von der Struktur des Gebietes (Industriegebiet, Wohnbezirk, ländliche Gegend) bestimmt wird. Die Gesamtsumme der Immissionen ist dort am höchsten, wo die meisten Emissionen erzeugt werden. Das ist in allen Ballungsräumen der Industrie und Siedlungen der Fall, weil in ihnen die stärksten Verbrennungsvorgänge stattfinden.

4. Hemmende und fördernde Faktoren der Luftverunreinigung

Zwischen Emission und Immission besteht kein direkter Zusammenhang derart, daß die Höhe der Immission und die emittierten Luftfremdstoffe in direkter Abhängigkeit voneinander ständen. Denn nach dem Verlassen der Emissionsquellen stellt die Frage der räumlichen Ausbreitung⁵ der Emissionen und damit die Höhe der Immissionen weitgehend ein meteorologisch-klimatisches und orographisches Problem dar, da der Wind, die Turbulenz, die atmosphärische Schichtung und der Niederschlag sowie das Relief den Transport und die Sedimentation der Emissionen bestimmen. Nicht unterschätzt werden darf jedoch der Einfluß der anthropogenen Faktoren, worunter die Bebauungsdichte sowie die Lage und Größe von Grünanlagen, Parks und Wäldern zu verstehen sind. Diesen Faktoren meteorologisch-klimatischer, orographischer und anthropogener Art unterliegen die in die Atmosphäre transportierten Emissionen, deren Menge wiederum von der Existenz und dem Wirkungsgrad zahlreicher Faktoren abhängt. So ergibt sich, daß die Höhe der Immissionen einerseits von der Menge der Emissionen und andererseits von der Art und Größe des Einflusses durch meteorologische, orographische und anthropogene Faktoren bestimmt wird.

Im folgenden Abschnitt sollen deshalb einleitend kurz die Faktoren dargestellt werden, die die Höhe der Emissionen bestimmen. Anschließend erfolgt ein Überblick über die Faktoren, welche auf die in den untersten Atmosphärenschichten sich befindenden Emissionen wirken. Dabei werden zunächst die meteorologisch-klimatischen Elemente Wind, Turbulenz, vertikale Austauschvorgänge, Inversion sowie Niederschlag und relative Luftfeuchte diskutiert, dann der Faktor des Reliefs und schließlich die anthropogenen Faktoren (Bebauungsdichte, Grün- und Parkanlagen) sowie der Einfluß des Waldes.

Die Höhe der Emissionen und die sie beeinflussenden Faktoren

Da die Emissionen vorwiegend aus Verbrennungsvorgängen herrühren, wird ihre Höhe weitgehend von den Faktoren bestimmt, die bei Verbrennungsvorgängen eine Rolle spielen. Diese sind der Brennstoffverbrauch, die Qualität der Brennstoffe (vornehmlich bzgl. des Asche- und Schwefelgehaltes), die Ofenart, die Feuerführung und die technischen Vorkehrungen zur Verminderung des Emissionsauswurfes.

Hinsichtlich der bei Verbrennungsvorgängen emittierten festen Luftfremdstoffe (Flugasche und Ruß) hängt die Menge derselben neben der

⁵ Auf die Formeln zur theoretischen Berechnung der Ausbreitung von Stäuben und Gasen, die u. a. von SUTTON, BOSANQUET und PEARSON, SCHELEICHOWSKI, W. SCHMIDT und STOKE entwickelt worden sind, kann hier nicht eingegangen werden.

Brennstoffart (Kohlenstaub, stückige Kohle, Koks und Heizöl) weitgehend von dem Aufbereitungsverfahren (Trocken- oder Naßverfahren) der geförderten Kohle ab, die schon durch ihren mehr oder weniger großen Anteil an flüchtigen Bestandteilen — abhängig von der Kohlensorte (siehe Tabelle 2) — und dem unterschiedlichen Aschegehalt — abhängig von der Brennstoffsorte (siehe Tabelle 3) — große Aufwendungen in der Aufbereitung notwendig macht.

Tabelle 2: Mittlerer Aschegehalt der Ruhrbrennstoffe, in Prozent (nach erbetener Mitteilung des Steinkohlenbergbauvereins Essen).

Förderkohle	etwa 10—20
Gasförderkohle	etwa 10
Bestmelierte	etwa 10
Stückkohle	etwa 5— 7
Knabbeln	etwa 5— 7
Nußkohle 1 und 2	etwa 5— 7
Nußkohle 3, 4 und 5	etwa 5— 8
Koksfeinkohle	etwa 6— 8
Gewaschene Feinkohle	etwa 7— 9
Ungewaschene Feinkohle	etwa 11—15
Steinkohlenbrikett	etwa 8—10
Zechengroßkoks	etwa 8—10

Tabelle 3: Der Anteil der Kohlensorten an flüchtigen Bestandteilen, in Prozent (nach K. SCHWARZ 1960).

Anthrazit	bis 10
Magerkohle	10—14
Eßkohle	14—19
Fettkohle	19—28
Gas- und Gasflammkohle	28—40

Die beim Abbau der Kohle mitgewonnenen Mengen des nicht brennbaren Nebengesteins werden oft auch in der Kohlenwäsche nicht von der Kohle getrennt; sie gelangen mit der Kohle in die Feuerungsanlagen, in denen sie als unverbrannte Rückstände (= Flugasche^o) von dem Verbrennungsluftstrom mitgerissen werden und je nach dem Ausmaß der technischen Entstaubungsmaßnahmen in die Atmosphäre gelangen. Ruß, chemisch gesehen reiner Kohlenstoff, entsteht in erster Linie beim Anheizen und bei unvollständiger Verbrennung vor allem von stark flüchtigen Kohlen (Fett-, Gas- und Gasflammkohle); seine Entstehung ist auch abhängig von der Feuerführung und der Art der Beschickung (manuell oder automatisch). Auch bei der Verfeuerung von Schweröl kann es leicht zur Rußbildung kommen.

Die Höhe der in die Atmosphäre gelangenden Emissionen wird neben jenen Faktoren, die bei Verbrennungsvorgängen eine Rolle spielen, von dem Vorhandensein und dem Wirkungsgrad derjenigen technischen Vor-

^o Aus 4000 Ruhrkohleproben erhielt H. G. VON BOMHARD 1955 folgende Mineralstoffanalyse von Steinkohlenflugasche: SiO₂ 41,5%, Al₂O₃ 31,5%, Fe₂O₃ 18,4%, CaO 1,8%, MgO 1,2%, MnO 0,7%, P₂O₅ 0,5%, SO₂ 0,4%.

kehrungen beeinflusst, die zur Verminderung der Emissionen eingesetzt werden. Hierzu zählen in erster Linie Filteranlagen, hohe Schornsteine und Anlagen zur Verwertung der abgeschiedenen Emissionen.

Filteranlagen reinigen je nach Güte mehr oder weniger stark die Abgase von den staub- und gasförmigen Anteilen. Eine umfassende Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse für den Menschen vermag mit den gebräuchlichen Filteranlagen allein nicht erreicht zu werden, da sie zu meist nicht in der Lage sind, die z. T. lungengängigen und daher äußerst gesundheitsschädlichen Schwebestoffe auszufiltern. Ein weiterer Nachteil der Filteranlagen sind die hohen Kosten, die mit ihrer Errichtung verbunden sind und die oft die wirtschaftliche Kapazität der Fabriken übersteigen.

Die Erhöhung von Schornsteinen bewirkt meistens nur eine Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse in der Nähe der Emissionsquellen, da die Emissionen auf eine größere Fläche verteilt werden als bei niedrigen Schornsteinen. Wichtig im Sinne einer wirklichen Verminderung der Immissionen ist vor allem die Maßnahme, Schornsteine so hoch zu bauen, daß ihre Mündungen aus dem durchschnittlichen Bereich der Bodeninversion reichen. Dies gilt besonders bei Tallagen von Industriebetrieben.

Eine wirkungsvolle Maßnahme zur Verminderung der Abgase besteht in der Verwertung derselben, wie es z. B. beim Schwefelsäure-Kontakt-Verfahren vorliegt, bei dem Schwefeldioxid zu Schwefelsäure verarbeitet wird. Die Schwierigkeiten bestehen heute oft darin, daß die auftretenden Mengen von Schwefeldioxid für eine Verarbeitung zu Schwefelsäure zu gering sind, andererseits aber doch so beträchtlich, daß Rauchsäden die Folge sind. Zur Emissionsverminderung auf Grund der Verwertung von Abgasen zählt auch die Nutzung der bei der Verkokung der Steinkohle entweichenden Gase, indem aus ihnen Teer, Benzol, Ammoniak, Heiz- und Leuchtgase isoliert werden, die zur Gewinnung zahlreicher Nebenprodukte dienen.

Luftmassen und Wetterlagen

Die Wetterlagen und mithin die von ihnen transportierten Luftmassen begründen die Ausbildung und Größe der meteorologischen Elemente Wind, Turbulenz und vertikale Austauschvorgänge, Inversion, Niederschlag und relative Feuchte, die alle von großem Einfluß auf die räumliche Ausbreitung der Emissionen sind. Folglich bestimmen auch in gewisser Weise die Luftmassen und die Wetterlagen die Höhe der Immissionen, abgesehen von den Emissionen, mit denen sich die Luftmassen in ihrem Quellgebiet und auf ihrer Zugbahn aufgeladen haben. Den Einfluß der Luftmassen und Wetterlagen schlechthin auf die Höhe der Immissionen exakt beschreiben zu wollen, ist kaum möglich, da eine Luftmasse zwar von einheitlichem Charakter ist, ihre Eigenschaft aber und damit u. a.

ihr Einfluß auf die Luftverunreinigung von den Eigenschaften derjenigen meteorologischen Größen abhängt, die die Luftmasse bestimmen. Aus diesem Grunde ist es naheliegend, nicht die Beziehung zwischen Luftverunreinigung und Luftmasse zu diskutieren, sondern die zwischen der Luftverunreinigung und den eine Luftmasse bildenden Größen, wie es in allen bisherigen Abhandlungen hierüber geschehen ist. Deshalb soll auch im folgenden der Einfluß der einzelnen meteorologischen Größen auf die Höhe der Immissionen näher behandelt werden.

Wind

Die Höhe der Immissionen an einem bestimmten Ort hängt weitgehend von dem Einfluß der vertikalen und horizontalen atmosphärischen Austauschvorgänge ab, die auf die Emissionen und ihre räumliche Verbreitung wirken. Beim Horizontalanteil sind die Windrichtung und die Windstärke zu unterscheiden. Durch die Windrichtung — als Ausdruck einer bestimmten Wetterlage — wird die relative Lage des Einflußgebietes bestimmter Emittenten festgelegt; die Windstärke bestimmt die Entfernung des Emissionstransportes innerhalb einer Luftmasse und hat Einfluß auf die Konzentration und Verteilung der gasförmigen und festen Emissionen. Windrichtung und -stärke wiederum werden beeinflusst von der Bebauungsdichte und dem Relief der Städte und von den orographischen Verhältnissen.

Die Abhängigkeit der Immissionen von der Windrichtung ist dadurch zu erklären, daß die Menge der Luftverunreinigungen innerhalb einer Luftmasse vorwiegend von den Emissionen abhängt, mit denen sich die Luftmasse beim Überstreichen eines bestimmten Gebiets angereichert hat. Besonders deutlich tritt der Einfluß der Windrichtung auf den Grad der Luftverunreinigung in der Nähe von Industrieanlagen und Großstädten (siehe unten) hervor, wobei letztere als Quelle von Luftverunreinigungen bis in eine Entfernung von über 50 Kilometern sich deutlich bemerkbar machen können (FERT 1958).

Schon die im Sommer 1905 von W. SCHMIDT vorgenommenen Kernzahlmessungen in Wien zeigten deutlich die starke Abhängigkeit des Staubgehalts von der Windrichtung. Die über den Wienerwald streichenden Winde aus SW, W und N waren am saubersten, die aus S bis E kommenden und über die Innenstadt wehenden Winde am stärksten verunreinigt, während die Winde aus NE bis ENE, die über das dichter besiedelte Marchfeld gekehrt waren, einen Mittelwert einnahmen. Die über die Innenstadt transportierte Luft enthielt im Mittel über zehnmal soviel Kerne wie die vom Wienerwald.

Einen eindrucksvollen Beweis für die Abhängigkeit des Kerngehalts von der Windrichtung fand auch G. LÜDELING (1904) bei Messungen der Stäub-

chenzahl an der Ostsee, indem er bei Landwind die größte, bei Seewind die kleinste Stäubchenzahl fand (vgl. auch NOACK 1959).

Wie stark sogar einzelne Industriebetriebe die über sie wehenden Winde mit Emissionen anreichern können, ergaben zweijährige Staubniederschlagsmessungen von H. G. VON BOMHARD (1955) in der Umgebung des Kraftwerkes Scholven. Im Hauptwind Schatten des Werkes (NNE bis E) konnte in 2 km Entfernung von den Schornsteinen ein Staubniederschlag von $480 \text{ g/m}^2\text{-Monat}$ gemessen werden; die ortsübliche Vorbelastung der Luft liegt hier aber nur bei rund $210 \text{ g/m}^2\text{-Monat}$.

Windgeschwindigkeit und Menge der Immissionen stehen in umgekehrt proportionalem Verhältnis. Denn mit zunehmender Windstärke und folglich wachsender Turbulenz nimmt die Menge an festen und gasförmigen Luftfremdstoffen ab, da die Staubschichtung, die bei Windstille und niedriger Windstärke sich gebildet hat, von der heranwehenden reinen Luft zerstört wird und die Emissionen verfrachtet werden. Auch werden bei hoher Windstärke die Emissionen schnell über große Entfernungen transportiert und dadurch über größere Gebiete verteilt. Werden die Emissionen von der vertikalen Durchmischung in höhere Schichten der Atmosphäre verfrachtet, so gelangen sie erst in weit entfernten Gebieten in die untersten Luftschichten und werden sedimentiert. Das Maximum an Immissionen ist bei Windstille zu finden, mit der auch geringer oder kein Vertikalaustausch verbunden ist. Schon bei der geringsten Luftbewegung, etwa 1 m/sec , geht nach W. FERT (1958) der Staubgehalt auf ein Drittel gegenüber dem bei Windstille zurück. Nach M. RÖRSCHKE (1937) steigt lediglich beim Aufkommen eines schwachen Windes der Staubgehalt der Luft an, weil die bei Windstille in Erdbodennähe gesunkenen oder auf dem Boden sedimentierten Teilchen erneut erfaßt, aufgewirbelt und mitgerissen werden. Schon diese Aussage deutet darauf hin, in welcher Weise der Wind die lufthygienischen Verhältnisse beeinflusst. Der Wind wirkt direkt auf den Abtransport und die Verteilung fester und gasförmiger Emissionen ein; indirekt kann er zu einer quantitativen Abnahme der Emissionen und damit zu einer qualitativen Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse beitragen. Dieser Effekt kann durch die Lage von Grünflächen und Wäldern im Hauptwind Schatten großer Luftverunreiniger verstärkt werden.

Turbulenz und vertikale Austauschvorgänge

Von großer Bedeutung für den Abtransport der Emissionen aus den untersten Luftschichten und damit für die Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse im Lebensraum von Menschen, Tieren und Pflanzen sind die Turbulenz und die vertikalen Austauschvorgänge. Die Turbulenz, eine „ungeordnet nach allen Richtungen erfolgende Zusatzbewegung zum (horizontalen) Winde“ (R. GEIGER 1961, S. 36), deren Geschwindigkeit und Rich-

tung dauernd schwankt, bewirkt eine ständige Durchmischung der Luft. Vor allem die vertikalen Komponenten der Turbulenz sind für die Luftverunreinigung bedeutsam, denn sie sorgen für den Transport der Emissionen in höhere Luftschichten. An die Stelle der mit Emissionen aufsteigenden Luft sinkt im Zuge der vertikalen Durchmischung reine Luft aus höheren Luftschichten.

Die Entstehung der Turbulenz und der vertikalen Austauschvorgänge überhaupt beruht auf zwei Vorgängen, die sich in ihrer Wirkung ergänzen. Von geringer Bedeutung ist die mechanische Turbulenz, die durch die Unebenheiten der Erdoberfläche — beruhend auf dem Relief und der Bebauung — hervorgerufen wird. Sie vollzieht sich sowohl in der Weise, daß der Wind durch Hindernisse zum Aufsteigen gezwungen wird, als auch dadurch, daß in Konvergenzzonen — z. B. zwischen Häuserzeilen — zusammenströmende Luftmassen infolge Stau nach oben gehoben werden. Beide Male werden entweder die vorherrschenden, aber nur schwach ausgebildeten Austauschvorgänge verstärkt oder aber erst hervorgerufen.

In weit größerem Maße als die mechanische Turbulenz entsteht die thermische Turbulenz, die durch die Temperaturschichtung der Atmosphäre, d. h. durch die Abnahme der Temperatur mit der Höhe, bedingt ist. Die vertikale Durchmischung vollzieht sich nach dem physikalischen Grundgesetz, daß warme Luft sich ausdehnt, darum leichter wird und aufsteigt. In der Höhe kühlt sich die Luft ab, wird dadurch schwerer und sinkt wieder nach unten. Die (thermische) Turbulenz hält so lange an, wie eine labile (oder instabile) Schichtung vorliegt, d. h. die Abnahme der Temperatur oder der Temperaturgradient γ 1°C („adiabatische Temperaturabnahme“) und mehr beträgt. Ist γ aber kleiner als 1°C , so wird die Schichtung stabil; die Turbulenz wird schwächer, bis sie ganz und gar aussetzt.

Vornehmlich dann kommt die vertikale Durchmischung zum Erliegen, wenn der Temperaturgradient γ sogar positiv ist, d. h. wenn die Temperatur mit der Höhe über dem Erdboden nicht abnimmt, sondern zunimmt. Die in diesem Fall vorliegende Temperaturumkehr oder Inversion tritt hauptsächlich im Herbst, Winter und Frühling nachts oder morgens auf. Die Turbulenz setzt erst dann ein, wenn durch die Sonneneinstrahlung die bodennahen Luftschichten so weit erwärmt sind, daß wieder ein Temperaturgefälle mit der Höhe, d. h. labile Schichtung, vorliegt. (Parallel mit dem Einsatz der Turbulenz vollzieht sich die Auflösung der Inversionsschicht.)

Der entscheidende Faktor für das Auftreten der Turbulenz ist also die Einstrahlung, von der wiederum die Größe des Temperaturgradienten abhängt. Entsprechend dem täglichen Einsetzen und dem Intensitätsablauf der Einstrahlung schwanken der Beginn, der Verlauf und die Dauer der Turbulenz. Hierauf beruht wesentlich der Tages- und Jahresgang der Luftverunreinigung. Im Tagesgang der Turbulenz setzen im Laufe des Vormit-

tags die vertikalen Austauschvorgänge ein, wenn die stabile Schichtung der Nacht (auf Grund der schnellen Bodenabkühlung und Ausstrahlung) durch Einstrahlung zerstört ist; sie erreichen um die Mittagszeit ihr Maximum und klingen am Nachmittag und Abend rasch ab, wenn das Temperaturgefälle mit der Höhe gestört ist.

Die Turbulenz ist in den Sommermonaten, vor allem an klaren Tagen, stärker ausgebildet als in den Wintermonaten, hier vornehmlich in den Nächten. Der Grund hierfür liegt nicht nur in der weit stärkeren Globalstrahlung im Sommer als im Winter, sondern auch in der Ausstrahlung der Erdoberfläche, die in allen Jahreszeiten — im Sommer am stärksten, im Winter am schwächsten — tagsüber wärmer ist als die Luft über ihr. Weitgehend abhängig ist die Größe der Turbulenz und der vertikalen Austauschvorgänge von der Stärke des horizontalen Windes; die Turbulenz wächst mit zunehmender Windstärke.

Die Verminderung der vertikalen Austauschvorgänge in der Stadt, die auf der Bremsung des horizontalen Windes an dem Häusermeer der Stadt beruht, wird teilweise aufgehoben durch Temperaturoegensätze auf kleinem Raum, die Druckunterschiede und damit Ausgleichsströmungen hervorrufen. Diese Temperaturoegensätze sind vornehmlich durch den expositionsbedingten, unterschiedlichen Strahlungsgenuß der Häuserfronten bedingt, der Licht- und Schattenflächen bewirkt. Hierdurch erwärmt sich die Luft auf der Lichtseite einer Häuserfront und steigt auf, während sie auf der Schattenseite sich abkühlt und absinkt. Zu berücksichtigen ist hierbei, daß der durch die Exposition zur Sonne bedingte Übergang einer Häuserfront von der Licht- in die Schattenfläche nicht unmittelbar den Wechsel von auf- zu absteigender Luft bedeutet. Vielmehr vermag die Steinmasse der Häuser die eingestrahlte Sonnenenergie zu speichern, die auch dann abgegeben wird, wenn die Häuserfront nicht mehr von der Sonnenstrahlung erreicht wird und sie eine Schattenfläche bildet. Der Wechsel von Licht- und Schattenfläche innerhalb einer Straßenzeile kann zu einem kleinräumigen Luftkreislauf führen derart, daß an der Schattenfläche der Häuser die Luft absinkt und an der Sonnenfläche der gegenüberliegenden Häuserfront wieder aufsteigt. In den unteren Luftschichten tragen die vertikalen Austauschvorgänge zu einer Verminderung an Emissionen bei.

Inversionen

Wie im vorigen Abschnitt bereits ausgeführt worden ist, setzt die vertikale Durchmischung immer dann aus, wenn in der Atmosphäre eine Sperrschicht in Gestalt einer Inversionsschicht liegt. Ihre Temperatur ist höher als die der unter ihr lagernden Luft, wodurch der normale Verlauf der Temperaturschichtung, nämlich Abnahme mit der Höhe, gestört ist. Die Inversionsschicht dient als Austauschsperrschicht zwischen den erdbodennahen

Luftschichten mit den in ihr enthaltenen Emissionen und den höheren, emissionsarmen Schichten der Atmosphäre. Folglich sammeln sich in den von der Inversionsschicht abgeschirmten Luftschichten die emittierten Luftfremdstoffe an.

Inversionen können auf zweifache Weise entstehen:

1. durch Abkühlung und Ausstrahlung des Bodens während der Nacht und während des Winters, verstärkt durch windschwache Wetterlagen und solche, die sich durch unbehinderte Strahlungsvorgänge auszeichnen, wodurch die erdbodennahen Luftschichten schneller abgekühlt werden als die höheren Schichten⁷ („Bodeninversion“ oder „Strahlungsinversion“);
2. durch Einbruch eines ausgedehnten stabilen Hochdruckgebietes, wodurch warme Luftmassen sich über kalte lagern oder auf sie gleiten („Aufgleitinversion“).

Bodeninversionen entstehen in fast jeder Nacht in den Übergangsjahreszeiten und im Winter. Sie sind von nur geringer Mächtigkeit, die im Laufe der Nacht zunimmt, bis nach Sonnenaufgang bei Aufheizung des Erdbodens und der unteren Luftschichten die Inversion aufgelöst wird. Obwohl derartige Bodeninversionen sehr weiträumig auftreten können, bedeuten sie auf Grund ihres kurzen Bestandes — trotz der zumeist flachen Bodenluftschicht unterhalb der Sperrschicht — im allgemeinen keine wesentliche Anreicherung von Emissionen in der Biosphäre.

Von weit größerer Bedeutung für die lufthygienischen Verhältnisse sind diejenigen Inversionen, die durch den Einbruch oder das Aufgleiten warmer Luftmassen auf kältere bedingt sind. Sie treten weit seltener auf als Strahlungsinversionen, sind aber beständiger, nicht zuletzt weil die Inversionsschicht sehr viel mächtiger ausgebildet ist als bei Strahlungsinversionen. Bei tagelangem Aufenthalt bewirken Aufgleitinversionen einen enormen Anstieg der Staub- und Gaskonzentration in den von der Sperrschicht abgeschirmten Luftschichten, was vor allem gesundheitliche Schäden zur Folge haben kann.

Von Wichtigkeit für die Bildung und Existenz, aber auch für die Auflösung von Inversionsschichten ist der Wind. Die Inversionshäufigkeit ist bei Windstille am größten; mit zunehmender Windstärke nimmt die Inversionsneigung und -bildung ab.

⁷ Für die nächtliche Abkühlung der untersten Luftschichten macht R. EMDEN (1913) die Ausstrahlung der Staubteilchen in den untersten Luftschichten verantwortlich. Nach Sonnenuntergang kühlen sich die Staubteilchen schneller ab als die sie umgebenden Luftmassen, die durch Ausstrahlung ebenfalls abgekühlt werden. Bedingt durch die Zunahme der Staubteilchen in den erdbodennahen Luftschichten, kühlen sich diese schneller ab als höhere, staubarme Schichten. Dadurch wird die Temperaturabnahme mit der Höhe unterbunden, eine Inversion tritt ein. Dieser Auffassung EMDENS stimmt auch A. DEFANT (1919) zu.

Niederschlag und relative Luftfeuchte

Die Beziehung zwischen Niederschlag und Luftverunreinigung ist bisher vor allem in der Richtung untersucht worden, wie Regen- und Schneefälle den Staubgehalt in den erdbodennahen Luftschichten beeinflussen. Alle Untersuchungen stimmen darin überein, daß Niederschläge auf feste Emissionen luftreinigend wirken, indem diese durch Absorption aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche transportiert werden. Dieser „Auswascheffekt“ gilt auch für gasförmige Emissionen, wodurch die Niederschläge ein wichtiger Faktor zur Verminderung des Grades der Luftverunreinigung sind.

Schon vor und verstärkt bei Regenbeginn nimmt der Staubgehalt am Erdboden zu, weil sich die Feuchtigkeit an den Staubpartikeln in höheren Luftschichten abgesetzt hat, sie dadurch erschwert und zum Absinken zwingt bzw. der Regen auf die schwebenden Teilchen trifft und sie auf den Erdboden befördert. Im weiteren Verlauf eines Regenschauers tritt — zunächst stark, dann schwächer — eine Abnahme des Staubgehalts ein, weil nunmehr der Effekt der Auswaschung der Emissionen aus der Atmosphäre überwiegt und zugleich saubere Luft aus höheren Luftschichten in die erdbodennahen strömt. Nach dem Fallen von Niederschlägen ist der Staubgehalt niedriger als vor ihrem Einsetzen. Hieraus resultiert die berechtigte Auffassung, daß Niederschläge eine reinigende Wirkung auf die Atmosphäre ausüben, indem quantitativ eine Abnahme des Staubgehalts erfolgt.

Der Grad der Luftreinigung durch Niederschläge ist abhängig von der Größe der Staubteilchen sowie der Art und Menge der Niederschläge. Luftreiniger als die Stärke und Dauer des Niederschlags ist die Zahl der Regen- und Schneefälle. Das ist auch der Grund dafür, daß die Menge des (gemessenen) Staubbiederschlags nicht von der Höhe des Niederschlags abhängt (W. LIESEGANG 1951). Analog der Abnahme des Staubgehalts beim Fallen von Niederschlägen steigt der Staubgehalt bei Trockenperioden.

Ebenso wie die Niederschläge hat auch die relative Luftfeuchte unmittelbar einen großen Einfluß auf den Grad der Luftverunreinigung. Relative Feuchte und Höhe der Immissionen stehen in direkt proportionalem Verhältnis; mit zunehmender Luftfeuchte nimmt auch der Gehalt an festen und gasförmigen Immissionen zu. Ein Beweis hierfür ist der hohe, kaum schwankende Staubgehalt an nebligen Tagen, wenn bei schwacher Turbulenz die durch die hohe Luftfeuchte größer und schwerer gewordenen Staubteilchen⁹ nicht in höhere Luftschichten getragen werden können, sondern infolge der Schwere zu Boden fallen. Nebel führt in den bodennahen Luftschichten nicht nur zu einer Erhöhung des Staubgehalts, sondern auch zu einem Anstieg der Konzentration an gasförmigen Emissionen.

⁹ Versuche von CH. JUNGE (1952) haben ergeben, daß praktisch alle in der Atmosphäre vorhandenen Stäube hygroskopisch sind.

Relief

Der Grad der Luftverunreinigung an einem bestimmten Ort hängt auch von seiner orographischen Lage ab. Täler, Mulden und Geländeeinschnitte weisen zumeist einen höheren Grad der Luftverunreinigung auf als Berge.

Bei Messungen in den Jahren 1891—1893 in rund 600 m Höhe in Baveno am Monte Moterone stellte J. AITKEN (1894) fest, daß die Luft aus dem Tal (Ort) viel staubbeladener war als die von der Bergspitze wehende. Nach FETT (1958) ist der Verlauf des Staubgehalts auf einem Berg etwa entgegengesetzt dem Gang des Staubgehalts in der Ebene. Zu diesem Ergebnis kam auch E. FLACH (1952) bei Messungen über dem westlichen Erzgebirge. In Tälern und Mulden war die Kernzahl am höchsten, auf den Bergen am niedrigsten. Es ist deshalb anzunehmen, daß sich die Konzentration und der Gehalt an gasförmigen und festen Immissionen den Geländebeziehungen anpassen.

Ausschlaggebend für den Einfluß des Reliefs auf den Grad der Luftverunreinigung ist aber letztlich nicht die Gestalt des Geländes, sondern die durch sie hervorgerufene Beeinflussung der meteorologischen Vorgänge, die die Ausbreitung der Emissionen und damit den Grad der Luftverunreinigung mitbestimmen. Ein Tal bewirkt tagsüber Talauf- und Hangaufwinde, nachts Talab- und Hangabwinde. Dadurch können je nach der orographischen Lage von Industriebetrieben Emissionen sowohl in ein Tal hinein- als auch aus einem Tal herausgeweht werden. Lufthygienisch am günstigsten sind Industriestandorte auf Anhöhen und Bergen, wo die Emissionen von dem ungestört wehenden horizontalen Wind erfaßt und mitgeführt werden. Ungünstig ist die Lage von Industriebetrieben in Tälern und Mulden, in denen sich leicht ein Kaltluftsee bilden kann. Seine Entstehung ist bedingt einerseits durch transversale warme Winde, die auf Grund ihrer zum Talverlauf senkrechten Richtung über das Tal hinwegstreichen, andererseits durch nächtliche Ausstrahlung, wodurch sich im Tal eine Inversionsschicht bildet. Dadurch werden die Turbulenz und die vertikalen Austauschvorgänge zum Erliegen gebracht und die luftreinigende Wirkung derselben unterbunden. Der Kaltluftsee wird somit zu einem „Staubsee“ (R. GEIGER 1961). Dieser Effekt wird um so wirksamer, wenn sich am Talgrund und an den Talflanken Industriebetriebe befinden. Entspricht die Windrichtung jedoch dem Verlauf eines Tales (axiale Winde), so zeichnet sich im allgemeinen auch der Talgrund durch saubere Luft aus. Dabei bedeutet größere Windstärke eine Verminderung der Luftverunreinigung, geringe Windstärke — vor allem Windstille — eine beträchtliche Anreicherung der Luft mit Emissionen. Der Grad der Luftverunreinigung in Tälern wird auch erhöht, wenn sich über einem Tal Warmluftmassen ablagern, eine Inversionsschicht bilden und dadurch die vertikale Durchmischung unterbunden wird.

Welches Ausmaß das Zusammenwirken von Relief (tief eingeschnittene Täler) und meteorologischen Faktoren (beständiges Hoch, tiefliegende Inversionsschicht und fehlender Vertikalaustausch, Nebel und Windstille), verbunden mit den Emissionen aus Industrie, Haushalt und Verkehr, erreichen kann, haben die „Nebelkatastrophen“⁹ im Maastal zwischen Lüttich und Huy (1930, 62 Tote¹⁰), in Donora im Monogahelatal/USA (1948, 30 Tote) und vor allem in London (1952: 4000 Tote; 1956: 480 Tote; 1957: 300 Tote) deutlich gezeigt.

B e b a u u n g s d i c h t e

Eng bebaute Gebiete und solche mit vielen Emittenten weisen stets einen höheren Grad der Luftverunreinigung auf als locker bebaute, da sie ein Strömungshindernis für die Winde bilden, diese stauen oder zum Abbiegen, Umleiten und Überstreichen zwingen und die Windstärke herabsetzen. Auf dieser Tatsache beruht die Verminderung der vertikalen Austauschvorgänge und damit die Abschwächung der Ventilation in dicht bebauten Stadtteilen. Das bedeutet eine Anreicherung der Luft mit Emissionen, die so lange in dicht bebauten Stadtteilen gehalten werden, bis sie durch Wind oder Niederschlag abtransportiert bzw. sedimentiert werden. Dichte Bebauung bewirkt auch eine Abnahme der relativen Luftfeuchte und eine Zunahme der Trockenheit sowie einen Rückgang des Taufalls und der Tauhäufigkeit.

Untersuchungen von L. VASU (1928) in Dresden haben ergeben, daß im Grad der Verunreinigung der Luft die verschieden starke Bebauung der einzelnen Stadtteile deutlich zum Ausdruck kommt. A. LÖBNER (1937) zeigte anhand von Untersuchungen in Berlin, daß im Winter der Staubfall etwa der Bebauungsdichte folgt (und schließt daraus, daß der im Winter um 22 Prozent höhere Staubniederschlag der Stadtluft gegenüber dem Sommer in erster Linie auf den Hausbrand zurückzuführen ist).

Auf interessante Ergebnisse von A. HOFFMANN (1958) ist an dieser Stelle hinzuweisen, die dieser bei zweijährigen Staubniederschlagsmessungen in Gelsenkirchen machte. Dickwandige Häuser in dicht bebauten Gebieten speichern tagsüber entsprechend ihrem Farbanstrich in mehr oder weniger starkem Maße die Sonnenstrahlung, die sie erst wieder in der Nacht ausstrahlen. Dunkle Wände speichern, helle Wände reflektieren am besten Wärme. Die tagsüber durch Reflektion und nachts durch Ausstrahlung entstehenden thermischen Aufwinde befördern einerseits die staubförmigen Emissionen aus dicht bebauten Gebieten in die sie überstreichende Windströmung und verhindern andererseits eine Sedimentation der Luftfremd-

⁹ Auf die umfangreiche Literatur hierzu kann nicht näher eingegangen werden.

¹⁰ Die Zahl der Toten — oben zusammengestellt aus zahlreichen Quellen — ist mit Vorbehalt zu verstehen, da es nicht nachweisbar ist, inwieweit die Luftverunreinigung die direkte Todesursache war oder inwieweit sie Krankheiten verschärfte, die zum Tode führten.

stoffe, die in der allgemeinen Windströmung enthalten sind. Erst beim Erreichen von weniger bebauten Gebieten, die auch weniger Vertikalströmung der Luft hervorrufen, nimmt die Tendenz der festen Emissionen zur Sedimentation wieder zu. Die Ergebnisse HOFFMANNs bestätigen z.T. die Beobachtungen von F. ALBRECHT (1933) in Berlin, wonach tagsüber in der Straßenmitte eine absinkende, an den Hauswänden eine aufsteigende Luftbewegung herrscht, nachts dagegen der umgekehrte Vorgang stattfindet.

Grünanlagen, Parks und Wälder

Ausschließlich hemmend auf den Grad der Luftverunreinigung wirken Grünanlagen, Parks und Wälder, denn sie bewirken eine Abnahme der gasförmigen und festen Emissionen. Die mit Emissionen beladene Luft gelangt in Park- und Grünanlagen sowie in Wäldern oder im unmittelbaren Wirkungsbereich derselben unter verschiedenartige chemische und physikalische Einflüsse, die mehr oder minder stark zur Luftreinigung beitragen.

In chemischer Hinsicht wird dem Assimilationsvorgang luftreinigende Wirkung nachgesagt, indem Kohlendioxid aus der Luft aufgenommen und Sauerstoff an die Luft abgegeben wird. Während der Wachstumsruhe, wenn keine Assimilation stattfindet, ruht dieser Vorgang. Schon deshalb erscheint die Annahme sehr gewagt, daß die CO₂-Beaufschlagung der Luft durch die Assimilation wesentlich vermindert wird. Außerdem wird der zur Assimilation nötige CO₂-Bedarf normalerweise auch durch die Humuszersetzung bereitgestellt. Außerordentlich umstritten ist die Frage, welche Bedeutung die bei der Assimilation stattfindende gleichzeitige Aufnahme gasförmiger Emissionen, vor allem Schwefeldioxid, durch die Blattorgane für die Luftreinigung hat. ABRAMASVILI (zitiert nach F. LAMPADIUS 1963) behauptet, daß z.B. Fichtennadeln das in der Luft enthaltene Schwefeldioxid beim Assimilationsvorgang einatmen, wodurch es in den Nadeln zur Ablagerung von Sulfaten kommt. Von diesem Vorgang eine durchgreifende Luftreinigung zu erwarten, ist aber falsch, denn es ist erwiesen, daß die SO₂-Empfindlichkeit gerade der Nadelhölzer sehr groß ist und schon bei kurzfristiger Einwirkung von 0,4—0,5 mg/m³ zu irreparablen Schäden führt. Im allgemeinen sind die Pflanzen in der Lage, einen gewissen Anteil an Schwefeldioxid aufzunehmen und unschädlich zu machen, ohne dabei selbst Schaden zu erleiden. Im gesamten gesehen ist die Frage recht umstritten, in welchem Maße Grünanlagen und Wälder auf chemischem Wege zur Luftreinigung beitragen.

Erwiesen ist die auf physikalischem Wege¹¹ sich vollziehende luftreinigende Wirkung durch Grünanlagen und Wälder, bei der eine Aktiv- und

¹¹ Die hierfür im allgemeinen gebräuchliche Bezeichnung „Filterwirkung“ hat nach F. LAMPADIUS (1963) zu „irrtümlichen Vorstellungen über den Reinigungsvorgang und auch zu einer Überschätzung“ geführt (S. 248/249).

eine Passivwirkung (D. HENNEBO 1955) zu unterscheiden sind. Beim aktiven Einfluß handelt es sich um eine echte Filterwirkung, indem in Wäldern und Grünanlagen die festen Emissionen durch die Pflanzen ausgefiltert werden. Der Umfang der Aktivwirkung hängt zunächst ab von der Größe des Waldes oder der Grünanlage und der Struktur ihrer Pflanzungen (Dichte und Art der Bäume und Sträucher bzw. Gräser) sowie von der Menge und der Teilchengröße des eingewehten Staubes, von den meteorologischen Faktoren Windrichtung und -stärke und Vertikalaustausch. Die Aktivwirkung betrifft in den Städten vor allem die größeren Staubteilchen, die infolge ihrer Masse eine größere Tendenz zum Sedimentieren haben, und solche Stäube, die durch Advektion und Turbulenz in die Grünanlagen ge- weht worden sind und von ihnen festgehalten werden¹².

Die Passivwirkung von Grünflächen und Wäldern besteht darin, daß vor allem Anpflanzungen dichter Bestandesnatur, d. h. im wesentlichen Wälder, sich dem Wind als Strömungshindernis entgegenstellen und luftströmungsmäßig Geschwindigkeits-, Richtungs- und Druckunterschiede verursachen.

Während heute über die Tatsache der Filterwirkung durch den Wald Klarheit besteht, ist die Frage der Größe dieses Effektes wenig erforscht. Die vielseitige Abhängigkeit der in und durch Grün- und Waldflächen eintretenden Luftsanierung von der Bestandesstruktur und den meteorologischen Verhältnissen erlaubt nicht, die durch sie bedingten Vorgänge der Luftreinigung mit festen Regeln abzutun. Einleuchtend ist, daß Grünflächen am wenigsten Staub filtern, Parkanlagen — von Bäumen durchsetzt — bessere Staubfilter sind und Wälder die beste Filterwirkung haben. Entsprechend ist die Rangfolge hinsichtlich der Filterung gasförmiger Emissionen. Die Filterwirkung in Wäldern schwankt je nach der Beschaffenheit des Waldrandes, der Holzartenzusammenstellung, der Waldgliederung und der Bestockungsdichte. Nach R. MELDAU fängt ein aus Fichten bestehender Baumbestand von 1 ha Fläche rund 32 t, ein solcher aus Kiefern rund 36 t und einer aus Buchen rund 68 t Staub aus der Luft ab, bis an den Nadeln bzw. Blättern kein Staub mehr haften kann. Die staubreinigende Wirkung von Laubbäumen ist wesentlich größer als die von Nadelbäumen, was darin

¹² Auf der Aktivwirkung von Grünflächen und Wäldern beruht auch die vielfach erhobene Forderung von R. MELDAU, die durch Grünanlagen sich vollziehende „Selbstreinigung der Atmosphäre“ (1954) als Möglichkeit der Luftreinigung unbedingt neben die technischen Vorkehrungen zur Emissionsbekämpfung treten zu lassen. Auf die Filterwirkung von Grün- und Waldflächen stützen sich auch die zahlreichen Appelle des Siedlungsverbandes Ruhrkohlenbezirk, Essen, nach Schaffung und Erhaltung von Grünanlagen im Hauptwind Schatten von Industriebetrieben und nach einer Großgliederung des Ruhrgebietes durch breite Grünzonen, die als Trennzonen die einzelnen Belastungsbereiche umschließen sollen. Erfreulich sind die Maßnahmen der Oberforstverwaltung des Landes NRW, die damit begonnen hat, in fünf Städten des Ruhrgebiets Flußläufe und Bäche, Straßen und Ferngasleitungen mit Baumreihen und Sträuchern einzufassen.

begründet ist, daß die Auffangfläche bei Blättern erheblich größer ist als bei Nadeln. Dafür ist die staubreinigende Wirkung von Laubbäumen abhängig von den Jahreszeiten; im Winter und Frühjahr ist sie viel geringer als im Sommer und Herbst. Der an den Blättern, Nadeln und Ästen aufgefangene Staub wird mit dem Niederschlag auf den Boden transportiert, diesem aufgetragen und beigemengt und somit vor Aufwirbelung geschützt. Sie ist in Waldflächen kaum möglich, da die Windstärke durch Wald- und Baumbestände erheblich vermindert wird. Die Filterwirkung der Bäume wächst auch mit ihrer Höhe. Hohe Bäume und vor allem Baumkomplexe wirken staubreinigender als niedrige, da im allgemeinen das Blatt- bzw. Nadelwerk eines Baumes und damit seine Laub- bzw. Nadelfläche mit der Höhe zunimmt. Die Blatt- bzw. Nadelfläche eines Baumes beträgt über 1 m² Fläche auf dem Erdboden 5 bis 8 m².

Zusammenfassende Betrachtung der hemmenden und fördernden Faktoren der Luftverunreinigung

Der Grad der Luftverunreinigung wird häufig weniger durch einen einzelnen Faktor vermindert oder verstärkt, sondern vielmehr durch das Zusammenwirken einzelner oder mehrerer meteorologischer, orographischer und anthropogener Faktoren, wie es im äußersten Fall das Zustandekommen der „Nebelkatastrophen“ beweist. Die Bildung des gefährlichen „Smog“ (= smoke + fog) in großen Industriebecken (z. B. Los Angeles, London) beruht auf ähnlichen meteorologisch-orographischen Voraussetzungen wie die Entstehung der Nebelkatastrophen: Die Abgase der verschiedensten Emittenten sammeln sich auf Grund einer mächtigen Inversionsschicht, verbunden mit geringer oder fehlender Windstärke und unterbundener Turbulenz, in Mulden und Becken an und bewirken hier mit mehrtägiger Konstanz der meteorologischen Voraussetzungen eine zunehmende Anreicherung der Luft mit festen und gasförmigen Emissionen. Überhaupt sind Windstille, Inversion, stabile Luftschichtung, fehlende Niederschläge und geringe Turbulenz jene Faktoren, die einzeln und vor allem kombiniert den Grad der Luftverunreinigung ausschließlich heraufsetzen. Gesteigert wird die Höhe der Immissionen ferner durch dicht bebaute Siedlungsräume sowie durch eine orographisch ungünstige Lage von Industrie und Siedlungen und durch das Fehlen von Wäldern, Grünflächen und Parkanlagen. Gerade die zuletzt genannten Faktoren sind von großem Einfluß auf die Verminderung vor allem fester, aber auch gasförmiger Emissionen. Die Pflege der vorhandenen Wald- und Grünflächen sowie die Schaffung derartiger Anlagen in unmittelbarer Nähe und in Hauptwindrichtung von Siedlungs- und Industriegebieten sind deshalb geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse. Neben Wald- und Grünflächen als anthropogenen Faktoren zur Verminderung des Grades der Luftverunrei-

gung wird die Höhe der Immissionen durch die meteorologischen Faktoren: lebhaftete Winde, Turbulenz, labile Schichtung und Niederschläge — je nach der Stärke ihrer Ausbildung — herabgesetzt.

F. TEICHERT (1957) leitete aus Messungen des Staubgehalts folgende Abhängigkeit zwischen den meteorologischen Vorgängen und dem Staubgehalt her:

Kennzeichen der Witterung	Viel Staub	Wenig Staub
Sommer		1,5
Winter	3,0	
Gute Sicht		0,5
Dunst oder Nebel	3,5	
Maritime Polarluft		1,5
Kontinentale Polarluft	2,5	
Stark bewölkt oder bedeckt		2,0
Wolkenlos oder heiter	2,5	
Schauerniederschläge		1,0
Regen oder Schnee	2,5	
Stark windig		1,5
Schwach windig	2,0	

(Die Zahlen geben relative Einheiten an)

5. Tages-, Wochen- und Jahresgang der Luftverunreinigung

Die im vorangehenden Abschnitt besprochenen hemmenden und fördernden Faktoren der Luftverunreinigung bewirken auf Grund ihrer tages- und jahreszeitlich schwankenden Intensität und vor allem in Verbindung mit dem zeitlich schwankenden Energieverbrauch in Haushalt und Industrie als auch in Verbindung mit dem unterschiedlich starken Kraftfahrzeugverkehr, daß die Höhe der Immissionen sich nicht gleichmäßig über einen Tag, eine Woche und ein Jahr verteilt. Vielmehr gilt ein mehr oder weniger deutlicher Tages-, Wochen- und Jahresgang der Luftverunreinigung.

Der Tagesgang der Luftverunreinigung wird entscheidend geprägt durch die Lebensgewohnheiten des Menschen: Energieverbrauch in Haushalten und Kleinindustrie sowie Kraftverkehr. Er unterliegt aber auch stark den meteorologischen Einflüssen, vor allem den tageszeitlich schwankenden vertikalen Austauschvorgängen. Angesichts des Einflusses vom Menschen auf die Höhe der Emissionen ist es verständlich, daß der Tagesgang auf dem freien Land weniger ausgeprägt ist als in der Stadt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann nur kurz der Tagesgang der Luftverunreinigung skizziert werden¹⁵: Nach dem nächtlichen Minimum zwischen 2 und 3 Uhr steigen am frühen Morgen die Emissionen bis zu einem Maximum um etwa 8 Uhr an. Die Gründe hierfür sind einerseits der

¹⁵ Bzgl. des Tages- und Wochenganges der Luftverunreinigung werden hier vornehmlich die Ergebnisse von E. EFFENBERGER und A. LINDNER (1957/58) referiert.

Beginn der Fabrik- und Hausfeuerung und das Einsetzen eines verstärkten Kraftverkehrs und andererseits das Vorhandensein einer Inversionsschicht in Erdbodennähe und das durch sie bedingte Fehlen vertikaler Austauschströmungen, was vor allem im Winter und in den Übergangsjahreszeiten der Fall ist. Das zeitliche Auftreten des Morgenmaximums an Immissionen schwankt je nach der Zeit des Sonnenaufgangs; im Sommer liegt es vor und im Winter nach 8 Uhr. Erst nach der Auflösung der bodennahen Inversionsschicht und dem Einsetzen des Vertikalaustausches — bedingt durch die Sonneneinstrahlung — nehmen die Immissionen am Vormittag ab, mit einer kleinen Verzögerung um die Mittagszeit (durch die Hausfeuerung), um am Nachmittag bei der dann am stärksten ausgebildeten vertikalen Durchmischung ihr Minimum zu erreichen. Das am späten Nachmittag oder Abend eintretende kleine Maximum ist auf die neuerliche bzw. noch bestehende Hausfeuerung bei schon nachlassender Luftbewegung zurückzuführen und tritt deshalb jahreszeitlich zu verschiedenen Tageszeiten auf. Im Mittel liegt es um 19 Uhr. Von da ab nehmen die Immissionen bis gegen Mitternacht nur schwach, dann aber stärker ab. Auf meteorologische Einflüsse ist es zurückzuführen, daß die Amplitude des Tagesgangs im Sommer wesentlich kleiner ist als im Winter, wo die täglichen Inversionen am stärksten und die Turbulenz am schwächsten ausgebildet sind. Im Mittel ist der Grad der Luftverunreinigung in der Nacht um 20 % höher als am Tage.

Von der Tätigkeit des Menschen in Industrie und Gewerbe besonders geprägt ist der *Wochengang* der Luftverunreinigung. Auf Grund der starken Beeinflussung durch den Menschen hat der wöchentliche Gang der Luftverunreinigung am Sonntag sein Minimum und liegt auch am Samstag und Montag unter den normalerweise etwa gleichhohen Emissionen und Immissionen von Dienstag bis Freitag.

Vornehmlich bedingt durch die im Winter schwächere Vertikalzirkulation und das häufige Auftreten von Inversionen, weniger aber durch die verstärkte Hausfeuerung, bildet sich ein *Jahresgang* der Luftverunreinigung mit dem Maximum an Immissionen im Winter und dem Minimum im Sommer. Der Jahresgang ist mit einer Sinuskurve zu vergleichen: An den Wendepunkten liegen die Monate April/Mai bzw. Oktober/November; das Minimum wird vom Juni/Juli und das Maximum vom Dezember/Januar gebildet.

6. Schäden durch Luftverunreinigung

Auf Grund ihrer chemischen und physikalischen Beschaffenheit wirken die festen und gasförmigen Luftverunreinigungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen nicht nur belästigend, sondern vor allem schädigend. Die Gesundheits- und Wachstumsschäden an Menschen und Tieren bzw. Pflanzen werden im wesentlichen durch toxische Gase hervorgerufen, deren Konzen-

tration in der Atmosphäre oft die Widerstandsfähigkeit von Menschen, Tieren und Pflanzen übersteigt. Unter den Pflanzenschäden durch die Luftverunreinigung ist der Krüppelwuchs der Koniferen am bekanntesten. Weit mehr Interesse als die Frage nach den immissionsbedingten Pflanzenschäden hat die Frage nach den Auswirkungen der Luftverunreinigung auf die menschliche Gesundheit gefunden.

Gesundheitsschäden für den Menschen

Die mögliche Beziehung zwischen Luftverunreinigung und menschlicher Gesundheit hat in steigendem Maße die Aufmerksamkeit zahlreicher Mediziner des Ruhrgebiets gefunden, unter denen vor allem K. P. FAERBER, J. WÜSTENBERG und R. LANGMANN zu nennen sind. Seit einigen Jahren stellt ein Arbeitsteam — bestehend aus dem Gesundheitsamt Oberhausen und der Abteilung Lufthygiene des Hygiene-Instituts in Gelsenkirchen — an Bevölkerungsgruppen aus dem Ruhrgebiet und vergleichsweise aus industriearmen Gebieten am Niederrhein Untersuchungen zur Frage eines ursächlichen Zusammenhanges zwischen der Luftverunreinigung und dem gehäuften Auftreten bestimmter Krankheitserscheinungen an. Diese Untersuchungen lassen den Schluß zu, „daß Luftverunreinigungen mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit entsprechend ihrer Spezifität für das Entstehen bestimmter krankhafter Veränderungen beim Menschen verantwortlich zu machen sind“ (K. P. FAERBER, A. HOFFMANN, G. SCHMITZ 1959, S. 510). Die gerade in den letzten Jahren intensivierten Untersuchungen über Einflüsse von Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit „erhärten die Richtigkeit der Vermutung, daß die Gesundheit von Menschen, die in luftverschmutzten Gebieten zu leben gezwungen sind, stärker gefährdet ist als die von Vergleichsgruppen in sauberer Wohnlage“ (K. P. FAERBER, A. HOFFMANN 1961, S. 17).

Trotz aller erkenntnisreichen Untersuchungen sind sich die Mediziner noch unklar über die Frage, in welcher Art und in welchem Umfang Luftverunreinigungen die menschliche Gesundheit schädigen und von welcher Wirkung die einzelnen luftverunreinigenden Stoffe auf den Menschen sind. Hinsichtlich des Einflusses von Luftverunreinigungen überhaupt scheinen in direkter Weise die gasförmigen Luftfremdstoffe von größerem, weil schädigendem Einfluß zu sein als die festen Immissionen, die in erster Linie als Belästigung empfunden werden; indirekt aber sind gasförmige und feste Emissionen von gleich schädigendem Einfluß. So soll die Dunstglocke und die durch sie verminderte Einstrahlung z. B. die Rachitishäufigkeit fördern. Manche Forscher neigen sogar zu der Annahme, daß eine Kausalkette zwischen Luftverunreinigung und bestimmten Krankheiten besteht. Der wissenschaftliche Nachweis dafür ist aber schwierig, da unter Umständen eine lange Inkubationszeit zwischen Einwirkung eines Luftverunreinigers und seiner eventuellen Folgeerscheinung bestehen dürfte. Erst weitere

wissenschaftliche Forschung wird Klarheit in diesen äußerst umstrittenen Fragenkomplex bringen und ggf. die in Industrie- und Großstädten weit verbreitete Meinung rechtfertigen, daß Luftverunreinigungen in der Tat die Ursachen bestimmter Krankheitserscheinungen sind.

Ein schwerwiegender Fehler wäre es, „die wahrscheinliche Gefährdung der öffentlichen Gesundheit durch die wachsende Luftverunreinigung zu bagatellisieren. . . . Besserungsmaßnahmen müßten notwendigerweise tief in das Gefüge der Zivilisation eingreifen und erfordern das Mitwirken aller verantwortungsbewußten Stellen, daß diese bedrückende Erscheinung, die zur Geißel der modernen Industriegesellschaft zu werden droht, beherrscht werden kann“ (J. KRÄMER 1963, S. 45).

Schädigung der Vegetation¹⁴

Ohne Berücksichtigung der Tatsache, daß in Groß- und Industriestädten durch die verringerte Einstrahlung die Lebensbedingungen der Pflanzen- und Lebewelt eingeschränkt sind und ihr Wachstum geschwächt ist, sind die Vegetationsschäden durch Rauchgase und mithin gasförmige und feste Immissionen im folgenden kurz zu erörtern. Die allgemein unter dem Begriff „Rauchschäden“ zusammengefaßten Einwirkungen hängen in der Art und Weise sowie der Stärke ihres Einflusses auf die Vegetation wesentlich ab von innerpflanzlichen und umweltbedingten Faktoren (vor allem von der Empfindlichkeit gegen Luftverunreinigungen), aber auch von der Art der Luftverunreinigungen und ihrer chemischen und mineralischen Zusammensetzung. Verstärkt oder erst hervorgerufen werden Beschädigungen der Vegetation oft auch durch das gleichzeitige Vorkommen und das Zusammenwirken verschiedener Emissionen, die einzeln auftretend im allgemeinen ungefährlich sind. Über die Kombinationswirkungen verschiedener Emissionen bestehen bisher jedoch nur unvollkommene und durch weitere Forschungen noch zu bestätigende Ergebnisse.

Für die Rauchschäden verantwortlich zu machen sind die Emissionen aus Industrie, Verkehr und Haushalt. Hinsichtlich des Anteils dieser drei großen Gruppen von Emittenten an dem Ausmaß der Rauchschäden überhaupt bezeichnet J. STOKLASA (1923) die Hausfeuerungen als den hauptsächlichsten Urheber. Widerlegt wird STOKLASAS Aussage u. a. von BERGERHOFF (1928), der auf Grund von Beobachtungen des Pflanzenwachstums während der Ruhrbesetzung 1923 — als die Industrie stillstand, die Hauskamine aber

¹⁴ In diesem Abschnitt kann nur eine kurze Einführung in das umfassende Gebiet der „Rauchschäden“ gegeben werden. Hingewiesen sei auf die umfangreiche Rauchschadenliteratur, in der folgende Arbeiten besonders zu nennen sind: VON SCHRÖDER, S. und REUSS, C. (1883), HASELHOFF, E. und LINDAU, G. (1903), WIELER, A. (1905), SORAUER, P. (1911), WISLICENUS, H. (1914), STOKLASA, J. (1923), HASELHOFF, E. (1932), HASELHOFF, E. u. BREDEMANN, G. u. HASELHOFF, W. (1932), neuerdings KATZ, M. (1949), THOMAS, D. M. (1951), STRATMANN, H. (u. a. 1956) und BERGE, H. (vor allem 1963).

weiterhin rauchten — zu dem Ergebnis kam, daß „die Hausfeuerungen in den Städten des Ruhrgebiets für die Vegetation ungefährlich sind. Als Urheber der Rauchschäden muß allein die Industrie angesehen werden.“ K. F. WENTZEL (1956) unterstreicht die Richtigkeit dieser Aussage durch Beobachtungen der Vegetation im Ruhrgebiet in den Jahren 1945 und 1946, als bei Stillstand der Industrie die Vegetation in einer Weise aufblühte, wie es Jahre zuvor nicht der Fall gewesen ist. Sicherlich lassen diese Beobachtungen keinesfalls den Schluß zu (der allerdings von BERGERHOFF gezogen wurde), daß nur die Emissionen der Industrie, nicht aber die der Haushaltungen die Rauchschäden bedingen; vielmehr lassen die Beobachtungen es als berechtigt erscheinen, daß die Rauchschäden weit mehr von der Industrie als von den Hausfeuerungen herbeigeführt werden. Dieser naheliegende Schluß ist meiner Meinung nach darin begründet, daß Verbrennungsvorgänge — die im wesentlichen die Entstehung von Emissionen bedingen — in weit größerer Anzahl und Stärke in der Industrie als in den Haushaltungen stattfinden und außerdem die sonstigen emissionserzeugenden Vorgänge (technische Herstellungsprozesse) ausschließlich für die Industrie, nicht aber für die Haushaltungen zutreffen. Hinzu kommt, daß der Hausbrand während des Winterhalbjahres in Tätigkeit ist, wo die nicht oder nur kaum assimilierende Vegetation keinen oder nur unwesentlichen Schaden durch Rauchgasgifte erleiden kann.

Die Einwirkungen fester Emissionen auf die Vegetation werden in der Literatur recht unterschiedlich dargelegt. Umstritten ist die grundsätzliche Frage, ob feste Luftverunreinigungen wie Flugasche, Staub und Ruß das Wachstum der Pflanzen oder einzelne Lebensfunktionen derselben hemmen oder aber fördern. Wasserunlösliche Flugstaubbestandteile, die den größten Teil der festen Emissionen ausmachen, werden allgemein für unschädlich gehalten. Eine mehr oder weniger dicke Flugstaubschicht auf den oberirdischen Pflanzenorganen wirkt weder hemmend noch fördernd auf das Wachstum. Verschiedene Autoren jedoch (M. S. GOLDBERG 1957, H. BARTH 1962, H. ULLRICH 1963) halten es für möglich, daß es durch die Staubschicht zu einer Schwächung des Lichtgenusses und damit zur Verringerung der Assimilation kommt, doch ist diese Vermutung noch nicht wissenschaftlich erwiesen. Auch ein Verkleben oder Verstopfen der für den Gasaustausch wichtigen Spaltöffnungen ist kaum zu befürchten — obwohl sie schon bei sehr niedrigen Staubmengen erfolgen kann —, da die Stomata sich ausschließlich an der Blattunterseite befinden (E. HASELHOFF und G. LINDAU 1903).

Durch die wasserlöslichen Bestandteile der festen Immissionen kann es zu Ätzverletzungen kommen. Jedoch treten derartige osmotische Gewebeschäden sehr selten auf, da wasserlösliche, feste Immissionen nur minimal vorkommen und deshalb für Ätzverletzungen große Mengen derselben erforderlich sind.

Neben der Möglichkeit der direkten Einwirkung fester Emissionen auf den Organismus besteht auch die Möglichkeit eines indirekten Einflusses derart, daß Flugasche, Staub und Ruß, die auf den Erdboden gelangen und mit dem Niederschlagswasser in den Boden transportiert werden, von dort aus über die Wurzeln auf die Pflanzen einwirken. Im allgemeinen jedoch ist der Niederschlag fester Emissionen auf den Erdboden zu gering, um Wachstumsschäden herbeizuführen. So fand H. G. von BOMHARD (1955) bei Vegetationsversuchen mit Steinkohlenflugasche, daß erst die zwanzigfache Menge des durchschnittlichen Niederschlages an Flugasche — auf Grund der Alkalität derselben — Ertragsdepressionen bewirkt. Andere Versuche allerdings ergaben, daß bei stark sauren Böden geringe Beimengungen von Steinkohlenflugasche (wie sie im Mittel im Ruhrgebiet auftreten) das Wachstum der Versuchspflanzen vielfach förderten.

Im Gegensatz zu der umstrittenen Frage bzgl. des Einflusses fester Emissionen auf die Vegetation sind die Einwirkungen gasförmiger Emissionen wissenschaftlich erwiesen, insofern Gase das Wachstum der Pflanze hemmen und zerstören.

Auf den Gehalt der Luft an Schwefeldioxid reagieren die Pflanzen wesentlich empfindlicher als Menschen und Tiere. Bis zu einem gewissen Grade vermögen die Pflanzen das mit dem lebensnotwendigen Kohlendioxid durch die Spaltöffnungen der Blätter aufgenommene SO_2 zu neutralisieren und unschädlich zu machen, indem das SO_2 zu Sulfaten oxydiert und in organische Schwefelverbindungen (z. B. Aminosäure) eingebaut wird. Die Sulfatbildung wird durch Licht gefördert, während der Einbau des Schwefels in Aminosäuren unabhängig vom Licht erfolgt (H. BERGE 1963). Die Entgiftung des SO_2 steigt mit zunehmender Gewebepufferung. Zum Teil beruht hierauf die durch Grünflächen und Wälder erfolgende Reinigung der Luft. Die Toxizität des Schwefeldioxid gegenüber der Vegetation, die nur von der des Formaldehyds und Fluorwasserstoffs übertroffen wird (die allerdings nur in Ausnahmefällen schädliche Konzentrationen erreichen), beruht auf seinen reduzierenden Eigenschaften. Je nach Einwirkungsdauer und -konzentration gelangen unterschiedliche Mengen von SO_2 zusammen mit dem CO_2 durch die Spaltöffnungen in die Blattzellen, wo sie oxydiert werden (siehe oben). Dabei kommt es höchstens zu leichten Störungen der Lebensfunktionen. Beim Überschreiten der für die Pflanzen unterschiedlich hohen Höchstkonzentration von SO_2 , ebenso bei kurzfristigen Extremwerten, werden die Blattzellen zunächst inaktiviert und dann abgetötet, wobei die Schäden oft nicht makroskopisch, sondern mikroskopisch erkennbar sind. Da außerdem „ganz allgemein keine einfache, etwa lineare Beziehung zwischen der Wirkstoffkonzentration und der Giftwirkung“ (H. ULLRICH 1963, S. 148) besteht, ist es abzulehnen (siehe auch H. BERGE 1963), allgemeine SO_2 -Grenzwerte für die Lebensfähigkeit der Pflanzen aufzustellen, wie sie mit $0,8 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ Luft von M. KATZ und McCALLUM

(1952) sowie von THOMAS, HENDRICKS und HILL (1952), mit $0,5 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ Luft von der World Health Organization (1964) oder mit $0,35 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ von H. WISLICENUS (1937) aufgestellt worden sind.

Der Grad der Schädigung durch Schwefeldioxid hängt nicht nur ab von der Einwirkungsdauer und -konzentration des SO_2 , wobei hohe Konzentrationen die Pflanzen in kurzer Zeit stärker schädigen als niedrige Konzentrationen bei entsprechend längerer Einwirkung (H. VAN HAUT 1961), sondern auch von der Konzentration der Pflanzen und ihrer Resistenz gegen SO_2 . Die Resistenz der Pflanzen läßt sich nach H. BERGE (1963) jedoch nicht in allgemeingültige Gesetze für einzelne Pflanzen, Pflanzengattungen und -familien fassen (J. STOKLASA 1923), sondern sie ist abhängig von der Umwelt, in der die Pflanzen leben. Die Resistenzunterschiede gleicher Pflanzen an verschiedenen Standorten sind durch den Einfluß klimatischer, orographischer, edaphischer und biotischer Faktoren bedingt.

Alle Schäden, die auf SO_2 -Einfluß zurückzuführen sind, setzen an den Blättern und kaum an anderen Pflanzenteilen an. Da der Gas- und somit Schadstoffzutritt über die gesamte Blattfläche nicht gleichmäßig zu erfolgen pflegt, sondern stark abhängig ist von dem lokal verschiedenen Spaltöffnungszustand der Blätter, findet man unter Umständen Schädigungen, die gewisse Blattstellen besonders treffen, vor allem oft die Blattspitzen, die altersmäßig die jüngsten Teile der Blätter sind und deshalb auch besonders empfindlich auf gasförmige Immissionen reagieren. Das durch SO_2 bedingte Absterben von Blattzellen zeigt sich äußerlich recht auffallend in rotbraunen Flecken. Haben die Blattschäden größere Ausmaße erreicht, so wird das gesamte Blattorgan abgestoßen. Im weiteren Verlauf wird das Wachstum der gesamten Pflanze gehemmt; Verkümmierungen und Krüppelwuchs oder sogar das Absterben der Pflanzen sind die Folge.

Besonders SO_2 -gefährdet sind unter den Forstkulturen die Nadelhölzer, da sie der geringen Regenerationsfähigkeit wegen auf den Verlust ihrer Blätter (Nadeln) außerordentlich empfindlich reagieren. Außerdem werfen sie auch im Winter, der Zeit der größten SO_2 -Einwirkung, ihr Grün nicht ab; sie sind somit das ganze Jahr über dem Einfluß des SO_2 ausgesetzt. Im Ruhrgebiet zeigen sich die Einwirkungen des SO_2 auf die Koniferen an dem Krüppelwuchs sowohl der etwas widerstandsfähigeren Kiefern als auch der SO_2 -anfälligeren Fichte und Tanne. Koniferen insgesamt sind anfälliger gegen Schwefeldioxid als Laubbäume; unter diesen wiederum werden Esche und Buche leichter geschädigt als Ulme und Pappel. Aus diesem Grund wird in rauchgefährdeten Gebieten, so auch im Ruhrgebiet, allmählich der Nadel- in Laubwald umgewandelt. Als waldbauliche Maßnahme gegen Immissionsschäden schlägt K. F. WENTZEL (1963) die Anlage von Schutzstreifen in Form von Laubwäldern vor, die am Waldesrand oder höheren Stellen eines Waldes den einströmenden Luftverunreinigungen entgegen-

gestellt sind; außerdem rät er zu vorbeugenden Maßnahmen zur Bestandspflege und Holznutzung (u. a. keine Kahlschläge am Waldrand), Verbesserung der Wachstumsbedingungen (durch Düngung) und geeignete Saat- und Pflanzgutauswahl. Diese Vorschläge WENTZELS und der in der Praxis sich bereits vollziehende Übergang vom Nadel- zum Laubwald bedeuten wegen des geringen Holzzuwachses eine Verminderung der Wirtschaftlichkeit des Waldes. Die Wachstumsschäden an der Vegetation bilden nur einen Teil der gesamten wirtschaftlichen Schäden, die durch Immissionen, speziell gasförmige, hervorgerufen werden. In den USA wird der Schaden durch Luftverunreinigung auf jährlich 1,5 Milliarden Dollar geschätzt (SEILER 1954).

II. DIE STÄDTISCHE FLECHTENVEGETATION UND IHRE BEEINFLUSSUNG DURCH UMWELTFAKTOREN

Seit Jahrzehnten bereits gilt die im vorigen Jahrhundert gemachte Feststellung als gesichert, daß das Wachstum der meisten Flechten in den Städten gehemmt und geschädigt wird. Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung wurde in dem Einfluß entweder des Stadtklimas und seiner Faktoren schlechthin oder aber speziell in der Luftverunreinigung gesucht. Bevor anhand der Verbreitung rindenbewohnender Flechten im mittleren Teil des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes die Frage nach den Ursachen der Schädigung der Flechtenvegetation zu klären versucht werden soll, ist es notwendig, die Biologie und Ökologie der Rindenflechten kurz zu beschreiben und die wesentlichen Aussagen früherer Untersuchungen der städtischen Flechtenvegetation zu charakterisieren.

1. Grundzüge zur Biologie der Flechten, vornehmlich der Rindenflechten in Städten

Die Flechten (Lichenes) gehören zu den eigenartigsten Organismen der Pflanzenwelt. Die Rinde der Bäume, der Erdboden und sogar nacktes Gestein sind die Unterlagen (Substrate), auf denen (als Epilichenes) oder in sie hineinversenkt (als Endo- oder Kryptolichenes) die Flechten leben. Als Wasserflechten (Hydrolichenes) leben sie sogar im Wasser. Flechten finden sich in allen Klimabereichen der Erde, sowohl in der arktischen Tundra als auch in den höchsten Gebirgsregionen, jedoch am stärksten verbreitet in kühlen und kalten Klimaten. Ihr weltweites Vorkommen an den verschiedensten Standorten unterstreicht, daß die Flechten zu den genügsamsten Pflanzen zählen. Oft werden sie die „Pioniere der Pflanzenwelt“ genannt (W. NIENBURG 1921). Unter den unscheinbaren Flechten herrscht ein großer Reichtum an Wuchsformen¹⁵, angefangen von den unauffälligen krustenartigen Überzügen über laubartige Körper bis hin zu strauchartigen Formen¹⁶.

¹⁵ Der Begriff „Wuchsform“ ist im folgenden in Anlehnung an F. MATTICK (1952) gebraucht, wobei hierunter lediglich die äußere Gestalt (Form) der Flechten zu verstehen ist (Krusten-, Laub-, Strauchflechten). Zu unterscheiden ist dieser Begriff vor allem von dem Ausdruck „Lebensform“ (z. B. epiphylloisch = auf Rinden lebend).

¹⁶ Die Vielseitigkeit in der Wuchsform der Flechten beschreibt schon ALEXANDER VON HUMBOLDT in seinen „Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse“ (Tübingen 1806):

In ihrer vielseitigen Natur erscheinen die Flechten als einheitliche Organismen. In Wirklichkeit aber sind sie Doppelorganismen, in denen Pilz und Alge in einer Lebensgemeinschaft vereint sind und ein eigenständiges, autotrophes Lebewesen bilden. Die Pilze sind meist Schlauchpilze (*Ascomycetes*), während die Algen vorwiegend Grün- (meistens Vertreter von *Protococcaceen* und *Pleurococcus*) und Blaualgen sind. Der Flechtenkörper (Thallus) setzt sich deshalb aus beiden Symbiosepartnern (Pilz und Alge) zusammen, deren Anteile an der von ihnen gebildeten Flechte als Hyphen bzw. Gonidien bezeichnet werden. Bei den meisten der 400 Gattungen und 18 000 bis 20 000 Arten (F. MATTICK 1954) ist der Pilz in Masse vorherrschend und für die Wuchsform der Flechten verantwortlich. Die Flechten vermehren sich in der Hauptsache vegetativ, indem sich aus Bruchstücken (Soredien) von Flechten — das sind von Pilzfäden umspinnene Algenzellen — neue Flechtenkörper bilden.

Der Wuchsform nach unterscheidet man Krusten-, Laub- (oder Blatt-) und Strauchflechten. Bei den Krustenflechten liegt der Thallus wie eine Kruste dem Substrat auf und ist eng mit ihm verbunden. Die Laub- oder Blattflechten bilden einen flächigen Thallus, welcher der Unterlage nur lose anhaftet. Bei den Strauchflechten steht der Thallus mehr oder weniger vom Substrat ab.

2. Ökologie der Rindenflechten

Den Gesamtkomplex von Umweltfaktoren, der das Gedeihen epixyler Flechten in den Städten beherrscht, kann man wie bei anderen Lebensgemeinschaften in klimatische, edaphische und biotische Faktoren gliedern. Da es sich bei den Flechtengesellschaften um topographisch unselbständige Pflanzenbestände gleicher Wuchsformzusammensetzung, also um sog. „Synusien“ (nach H. GAMS) handelt, sind mikroklimatische und mikroedaphische Faktoren von besonderer Bedeutung.

Biotische Faktoren

Zu den biotischen Faktoren zählen die direkten und indirekten Schädigungen der Flechtenvegetation durch Menschen und Tiere. Direkte Schäden am Flechtenbewuchs verüben z. B. Rinder, Pferde und Schweine durch Abscheuern der Baumrinden und mithin der auf ihnen siedelnden Flechten, ferner Vögel durch Verwendung von Flechten zum Nestbau (R. BESCHEL 1958) und vor allem Schnecken und Milben durch den Fraß von

„... aber auf dem nackten Gestein, sobald es zuerst die Luft berührt, bildet sich in den nordischen Ländern ein Gewebe sammtartiger Fasern, die dem unbewaffneten Auge als farbige Flecken erscheinen. Einige sind durch hervorragende Linien bald einfach bald doppelt begränzt; andere sind in Furchen durchschnitten und in Fächer geteilt. Mit zunehmendem Alter verdunkelt sich ihre lichte Farbe. Das fernleuchtende Gelb wird braun, und das bläuliche Grau der Leprarien verwandelt sich nach und nach in ein staubartiges Schwarz“ (S. 25, nach der Ausgabe von M. DITTRICH 1959).

Flechten. Abgesetzte Exkremete der Tiere schädigen das Wachstum der meisten Flechten, ausgenommen sind die nitrophilen („stickstoffliebenden“) Flechten (J. BRAUN-BLANQUET 1951). Der Einfluß des Menschen auf das Wachstum der Flechten reicht vom Abkratzen, Kalken und Spritzen von Obstbäumen bis hin zu der mehr oder weniger schädigenden Wirkung des Stadtklimas und der Luftverunreinigung.

Edaphische Faktoren

Das Wachstum der Flechten hängt ab von dem Substrat, auf dem die Flechten siedeln. Im folgenden soll nur die Baumrinde als Substrat kurz erörtert werden, da sich die Untersuchung lediglich auf rindenbewohnende Flechten bezieht.

Da Flechten meist feuchtigkeitsliebende Organismen sind, konzentriert sich ihre Besiedlung auf die Wetterseite der Bäume. Dies ist auch durch die Vermehrung der Flechten bedingt, indem Bruchstücke fortgeweht werden und auf geeigneten Substraten sich zu Flechten entwickeln. Nur unter günstigen klimatischen Bedingungen nehmen Flechten den vollen Stammumfang ein. Im gesamten gesehen ist die Baumrinde das bevorzugte Substrat von Krustenflechten.

Auf den Baumrinden herrschen unterschiedliche Wachstumsbedingungen für die Flechten vor. Sie beruhen auf klimatischen Faktoren (Besonnung, Feuchtigkeitsgrad, u. a.) sowie auf der Rissigkeit der Borke, ihrem Vermögen abzublättern und dem Absorptionskoeffizienten des Substrates für Feuchtigkeit. Glatte Rinde erschwert die Ansiedlung der Flechten, da die Fortpflanzungsorgane trotz Haftwurzeln auf der Unterlage nur schwer haften können; rissige und unebene Borke dagegen begünstigt die Ansiedlung von Flechten. Das Abblättern der Rinde, das für die Verbreitung der Rindenflechten von großer Bedeutung ist, erfolgt bei den einzelnen Baumarten verschieden schnell. Nach Versuchen von V. VARESCHI (unveröffentlichte Mitteilung, zitiert bei R. BESCHEL 1958, S. 83) lassen sich die untersuchten Bäume nach Zunahme der Geschwindigkeit des Abblätterns der Rinde in folgende Reihe stellen: Buche — Tanne — Bergahorn — Eiche — Erle — Weide — Fichte — Zirbe — Lärche — Legföhre — Platane — Waldkiefer (unterer Teil) — junge Birke — Eibe — Waldkiefer (oberer Teil). Nicht aufgeführt sind die häufig anzutreffenden Straßebäume Linde, Ulme, Akazie, gemeine Robinie, Kastanie, Birke und Esche. Aus den Beobachtungen V. VARESCHIS läßt sich hinsichtlich der Straßebäume nur feststellen, daß die Platane schneller und damit häufiger ihre Rinde verliert als der Bergahorn.

Wichtig für das Wachstum der Rindenflechten ist die Absorptionsfähigkeit der Baumrinde für Wasser. Sie ist im allgemeinen bei rissigen und rauhen Borken größer als bei glatten, an denen der Niederschlag schnell

abfließen kann. Nimmt die Baumrinde viel Wasser auf — vorausgesetzt, daß es als Niederschlag oder als relative Luftfeuchte zur Verfügung steht —, so wird auch der Flechtenbestand durchfeuchtet und das Wachstum gefördert.

Klimatische Faktoren

Von entscheidendem Einfluß auf das Wachstum und die Verbreitung der Flechten auf kleinem Raum sind die klimatischen Faktoren Licht, Feuchtigkeit (und Trockenheit) und Luftverunreinigung, denn sie bestimmen das Ausmaß der lebenswichtigen physiologischen Vorgänge der Flechten. Diese Faktoren stehen in einer engen Wechselwirkung, so daß der Einfluß und damit die Bedeutung eines einzelnen Faktors nur selten klar zutage tritt. Schon hierauf beruhen die verschiedenen Ansichten über die Ursache der Flechtenschädigung in den Städten.

Das Wachstum der Flechten hängt zunächst von den Licht- und Feuchtigkeitsverhältnissen des Standortes ab. Flechtenvorkommen an extrem trockenen und größter Sonneneinstrahlung ausgesetzten Standorten führen zu dem Schluß, daß Flechten große Hitze und Trockenheit ertragen können, ohne geschädigt zu werden. Die Flechten können ebenso gut langdauernde Austrocknung und Sonnenbestrahlung vertragen wie monatelange Schnee- und Eisbedeckung bei starker Kälte (F. MATTICK 1946). O. L. LANGE (1953) zeigte, daß Flechten (*Cladonia pyxidata*) Temperaturen von -70° bis $+100^{\circ}$ C aushalten können. Flechten können über ein Jahr lang in völliger Dürre leben, ohne irgendwelche Schäden davonzutragen. Durch besondere Thalluseigenschaften sind die Flechten vor allen anderen Pflanzen der Gefahr einer sehr hohen und schnellen Erhitzung bei starker Sonnenbestrahlung ausgesetzt. Als poikilohydre Pflanzen (LANGE 1954) trocknen sie bei Besonnung schon nach kurzer Zeit aus, zumal ihnen die Transpiration als Möglichkeit des Hitzeschutzes fehlt.

Vielfach werden die Flechten auch als besonders lichtliebend charakterisiert, da viele Arten schattige Standorte meiden (R. BESCHEL 1950). Als Beweis hierfür führt P. K. HAUGSJA (1930) an, daß die Waldrandvegetation an der Lichtseite dicht mit Flechten bewachsen ist, die Bäume zum Waldinnern jedoch mehr und mehr flechtenärmer und zum Großteil nur noch von (wenigen) schattenliebenden Arten besiedelt werden.

Die Belichtung ist lebensnotwendig für die Flechten, da sie autotroph sind und Licht zur Assimilation benötigen. Die Lichtintensität und die Zusammensetzung der Gesamtstrahlung hängen von vielen Faktoren ab, von Jahres- und Tageszeiten, von der Exposition, von der Neigung der Aufnahmefläche. Die Strahlungsverhältnisse werden in Groß- und Industriestädten durch die Luftfremdstoffe beeinflusst. Allzu starke Belichtung, wie sie bei langen Schönwetterperioden auftreten kann, bewirkt eine rasche Aus-

trocknung der Flechtenlager und kann schädigend auf das Flechtenwachstum sein, vor allem, wenn eine starke Erhitzung feuchter und gequollener Flechten erfolgt (LANGE 1953). Die Erhitzung ausgetrockneter Flechten dagegen kann am natürlichen Standort und in sonnenexponierter Lage Temperaturen bis nahe 70°C erreichen, ohne daß die Flechten geschädigt werden. In unseren Klimabereichen allerdings ist nach Untersuchungen von LANGE (1953) eine Schädigung des Flechtenwachstums durch starke Austrocknung unwahrscheinlich. Denn selbst in den Sommermonaten werden die Thalli der Flechten immer wieder durch Regen, Tau oder Nebel bis zur Assimilationsfähigkeit durchnäßt.

Die Untersuchungen von LANGE (1953) sprechen wenig dafür, daß die durch den Stadteinfluß bedingte Zunahme der Lufttrockenheit in ihrer Größe ausreicht, das Flechtenwachstum stark zu schädigen. Bei feuchtem Wetter und im Winter besteht kaum ein Unterschied in der Luftfeuchte zwischen der Stadt und dem freien Land; aber an warmen Tagen ist die Luft der Stadt um etwa 12 bis 15 Prozent trockener als die des freien Landes. Die obige Aussage von LANGE, daß auch im Sommer die Flechten thalli immer wieder durch Feuchtigkeit bis zur Assimilationsfähigkeit durchnäßt werden, unterstreicht die Notwendigkeit von Feuchtigkeit zur Assimilation und damit zum Leben der Flechten. Als poikilohydrer Organismus gleicht sich die Flechte der Hydratur ihrer Umgebung an. Die Flechten sind in der Lage, das Wasser nicht nur in tropfbar-flüssigem Zustand (Regen), sondern auch in Dampfform als Tau oder Nebel aufzunehmen (u. a. E. BACHMANN 1922, F. OCHSNER 1927, F. MATTICK 1951), weil die Hyphenwände der Flechten die Fähigkeit zu quellen besitzen (O. STOCKER 1927, K. GOEBEL 1926). Nur unbedeutend ist die Wasserzufuhr aus dem Substrat; vielmehr geschieht die Aufnahme von Feuchtigkeit fast ausschließlich durch die Oberfläche der Thalli, die sich mit Wasser vollsaugen. Gerade in trockenen oder regenarmen Jahreszeiten und an trockenen Standorten bilden Tau und hohe Luftfeuchte die einzige Möglichkeit für die Flechten, Wasser zur Assimilation aufzunehmen. E. KOLUMBE (1927, S. 755) führt hierzu aus: „Die Flechten sind befähigt, sich den Wasserdampfgehalt nutzbar zu machen. Die Versorgung mit tropfbar-flüssigem Wasser ist für diese Organismen — abgesehen von Wasserflechten — keine unbedingte Notwendigkeit, und daraus läßt sich dann auch das Vorkommen an ungünstigen und trockenen Standorten erklären.“

Voraussetzung für eine apparente Assimilation ist nach O. STOCKER (1927) ein bestimmter Wassergehalt der Flechte, der bei nicht völliger Durchnässung des Thallus erreicht ist. Assimilation und Atmung erreichen bei etwas untersättigtem Wasserzustand ihr Maximum. Mit zunehmendem Wassergehalt gehen beide wieder zurück (vgl. M. G. STALFELT 1938). Die Aufnahme von tropfbarem Wasser erfolgt außerordentlich schnell, so daß bereits innerhalb weniger Sekunden der Thallus mit Wasser gesättigt ist.

Die Wassersättigung ist jedoch nur für kurze Zeit nach einem Regenfall gegeben, denn bereits eineinhalb Stunden später kann der Wassergehalt unter das zur Assimilation notwendige Minimum gesunken sein (O. STOCKER 1927, H. BUTIN 1954). Nachteilig auf den Wasserhaushalt der Flechten wirken einerseits oft das Substrat (Mauern, Dächer, Pfähle, Baumrinden), da das durch Niederschläge zugeführte Wasser von ihnen schnell abfließen kann, und andererseits der exponierte Standort der Flechten, der erhöhte Verdunstung bedingt. OCHSNER (1932) stellte fest, daß der Wasserhaushalt der Epiphyten durch die starke Verdunstung am Stamm und an der Kronenbasis der Bäume stark vermindert wird. Bei den Epiphyten an geschützten Standorten dagegen steht der Flechte das aufgesogene Wasser über längere Zeit zur Assimilation zur Verfügung. Der Grad der Verdunstung hängt jedoch stark ab von der Lebensform der Flechten, wobei vor allem endolithische und -phlöidische Flechten sich durch geringe Verdunstung auszeichnen. Gebremst wird die Verdunstung und damit das Austrocknen taufeuchter Flechten durch Nebel, wodurch wiederum die Assimilationszeit verlängert wird. Nach Taufall stehen den Flechten etwa zwei bis vier Morgenstunden zur apparenten Assimilation zur Verfügung (H. BUTIN 1954).

Das Wachstum der Flechten in den Städten wird in doppelter Hinsicht auch durch die Luftverunreinigung beeinflusst. Die Assimilation und damit das Wachstum der Flechten werden einerseits gehemmt, und zwar sowohl indirekt auf Grund der verminderten Einstrahlung und Lichtzufuhr — bedingt durch die in der Luft schwebenden Emissionen — als auch direkt, und zwar wesentlich wirksamer durch abgelagerten Staub, Ruß und Asche auf den Assimilationsflächen der Flechten (vor allem der Krustenflechten), wodurch der Flechtenthallus auch chemisch beeinflusst werden kann (Zersetzung, Auflösung, u. a.). Andererseits ist bei bestimmten Flechtenarten der Einfluß der Luftverunreinigung wachstumsfördernd. Schon R. SERNANDER (1912) unterschied zwischen Flechtenarten, die stickstoffreiche Standorte bevorzugen (nitrophile Flechten) und solchen, die Stickstoff meiden (nitrophobe Flechten). W. NIENBURG (1919) neigt zu der Vermutung, alle Flechten seien „Ammonpflanzen, und nur der Grad des Ammoniakbedarfs ist bei Nitrophilen und Nitrophoben verschieden“ (S. 20). Da nun die Stadtluft durch die Emissionen wesentlich reicher an Ammoniak ist als die Landluft, finden sich nach NIENBURG in der Stadt günstige Standorte für nitrophile Flechten, ungünstige aber für nitrophobe, weshalb der Flechtenbewuchs in den Städten sich auf die gegen den Einfluß der Luftverunreinigung widerstandsfähigeren nitrophilen Arten beschränkt.

Unter den Emissionen, die auf das Wachstum der Flechten einwirken, dürften die gasförmigen Emissionen, vor allem das Schwefeldioxid, als am flechtenfeindlichsten gesehen werden. Wenn auch noch experimentelle Untersuchungen über die Beziehung von Schwefeldioxidkonzentration und

Flechtenwachstum fehlen, so ist doch die zerstörende Wirkung von Schwefeldioxid auf die Vegetation allgemein sowohl in vielen experimentellen Untersuchungen als auch bei mannigfachen Beobachtungen in Form von Rauchschäden festgestellt worden.

3. Prinzipien zur Differenzierung der städtischen Flechtenvegetation in Flechtenwüste, Kampf- und Normalzone

Wie im vorigen Abschnitt betont wurde, ist die Schädigung und Zerstörung der Flechtenvegetation in Städten eine seit langem bekannte Tatsache. Sie wurde von vielen Forschern dazu benutzt, aus der Verbreitung der Flechten in der Stadt Rückschlüsse auf das Stadtklima oder die Luftverunreinigung zu ziehen. Die Flechtenverbreitung in den Städten wurde entsprechend der Quantität und dem Deckungsgrad der vorkommenden Flechtenarten in einzelne Flechtenzonen unterteilt, für die sich in Anlehnung an R. SERNANDER (1926) fast übereinstimmend die Bezeichnungen Normalzone, Kampfzone und Flechtenwüste eingebürgert haben. Diese Terminologie wurde nur von wenigen Forschern verändert; die Festlegung der einzelnen Flechtenzonen jedoch wurde nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen.

Die von R. SERNANDER geprägten Begriffe Normalzone, Kampfzone und Flechtenwüste sind relative Begriffe, die auf der großräumigen, klimatisch bedingten Verbreitung der Flechten in ihrer Artenzahl und ihrem Deckungsgrad basieren.

Die Zone der Flechtenvegetation, in der die Flechten in derjenigen Artenzahl, Artenkombination und Entwicklung gedeihen, die für das natürliche Großklima des Raumes kennzeichnend sind, ist die Normalzone der Flechtenverbreitung. Entsprechend ihrer Charakterisierung breitet sie sich über das offene Land aus und meidet alle Gebiete, in denen die normalen Wachstumsbedingungen gestört sind. Dies ist der Fall in Ballungsräumen menschlicher Siedlungen und der Industrie, in denen das Stadtklima bzw. die Verunreinigung der Luft die lufthygienischen Verhältnisse verschlechtert haben und auf das Wachstum der Flechten hemmend einwirken. Nur stellenweise dringt die Normalzone in den Raum bebauter Stadtgebiete vor, z. B. in ausgedehnten Parkanlagen, die von Bäumen reichlich durchsetzt sind. Von diesen Gebieten greift der normalerweise reiche Flechtenbewuchs der Bäume oft auch in benachbarte, bebaute Gebiete über (Beispiel hierfür bei A. SAUBERER 1951, S. 119).

Mit Annäherung an die bebauten Stadtgebiete geht die Normalzone in die Kampfzone über, in der das Wachstum der Flechten von der Besiedlung durch den Menschen und ihren zivilisatorischen Folgen bestimmt ist. Am äußeren Rand der Kampfzone (d.h. gegen die Normalzone) ist die Flech-

tenvegetation kaum von den klimatischen Umweltfaktoren beeinflusst, vielmehr entspricht sie schon fast der Flechtenvegetation unter normalen, von Siedlungen und Industriebetrieben unberührten Lebensbedingungen (=Normalzone). Am inneren Rand der Kampfzone (d.h. gegen die Flechtenwüste) sind Artenzahl, Wuchsform und Deckungsgrad der Flechten durch den zunehmenden Einfluß von siedlungsbedingten Faktoren gering; nur einige widerstandsfähigere Arten vermögen hier fragmentarisch zu vegetieren.

Nimmt der siedlungs- und industriebedingte Einfluß weiter zu, so ist die völlige Zerstörung und Unterbindung des Flechtenwachstums die Folge. Sie ist für die Flechtenwüste¹⁷ kennzeichnend. Sie deckt sich weitgehend mit dicht bebauten Stadtzentren sowie mit Industriegebieten einschließlich ihrer nahen, vor allem im Hauptwind Schatten gelegenen Umgebung. Nur die grünen Überzüge der Algen vermögen sich noch an einigen Standorten auf der Borke der Straßenbäume auszubreiten, die im allgemeinen von einer Rußschicht überzogen ist. Die Ausdehnung der Flechtenwüste wird bestimmt von der Größe der Stadtzentren und der dicht bebauten Stadtteile sowie von der Ausbreitung von Industrieanlagen und -gebieten.

Die von R. SERNANDER eingeführten Begriffe Flechtenwüste, Kampfzone und Normalzone sind in ihrer Bedeutung, nämlich ein Ausdruck des Flechtenbewuchses in Art, Artenzahl und Deckungsgrad zu sein, von den meisten Forschern übernommen worden. Übereinstimmend wird die Zone „normalen“ Flechtenbewuchses als Normalzone bezeichnet, während die Begriffe Flechtenwüste und Kampfzone von verschiedener Seite Wandlungen erfahren. Oft wird die Flechtenwüste als Epiphytenwüste aufgefaßt; V. VARESCHI (1936) bezieht auch Grünalgen und die primitive Gattung *Lepraria* in die Flechtenwüste ein. *Lepraria* dringt auch nach R. BESCHEL (1958) in die Flechtenwüste vor, epiphytisch zwar nur gelegentlich; epipetrisch dagegen halte sich nach BESCHEL eine Reihe von Flechten in der Flechtenwüste. Bezüglich der Kampfzone trennen VARESCHI und BESCHEL eine innere von einer äußeren Kampfzone. Den Unterschied zwischen beiden machen nach VARESCHI die „seltenen Flechtenarten“ aus, die in der inneren Kampfzone noch fehlen, in der äußeren dagegen nach und nach auftreten. Nach BESCHEL enthält die innere Kampfzone immer stärker verarmende neutrophile Vereine, während in der äußeren Kampfzone die oxyphilen Vereine noch dominieren, allerdings von einigen neutrophilen Arten begleitet sind.

Von der Terminologie gänzlich und von den Differenzierungsmerkma-

¹⁷ Hinzuweisen ist an dieser Stelle auf eine Begriffsdualität: Die Bezeichnung Flechtenwüste charakterisiert bei der Diskussion der Flechtenvegetation immer die Gebiete ohne jeglichen Flechtenbewuchs. Diese Begriffsauslegung ist scharf zu trennen von der, die als Flechtenwüste die eigentlich vegetationslosen, lediglich von Flechten besiedelten Wüstengebiete (luftfeuchte oder „Nebelwüsten“) bezeichnet (vgl. H.-W. KOEPCKE 1961).

len SERNANDERS weitgehend gelöst ist die Einteilung A. SAUBERERS (1951), zu der sie auf Grund ihrer Flechtenbestandsaufnahmen in Wien gelangte: 1: Flechtenfreies Gebiet, 2. Gebiete mit Flechtenanflügen, 3. Gebiete mit Kümmerformen von Flechten, 4. Gebiete mit normal entwickeltem Flechtenthallus, 5. Gebiete mit üppigem Flechtenwuchs. A. SAUBERERS Gebiet 1 entspricht SERNANDERS Flechtenwüste, Gebiet 5 der Normalzone und die Gebiete 2, 3 und 4 der Kampfzone. Allerdings erfordert die Charakterisierung der Gebiete 3 und 4 eingehende Kenntnisse der Wuchsformen der Flechten, weshalb zur Anwendung dieser Methode in der Praxis spezielle Fachkenntnisse der Lichenologie notwendig sind.

Die Flechtenmethode wird fast übereinstimmend in der Weise angewandt, die Artenzahl und den Deckungsgrad der registrierten Flechten als Kriterien zur Festlegung der Normalzone, Kampfzone und Flechtenwüste zu benutzen. Unberücksichtigt bleibt hierbei die Frage, inwieweit die in dieser Weise angewandte Flechtenmethode die praktischste der möglichen und zulässigen Methoden ist und ob sie in jedem Fall angewendet werden kann — auch bei geringer Artenzahl der Flechten. Für die Nichtberücksichtigung dieser Forderung spricht die Tatsache, daß alle bisher auf die Flechtenvegetation hin untersuchten Städte sich durch eine mehr oder weniger große Artenzahl auszeichnen. Die Methode in der allgemein gebräuchlichen Weise wird aber problematisch und unbrauchbar, wenn die Flechtenvegetation in den Städten nur auf einigen Arten beruht. Erst die Anwendbarkeit der Methode in derartigen Fällen macht die Flechten zu einem auch für die Praxis gut gebräuchlichen Hilfsmittel, um den Einfluß des Stadtklimas bzw. der Luftverunreinigung zu bestimmen. Berechtigt ist auch die Frage, inwieweit die Flechtenmethode in ihrer bisher üblichen Anwendung ohne besondere floristische Spezialisierung gebräuchlich ist.

Eine Charakterisierung der städtischen Flechtenvegetation nach psysionomischen Gesichtspunkten¹⁸ nahm V. VARESCHI (1936) vor, der folgende „physiognomische Siedlungstypen“ der Epiphytenvegetation von Zürich unterscheidet (S. 449):

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1. <i>Grüne Überzüge</i> | 9. <i>Schmallappige Blattflechten</i> |
| 2. <i>Tintenstriche</i> | 10. <i>Breitlappige Blattflechten</i> |
| 3. <i>Randsäume</i> | 11. <i>Strauchflechten</i> |
| 4. <i>Staubige Krusten</i> | 12. <i>Bartflechten</i> |
| 5. <i>Rillenflechten</i> | 13. <i>Lebermoosrasen</i> |
| 6. <i>Punktflechten</i> | 14. <i>Laubmoosrasen</i> |
| 7. <i>Ringflechten</i> | 15. <i>Blütenpflanzen</i> |
| 8. <i>Wimperflechten</i> | |

¹⁸ Dieser Gesichtspunkt wurde erstmals von ALEXANDER VON HUMBOLDT (1806) angewandt. Bei der hier angestrebten „Physiognomik der Gewächse“ berücksichtigt er zur Gruppierung der Pflanzen nur das, „was durch Masse den Totaleindruck einer Gegend individualisiert“ (S. 31 nach der Ausgabe von M. DITTRICH 1959).

V. VARESCI wählte die Reihenfolge so, daß die Anfangsstadien („Pionier-typen“) der Flechtenbesiedlung am Anfang, die epiphytischen Schlußtypen am Ende der Übersicht eingereiht sind. Dabei können zwei auf der Liste benachbarte Typen sich gegenseitig ablösen; ebenso häufig aber kann ein Pioniertyp direkt von einem in der Aufzählung letztangeführten Typ abgelöst werden.

Die Anwendung der Methode, Flechten als Anzeiger des Stadtklimas bzw. der Luftverunreinigung zu benutzen, stellt in der von VARESCI ausgelegten Weise (ausgenommen die Typen 1 sowie 13, 14 und 15) gegenüber allen übrigen Methoden die zweckmäßigste dar, da sie vom Nicht-Lichenologen nach kurzer Einarbeitung angewendet werden kann und den geringsten Arbeitsaufwand bedeutet. Die Beschreibung der einzelnen Flechtenarten auf dem Substrat entfällt, da nur der physiognomische Siedlungstyp registriert wird.

4. Untersuchungen der städtischen Flechtenvegetation und ihre wesentlichen Aussagen

Bevor die Ergebnisse der von mir durchgeführten Untersuchung der Flechtenvegetation im mittleren Ruhrgebiet aufgezeigt und diskutiert sowie in Beziehung zur Luftverunreinigung gesetzt werden sollen, ist es notwendig, die bisherigen Untersuchungen der städtischen Flechtenvegetation aufzuzeigen und ihre wesentlichen Aussagen kurz darzulegen.

Untersuchungsgebiete und Erforscher der Flechtenverbreitung

Das Wachstum und die Verbreitung der Flechten in den Städten zu studieren, ist der Gegenstand bereits zahlreicher Untersuchungen gewesen. Die ältesten dieser Arbeiten waren lediglich floristische Untersuchungen über das Vorkommen und die Verbreitung einzelner Flechtenarten in größeren Städten. Dabei wurde bereits die Beobachtung gemacht, daß die am dichtesten besiedelten Stadtteile frei von Flechten waren. Zu diesem Ergebnis kam erstmals W. NYLANDER (1866), der die Flechtenflora des Jardin du Luxembourg in Paris beschreiben wollte, daselbst jedoch keine Flechten fand. Auch die späteren flechtenfloristischen Aufnahmen von London (WEDDEL 1873), Augsburg (M. BRITZELMAYR 1875) und München (F. ARNOLD 1891—1902) beschreiben das Fehlen der Flechten in den Stadtzentren. In dem Bemühen um die Begründung dieser Beobachtung stimmen alle Forscher darin überein, daß die Flechten nicht von vornherein die Stadtzentren meiden, sondern ihr Fehlen auf eine kontinuierliche Schädigung bis hin zur Unterbindung des Wachstums zurückzuführen ist. Für die Schädigung des Flechtenwachstums wird ganz allgemein der Einfluß der

Stadt verantwortlich gemacht. Lediglich F. ARNOLD (1892, S. 30) macht detaillierte Angaben, indem er die Meinung vertritt, „daß theils das Zusammenwohnen einer größeren Bevölkerung und vorzugsweise die Einwirkung des durch den Verbrauch von Stein- und Braunkohlen verursachten Rauches das Verkommen der Lichenen herbeiführt.“

Lediglich als Tatsache, ohne die Gründe derselben näher zu analysieren, registrieren zu Beginn dieses Jahrhunderts C. F. E. ERICHSEN in Hamburg (1905), B. KAJANUS in Landskona/Schweden (1911), B. LYNGE in Teilen Norwegens (1921) und E. TRÜMPENER in Kiel (1926) das Fehlen von Flechten in Stadtzentren.

Die mehr qualitativen Angaben der ältesten und floristisch ausgerichteten Untersuchungen der Flechtenverbreitung in den Städten wurden nach der quantitativen Seite erweitert und ausgebaut durch Untersuchungen, die einmal die noch unsichere, aber naheliegende Behauptung zu begründen suchten, daß die Zerstörung der Flechten in den Stadtmitten in der Tat auf den Einfluß der Stadt zurückzuführen ist, und zum anderen im Fall der Gültigkeit dieser Aussage die für die Flechtenschädigung verantwortlichen Faktoren zu finden suchten. Die in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts einsetzenden Untersuchungen der Flechtenverbreitung in Großstädten wurden letztlich mehr oder weniger unter dem Gesichtspunkt durchgeführt, „daß sich aus der Analyse der Epiphytenvegetation möglicherweise brauchbare Kriterien für die Beurteilung des städtischen Bioklimas und speziell Wohnklimas ergeben könnten“ (M. STEINER 1957, S. 122). Zum Teil jedoch beschränken sich diese Untersuchungen darauf, das „wohlbekannte Phänomen der Zerstörung der epiphytischen Flechtenflora durch die Atmosphäre der Städte“ (O. A. HOEG 1936, S. 129) als Tatsache herauszustellen, ohne dabei die Frage zu behandeln, welche Faktoren im einzelnen das Wachstum der Flechten beeinflussen. Erst die Beantwortung dieser Frage ermöglicht es, die Flechten als Anzeiger von Umwelteinflüssen (Lufttrockenheit bzw. Luftverunreinigung) zu nehmen.

Die auf die Verbreitung von Flechten hin untersuchten Städte einschließlich der Forscher sind in Tabelle 4 (Seite 58) angegeben.

Untersuchungsergebnisse und Begründung derselben

Bei der Beantwortung der Frage, welche Faktoren im einzelnen die Flechtenvegetation in den Städten schädigen und ausschließen, haben die bisherigen Untersuchungen im wesentlichen drei Ansichten deutlich hervortreten lassen:

1. Das Wachstum der Flechten wird durch die Luftverunreinigung, vor allem durch die gasförmigen, aber auch durch die festen Immissionen gehemmt und zum Erliegen gebracht. Diese Ansicht vertraten bereits

Tabelle 4: Bisherige Untersuchungen und Erforscher der städtischen Flechtenvegetation:

Paris	NYLANDER	1866
London	WEDDEL	1873
Augsburg	BRITZELMAYR	1875
München	ARNOLD	1891—1902
Hamburg	ERICHSEN	1905
Landskrona	KAJANUS	1911
Städte Norwegens	LYNGE	1921
Kiel	TRÜMPENER	1926
Oslo	HAUGSJA	1930
Berlin	SCHULZ-KORTH	1931
Helsinki	VAARNA	1934
Zürich	VARESCHI	1936
Stockholm	HOEG	1936
Danzig	MATTICK	1937
Debrecen	FELFÖLDY	1942
Lund	ALMBORN	1943
Uppsala	KRUSENSTJERNA	1945
Paris	BOULY DE LESDAINS	1948
Krakau	ZURZYCKI	1950
Wien	SAUBERER	1951
Selby/Yorkshire	JONES	1952
Caracas	VARESCHI	1953
Lublin und andere Kleinstädte Polens und Schlesiens	RYDZAK	1953 bzw. 1957 und 1959
Bonn	STEINER u. SCHULZE-HORN	1955
München	SCHMID	1957
Salzburg, Innsbruck, Bregenz, Dornbirn, Landeck	BESCHEL	1958
Hannover	KLEMENT	1958
Hamburg	VILLWOCK	1959 bzw. 1962
Ost-Berlin, Kühlungsborn	NATHO	1964
Newcastle	GILBERT	1965

NYLANDER (1866) und F. ARNOLD (1891–1902), nach ihnen G. LINDAU (1923), R. SERNANDER (1926), C. F. E. ERICHSEN (1928), P. K. HAUGSJA (1930), V. V. VAARNA (1934), L. FELFÖLDY (1942), A. SAUBERER (1951), V. VARESCHI (1953) und J. DE SLOOVER (1964). VARESCHI kommt auf Grund seiner Untersuchung der Flechtenverbreitung in Caracas zu dem Ergebnis: „The epiphytcal vegetation of lichens represents the most sensible reagent for the impurification of the air“ (S. 95). Er begründet die Normalzone der Flechtenvegetation mit der dort herrschenden reinen Luft, die Kampfzone mit leicht und auffallend stark verunreinigter Luft. Für die Beschädigung der Flechtenvegetation Helsinkis macht VAARNA (1934) die „Straßengifte“ verantwortlich, worunter er vornehmlich die Verbrennungsprodukte des Benzins versteht.

Diese Ansicht teilt auch A. SCHINZEL (1960), der neben den Flechten auch die Moose als „sehr empfindliche“ biologische Indikatoren der Luftverunreinigung bezeichnet, obwohl er sie „nur“ zu den Pflanzen zählt, „die eine deutliche Beeinflussung durch die umgebende Atmosphäre erkennen lassen“ (S. 64).

2. Die zweite, neuere Ansicht, die in den meisten der in jüngster Zeit vorgenommenen Untersuchungen vertreten wird, verneint die Schädigung der Flechten durch die Luftverunreinigung und macht vor allem die stadtbedingte geringere Luftfeuchte und daher größere Austrocknung gegenüber dem offenen Land als wachstumsschädigend für die Flechten verantwortlich. Diese Ansicht vertreten R. BESCHEL (1952), J. RYDZAK (1953), M. STEINER und D. SCHULZE-HORN (1955), O. KLEMENT (1956) und M. STEINER (1957). Bei der Beurteilung der Epiphytenarmut der Großstädte kommt STEINER (1957, S. 122) zu dem Schluß: „Bei Berücksichtigung des Wasserhaushalts der epiphytischen Kryptogamen scheinen vor allem zwei Klimaelemente ausschlaggebend zu sein: Erstens die relative Trockenheit des Stadtklimas, zweitens die nächtliche Übertemperatur der engbebauten Stadtkerne.“ Die Bedeutung der nächtlichen Übertemperatur des Stadtkerns sehen STEINER und SCHULZE-HORN in der durch sie bedingten verminderten Tauhäufigkeit¹⁰. „Es scheint uns, daß dieser Faktor bei allen Diskussionen über die Flechtenfeindlichkeit des Stadtklimas besondere Beachtung verdient“ (1955, S. 11). Zum Beweis dafür, daß die Stadt absolut und relativ trockener ist als das Freiland, benutzen STEINER und SCHULZE-HORN einen Hinweis aus H. EMONDS' Untersuchung des Bonner Stadtklimas, nach der in der Stadt schätzungsweise Zweidrittel der Niederschläge sofort durch das Kanalsystem abgeführt werden. R. BESCHEL (1952) und O. KLEMENT (1955) führen die Flechtenarmut großer Städte mehr auf das „Wüstenklima“ im Stadttinnern als auf die Luftverunreinigung und speziell die Rauchgase zurück, das sich in einer Überwärmung, einer raschen Austrocknung nach Regen und damit einer geringen Durchfeuchtung des Flechtenthallus auswirkt. Auch J. RYDZAK teilt auf Grund seiner Untersuchungen in Lublin diese Ansicht. Er stellt dabei die Behauptung auf, daß die „Flechtenwüsten, Kampfzonen und Zonen normaler Flechtenflora . . . das Resultat eines Kampfes mit der Luftdürre . . . und nicht des Kampfes mit schädlichen Gasen“ sind (zitiert nach M. STEINER 1957, S. 123), ferner daß „die Flechtenarten sich den spezifischen mikroklimatischen Feuchtigkeitsbedingungen in einer Stadt anpassen und sie je nach dem Grad ihrer Ausharrungsmöglichkeit auf Dürre und Wasseraufnahmefähigkeit dislozieren müssen. Sie suchen Stellen mit solchen örtlichen Mikroklimabedingungen, welche ihnen eine günstige Wasserbilanz ermöglichen.“ RYDZAK kommt zu dem Schluß (S. 354), „daß die Annahme einer Einwirkung von SO₂ auf die Dislokation von Flechten in den Städten zu einem Unsinn führt und ein Beispiel für eine kollektive, wissenschaftliche Suggestion ist.“ W. JONES (1952, S. 110) entgegnet, RYDZAK habe in seiner

¹⁰ An dieser Stelle verweisen die Autoren auf H. BUTIN (1954), der die Bedeutung der Wasseraufnahme aus dem nächtlichen Tauniederschlag für den Wasser- und Stoffhaushalt der Flechten betont.

Argumentation zwei Tatsachen vernachlässigt, „that the poisonous smoke gases often have a higher temperature than surrounding layers of air, and that the specific weight is of no consequence as the gas is mixed with air to such a great extent“ (zitiert nach E. SKYE 1958, S. 174).

3. Zwischen diesen beiden Ansichten steht als dritte, weit weniger vertretene Meinung die in den jüngsten Arbeiten anzutreffende Aussage, daß sowohl die Luftverunreinigung als auch die Trockenheit der Städte das Flechtenwachstum schädigen²⁰. Dieser Auffassung ist auch R. BESCHEL (1958) beigetreten, der jetzt annimmt, daß die Flechten der Städte durch ein für sie ungünstiges Klima (das sich vor allem in stärkerer Trockenheit in der Stadt als auf dem freien Land ausdrückt) bereits so geschwächt sind, daß sie dem Einfluß der Luftverunreinigungen, vor allem der Abgase, nicht mehr widerstehen können und verkümmern oder sogar absterben²¹. Auch J. VILLWOCK (1962) teilt die Ansicht, daß die Zerstörung der Flechten „ihre Ursache im Zusammenwirken mehrerer, der Großstadt eigenen Faktoren hat, unter denen sich als entscheidender Faktor das SO₂ und zum anderen die erhöhte Trockenheit der Stadt abzeichnen“ (S. 164/165). Ebenfalls G. NATHO (1964) führt die Schädigung der Stadtflechten auf die Luftverunreinigung und das Stadtklima zurück; allerdings legt er das Schwergewicht auf das Stadtklima, was meiner Meinung nach nicht zuletzt auf die wenige emissionsreiche Industrie im Ostsektor von Berlin zurückzuführen ist. Die ausschließliche Abhängigkeit des Flechtenbewuchses von den Feuchtigkeits- und Trockenheitsverhältnissen widerlegt A. SAUBERER (1951) durch die Beobachtung, daß im Westen der Stadt Wien die Flechtenvegetation trotz höherer Niederschläge und Luftfeuchte nicht von der des übrigen Wien abweicht. A. SAUBERER kommt deshalb zu dem Schluß, daß die „Luftverunreinigung, zumindest an der Verbreitung rindenbewohnender Flechten, maßgebend mitbeteiligt ist“ (S. 119).

Welche der drei Ansichten das Recht auf Gültigkeit hat, soll an dieser Stelle noch nicht ausführlich erörtert werden. Experimentelle Versuche, die die Frage nach den die Flechtenvegetation schädigenden Faktoren beantworten, liegen bisher noch nicht vor.

Daß die Lufttrockenheit ein Kennzeichen des Stadtklimas ist, ist eine bekannte Tatsache, die durch viele Messungen belegt wird. Das Fehlen der

²⁰ Diese Auffassung vertritt praktisch F. MATTICK (1937) als erster, der als Ursache der geschädigten Flechtenvegetation in den Städten die „direkten Einwirkungen der dichten Besiedlung“ bezeichnet. Hierzu zählt er einerseits die dichte Bebauung, Industrialisierung, Zunahme des Verkehrs und andererseits die mikroklimatischen Sonderverhältnisse in den Städten (Verunreinigung der Luft, Abnahme der Lichtintensität, veränderte Temperaturverhältnisse, Abnahme der Luftfeuchte und der Tau- menge).

²¹ R. BESCHEL (1958) meint, daß „die Erklärung der ‚Flechtenwüste‘ durch Luftverunreinigungen und besonders den SO₂-Gehalt der Luft von vielen zu gutgläubig und un- kritisch übernommen“ worden sei (S. 149).

Flechten in den am dichtesten bebauten Teilen der Städte legt deshalb die Vermutung nahe, daß die Schädigung des Flechtenwachstums auf dem Mangel an Feuchtigkeit beruht. Dichte Bebauung ist aber gleichzeitig auch mit einer Zunahme an Emissionen verbunden, was durch mangelnden Vertikalaustausch der Luft und abgeschwächte Ventilation bedingt ist. Die auf den Flechtenkörpern sedimentierten festen Emissionen können somit für die Zerstörung der Flechtenthalli ebenso verantwortlich gemacht werden wie die Feuchtigkeitsverhältnisse in der Stadt.

III. LUFTVERUNREINIGUNG UND FLECHTENBEWUCHS IM MITTLEREN RUHRGEBIET

Um einen auch methodischen Fortschritt zur Klärung der Frage zu leisten, wieweit Luftverunreinigungen oder Veränderungen des Klimas in Großstädten entscheidend für die biologischen und hygienischen Auswirkungen der technischen Zivilisation sind, untersuchte ich einerseits mit den von Biologen erarbeiteten Methoden die Verbreitung rindenbewohnender Flechten im Kern des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes und wertete andererseits die bisher im gleichen Gebiet angestellten Messungen über Luftverunreinigung kartenmäßig aus, um aus dem Vergleich der Ergebnisse neue Gesichtspunkte zu gewinnen.

1. Die Größe der die Luftverunreinigung beeinflussenden Faktoren im Ruhrgebiet

Meteorologische und klimatische Angaben²²

Zur Charakterisierung der Wetterlagen im Untersuchungsgebiet soll die von HESS-BREZOWSKY aufgestellte vereinfachte Wetterlagenstatistik für Mitteleuropa dienen.

Tabelle 5: Vereinfachte Wetterlagenstatistik für Mitteleuropa 1881—1947 (HESS-BREZOWSKY, in Prozent).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M
Hochdrucklagen	19	19	14	12	14	14	16	16	25	18	18	20	17
Südwestlagen	8	8	6	7	6	4	7	7	5	9	10	8	7
Westlagen	27	25	27	22	18	24	31	38	25	28	28	33	27
Nordwestlagen	8	9	7	8	7	13	18	14	7	6	9	8	9
Nordlagen	8	10	13	16	20	22	13	11	14	12	8	7	13
Ost- und Nordostlagen	12	15	15	17	21	14	9	9	12	10	7	9	12
Süd- und Südostlagen	10	8	10	8	4	1	0	1	6	10	12	10	7
Troglagen und Zentraltief	7	7	8	8	7	4	6	4	6	6	8	4	6

²² Zur Kennzeichnung der meteorologischen und klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsraum wurden die Klima- und Witterungsdaten des Wetteramtes Essen (Flughafen Essen-Mülheim) und der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Bochum, Herener Straße 45, benutzt; sie werden im folgenden nur mit Essen-Mülheim bzw. Bochum bezeichnet.

An dieser Stelle sei in besonderer Weise gedankt dem Wetteramt Essen, vor allem seinem Leiter, Herrn Oberregierungsrat Dr. KLUG, für seine vielseitige und jederzeit freundliche Unterstützung meiner Arbeit sowie der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum, hier Herrn Dr. BAULE, für die Bereitstellung reichhaltiger Witterungsdaten für den Untersuchungsraum.

Von großer Wichtigkeit für den Grad der Luftverunreinigung an einem bestimmten Ort sind die hier herrschenden Windverhältnisse sowohl hinsichtlich der Richtung als auch der Stärke. Zunächst soll die Windrichtung im mittleren Ruhrgebiet kurz behandelt werden. Die prozentuale Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen im langjährigen Mittel für Essen-Mülheim und Bochum geben die Tabelle 6 und die Abbildung 2 wieder.

Tabelle 6: Mittlere Häufigkeit der Windrichtungen im Jahr (in Prozent).

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
Essen-Mülheim 1931—1955	6,3	11,3	9,1	8,7	19,5	21,6	11,8	7,4	4,3
Bochum 1931—1950	5,3	12,0	8,6	9,8	16,3	22,1	13,7	7,1	5,1

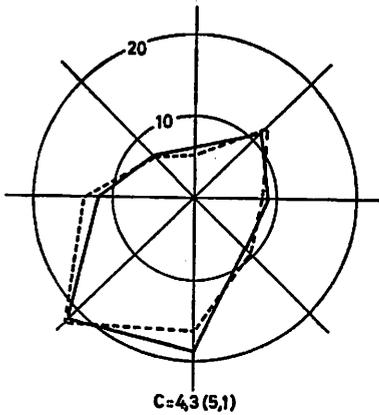


Abb. 2: Mittlere Jahreswindrose für Essen-Mülheim (ausgezogen, 1931—1955) und Bochum (gestrichelt, 1931—1950).

Die aus Tabelle 6 ersichtliche Häufigkeit der Windrichtungen ergibt für den Untersuchungsraum äußerst günstige lufthygienische Verhältnisse. SW- und S-Winde sind im Jahresmittel mit rund 40 Prozent aller Winde (Essen-Mülheim 41,1%, Bochum 38,8%) weitaus vorherrschend; das bedeutet, daß in den Untersuchungsraum vorwiegend die auf Grund ihrer Zugbahn (über das Bergische Land) relativ sauberen Winde wehen, deren geringer Gehalt an Emissionen noch durch die Filterwirkung der Wälder des Niederrheinischen Landes vermindert wird. Dieses reicht in seinem Nordausläufer in das Untersuchungsgebiet; es bildet hier die z. T. bewaldeten Randhöhen der Ruhr. Die geringste Häufigkeit im langjährigen Mittel weisen N- und NW-Winde auf (Essen-Mülheim 6,7 bzw. 7,6%, Bochum 5,3 bzw. 7,1%). Auch diese Tatsache ist — wie das Vorherrschen von S- und SW- Winden — für das Untersuchungsgebiet lufthygienisch von großem Vorteil, da die auf Grund ihrer Zugbahn über das nördliche Ruhrgebiet emissionsbeladenen N- und NW-Winde nur mit geringer Häufigkeit in das Untersuchungsgebiet wehen.

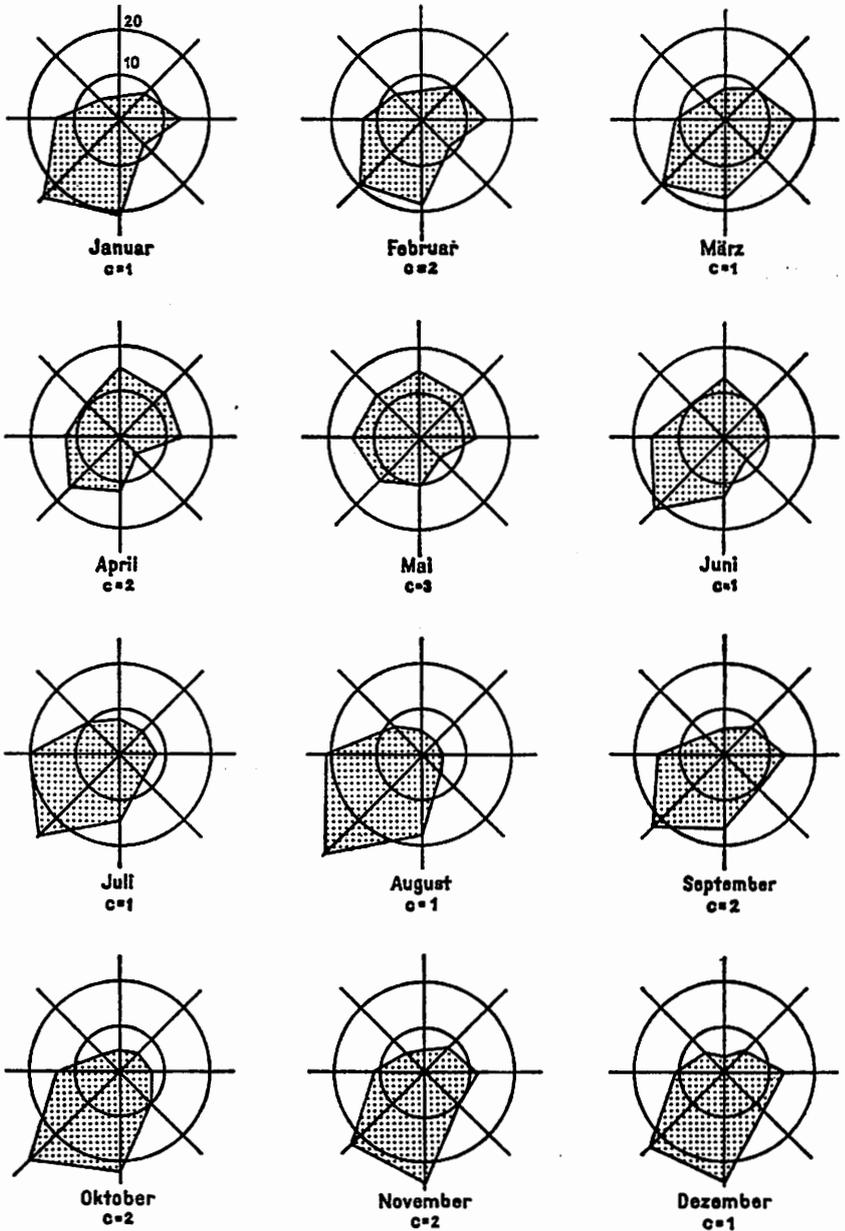


Abb. 3: Mittlere monatliche Windrichtungsverteilung der Jahre 1956—1963 (in Prozent), nach Registrierungen des Wetteramtes Essen-Mülheim. Orig. M. Domrös

SW- und S-Winde sind aber nicht nur im Jahresmittel vorherrschend, sondern auch im Mittel der meisten Monate, wie Auswertungen der monatlichen Windrichtung in Essen-Mülheim in den Jahren 1956—1963 ergaben (siehe Abbildung 3). Im Jahresablauf traten im Mittel von Januar bis Dezember SW- und S-Winde in folgender Häufigkeit auf (in Prozent aller Windrichtungen): 45, 38, 37, 28, 23, 35, 39, 49, 37, 50, 45, 48. Vorteilhaft für die lufthygienischen Verhältnisse im Untersuchungsraum ist die große Häufigkeit von S- und SW-Winden in den Monaten Oktober bis Januar, denn in ihnen ist der Grad der Luftverunreinigung am höchsten. Lufthygienisch von Bedeutung ist das im Monats- wie im Jahresmittel zu verzeichnende geringe Auftreten von Winden mit nördlicher Komponente; sie erreichen im Mai und April mit 41 bzw. 39% ihr Maximum.

Den weitreichenden Einfluß der Windrichtung auf die Verunreinigung der Luft zeigt deutlich ein Vergleich der Ergebnisse von Staubbiederschlagsmessungen des Technischen Überwachungsvereins Essen in den Monaten April 1956 und Februar 1957. Bei überwiegend nördlichen Winden im April 1956 (Abbildung 4, Seite 66) gehört der größte Teil des nördlich der Bundesstraße 1 gelegenen Stadtgebietes von Essen — ausgenommen die locker bebauten Stadtteile im Nordwesten — zu der Zone mit einem monatlichen Staubbiederschlag von 50—100 g/m², während das Stadtgebiet zwischen der Bundesstraße 1 und der Ruhr durch einen Staubbiederschlag von 20—50 g/m²·30 Tage gekennzeichnet ist. Ein völlig verändertes Bild ergibt sich bei vorherrschenden Winden mit südlicher Komponente, wie es im Februar 1957 der Fall war (Abb. 5, S. 67). Annähernd das gesamte Stadtgebiet von Essen nördlich der Ruhr ist mit einem Staubbiederschlag von unter 20 g/m²·30 Tage belastet, während die Zone mit einem monatlichen Staubbiederschlag von 20—50 g/m² — die bei vorwiegend nördlichen Winden sich über den größten Teil des Essener Nordens ausbreitete — nur noch an einigen Stellen nördlich der Bundesstraße 1 anzutreffen ist.

Die große Bedeutung der SW- und S- Winde für die lufthygienischen Verhältnisse im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet wird durch die Beziehung zwischen Windrichtung und -stärke gesteigert, insofern Winde aus S, SW und W weitaus häufiger mit hoher Windstärke verbunden sind als Winde mit nördlicher Komponente. Zu diesem Ergebnis führten Auswertungen von täglich dreimal vorgenommenen Beobachtungen der Windrichtung und -stärke in Essen-Mülheim in den Jahren 1956—1963 (Abb. 6 und 7, Seite 68 bzw. Seite 69). Niedrige Windstärken (1 und 2) sind im Jahres- und Monatsmittel bei allen Windrichtungen in geringer Häufigkeit anzutreffen; hohe Windstärken (5 sowie 6 und mehr) treten mit Ausnahme bei S-, SW- und W-Winden nur selten auf. Die Auswertungen lassen den allgemeinen Schluß zu, daß niedrige Windstärken am häufigsten bei Winden mit nördlicher Komponente auftreten, hohe Windstärken dagegen bei Winden aus S, SW und W. Welche großen Unterschiede im Vorkommen

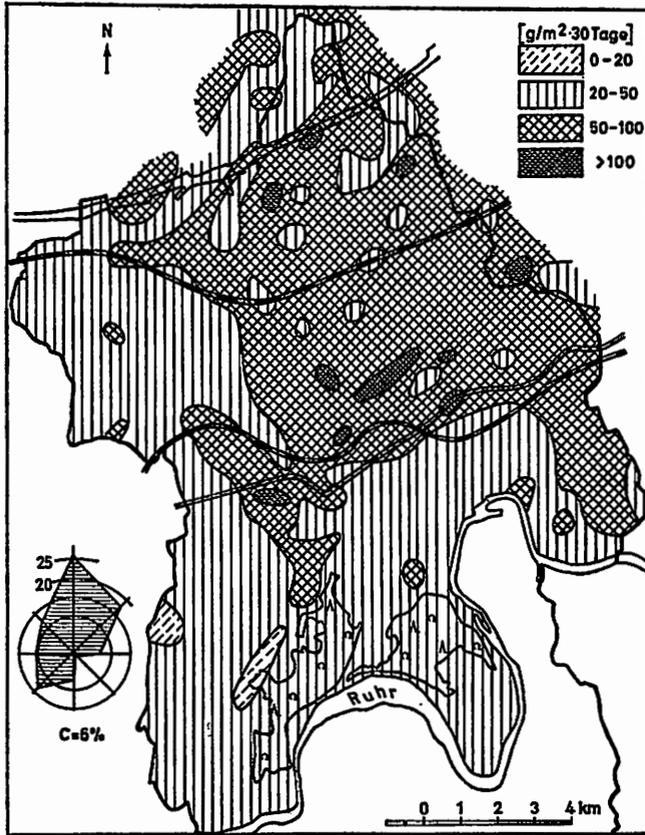


Abb. 4: Die Höhe des Staubniederschlags in Essen bei Winden mit vorherrschend nördlicher Komponente (April 1956), nach Messungen des Technischen Überwachungs-Vereins Essen.

einer Windstärke bzgl. der einzelnen Windrichtungen bestehen können, zeigt das Ergebnis, daß im Jahresmittel 1956—1963 die Windstärke 4 bei 25,6% aller S-Winde und bei nur 7,9% aller N-Winde auftrat; noch deutlicher wird der Unterschied bei Windstärke 5 (S-Winde 12,6%, N-Winde 1,7%) und Windstärke 6 und mehr (5,2% bzw. 0,3%).

Neben der Windrichtung ist die Windstärke von entscheidender Bedeutung für die lufthygienischen Verhältnisse eines Ortes. Denn die Windstärke sorgt für den Abtransport der Emissionen schlechthin und bestimmt die Geschwindigkeit dieses Vorgangs. Von der Windstärke abhängig ist nicht nur der Abtransport der Emissionen in horizontaler Richtung, sondern auch in vertikaler, da mit zunehmender Windstärke auch die vertikalen Austauschvorgänge und die Turbulenz steigen. Die Windstärke wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, die sowohl eine Heraufsetzung (z. B.

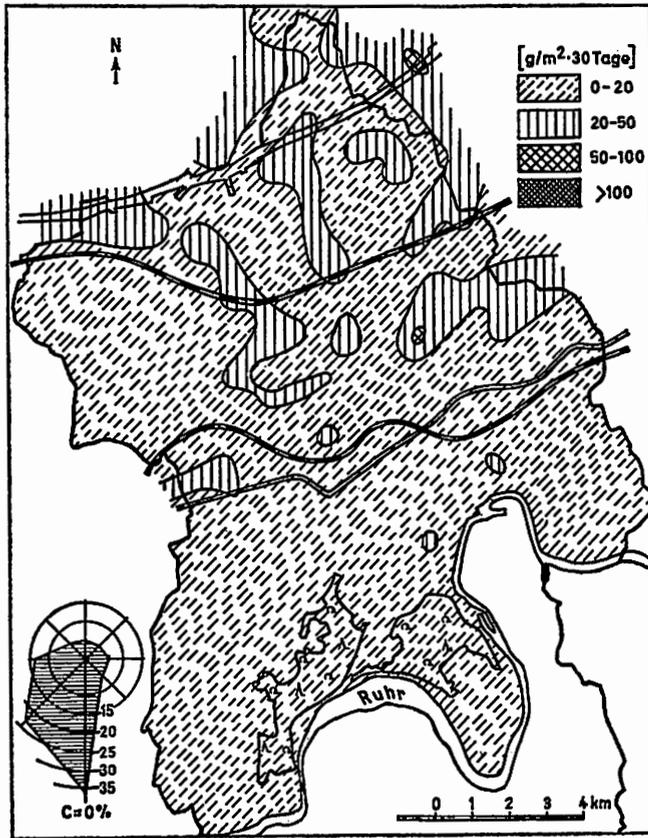


Abb. 5: Die Höhe des Staubniederschlags in Essen bei Winden mit vorherrschend südlicher Komponente (Februar 1957), nach Messungen des Technischen Überwachungs-Vereins Essen.

beim Verlauf eines Tales in Hauptwindrichtung) als auch eine Verminderung (z. B. bei Wäldern und Häusergruppen) derselben bewirken können. Deshalb ist die Windstärke räumlich stark veränderlich. Im langjährigen Mittel ergeben sich für Bochum folgende Werte der monatlichen Windstärke:

Tabelle 7: Mittlere monatliche Windstärke in m/sec (Bochum).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1925—43, 1948—50	4,1	4,1	3,7	4,2	3,3	3,2	3,4	3,2	3,2	3,8	3,7	3,9

Die Werte zeigen deutlich, daß in den Monaten Mai bis September die mittlere monatliche Windstärke wesentlich niedriger ist als in den Monaten Oktober bis April. Für die lufthygienischen Verhältnisse im Ruhrgebiet ist

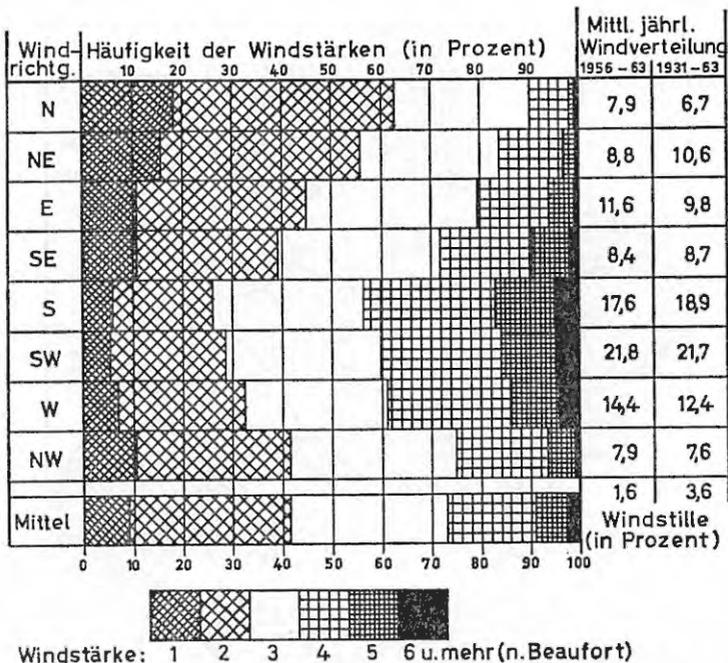


Abb. 6: Die Beziehung zwischen Windrichtung und -stärke im Mittel der Jahre 1956—1963 (in Prozent), nach täglich dreimal vorgenommenen Registrierungen des Wetteramtes Essen-Mülheim, sowie die mittlere jährliche Windrichtungsverteilung im Mittel der Jahre 1956—1963 bzw. 1931—1963, ebenfalls für Essen-Mülheim.
Orig. M. Domrös

dies äußerst vorteilhaft, denn es bedeutet einen stärkeren Abtransport der Emissionen im Winter als im Sommer, was sich wiederum auf die Verminderung des Grades der Luftverunreinigung unterschiedlich auswirkt.

Die Unterschiede in der Größe der mittleren monatlichen Windstärke kommen auch deutlich zum Ausdruck, wenn man die Häufigkeit der Windstärken in den einzelnen Monaten betrachtet. Durch die freundliche Bereitstellung von 8600 Ergebnissen des Wetteramtes Essen aus Registrierungen der Windrichtung und -stärke dreimal täglich in den Jahren 1956—1963 war es möglich, für jeden Monat die Häufigkeit der Windstärken 1, 2, 3, 4, 5 sowie 6 und mehr zu ermitteln, die in der Anzahl der Tage pro Monat mit gleicher Windstärke ausgedrückt und in der Isoplethendarstellung (Abbildung 8, S. 70) wiedergegeben ist. Aus dem Verlauf der Isoplethen ist vornehmlich ein großer Gegensatz zu erkennen: In den Wintermonaten treten im Jahresgang hohe Windstärken am häufigsten auf (Windstärke 6 und mehr im Januar insgesamt 3,6 Tage lang, dagegen im Juni 0,1 Tage lang); im Sommerhalbjahr sind pro Monat insgesamt weitaus mehr Tage lang niedrige und mittlere Windstärken (2 und 3) zu verzeichnen als im Winter-

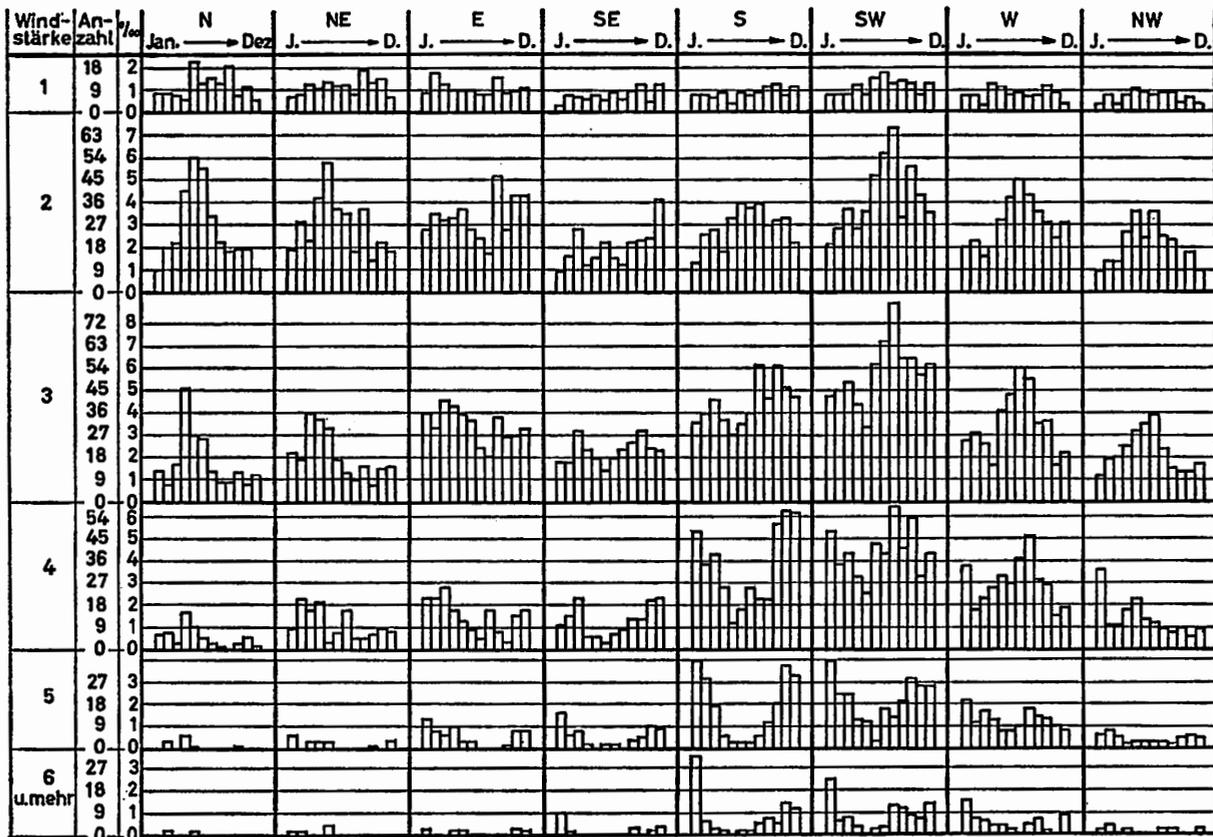


Abb. 7: Die Beziehung zwischen Windrichtung und -stärke im Monatsmittel 1956—1963, nach täglich dreimal vorgenommenen Registrierungen des Wetteramtes Essen-Mülheim.
Orig. M. Domrös

halbjahr (die Windstärke 3 tritt im Mai 12,0 Tage lang auf, im Juli 11,0 und im Juni 10,8, dagegen im Januar 4,7 Tage). Dieser Gegensatz ist für die lufthygienischen Verhältnisse im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet von Bedeutung, insofern er im Winter eine weit bessere Ausnutzung des Emissionstransportes auf Grund hoher Windstärke darstellt als im Sommer. Allerdings kann dieser Tatsache kaum eine große Bedeutung hinsichtlich der Luftreinigung beigemessen werden, da nur insgesamt 3,6 Tage lang oder 11,6% aller Tage im Januar die Windstärke 6 und mehr auftrat und das geringe Auftreten hoher Windstärke nur an wenigen Tagen im Monat eine merkliche Verminderung an Emissionen bewirkte.

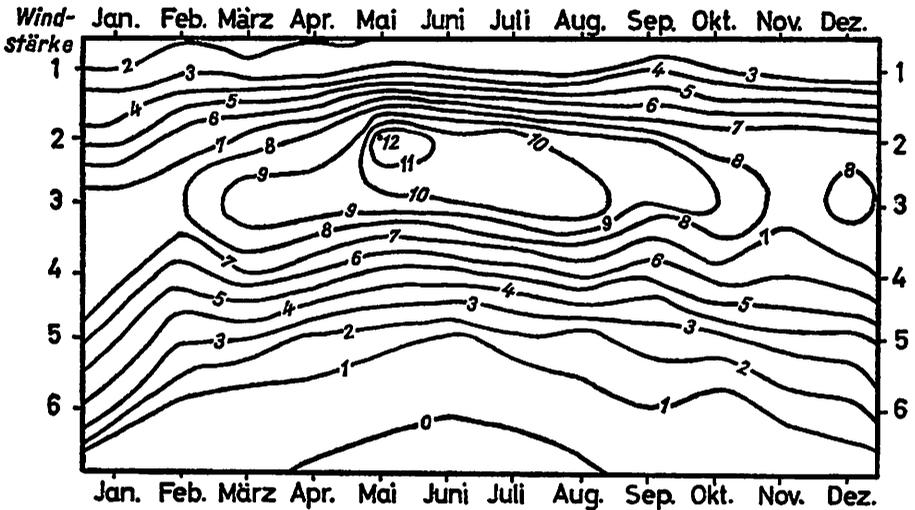


Abb. 8: Isolethen der Anzahl der Tage pro Monat mit gleicher Windstärke (n. Beaufort); Mittel der Jahre 1956—1963, nach täglich dreimal vorgenommenen Registrierungen des Wetteramtes Essen-Mülheim. *Orig. M. Domrös*

Über die Häufigkeit von Inversionen im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet liegen bisher noch keine Ergebnisse vor, da Beobachtungen darüber erst seit kurzem vom Wetteramt Essen vorgenommen werden²³. Kurzfristige Strahlungsinversionen allerdings treten abends, nachts und frühmorgens häufig auf, vor allem im Winter und in den Übergangsjahreszeiten, während Aufgleit inversionen größeren Ausmaßes relativ selten vorkommen. Die letzte längere Inversionsperiode im Ruhrgebiet trat vom 2.—6. Dezember 1962 auf, innerhalb derer der Schwefeldioxidgehalt der Luft auf 5 mg/m³ anstieg. Das bedeutete einen Zuwachs auf das Achtfache der Gefahrgrenze für die menschliche Gesundheit. Der Grenzwert für Vegetationsschäden liegt bei 0,2 mg SO₂/m³. Bei dieser Inversionsperiode hatte z. B.

²³ Nach einer Mitteilung von Herrn Oberregierungsrat Dr. KLUC, dem Leiter des Wetteramtes Essen, vom 4. Juni 1964.

Essen eine Temperatur in Erdbodennähe von -6°C , in einigen hundert Metern Höhe dagegen von $+8^{\circ}\text{C}$.

Die Verteilung der Niederschläge zeigt in dem Untersuchungsgebiet bemerkenswerte Unterschiede. Nach einer Niederschlags-Verteilungskarte der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum, nimmt die mittlere Jahresmenge des Niederschlags von annähernd 950 mm im Süden (Essen-Werden, Hattingen-Land) auf unter 800 mm im Norden (Gelsenkirchen-Mitte) ab. Auf einer Entfernung von 16 km fällt die mittlere jährliche Niederschlagsmenge um rund 150 mm. Dies beruht auf dem Abfall des Untersuchungsgebietes von annähernd 200 m im Süden auf unter 50 im Norden und auf der Lage desselben im Regenschatten des regenreichen Bergischen Landes. Auf dessen Einfluß ist das Ausgreifen der 800 mm-Isohyete über die gesamte Stadtmitte und den Süden Essens zurückzuführen. Insgesamt folgt die Abnahme des Niederschlags von Süden nach Norden dem dieser Richtung folgenden Abfall des Nordrandes des Bergischen Landes.

Wie hoch im einzelnen das langjährige Monatsmittel des Niederschlags ist, zeigt Tabelle 8:

Tabelle 8: Monatsmittel des Niederschlags (in mm)²⁴.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Essen-Mülheim	(a)	71	60	62	60	62	73	91	90	71	78	66	82
	(b)	77	59	44	64	67	73	86	97	74	75	64	66
Bochum (1920—50)		69	56	44	59	63	72	78	82	64	65	69	60

(a): 1880—1930 (Dieses Mittel wird allgemein bei Vergleichen herangezogen).

(b): 1916—1938, 1948—1959

Danach fallen die höchsten Niederschläge im Sommer (Juli, August), die niedrigsten in den Monaten März und Februar. Auch diese Tatsache trägt bei zu dem Minimum an Emissionen im Sommer.

Luftreinigender als die Niederschlagsmenge sind die Häufigkeit und Intensität der Niederschläge, die sich in der mittleren Zahl der Tage mit mindestens 0,1 mm, 1,0 mm und 10,0 mm Niederschlag pro Monat gut ausdrücken. Die Registrierungen der Niederschlagshäufigkeit stellen die bereits hinsichtlich der Niederschlagsmenge regenreichsten Sommermonate August, Juli und Juni auch als die Monate heraus, in denen unter allen Monaten am häufigsten starke Niederschläge fallen. Die Zahl der Tage mit mindestens 10,0 mm Niederschlag beträgt in den genannten Monaten für Essen-Mülheim 2,8; 2,6 und 2,3 und für Bochum 2,4; 2,4 und 2,3. Starke Regenfälle sind von großer lufthygienischer Bedeutung, da sie eine wirksame Reinigung der Luft von Emissionen bewirken. Niederschläge von geringer Tropfengröße, z. B. Sprühregen, führen zu einer Anreicherung von Emissionen in den erbodennahen Luftschichten, da sie auf die in höhere

²⁴ Monatliche Niederschlagsmessungen von weiteren 41 Stationen im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet (davon 10 im Bearbeitungsgebiet) sind in Jahresübersichten seit 1922 von der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Bochum in der Zeitschrift „Glückauf“, Essen, veröffentlicht.

Luftschichten transportierten Emissionen stoßen und sie wieder auf die Erde befördern. Hierauf zurückzuführen ist der Anstieg der Luftverunreinigung beim Einsetzen von Niederschlägen.

Der Grad der Luftverunreinigung wird auch von der relativen Luftfeuchte beeinflusst. Der Wasserdampfgehalt der Luft bewirkt, daß die Staubteilchen in der Luft ihr Gewicht durch Wasseranlagerung vergrößern. Bei schwebenden Teilchen führt eine geringe Gewichtszunahme bereits zur Sedimentation. Das Maximum an Emissionen im Winter und das Minimum im Sommer sind nicht unwesentlich auf das Maximum bzw. Minimum der relativen Feuchte in diesen Jahreszeiten zurückzuführen.

Tabelle 9: Monatsmittel der relativen Luftfeuchte (in Prozent).

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M
Essen-Mülheim	(a)	85	83	76	73	71	72	76	76	79	82	85	86	79
Bochum (1922—1950)		81	79	73	70	67	68	71	73	76	79	83	83	76

(a): 1931—1960, ohne 1945—1947.

Der Wasserdampf der Luft kann sich an Emissionen anlagern; deshalb sind auch Nebel, Nebeldunst und Tau günstige Voraussetzungen zur Anreicherung der Luft mit Emissionen. Bei ihrer Sedimentation werden vor allem Rauchschäden an der Vegetation hervorgerufen. Die Verunreinigung der Luft durch feste und gasförmige Emissionen wirkt sich in einer Trübung der Luft aus, die man als Dunst bezeichnet. Die Sichtweite beträgt noch über 1 km; sinkt sie aber unter 1 km, so spricht man von Nebel. Nebelreich sind nach Beobachtungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Bochum die Monate September bis März, wobei die meisten Tage mit Nebel im Dezember und Januar (9,0 bzw. 7,3 Tage im Mittel der Jahre 1936—1950) auftraten; nebelarm dagegen sind die Monate April bis August mit einem Minimum an Nebeltagen im Juni (1,6 Tage). Mehrere Tage mit Nebel hintereinander treten in der Regel in den Herbstmonaten als trockene Morgennebel auf. In den Wintermonaten dagegen wird Nebel ganztägig entweder in trockener oder als Begleiter von Schlechtwetterlagen in nässender Form beobachtet. Bei dichtem Nebel — meistens mit Windstille verbunden — ist die Gefahr der Anreicherung von Emissionen in den untersten Luftschichten außerordentlich groß. Die aus dem Zusammenwirken von Tau und Emissionen resultierende Pflanzenschädigung besteht darin, daß der Tau die auf den Pflanzen abgelagerten festen Emissionen aufweicht und sie miteinander verschmilzt, wobei nach dem Verdunsten der Feuchtigkeit eine Verkrustung die Folge ist. Dadurch können die Lebensfunktionen der Pflanzen gestört werden.

Tabelle 10: Mittlere monatliche Anzahl der Tage mit Nebel und Tau in Bochum (1936—1950).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nebel	7,3	5,4	6,5	2,3	2,0	1,6	1,9	2,1	4,6	6,1	5,2	9,0
Tau	2,1	2,8	6,4	11,0	17,0	17,5	18,0	18,2	20,8	15,5	7,4	3,8

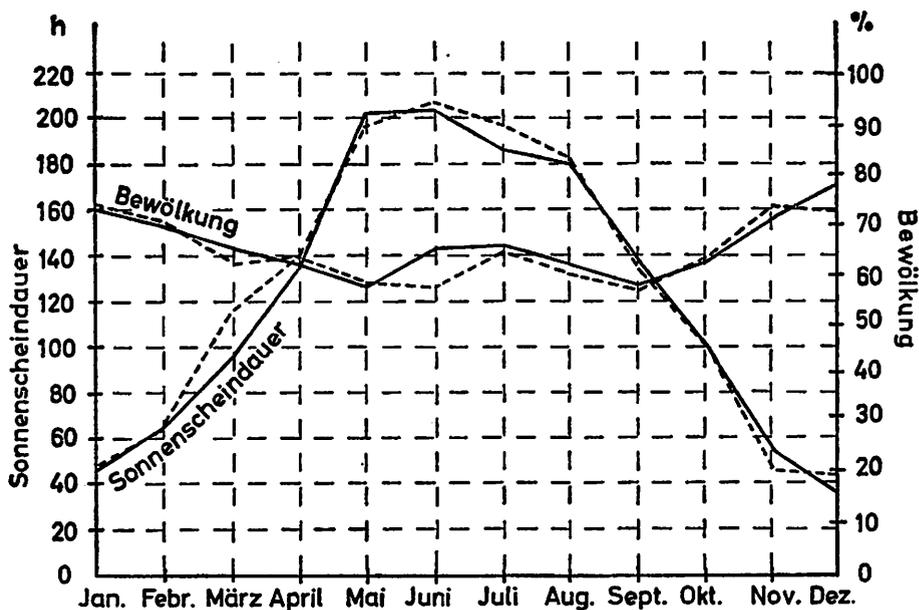


Abb. 9: Bewölkung (in Prozent) und Sonnenscheindauer (in Stunden) im langjährigen Monatsmittel für Essen-Mülheim (ausgezogene Linien, 1880—1930) und Bochum (gestrichelte Linien, 1925—1950 bzw. 1923—1950). Orig. M. Domrös

Sekundär beeinflusst wird der Grad der Luftverunreinigung von der Sonnenscheindauer, da sie ein Ausdruck für die thermische Turbulenz ist und die Auflösung nächtlicher Inversionen bewirkt. Beides bedeutet eine Verminderung des Grades der Luftverunreinigung. Die jahreszeitliche Verteilung von Sonnenscheindauer und Bewölkung in Essen-Mülheim und Bochum zeigt Abbildung 9. Die Bewölkung ist im Winter stärker als im Sommer, mit einem Maximum von November bis Februar und einem Minimum im September. Die Sonnenscheindauer, die durch den Gehalt der Luft an Emissionen verringert wird, hat ihr Maximum im Mai und Juni. Dezember und Januar haben die geringste Sonnenscheindauer.

Orographische Verhältnisse und naturlandschaftliche Einordnung

Der untersuchte Teilraum des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes umfaßt ein Gebiet, das in der Übergangszone vom Rheinischen Schiefergebirge im Süden zur Westfälischen Bucht im Norden liegt. Nach der

naturlandschaftlichen Gliederung Westfalens von W. MÜLLER-WILLE²⁵(1942) hat der Untersuchungsraum an folgenden Naturlandschaften teil:

N ↓ S	Westfälische Bucht	Emscher-Land	Recklinghauser Landrücken Emscher-Talung Bochumer Lößebene
	Süderbergland	Niederbergisches Land	Hattinger Hügelland Unteres Ruhrtal Hattinger Hügelland (nur im W: Selbecker Terrassenplatte)

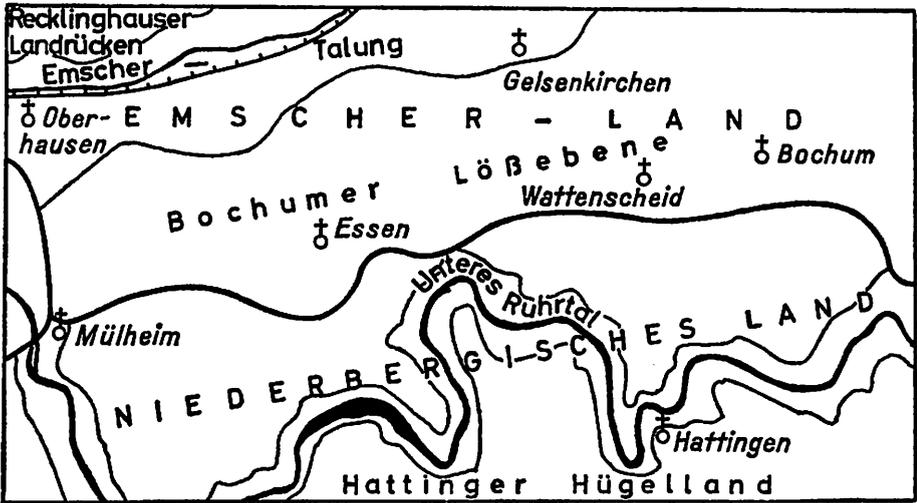


Abb. 10: Die naturlandschaftliche Gliederung (nach W. Müller-Wille).

Auf Grund der naturräumlichen Zweiteilung des Untersuchungsraumes in Flach- und Hügelland ergibt sich eine Differenzierung desselben hinsichtlich seiner Oberflächenformen. Der südliche Teil wird von dem „Waldgehügel an der Ruhr“ (MÜLLER-WILLE 1952, S. 265), den beiderseits der Ruhr gelegenen hügeligen Ausläufern des Schiefergebirges, gebildet. Die Ruhr ist terrassenförmig in die Hügellandschaft eingesenkt. Der Nordabfall des Untersuchungsgebietes geht im Stadtgebiet von Essen, Mülheim und Bochum in relativ flaches Land über, das mit schwacher Neigung nach N in die

²⁵ Die naturlandschaftliche Gliederung von W. MÜLLER-WILLE wurde der von KH. PAFFEN (1953) deshalb vorgezogen, weil das Untersuchungsgebiet von MÜLLER-WILLES Gliederung (Westfalen) bis auf eine kleine Einbuchtung im Westen gänzlich, von PAFFENS Gliederung (Mittel- und Niederrheinlande) jedoch nur etwa zur Hälfte erfaßt wird. Die naturlandschaftliche Gliederung jenes Teiles des Untersuchungsgebietes, der von beiden Autoren bearbeitet wird (der NW-Ausläufer des Schiefergebirges), stimmt bei MÜLLER-WILLE und PAFFEN hinsichtlich der Gliederung in Naturlandschaften fast gänzlich und hinsichtlich der Bezeichnung derselben zum Teil überein.

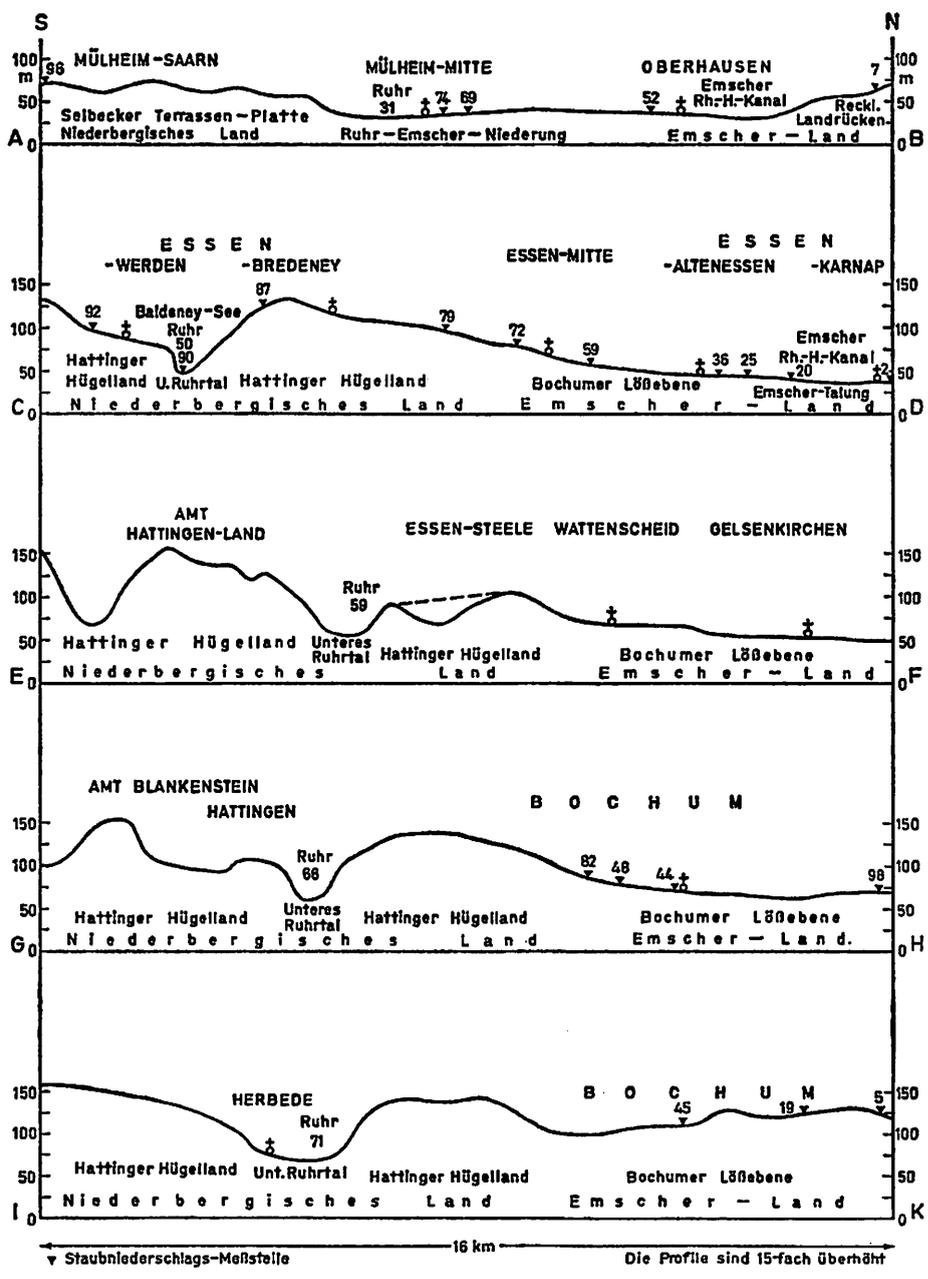


Abb. 11: Nord-Süd-Profile durch das mittlere Ruhrgebiet. (Die Lage der Profile ist in Abbildung 1, Seite 12, eingetragen.)

Emscherniederung einfällt. Nur ein kleiner Teil derselben greift in das Arbeitsgebiet, nämlich im Nordwesten, in dessen äußerster Ecke bereits der Anstieg zu den nördlich der Emscherniederung gelegenen Höhenrücken (hier Recklinghauser Landrücken) erfolgt.

Die Geländeformen lassen eine Zweiteilung in ein z. T. kleinräumig stark differenziertes Hügelland im Süden und ein flaches Land im N erkennen; beide fallen nach Norden ein, ersteres nur großräumig, letzteres dagegen stetig, wenn auch mit geringem Gefälle, wie es die fünf Nord-Süd-Profile durch das Untersuchungsgebiet illustrieren sollen (Abbildung 11, Seite 75). Die Grenze zwischen ebenem Land und Hügelland verläuft annähernd in W-E-Richtung, wenig südlich der Stadtgrenze von Mülheim, Essen und Bochum. Der Höhenunterschied zwischen dem Süden und dem Norden beträgt im Mittel 120 m, maximal 150 m.

Es ist unwahrscheinlich, daß die Geländeformen im Untersuchungsgebiet Klimagrößen (z. B. den Wind) in der Weise beeinflussen, daß sie den Grad der Luftverunreinigung steigern. Das Hügelland im Süden bedeutet keineswegs ein Hindernis für die vornehmlich aus SW wehenden Winde. Vielmehr sorgen diese staubarmen und die emissionsreichen Winde aus E und W für eine gute Durchlüftung und somit für einen schnellen Abtransport der Emissionen.

Flächennutzung des mittleren Ruhrgebietes

Der bereits in den Geländeformen vorhandene Gegensatz zwischen dem hügeligen Niederbergischen Land und der flachen Westfälischen Bucht drückt sich auch in der Flächennutzung deutlich aus. Die Grenze zwischen beiden Naturräumen verläuft südlich der Stadtmitte von Mülheim, Essen und Bochum. Der nördlich dieser Grenze gelegene Teil gehört zu dem eigentlichen Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet. Er ist von einer Menge groß- und kleinindustrieller Betriebe durchsetzt, vielfach dicht bebaut und äußerst arm an Wald- und Grünflächen. Aufgelockert bebaut sind lediglich die Stadtrandbezirke. Südlich der Grenze fehlt so gut wie vollständig die Großindustrie; die hier vorhandenen Industriebetriebe sind fast ausnahmslos kleiner und mittlerer Größe. Hinsichtlich der Siedlungsstruktur überwiegt aufgelockerte Bebauung; vielfach anzutreffen sind Klein- und ländliche Siedlungen. Landwirtschaftlich genutzte Flächen bestimmen noch weithin das Landschaftsbild, das von zahlreichen, z. T. recht ausgedehnten Wäldern durchsetzt ist.

2. Meßergebnisse der Luftverunreinigung

Infolge des bis vor wenigen Jahren noch allgemein herrschenden geringen Interesses an den Fragen der Luftverunreinigung und ihrer Bekämpfung sind Messungen der Luftverunreinigung erst in bescheidenem Um-

fang durchgeführt worden. Vernachlässigt wurde vor allem die Messung gasförmiger Immissionen. Dies gilt auch für die Städte des Untersuchungsgebietes. Auch die Zahl der Forschungsarbeiten über Luftverunreinigungen unter Auswertung von Meßergebnissen ist sehr gering.

Bisherige Untersuchungen der Luftverunreinigung

Im Jahre 1932 hat das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem (Bundesgesundheitsamt) mit systematischen Staubbiederschlagsmessungen an verschiedenen Orten Deutschlands begonnen, die den Zweck hatten, für die Beurteilung des Verunreinigungsgrades einer Gegend durch feste Emissionen einen Maßstab zu gewinnen. Messungen dieser Art wurden im Untersuchungsgebiet lediglich an 7 Standorten vorgenommen; in Mülheim, Oberhausen, Bochum und Gelsenkirchen befand sich je eine, in Essen drei Meßstellen. Die Messungen mußten in den Kriegs- und Nachkriegsjahren unterbrochen werden und wurden erst wieder im Jahre 1953 aufgenommen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in den „Kleinen Mitteilungen des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene“, Berlin-Dahlem, veröffentlicht.

Seit der Mitte der fünfziger Jahre führt das Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem, im Auftrag der Gesundheitsämter verschiedener Städte des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes mittels einer mehr oder weniger großen Zahl von Meßstellen pro Stadt Messungen des Staubbiederschlags und des Gehalts der Luft an gasförmigen Immissionen (vornehmlich an Schwefeldioxid) durch, deren Ergebnisse ausschließlich in Gutachten mitgeteilt werden und der Öffentlichkeit nicht zugänglich sind. Die Meßergebnisse stehen den Auftraggebern (Gesundheitsämter bzw. Stadtverwaltungen) vor allem zu dem Zweck zur Verfügung, einen Überblick über die hygienische Beschaffenheit der Luft zu erhalten und ggf. gegen Luftverunreiniger einzuschreiten, durch deren Emissionen die Gesundheit der Bevölkerung gefährdet ist.

Seit einigen Jahren führt auch das Hygiene-Institut des Ruhrgebietes in Gelsenkirchen im Auftrag verschiedener Stadtverwaltungen im Ruhrgebiet Staubbiederschlagsmessungen durch; die Lage der Meßstellen und die Meßdauer werden vom Auftraggeber bestimmt. Das Ziel der Messungen besteht darin, gewisse Aussagen über die Verteilung fester Immissionen in verschiedenen Stadtteilen und über solche Faktoren zu machen, die für die Ausbreitung der Emissionen und damit die Menge der Immissionen verantwortlich sind. Die Ergebnisse werden nicht veröffentlicht, sondern nur den betreffenden Städten mitgeteilt.

Die Meßergebnisse dieser beiden Institute sind zur großräumigen Beurteilung des Grades der Luftverunreinigung nicht geeignet, da die Streuung der Meßstellen zu groß ist und viele derselben nicht repräsentativ den Grad

der Luftverunreinigung in der weiteren Umgebung angeben. Dies ist in der Zielsetzung vieler Meßstellen begründet, nämlich Aufschluß über den Grad der Luftverunreinigung durch einen bestimmten Emittenten zu bekommen. Unter Berücksichtigung der genannten Einschränkungen sind die Meßergebnisse zur Charakterisierung des Grades der Luftverunreinigung über einen kleinen Raum gut geeignet. Erst durch Erweiterung dieser Meßprogramme könnte Aufschluß über die Luftverunreinigung in größeren Gebieten gewonnen werden. Anzuerkennen ist aber das Bemühen derjenigen Städte, die Messungen der Luftverunreinigung durchführen lassen mit dem Ziel, den Grad der Luftverunreinigung zu ermitteln, um daraus Maßnahmen zu ihrer Bekämpfung einleiten zu können.

Ein detailliertes Bild über den Staubbiederschlag in Essen gab eine Untersuchung des Technischen Überwachungs-Vereins Essen (SCHWARZ, K.; GILBERT, T.; RATZKI, E., Untersuchungen über die Luftverunreinigung im Stadtgebiet Essen, Essen 1959). Von Nov. 1955 bis Febr. 1957 wurden an 600 nördlich der Ruhr gelegenen Meßstellen in Essen Staubbiederschlagsmessungen mit Haftfolien nach DIEM durchgeführt. Die Meßergebnisse sind in Karten über die Staubbiederschlagsverteilung in einzelnen Monaten oder Perioden dargestellt. Das Ergebnis der Untersuchung ist, daß im Jahresmittel der Staubbiederschlag im südlichen Stadtgebiet von Essen unter $30 \text{ g/m}^2\text{-Monat}$ liegt, während er im Norden stellenweise auf Werte über $50 \text{ g/m}^2\text{-Monat}$ ansteigt. Die Isolinie des Staubbiederschlags von $30 \text{ g/m}^2\text{-Monat}$ verläuft dabei etwa in Höhe des Ruhrschnellwegs (Bundesstraße 1) von Osten nach Westen durch Essen, wobei auch die Essener Stadtteile Schönebeck, Borbeck, Bedingrade, Frintrop und Gerschede einen Staubbiederschlag von unter $30 \text{ g/m}^2\text{-Monat}$ aufweisen. Die Messungen ergaben deutlich, daß Baum- und Buschbestände eine Verminderung des Staubbiederschlags bewirken. Eine hohe Vorbelastung der Luft mit Emissionen, die von Emittenten außerhalb des Essener Stadtgebietes herrühren, wurde vor allem in den nördlichen Stadtteilen festgestellt, und zwar bedingt durch Winde aus Westen, Norden und Osten. In der Nähe einzelner Emissionsquellen ergaben sich je nach Windrichtung örtlich große Schwankungen in der Höhe des Staubbiederschlags. Im eng bebauten Stadtzentrum schwankt der Staubbiederschlag nur in geringem Umfang um einen relativ hohen Mittelwert.

An verschiedenen Orten Nordrhein-Westfalens führte in den Jahren 1950—1956 die „Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes NRW“²⁶ Messungen des Staubbiederschlags durch, die jedoch auf Grund ihrer Meßmethodik (Sedimentationsgefäße in Form von Einweckgläsern), ihrer Meßdauer (im Mittel drei Monate pro Meßstelle), der starken Streu-

²⁶ Die „Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes NRW“ wurde am 12. 12. 1963 mit dem „Forschungsinstitut für Luftreinhaltung“ in Essen zur „Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz“ in Essen zusammengelgt.

ung der Meßstellen und der Ausweisung der Staubpegelzonen viel Kritik an der Gültigkeit ihrer Aussagen gefunden haben, u. a. von H. BERG (1958): „Die Zufälligkeit des Straßenverlaufs und auch politischer Grenzen hat sicher nichts zu tun mit dem Verlauf der Grenze zwischen zwei verschiedenen Staubpegelzonen“ (S. 74). Überdies sind die Meßergebnisse für diese Untersuchung auch deshalb von geringer Bedeutung, weil die Messungen nur auf kleine Teilräume des Untersuchungsgebietes Bezug nehmen (Botrop, Hattingen und Teile von Bochum) und die Ergebnisse schon veraltet sind. Die Meßergebnisse sind in Zonen unterschiedlicher Flugstaubabscheidung auf topographischen Karten (meistens Meßtischblätter) in dem „Kartenwerk mit Staubpegelzonen nach Sedimentationsmessungen der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes NRW“, Bochum 1957, publiziert worden.

Auf Grund der äußerst wenigen veröffentlichten Ergebnisse von Staubniederschlagsmessungen ist es nicht möglich, den Grad der Luftverunreinigung durch feste Immissionen im Untersuchungsgebiet großräumig zu bestimmen. Die wenigen Meßergebnisse vermögen lediglich Angaben über den Staubpegel in einigen Teilgebieten zu machen.

Im Gegensatz zu den wenigstens in geringem Umfang vorliegenden Ergebnissen von Messungen des Staubniederschlags sind Messungen des Gehalts der Luft an gasförmigen Immissionen bisher kaum und dann nur kleinräumig und unter spezieller Zielsetzung vorgenommen worden. Durchgeführt wurden diese Messungen — wie auch die fester Immissionen — vom Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem, und vom Hygiene-Institut des Ruhrgebiets in Gelsenkirchen. Der Grund für die bisher stark vernachlässigte Messung gasförmiger Immissionen ist vornehmlich der weit größere Aufwand sowohl in meßtechnischer als auch in finanzieller Hinsicht. Dennoch müssen mit allem Nachdruck auch Messungen der gasförmigen Immissionen gefordert werden, da gasförmige Immissionen die Lebewelt weit mehr schädigen als feste.

Auswertungen von Meßergebnissen fester Emissionen

Erst durch die freundliche und großzügige Bereitstellung unveröffentlichter und zum Teil für Gutachten bestimmter Ergebnisse von Niederschlagsmessungen fester Immissionen und Konzentrationsmessungen des Schwefeldioxid-Gehaltes der Luft von seiten der Gesundheitsämter der Städte des Untersuchungsgebietes sowie des Hygiene-Institutes in Gelsenkirchen, des Herrn Arbeits- und Sozialministers von Nordrhein-Westfalen

und der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz in Essen²⁷ war es möglich, über weite Gebiete des Bearbeitungsraumes den Grad der Luftverunreinigung zu charakterisieren. Nicht möglich war es, anhand der bereitgestellten Meßergebnisse den gesamten Untersuchungsraum hinsichtlich seines Grades der Luftverunreinigung zu bestimmen. Dafür fehlten die erforderliche enge Streuung der Meßstellen und möglichst langfristige Meßzeiträume.

Zur Charakterisierung der Verunreinigung der Luft durch feste Immissionen standen monatliche Meßergebnisse des Staubniederschlags von insgesamt 98 Meßstellen — teils vom Hygiene-Institut in Gelsenkirchen, teils vom Bundesgesundheitsamt betrieben — zur Verfügung, unter denen für diese Arbeit nur die Ergebnisse aus den Jahren 1956—1963 berücksichtigt wurden. Die Meßstellen verteilen sich über das gesamte Bearbeitungsgebiet; ausgenommen ist lediglich der Südostteil (Bochum-Süd, Amt Hattingen-Land, Stadt Hattingen, Amt und Stadt Blankenstein und Herbede), in dem sich keine Meßstellen befinden (siehe Abb. 1, Seite 12). Zahlenmäßig verteilen sich die Meßstellen auf die einzelnen Städte wie folgt: Essen 36, Bochum 18, Oberhausen 17, Mülheim 22, Gelsenkirchen 10, Bottrop 4 und Wattenscheid 3. Im ganzen gesehen ist die Streuung der Meßstellen recht groß, vor allem im Süden des Untersuchungsgebietes.

Deshalb ist es nicht möglich, trotz der Meßergebnisse von 98 Standorten, das gesamte Untersuchungsgebiet in Zonen unterschiedlichen Staubniederschlags (im Monatsmittel der Jahre 1956—1963) zu unterteilen. Die Festlegung der Höhe des Staubniederschlags in Teilräumen des Untersuchungsgebietes, die auf Grund vorliegender Meßergebnisse festlegbar waren, wurde dadurch erschwert, daß die meisten Meßstationen nicht durchgehend über den gesamten, der Untersuchung zugrunde liegenden Zeitraum (1956—1963) betrieben worden sind. Das monatliche Mittel des Staubpegels aus dem Zeitraum, in dem der Meßpunkt in Betrieb war, kann deshalb nicht ohne weiteres als repräsentatives Monatsmittel für den gesamten Bearbeitungszeitraum von 1956—1963 gelten. Um aber dennoch dieses Monatsmittel zu erhalten, wurde der pro Meßstelle registrierte monatliche Staubpegel um einen Betrag verändert, der aus den Jahresmittelwerten von 1956—1963 errechnet worden ist. Dieser „Korrekturfaktor“ beträgt für die einzelnen Jahre:

²⁷ An dieser Stelle möchte ich folgenden Herren meinen tiefen Dank für ihre jederzeit freundliche und großzügige Unterstützung der Untersuchung aussprechen: Obermedizinaldirektor Dr. LANGMANN (Gesundheitsamt Mülheim), Obermedizinaldirektor Dr. FAERBER (Gesundheitsamt Oberhausen), Medizinaldirektor Dr. BEUKERT (Gesundheitsamt Bochum), Medizinaldirektor Dr. BECKER (Gesundheitsamt Essen), Medizinaldirektor Dr. HAENTJES (Gesundheitsamt Bottrop), Oberregierungsrat a. D. GRONEMANN (Gesundheitsamt Gelsenkirchen), Dr. HOFFMANN (Leiter der Abteilung Lufthygiene beim Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen) und Regierungsdirektor Dr. STRATMANN (Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz, Essen).

1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
-1/7	-1/20	0	+1/10	0	0	+1/20	+1/10

Anleitung: Im Beispiel soll der für den Meßpunkt 82 repräsentative Staubbiederschlag für Januar berechnet werden. Bereitstehen die Meßwerte für 1961: 302, 1962: 306 und 1963: 565 mg/m².Tag. Aus ihnen ergeben sich unter Benutzung des entsprechenden Korrekturfaktors die Beträge von 0 (für 1961), 15 (1962) und 57 mg/m².Tag (1963), um die der gemessene Staubpegel zu verändern, d. h. in unserem Beispiel zu vergrößern ist. Das Mittel der drei korrigierten Werte, umgerechnet in g/m².Monat, ergibt den repräsentativen Staubbiederschlag für Januar.

Die auf diese Weise errechneten repräsentativen Monatsmittelwerte des Staubbiederschlags pro Meßstelle für die Jahre 1956—1963, ferner die Lage der Meßstellen und der -zeitraum, in dem jede Meßstelle in Betrieb war, sind im Anhang der Arbeit angeführt.

Mit Hilfe des repräsentativen Staubpegels pro Meßstelle und Monat wurde die räumliche Festlegung eindeutig bestimmbarer Staubbiederschlagszonen vorgenommen. Diese Zonen sind durch folgende Klassenbreiten festgelegt: 1. Zone: unter 8,0; 2. Zone: 8,1—12,5, 3. Zone: 12,6—17,5; 4. Zone: 17,6—25,0; 5. Zone: 25,1—35,0; 6. Zone: über 35,1 g Staubbiederschlag pro m² und 30 Tage (g/m².30 Tage). Die räumliche Lage der Staubbiederschlagszonen ist der Abbildung 12 zu entnehmen.

Ein Staubbiederschlag von über 35 g/m².30 Tage trat mit Sicherheit nur an einigen Meßpunkten und bei diesen in keinem Fall das ganze Jahr über auf. Es sind dies die Meßstellen 3, 5, 6, 30, 31, 33, 51, 75 und 95, die bis auf eine Ausnahme jeweils einzeln sich vorwiegend in unmittelbarer Nähe großer Emittenten befanden. Aus diesem Grunde erscheint es nicht gerechtfertigt, großräumige Gebiete mit einem Staubbiederschlag von über 35 g/m².30 Tage auszuweisen. Auch das Relief, die meteorologisch-klimatischen Verhältnisse und die Siedlungsstruktur des Untersuchungsgebietes machen es nicht wahrscheinlich, daß diese Zone großräumig auftritt.

Eindeutig festlegbar auf Grund der vorhandenen Meßergebnisse des Staubbiederschlags sind die Gebiete mit einem Staubpegel von 25,1—35 g/m².30 Tage (5. Zone). Die Gebiete dieser Zone sind kleinräumig, liegen verstreut und entsprechen in ihrer räumlichen Lage vor allem der von schwerindustriellen Betrieben, deren Emissionen für den Staubpegel der die Zone 5 darstellenden Gebiete verantwortlich sind. Im Jahresmittel des Staubbiederschlags von 1956—1963 liegt die Zone 5 um folgende Meßpunkte (in Klammern jeweils die Angabe über die örtliche Lage und die dort befindlichen emissionsreichen Betriebe): 74 und 75 (Mülheim-Mitte; Eisenwerk Mülheim-Meiderich, Phoenix Rhein-Rohr); 22, 23, 40, 49 und 50 (Oberhausen-Osterfeld; Hüttenwerk Oberhausen); 2, 3, 6 und 8 (Essen-Karnap, Bottrop-Welheim; Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke und kleinere Betriebe); 25 (Essen-Altenessen); 51 (Essen-Mitte; Krupp-Gießerei und andere Betriebe); 5 (Bochum-Hiltrop; Zeche Lothringen IV, Zeche Constantin X); 30 und 31 (Bochum-Werne; Zeche

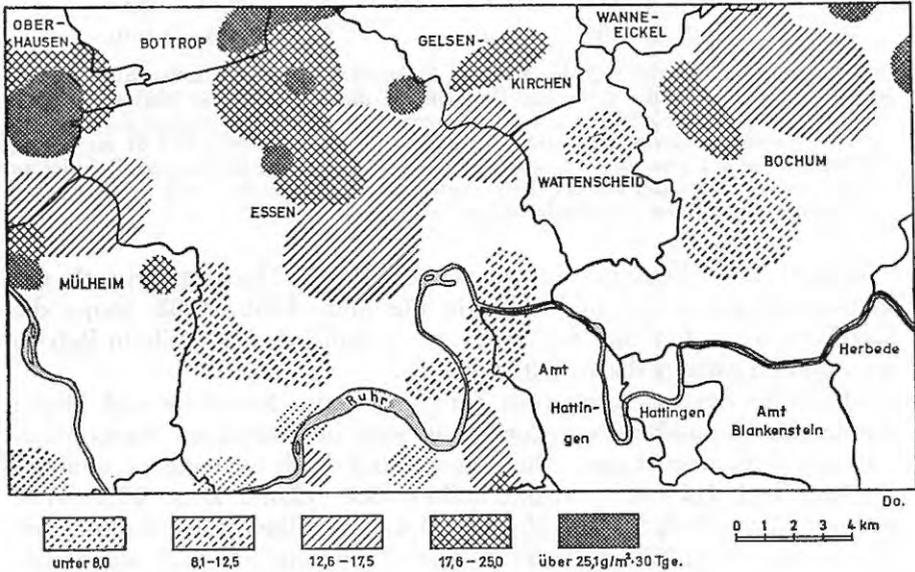


Abb. 12: Die Verunreinigung der Luft durch feste Immissionen; Mittel der Jahre 1956 bis 1963, nach Staubbiederschlagsmessungen des Hygiene-Institutes, Gelsenkirchen, und des Bundesgesundheitsamtes, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem.
 (Weiß gelassen sind die Gebiete, für die auf Grund der hier fehlenden Meßstellen — siehe Abbildung 1 — kein Verunreinigungspegel durch feste Immissionen angegeben werden kann.)
 Orig. M. Domrös

Amalia, Zeche Robert Müser und kleinere Betriebe); 32 und 33 (Essen-Katernberg; Zeche und Kokerei Zollverein). Nicht eindeutig bestimmbar ist die Größe der Zone 5 um die Meßpunkte 5, 25 und 51, da jedes der um diese Punkte liegenden Gebiete der Zone 5 auf Grund des Staubbiederschlags von nur einem Meßpunkt festgelegt ist. Die Existenz dieser Gebiete aber ist auf jeden Fall gesichert, da das Monatsmittel und demzufolge das Jahresmittel des Staubbiederschlags auf langjährige Messungen zurückgehen (Meßpunkt 5: Januar 1956 — Juni 1963; 25 und 51: November 1957 — März 1963) und die monatlichen Mittelwerte des Staubpegels zum größten Teil zwischen 25,1 und 35,0 g/m²·30 Tage liegen (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Korrigierter monatlicher Staubbiederschlag an den Meßstellen 5, 25 und 51 (bezogen auf die Jahre 1956—1963, in g/m²·30 Tage).

Meßpunkt	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
5	27,9	27,5	26,1	23,6	27,2	26,5	35,3	33,8	29,0	26,2	25,8	31,3
25	17,5	18,9	30,3	30,4	33,0	27,0	33,1	25,0	33,1	23,8	19,6	28,7
51	26,2	24,0	23,5	26,8	31,4	29,0	37,3	38,8	26,8	25,3	23,3	29,2

Mittel: Meßpunkt 5: 28,4; 25: 26,7; 51: 28,5.

Die Gebiete der 4. Zone, die durch einen mittleren monatlichen Staubniederschlag von $17,6\text{--}25,0\text{ g/m}^2 \cdot 30\text{ Tage}$ festgelegt ist, sind in ihrer räumlichen Lage vorwiegend durch die Emissionen der Industrie und weniger durch dichte Bebauung gekennzeichnet. Ihre größte Ausdehnung hat diese Zone im Bereich von Essen-Mitte, -Altenessen und -Vogelheim, wo sie durch die Emissionen der Industrie und die als Folge dichter Bebauung bedingt ist. Diese beiden Gründe gelten auch für die Lage der 4. Zone in Gelsenkirchen-Mitte. Lediglich auf industrielle Emissionen zurückzuführen sind dagegen alle weiteren Gebiete der 4. Zone. Es sind dies Teile von Oberhausen-Osterfeld und Mülheim-Mitte (jeweils im Norden und Nordosten schwerindustriell geprägter Gebiete gelegen), ferner der Bereich des Bochumer Vereins in Bochum sowie kleine Gebiete in Mülheim-Heißen und Essen-Kupferdreh (hier im nächsten Einflußgebiet des Kraftwerkes Kupferdreh und der Firma Narjes & Bender im Deilbachtal). Auffallend ist, daß das Gebiet des Bochumer Vereins nicht wie andere schwerindustriell geprägte Gebiete (Oberhausen-Osterfeld, Mülheim-Mitte) der 5. Zone angehört. Die Meßpunkte 27, 28, 44, 47, 48 und 62, die im unmittelbaren Einflußbereich des Bochumer Vereins liegen, weisen dieses Gebiet eindeutig der 4. Zone zu.

Im Gegensatz zu den Zonen 4 und 5 kann die Zone 3 (Staubniederschlag: $12,6\text{--}17,5\text{ g/m}^2 \cdot 30\text{ Tage}$) für relativ große Gebiete eindeutig festgelegt werden. Die größte Fläche nimmt die 3. Zone im Raum Essen-Rüttenscheid, -Bergerhausen, -Frillendorf, -Schonnebeck, -Stoppenberg und Gelsenkirchen-Rotthausen ein. Ein zweites weiträumiges Gebiet der 3. Zone nimmt den Norden der Stadtmitte von Bochum und die nach Osten, Nordosten und Norden hin sich anschließenden Stadtteile Altenbochum, Kornharpen, Grumme, Riemke und Hofstede ein. An Fläche folgt als drittes größtes Gebiet der Zone 3 der Raum Essen-Bedingrade, Mülheim-Dümpten und der Süden von Oberhausen-Osterfeld. Die Höhe des Staubniederschlags in diesen Gebieten ist bedingt durch die Emissionen vorwiegend der Kleinindustrie und durch dichte Bebauung. Die Richtigkeit der Aussage, daß dichte Bebauung einen höheren Staubpegel bedeutet als lockere Bebauung und daß somit auch die Bebauungsdichte wesentlich zur Erhöhung des Grades der Luftverunreinigung beiträgt, zeigt sich deutlich in den beiden Essener Stadtteilen Werden und Kupferdreh.

Zur 2. Zone (Staubniederschlag zwischen $8,1$ und $12,5\text{ g/m}^2 \cdot 30\text{ Tage}$) zählen vier inselartig sich über das Untersuchungsgebiet verteilende und folgende Stadtteile einnehmende Gebiete: 1. Essen-Fulerum, -Haarzopf und -Bredene; 2. Essen-Heisingen, -Überruhr und -Steele-Horst; 3. Wattenscheid-Günnigfeld und -Westenfeld; 4. Bochum-Weitmar, -Wiemelhausen, -Brenschede. Die 2. Zone nimmt Gebiete lockerer Bebauung ein, die außerdem auch durch wenig oder keine Industrie gekennzeichnet und zum Teil von Wäldern durchsetzt sind. Die Möglichkeit des Entstehens und der An-

sammlung fester Emissionen ist in dieser Zone sehr gering, zumal die erzeugten Emissionen bei lockerer Bebauung und damit verbundener guter Durchlüftung (bedingt durch Turbulenz) schnell abtransportiert werden bzw. die Wälder luftreinigend auf die Emissionen wirken. Auffallend ist die Ausbreitung der 2. Zone in der Stadtmitte von Wattenscheid, denn die Stadtmitten aller übrigen Städte des Untersuchungsgebietes sind Zonen höheren monatlichen Staubniederschlags zuzuweisen (sogar die Stadtteile Essen-Werden und -Kupferdreh, siehe oben). Die Höhe des Staubpegels in Wattenscheid soll für den Meßpunkt 42 angegeben werden (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Korrigierter monatlicher Staubniederschlag für den Meßpunkt 42 (in $\text{g/m}^2 \cdot 30$ Tage, 1956—1963).

Meßpunkt	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
42	10,1	9,4	11,5	12,9	12,4	10,7	7,9	7,8	8,6	10,1	12,6	9,1
Mittel: 10,3												

Die genannten Kennzeichen der 2. Zone sind ohne Zweifel auch die Ursache für die Ausbreitung dieser Zone über die Stadtmitte von Wattenscheid. Von größter Bedeutung für den niedrigen Staubpegel darf die lockere Bebauung Wattenscheids angesehen werden. Das trifft zwar nicht für den Stadtkern zu, der jedoch räumlich äußerst eng begrenzt ist, so daß er in der großräumigen Verbreitung des Staubpegels gar nicht in Erscheinung tritt. Ein ausgeprägtes Stadtzentrum, das sich auch in der Höhe des Staubniederschlags bemerkbar macht, fehlt in Wattenscheid. Der Staubpegel von Wattenscheid wird auch dadurch recht niedrig gehalten, daß emissionsreiche Großbetriebe fehlen und die Emissionen der Schwerindustrie der Nachbarstädte meistens nicht bis nach Wattenscheid getragen werden.

Die 1. Zone, festgelegt durch einen Staubniederschlag unter $8,0 \text{ g/m}^2 \cdot 30$ Tage, konnte auf Grund der vorliegenden Meßergebnisse nur für die Umgebung der Meßstellen 90 (Essen-Bredeney, Heissiwald), 91 (Essen-Schuir), 93 (Essen-Hamm) und 96 (Mülheim-Selbeck) angegeben werden; mit Sicherheit jedoch dürfte die Zone weitere Gebiete im Süden des Untersuchungsraumes einnehmen, die sich ebenso wie die durch die genannten Meßstationen festgelegten Gebiete außerhalb jedes lufthygienisch bedeutsamen Stadteinflusses befinden, nicht oder nur locker bebaut und walddreich sind, praktisch keine Industrie aufweisen und vielfach landwirtschaftlich genutzt werden.

Im gesamten gesehen drücken sich in der Lage der Zonen unterschiedlichen Staubpegels deutlich die Flächennutzung und der Landschaftscharakter des Untersuchungsgebietes aus. Grundsätzlich sind industriell geprägte Gebiete höher staubbelastet als landwirtschaftlich genutzte und industriearme Räume. Deshalb weist der Süden — die Ausläufer des Bergischen Landes (walddreich, locker besiedelt, industriearm, vielfach landwirtschaft-

lich genutzt) — einen niedrigeren Staubpegel auf als der Norden. Hier nehmen die Zonen hohen Staubbiederschlags (4. und 5. Zone) die Gebiete schwerindustrieller Betriebe und ihrer Umgebung ein, die durch hohe Emissionen gekennzeichnet sind. Das zeigt zugleich, daß die festen Emissionen normalerweise keine großen Entfernungen bis zu ihrer Sedimentation zurücklegen, sondern in der nahen Umgebung ihrer Emittenten sich niederschlagen. Auffallend ist vor allem die Ausbreitung der 2. Zone über die Stadtmitte von Wattenscheid, was in der lockeren Bebauung und der Armut an emissionsreicher Industrie begründet ist. Die Lage der 3. Zone in Essen-Werden und -Kupferdreh geht auf die Emissionen als Folge dichter Bebauung und des Verkehrs zurück.

Auswertung von Meßergebnissen gasförmiger Emissionen

Noch lückenhafter als die schon unvollkommene Charakterisierung des Untersuchungsgebietes durch feste Immissionen ist die durch gasförmige, da Messungen derselben — vor allem des Schwefeldioxid-Gehaltes der Luft — erst in geringem Umfang durchgeführt worden sind. Daß überhaupt einige Angaben über die Schwefeldioxid-Konzentration gemacht werden können, ist wiederum nur dem freundlichen Entgegenkommen der Gesundheitsämter der Städte Bochum, Essen, Mülheim und Oberhausen sowie der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz in Essen zu verdanken, die bisher unveröffentlichte Meßergebnisse bereitstellten. Die von den Gesundheitsämtern überlassenen Meßergebnisse sind zu einer großräumigen Charakterisierung der Luftverunreinigung durch gasförmige Immissionen bzw. Schwefeldioxid ungeeignet, weil die Messungen einmal nur in Teilgebieten der genannten Städte vorgenommen worden sind und sie zum anderen den Grad der SO_2 -Luftverunreinigung durch bestimmte Emittenten ermitteln sollten. Trotz dieser Einschränkung ist aber der Aussagewert der Meßergebnisse nicht zu bestreiten, da sie zumindest ein Ausdruck für die Schwefeldioxid-Konzentration kleiner Teilräume sind. Demgegenüber bieten die Meßergebnisse der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz (Essen) durchaus die Möglichkeit einer großräumigen Charakterisierung der Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid. Leider reicht jedoch nur noch der südliche Teil jenes Untersuchungsraumes in mein Bearbeitungsgebiet.

Im Auftrag der Stadt Essen führte das Bundesgesundheitsamt in Berlin-Dahlem Messungen gasförmiger, vor allem schwefelhaltiger Immissionen durch, die sich auf den Norden Essens konzentrierten und nur auf eine mehrtägige Meßdauer bezogen. Die zur Verfügung gestellten drei Untersuchungsreihen umfassen die Zeiträume vom 21.—28. Juni 1957 (mit 41 Meßstellen), vom 4.—9. November 1957 (mit 40 Meßstellen) und vom

23.—27. Juni 1958 (mit 28 Meßstellen). Die Standorte der Probenahme und die Meßergebnisse sind im Anhang, Übersicht 3, 4 und 5, angegeben. Durchgeführt wurden die Messungen mittels Außenluftuntersuchungen nach dem Glockenverfahren von LIESEGANG. Die Messungen hatten weniger den Zweck einer großräumigen allgemeinen Orientierung über den Gehalt der Luft an schwefelhaltigen Gasen, sondern sollten speziell den Einfluß einzelner Emittenten auf die Luftverunreinigung durch schwefelhaltige Gase ermitteln. Die meisten Meßstellen lagen deshalb in unmittelbarer Umgebung solcher Betriebe, die als große Emittenten vermutet wurden. Dies galt vorwiegend für die Zinkhütte in Essen-Bochold, aber auch für die Kraftwerke Karnap, Viehofer Straße und Kupferdreh. Aus der Auswertung

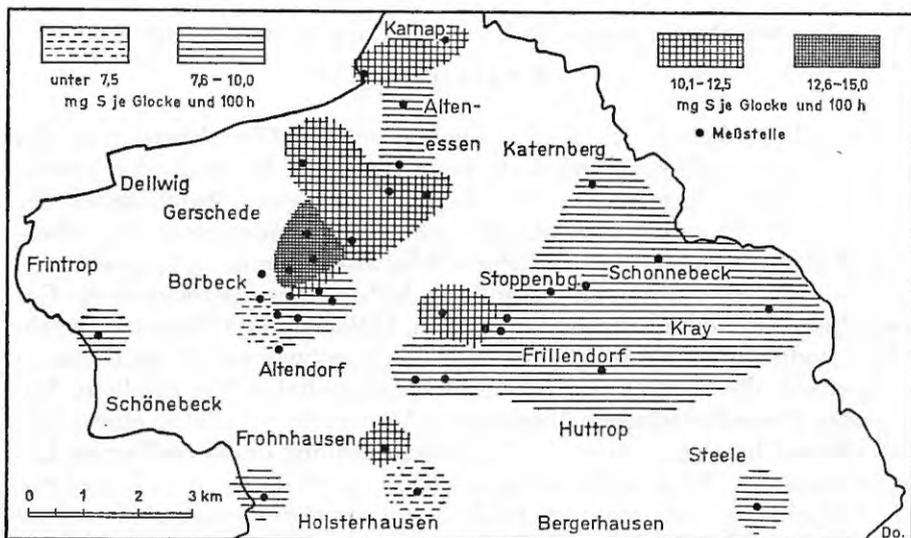


Abb. 13: Luftverunreinigung in Essen durch schwefelhaltige Immissionen; auf Grund von Außenluftuntersuchungen des Bundesgesundheitsamtes, Berlin-Dahlem, nach der Glockenmethode von Liesegang vom 21.—28. 6. 1957.

(Weiß gelassen sind die Gebiete, für die auf Grund der hier fehlenden Meßstellen kein Verunreinigungspegel durch feste Immissionen angegeben werden kann.)
Orig. M. Domrös

der Meßergebnisse läßt sich mit Sicherheit aussagen (vergleiche Abbildung 13), daß der hohe Grad der Luftverunreinigung durch schwefelhaltige Gase in Essen-Bochold auf die Abgase der Zinkhütte zurückzuführen ist. Auch an dem relativ hohen Verunreinigungspegel in Essen-Vogelheim und Altenessen dürften die Abgase der Zinkhütte mitbeteiligt sein, wobei in diesen Gebieten allerdings auch die Emissionen des Industriegebietes in Essen-Vogelheim (um und südlich des Stadthafens) und die Emissionen als Folge dichter Bebauung in Altenessen nicht zu unterschätzen sind. Gesichert erscheint

auch die Zunahme an gasförmigen Immissionen durch das Kraftwerk Karpap, in dessen Umgebung, vornehmlich im Windschatten, ein relativ hoher Gehalt der Luft an gasförmigen Immissionen festzustellen ist. Wesentlich niedriger ist der Grad der Luftverunreinigung in den Essener Stadtteilen Schonnebeck, Stoppenberg, Frillendorf und Kray. Weitere Aussagen aus den Meßergebnissen machen zu wollen, ist nicht berechtigt, da derartige Aussagen sich nur auf das Untersuchungsergebnis einer Meßstelle gründen würden und diese Meßstelle — vor allem bei der Kürze der Meßzeit — durchaus einen nicht-repräsentativen Wert angeben könnte. Für die oben genannten Beispiele — vor allem für die Umgebung der Zinkhütte — trifft diese Einschränkung nicht zu.

Untersuchungen der Außenluft auf den Gehalt an schwefelhaltigen Abgasen führte das Bundesgesundheitsamt auch in Mülheim durch, wobei das Schwergewicht der Untersuchungen wiederum auf vermutlich stark belasteten Gebieten lag. Die in den Zeiträumen vom 4.—8. April 1960 und 7.—11. November 1960 mit dem Glockenverfahren von LIESEGANG durchgeführten

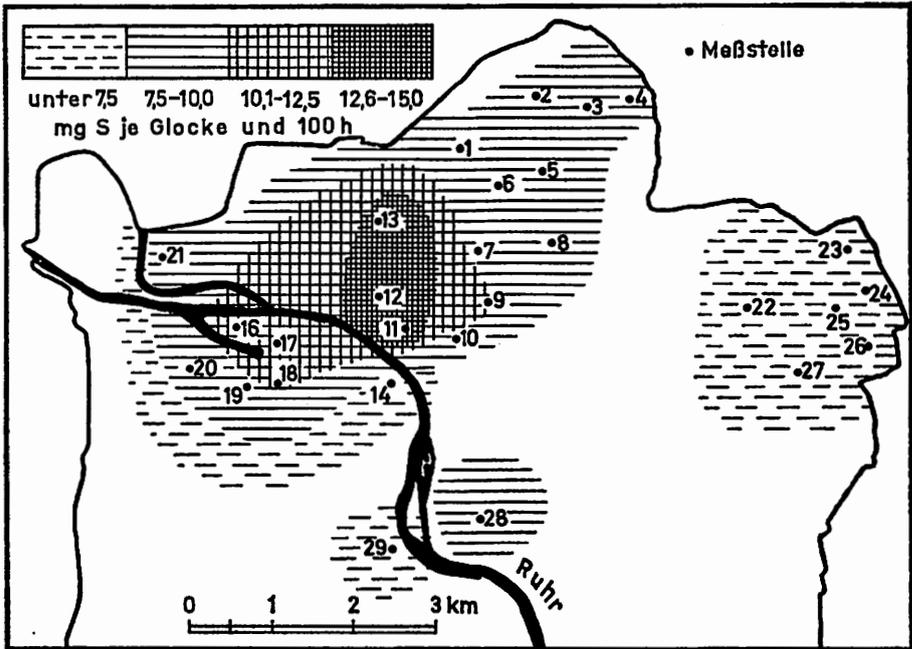


Abb. 14: Luftverunreinigung in Mülheim durch schwefelhaltige Immissionen; auf Grund von Außenluftuntersuchungen des Bundesgesundheitsamtes, Berlin-Dahlem, nach der Glockenmethode von Liesegang, Mittel der Meßzeiträume 4.—8. 4. 1960 und 7.—11. 11. 1960.

(Weiß gelassen sind die Gebiete, für die auf Grund der hier fehlenden Meßstellen der Grad der Luftverunreinigung durch schwefelhaltige Immissionen nicht angegeben werden kann.)

Orig. M. Domrös

Untersuchungen an 31 bzw. 30 Meßstellen ergaben den Befund (siehe Abbildung 14 sowie die Lage der Meßstellen und die Meßergebnisse im Anhang, Übersicht 6), daß in der Nähe großindustrieller, emissionsreicher Betriebe (vornehmlich des großen Industriegebietes in Mülheim-Altstadt 2) die Belastung der Meßglocken mit schwefelhaltigen Abgasen wesentlich größer war als in den übrigen Stadtgebieten. Auf Grund beider Untersuchungsreihen zeigte das Stadtviertel Altstadt 2 den höchsten Grad der Luftverunreinigung. Die in ihm registrierten Maximalwerte von 15 (Meßstelle 11: Friedrich-Ebert-Straße) und 16 mg Schwefel je Glocke (Meßstelle 12: Bahnhof Mülheim-Ruhr), die einer Schwefeldioxid-Konzentration in der Größenordnung von 0,1—0,2 mg/m³ entsprechen, sind auf die Emissionen des großen Mülheimer Industriegebietes im Stadtteil Altstadt 2 zurückzuführen. Daß der Gehalt der Luft an schwefelhaltigen Abgasen maximal einen Glockenwert von nur 16 mg Schwefel erreicht, liegt an den überdurchschnittlich guten Witterungsperioden, in denen die Außenluftuntersuchungen durchgeführt worden sind. Bei durchschnittlicher Witterung würden die Meßergebnisse wesentlich höher ausfallen.

Messungen des Schwefeldioxidgehaltes der Luft in Oberhausen führt seit einigen Jahren das Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen, durch. Von den an vier Meßstellen vorgenommenen Konzentrationsmessungen kommen für das Untersuchungsgebiet lediglich die beiden Meßstellen Gesundheitsamt Oberhausen (Tannenbergsstraße) und Gesundheitsamt Oberhausen-Osterfeld in Frage. Die im Mittel für das Jahr 1963 mit 0,16—0,56 mg/m³ bzw. 0,08—0,38 mg/m³ errechneten Schwefeldioxid-Konzentrationen liegen weit über den entsprechenden Konzentrationen der beiden übrigen Meßstellen (Sterkrade: 0,05—0,27 mg/m³, Schmachtdorf: 0,08—0,32 mg/m³).

Messungen der Schwefeldioxid-Konzentration in Bochum — ebenfalls vom Hygiene-Institut durchgeführt — wurden von den beiden letzten Untersuchungsprogrammen (1. Oktober 1962 — 30. September 1963 und 1. Oktober 1963 — 30. September 1964) zur Verfügung gestellt. Beide Meßreihen wurden aber jeweils nur an einer Meßstelle, fast ausschließlich an der Desinfektionsanstalt (Katharinastraße), vorgenommen, weshalb die ermittelten SO₂-Konzentrationen in weitestem Sinne die Schwefeldioxid-Emission für Bochum-Mitte angeben können. In beiden Meßprogrammen ergaben sich aber gleichhohe SO₂-Konzentrationen jeweils für das Winter- und das Sommerhalbjahr; zwischen Sommer und Winter allerdings bestehen erhebliche Konzentrationsschwankungen (Winter 1962/63: 0,125 ppm, Sommer 1963: 0,054 ppm). Im Mittel ergab sich eine Schwefeldioxid-Konzentration von 0,29—0,09 mg/m³ (= 0,11—0,03 ppm), die damit beträchtlich unter der SO₂-Konzentration von Oberhausen (siehe oben) lag.

Ein umfangreiches Meßprogramm zur Bestimmung des Schwefeldioxidgehaltes der Luft im „Nördlichen Ruhrgebiet“ führte die „Landesanstalt für

Immissions- und Bodennutzungsschutz“ durch, indem sie für den Zeitraum von Juli 1962 — Juni 1963 an 399 Meßstellen die SO_2 -Konzentration bestimmte. Durch Stichprobenuntersuchungen mit Hilfe des STRATMANN-Gerätes wurden an drei aufeinanderfolgenden Tagen im Monat an jeder Meßstelle drei Einzelwerte erlangt, so daß am Ende des Meßzeitraumes 36 Einzelwerte für die Berechnung des repräsentativen Jahres-Mittelwertes der SO_2 -Konzentration pro Meßstelle vorlagen. Die Anordnung der Meßstellen vollzog sich nach einem etwa 1×1 km-Netz. Dieses Untersuchungsprogramm ist ein Vorläufer des (inzwischen angelaufenen) Landesmeßprogrammes, das vom Arbeits- und Sozialminister des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt wird; es hat den Zweck, einerseits Unterlagen über die Immissionsbelastung schlechthiu zu erhalten und andererseits Erfahrungen zu sammeln, unter welchen Voraussetzungen eine ständige Überwachung der Luftverunreinigung möglich ist.

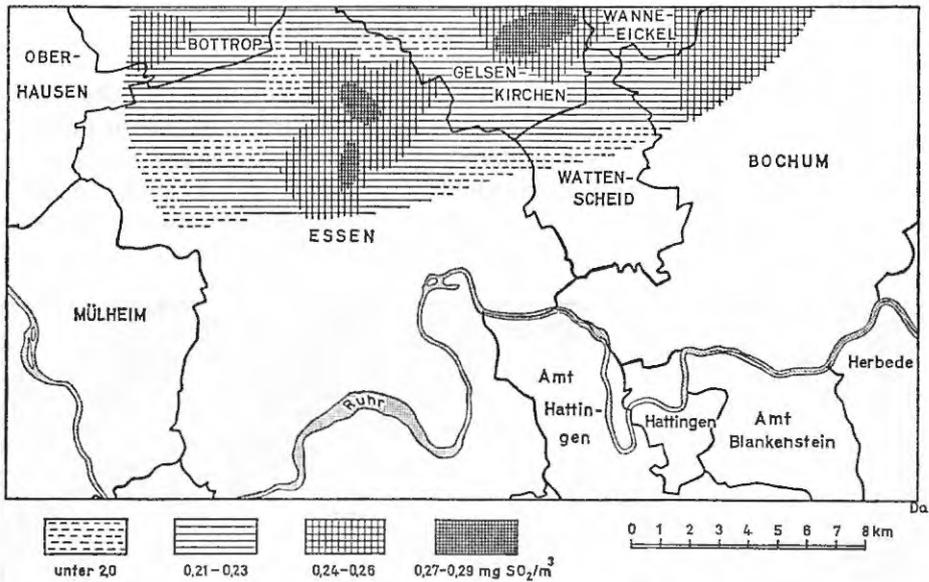


Abb. 15: Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid; nach Stichprobenuntersuchungen mit dem Stratmann-Gerät, durchgeführt von der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen, Mittel Juli 1962 — Juni 1963.

(Weiß gelassen ist das Gebiet, das außerhalb des „Nördlichen Ruhrgebietes“ liegt, auf das sich das Meßprogramm der Landesanstalt bezog.)

Orig. M. Domrös

Dieses große Untersuchungsgebiet mit seinem engmaschigen Meßstellen-netz ragt mit seinem Südteil in den Raum dieser Arbeit, in dem insgesamt 126 Meßstellen liegen, deren Meßergebnisse für den Norden des Untersuchungsgebietes eine gute Grundlage zur großräumigen Kennzeichnung

des Grades der Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid-Immissionen bilden. Die Auswertung der Meßergebnisse (siehe Abbildung 15) zeigt grundsätzlich eine geringe Schwankungsbreite der mittleren SO_2 -Konzentration, die sich — abgesehen von wenigen Ausnahmen — praktisch zwischen 0,20 und 0,30 $\text{mg SO}_2/\text{m}^3$ bewegt. Die am stärksten belasteten Gebiete (0,27—0,29 $\text{mg SO}_2/\text{m}^3$) liegen im Bereich der Stadtmitte von Gelsenkirchen (u. a. Eisenwerke Gelsenkirchen), in Essen-Stoppenberg (u. a. Kokerei Zeche Zollverein) und im Nordviertel der Essener Innenstadt. Die Gebiete mit der geringsten Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid (unter 0,20 $\text{mg SO}_2/\text{m}^3$) befinden sich hauptsächlich am Süd- und Südwestrand des Untersuchungsgebietes „Nördliches Ruhrgebiet“, und zwar im Raum Wattenscheid/Essen-Kray und Essen-Schönebeck/-Bedingrade. (Die Meßergebnisse der SO_2 -Konzentration sind im Anhang, Übersicht 7, angeführt.)

3. Die Ausweisung der Immissionsbelastungszonen

Weder auf Grund der bisherigen Veröffentlichungen über den Grad der Luftverunreinigung sowohl durch feste als auch durch gasförmige Immissionen noch aus der Auswertung bereitgestellter Meßergebnisse des Staubniederschlags und der Schwefeldioxid-Konzentration ist es möglich, eine geschlossene Charakterisierung des Grades der Luftverunreinigung im Untersuchungsgebiet zu geben. Um diese dennoch zu erhalten, wertete ich einer-

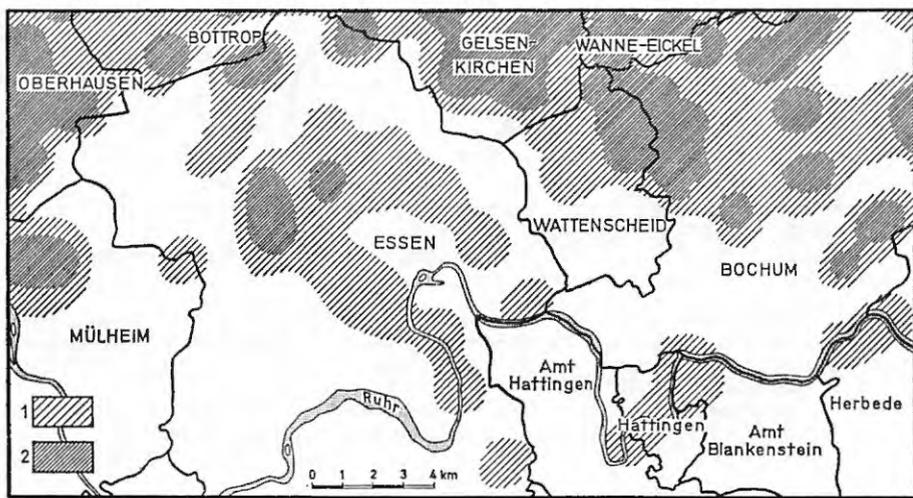


Abb. 16: Die Belastung durch Emissionen (n. D. Hennebo, Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk, Essen, 1959).

1: Belastung über Zumutbarkeit; 2: stärkste Belastungsbereiche der Gebiete 1; nicht schraffiert sind die nicht über Zumutbarkeit belasteten Gebiete.

seits die veröffentlichten und die zur Verfügung gestellten Meßergebnisse fester und gasförmiger Immissionen und andererseits die Belastung der Luft durch Emissionen²⁸, die Flächennutzung, die Bevölkerungsdichte pro Stadtteil und die meteorologischen und klimatischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes in der Weise aus, daß es möglich war, Zonen unterschiedlich hoher Belastung durch gasförmige und feste Immissionen auszuweisen. Die einzelnen Immissionsbelastungszonen sind deshalb nicht mit absoluten Maßgrößen bzgl. Staubbiederschlag und Schwefeldioxidkonzentration festlegbar, sondern sie sind ein Ausdruck des relativen Grades der Luftverunreinigung. Insgesamt unterteilt wurde der Grad der Immissionsbelastung in vier Stufen, die mit den Bezeichnungen kaum-luftverunreinigt, schwach-luftverunreinigt, stark-luftverunreinigt und hochgradig-luftverunreinigt versehen wurden.

Die Karte der Immissionsbelastungszonen (Abb. 17, S. 92) weist den gesamten Süden des Untersuchungsgebietes eindeutig als kaum-luftverunreinigt aus. Inselartig liegen in dieser Zone lediglich einige kleinere schwach-luftverunreinigte Gebiete; es sind dies Essen-Werden, Herbede, Essen-Kupferdreh und Hattingen, wobei im Kern der beiden letztgenannten Gebiete sogar stark-luftverunreinigte Zellen liegen, die nur kleinräumig ausgebildet und auf den Einflußbereich emissionsreicher Betriebe beschränkt sind (Kraftwerk Kupferdreh und Narjes & Bender bzw. Rhestahl Henrichshütte). Die kaum-luftverunreinigte Immissionsbelastungszone deckt sich mit dem Nordausläufer des Niederbergischen Landes, den sie im Gebiet von Mülheim und Bochum sogar überschreitet. An diese Zone schließt sich nach Norden die schwach-luftverunreinigte Zone an, die sich als durchgehendes Band von unterschiedlicher Breite in ost-westlicher Richtung durch das Untersuchungsgebiet zieht. Im Raum Wattenscheid/Essen-Kray und im Übergangsraum von Essen und Mülheim ist diese Zone am mächtigsten, im Süden der Stadtmitten von Mülheim, Essen und Bochum nur als ein schmaler Gürtel zwischen der kaum- und der stark-luftverunreinigten Zone ausgebildet. Letztere schließt sich in mächtiger Ausdehnung nach Norden hin an und nimmt praktisch die gesamte Nordhälfte des Untersuchungsgebietes ein. Lediglich hochgradig-luftverunreinigte Gebiete durchsetzen diese Zone.

Um die räumliche Lage der Immissionsbelastungszonen zu erklären, kann weitgehend auf die Begründung der Verteilung der Staubpegelzonen zurückgegriffen werden. Der deutlich ausgeprägte Gegensatz des Untersuchungsgebietes hinsichtlich seiner Flächennutzung drückt sich in der Lage der Immissionsbelastungszonen aus. Die als hochgradig-luftverunreinigt ausgewiesenen Gebiete decken sich mit den stark-industrialisierten und den am dichtesten besiedelten (Innenstadt- und Altstadt-) Gebieten. Dies trifft

²⁸ Auf Grund eines Entwurfes von D. HENNEBO (1959) für die Fläche des Siedlungsverbandes Ruhrkohlenbezirk (vgl. Abb. 16).

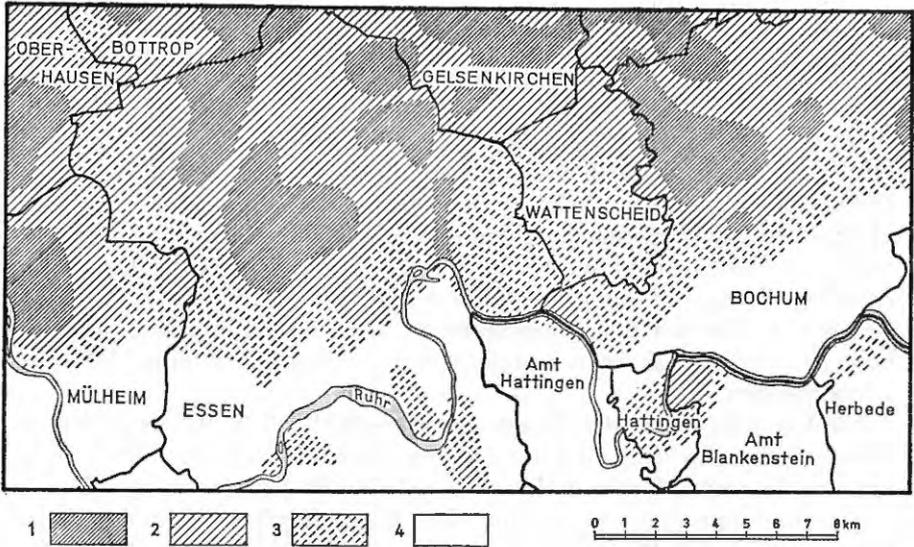


Abb. 17: Immissionsbelastungszonen, ausgewiesen auf Grund von Meßergebnissen fester und gasförmiger Immissionen und unter Berücksichtigung hemmender und fördernder Faktoren der Luftverreinigung.
 1: hochgradig-luftverunreinigt; 2: stark-luftverunreinigt; 3: schwach-luftverunreinigt; 4: kaum-luftverunreinigt. *Orig. M. Domrös*

deutlich für Essen-Frohnhausen und -Altendorf zu, nur zum Teil aber für Bochum und gar nicht für Wattenscheid. Wattenscheids Innen- und Altstadt macht sich auf Grund ihrer kleinräumigen Ausdehnung lufthygienisch gar nicht nachteilig bemerkbar. Als hochgradig-luftverunreinigte Zonen, beruhend auf den Emissionen großer Industriebetriebe bzw. -gebiete, treten die folgenden Gebiete in Erscheinung: Mülheim-Mitte, Oberhausen-Osterfeld, Essen-Vogelheim und -Karnap, Bottrop-Welheim, Essen-Katernberg und -Schonnebeck, Gelsenkirchen-Altstadt, -Neustadt und -Rotthausen sowie -Schalke und -Bulmke-Hüllen, Wanne-Eickel-Röhlinghausen und -Holsterhausen (beide zum Teil), Bochum-Hofstede, -Hordel, -Hamme, -Mitte, -Werne und -Gerthe. Die stark-luftverunreinigten Zonen sind Gebiete, die im allgemeinen noch stark beeinflusst sind von den Emissionen jener Industriebetriebe, die zum größten Teil die hochgradig-luftverunreinigten Zonen bedingen. In stark-luftverunreinigten Gebieten ist außerdem die Ortsüblichkeit²⁰ der Immissionen relativ hoch, was neben dem obengenannten Grund auf das Vorhandensein vieler kleiner Gewerbebetriebe und z. T. dichter Bebauung sowie auf das Fehlen von Grün- und Waldflächen zurückzuführen ist. Letztere dagegen durchsetzen bereits die schwach-luft-

²⁰ Unter Ortsüblichkeit versteht man die Belastung der Luft durch die Emissionen, die notwendig von den vorhandenen Emittenten eines Gebietes erzeugt werden.

verunreinigten Gebiete, die ferner durch vorwiegend lockere Bebauung und sogar vorhandene Landwirtschaft (Wattenscheid) gekennzeichnet sind. So stellt im gesamten gesehen auch die Verteilung der Immissionsbelastungszonen ein gutes Spiegelbild der großräumigen Flächennutzung im Kern des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes dar.

4. Die Verbreitung rindenbewohnender Flechten

U n t e r s u c h u n g s m e t h o d e

Die Untersuchung des Flechtenbewuchses im Industriegebiet bezog sich ausschließlich auf die Flechten der Baumrinde, die auf Grund bisheriger Erfahrungen als Indikator des Stadtklimas und/oder der Luftverunreinigung betrachtet werden können und die daher einen wichtigen Aussagewert für die Städte- und Industrielandschaft an der Ruhr besitzen. Vier Tatsachen mußten bei der Feldaufnahme berücksichtigt werden:

1. der physiognomische Siedlungstyp im Sinne von VARESCHI,
2. der „Deckungsgrad“ des Flechtenbewuchses,
3. die Exposition des stärksten Flechtenbewuchses,
4. die Art der Trägerpflanze nach dem Berindungstyp.

Die Art der Trägerpflanze, d. h. die verschiedenen Baumarten, bedeuten für die Flechten bei gleichen Standortbedingungen unterschiedliche Wachstumsbedingungen, die sich vorwiegend in der Stärke des Deckungsgrades ausdrücken. Diese Tatsache beruht auf der Oberflächenstruktur der Borke (rissig oder glatt), auf der Eigenart vieler Borken abzublättern und auf dem Absorptionskoeffizienten des Substrates für Feuchtigkeit. Deshalb ist es durchaus möglich, daß der physiognomische Siedlungstyp z. B. an zwei benachbarten Bäumen trotz unterschiedlich registrierten Deckungsgrades demselben Siedlungstyp zuzuweisen ist, da eine der beiden Trägerpflanzen wachstumshemmend für die Flechtenbesiedlung ist.

Die Abschätzung des Deckungsgrades bezog sich nur auf e i n e Stammhälfte, und zwar jeweils auf die, in deren Mitte sich die Exposition des stärksten Flechtenbewuchses befand. Bei der Untersuchung des Flechtenbewuchses ergab sich in der Praxis die Tatsache, daß der Flechtenbewuchs sich deutn a c h e i n e r Richtung orientierte, indem er sich auf die Süd- bis Westflanke der Baumstämme konzentrierte.

Für die praktische Durchführung der Geländearbeiten war diese Tatsache außerordentlich wichtig, denn sie bedeutete einen stark verringerten Arbeitsaufwand, da nach einer Zeit der Einarbeitung, in der diese grundsätzliche Feststellung getroffen werden konnte, die Baumstämme nur noch in der Richtung des zu erwartenden Flechtenbewuchses untersucht zu werden brauchten.

Die von mir vorgenommene Abschätzung des Deckungsgrades auf

der Stammhälfte mit der flechtenreichsten Exposition deckt sich im groben mit der Methode VARESCHIS (1936), der den Deckungsgrad grundsätzlich nach der Quantität der epiphytischen Siedlungsform auf der Wetterseite des Baumstammes bestimmte. Denn die Wetterseite der Bäume und die bei meinen Untersuchungen ermittelte Richtung des stärksten Flechtenbewuchses decken sich weitgehend (siehe auch Tabelle 13, Seite 103).

Der Deckungsgrad, bezogen auf die Stammhälfte mit der Exposition des stärksten Flechtenbewuchses, wurde nach der folgenden vierstufigen Skala geschätzt:

Deckungsgrad 4: 100—50 % der Bezugsfläche deckend;

Deckungsgrad 3: 50—25 % der Bezugsfläche deckend;

Deckungsgrad 2: 25—10 % der Bezugsfläche deckend;

Deckungsgrad 1: unter 10 % der Bezugsfläche deckend.

Mit dem Deckungsgrad 0 wurde fehlender Flechtenbewuchs auf den Rinden der Bäume ausgedrückt, was sich mit der Flechtenwüste deckt.

Die Schätzung des Deckungsgrades nach dieser im allgemeinen nicht gebräuchlichen Skala erscheint für den Zweck dieser Untersuchung am geeignetsten, da das Untersuchungsgebiet sich durch einen äußerst spärlichen Flechtenbewuchs auszeichnet, was sich in dem Vorkommen nur weniger epiphytischer Siedlungstypen und dem begrenzten Auftreten eines dichten Flechtenbewuchses ausdrückt. Es wäre deshalb verfehlt (und ist auch von der Zielsetzung der Untersuchung her nicht gefordert), sowohl die hier gewählte Klassenbreite des Deckungsgrades 1 als auch die des Deckungsgrades 4 weiter zu unterteilen, wie es hinsichtlich letzterer von F. OCHSNER (1935) geschehen ist. Er nimmt folgende Einteilung vor: Deckungsgrad 5 = 100—80% der Bezugsfläche deckend, 4 = 80—50%, 3 = 50—40%, 2 = 40—20%, 1 = weniger als 20%, 0 = sehr gering.

J. BRAUN-BLANQUET (1951) übernimmt die Skala von OCHSNER, nur daß er dessen Deckungsgrad 1 und 0 zu einem Deckungsgrad zusammenfaßt.

Die für diese Untersuchung gewählte Skala des Deckungsgrades kommt der von OCHSNER (1927) am nächsten, der folgende Klassenbreiten abgrenzt: Deckungsgrad 5 = 100—50%, 4 = 50—25%, 3 = 25—12,5%, 2 = 12,5—6,25%, 1 = 6,25—3,125%.

Die Registrierung des epiphytischen Siedlungstypes, die Abschätzung des Deckungsgrades und die Exposition desselben beschränkten sich auf die Mittelteile der Baumstämme unter Ausschluß des Basisteils und des Subkronenteils, um dadurch einmal den repräsentativen und vergleichbaren Stammteil zu untersuchen und zum anderen nicht nur die praktische Durchführbarkeit der Methode zu garantieren, sondern auch eine weitest mögliche, von der Methode her erlaubte Vereinfachung der Untersuchung zu bekommen. Registriert wird damit auf den Baumrinden derjenige Flechtenbewuchs, der unter dem Einfluß des Stamm-

raumklimas steht. Neben diesem sind als mikroklimatische Ausdrucksformen, denen ein Baum unterliegt, das Bodenklima, das Wetterseitenklima und das Kronenklima zu nennen.

Die Untersuchung bezog sich ferner ausschließlich auf die Bäume an öffentlichen Straßen und Plätzen, nicht auf die in privaten Gärten und Vorgärten, da sie auf Grund menschlicher Beeinflussung (Bespritzen und dgl.) leicht ein verfälschtes Bild liefern können. Unberücksichtigt blieben auch Wälder, da sie durch ihr Mikroklima weit günstigere Wachstumsbedingungen für die Flechten bedeuten, als es dem Makroklima entspricht.

Um aus dem Vorkommen, dem Deckungsgrad und der Exposition der epiphytischen Siedlungstypen sowie unter Berücksichtigung der Trägerpflanze ein möglichst genaues, Zufallsergebnisse ausschließendes Bild über die großräumige Verbreitung epiphytischer Siedlungstypen zu erhalten, ist eine möglichst große Zahl untersuchter Bäume und damit ein hoher Bestand von Straßenbäumen Voraussetzung. Diese Bedingung ist im Untersuchungsgebiet gut erfüllt, da die Straßen (vor allem in Essen) relativ zahlreich von Bäumen bestanden sind. Untersucht wurden nicht nur die Bäume an Ausfall- und Hauptstraßen, sondern die an allen öffentlichen Straßen und Plätzen. Daß im Zuge der Kartierung die Bäume einzelner Straßenteile oder kleinerer Straßen unbeabsichtigt nicht untersucht wurden, mag angesichts der großen räumlichen Ausdehnung des Arbeitsgebietes verständlich sein. Das bedeutet keineswegs eine Einschränkung der Ergebnisse, da die untersuchten Bäume sich gut gestreut über das Arbeitsgebiet verteilen.

Die arbeitstechnische Durchführung dieser Methode vollzog sich in der Weise, daß die einzelnen Städte anhand von Stadtplänen straßenweise systematisch auf den Flechtenbewuchs an Bäumen nach den vier genannten Merkmalen untersucht und der Befund für einen oder mehrere Bäume auf kleinen Handzetteln notiert wurde. Die Befunde wurden dann von den Handzetteln auf die Arbeitskarten im Maßstab 1 : 10 000 übertragen, daselbst ausgewertet und das Ergebnis auf der topographischen Karte im Maßstab 1 : 50 000 dargestellt. Unterlagen über den Baumbestand und die Verbreitung der Bäume in den einzelnen Städten standen nicht zur Verfügung.

Untersuchungsergebnis

Das Ergebnis der Kartierung ist in der Karte der Flechtenverbreitung im mittleren Ruhrgebiet dargestellt. Zunächst sind noch einige Einzelergebnisse zu nennen, die alle in der Karte berücksichtigt und verwertet sind und ohne deren Kenntnis das Verständnis der Karte nicht möglich ist.

Auf Flechten untersucht wurden insgesamt 25 114 Bäume an öffentlichen Straßen und Plätzen, die wie folgt auf die einzelnen Städte entfallen:

Essen	14 113
Bochum	3 657
Wattenscheid	1 888
Mülheim	1 323
Gelsenkirchen	742
Bottrop	713
Oberhausen	368
Wanne-Eickel	312
Ennepe-Ruhr-Kreis	1998
davon: Hattingen	674
Amt Hattingen	505
Blankenstein	170
Amt Blankenstein	364
Herbede	285
Untersuchte Bäume insgesamt	25 114

Das auffallendste Ergebnis ist einerseits die außerordentliche Armut an Flechten schlechthin und andererseits der zumeist spärliche Deckungsgrad der angesiedelten Rindenflechten. Es lassen sich physiognomisch lediglich zwei Siedlungstypen erkennen, einmal der Typ der *Punktflechten*, zum anderen der der *staubigen Überzüge* (nach der Terminologie von VARESCHI 1936). Bei den *Punktflechten* handelt es sich um Krustenflechten, welche vorwiegend *Lecanora*- und *Pertusaria*-Arten sind, die als warzige, graugrün gefärbte und auf dem Substrat (Baumrinde) eng haftende Krusten mit dem bloßen Auge zu erkennen sind (siehe Bild 1 und 2). Oft war die Farbe der Krusten nicht mehr und dadurch das Vorkommen von Flechten kaum zu erkennen, wenn die Rinde von Staub und Schmutz überzogen war. Dies trifft besonders zu für den Siedlungstyp der *staubigen Überzüge*, die von *Lepraria aeruginosa* gebildet werden. Sie heben sich durch ihre graublauere Farbe und ihr Aussehen („staubartige Anflüge von flechtenartigem Charakter“; K. BERTSCH 1955, S. 254) von vornherein nicht merklich von dem Substrat ab. Der lepröse Charakter der staubigen Überzüge ist bedingt durch die einsetzende Zerstörung und Auflösung der Krustenflechten, denn *Lepraria aeruginosa* siedelte großräumig lediglich dort, wo die Umweltfaktoren nur noch einen äußerst geringen Flechtenbewuchs erlaubten. Auch BERTSCH (1955) teilt diese Ansicht: „Früher hat man sie für selbständige Arten gehalten. Heute glaubt man, daß es sich meist nur um verkümmerte Lager anderer Flechten handelt“ (S. 254). Staubige Krusten treten praktisch im gesamten Übergangsraum zwischen der flechtenfreien Zone und der Zone mit dem geringsten Flechtenwuchs auf. Laub- und Strauchflechten fehlen im Untersuchungsgebiet außerhalb der Wälder gänzlich.

Da sich das Vorkommen von Rindenflechten auf *Punktflechten* (Krustenflechten) und *staubige Überzüge* beschränkt, letztere aber praktisch eine degradierte Form der Krustenflechten darstellen, kann als auftretender epiphytischer Siedlungstyp lediglich ein Typ, nämlich die *Krustenflechten*, genannt werden. Dies stellt für die Untersuchung eine wesentliche Verein-

fachung dar, denn eine räumliche Differenzierung des Grades der Luftverunreinigung bzw. des Stadtklimas auf Grund der Flechtenvegetation beruht nunmehr lediglich auf dem unterschiedlichen Deckungsgrad der Krustenflechten. Zu beachten ist allerdings, daß neben dem Deckungsgrad auch die Art der Trägerpflanze zu berücksichtigen ist. Der Befund früherer Flechtenaufnahmen erwies sich als richtig, daß die Flechten Bäume mit stark rissiger Borke bevorzugt besiedeln. Die Gründe dafür liegen in der weit besseren Haftmöglichkeit der Sporen und der besseren Absorptionsfähigkeit von Wasser bei rissigen als bei glatten Borken. Die Untersuchung des Flechtenbewuchses ergab bei gleichen Umweltbedingungen den üppigsten Flechtenbewuchs bei Linde, Ulme und Birke, ferner einen recht reichlichen beim Ahorn. Weniger günstige Substrate waren Esche, Kastanie und gemeine Robinie. Flechtenfrei war in praktisch allen Fällen die Platane, die deshalb nach der Beobachtung dieser grundsätzlichen Tatsache unberücksichtigt geblieben ist. Da Linde, Ahorn und Ulme sich als vorherrschenden Straßenbäume im Untersuchungsgebiet ergaben, wurde der Deckungsgrad der Krustenflechten auf ihnen als Maßstab des Deckungsgrades schlechthin genommen. Der bei Esche, Kastanie und gemeiner Robinie registrierte Deckungsgrad wurde etwas aufgewertet, um alle Straßenbäume als gleichwertige Trägerpflanzen der Flechten benutzen und den Deckungsgrad auf verschiedenen Baumarten miteinander vergleichen zu können.

Der nach der vierstufigen Skala geschätzte Deckungsgrad der Krustenflechten wurde in der Weise auf die Normalzone, Kampfzone und Flechtenwüste der Flechtenverbreitung bezogen, daß der Deckungsgrad 4 (100—50% der Bezugsfläche deckend) die Normalzone bedeutet, während die Deckungsgrade 1 (unter 10% deckend), 2 (10—25%) und 3 (25—50%) die Kampfzone darstellen. Sie wurde entsprechend der sie bestimmenden drei Deckungsgrade auch dreigeteilt kartiert. Die Gebiete ohne Flechtenbewuchs wurden mit der Flechtenwüste gleichgesetzt. Die Festlegung dieser Zonen war angesichts der hohen Zahl untersuchter Bäume, der guten Streuung derselben und des eindeutigen Befundes des Deckungsgrades der Krustenflechten im allgemeinen gut möglich. Schwierig war im Bereich der Stadtkerne allerdings die Festlegung der drei Unterzonen der Kampfzone (innere, mittlere und äußere Kampfzone), die hier z. T. bei räumlicher Zusammendrängung auf eine systematische Dreiteilung des gesamten Bereichs der Kampfzone hinauslief. Dies bedeutet jedoch keine unrichtige Bestimmung der Kampfzone schlechthin, da sie sich sowohl gegen die Normalzone als auch gegen die Flechtenwüste eindeutig abhob.

Die Karte der Flechtenvegetation

In ihr sind die Wälder, die nicht auf den Flechtenbewuchs hin untersucht sind, weiß belassen. Die Grenzlinien zwischen Flechtenwüste und Kampf-

zone sowie zwischen Normal- und Kampfzone sind kräftig ausgezogen, die Grenzlinien zwischen innerer und mittlerer sowie äußerer und mittlerer Kampfzone dünn angelegt, um auch dadurch die Gültigkeit bzw. mögliche Korrektur der Grenzlinien anzudeuten.

Die auf Flechten untersuchten Bäume wurden entsprechend ihrem Standort in Gruppen zu 5, 10, 25 oder 50 Stück in Symbolen auf die Karte gezeichnet, um bereits aus der räumlichen Verteilung der untersuchten Bäume eine gewisse Kontrollmöglichkeit über die Gültigkeit der festgelegten Flechtenvegetationszonen zu haben. Nicht eingetragen, aber dennoch bei der Bestimmung der Flechtenwüste, der Kampf- und der Normalzone mitberücksichtigt wurden alleinstehende Bäume oder kleine Baumgruppen, die aus weniger als fünf Bäumen bestanden.

Die Karte zeigt im ganzen gesehen eine in westsüdwest — ostnordöstlicher Richtung angeordnete Verteilung von Flechtenwüste, Kampf- und Normalzone. Wesentliche Änderungen hinsichtlich der Ausrichtung der Flechtenzonen ergeben sich im Bereich:

1. der Stadtkerne von Essen, Bochum und Mülheim sowie — jedoch nur kleinräumig — im Bereich von Essen-Kray, wo die Grenze zwischen der Flechtenwüste und der Kampfzone weit nach Süden hin ausgreift und die dicht bebauten und zumeist an Grün- und Parkanlagen armen Gebiete der Stadtmitten umschließt;
2. von Bochum-Linden/Dahlhausen, wo die Kampfzone weit nach Süden in die Normalzone stößt.

Die **Flechtenwüste** legt sich über den gesamten Norden des untersuchten Gebietes und verbreitert sich von Osten (Bochum) nach Westen (Mülheim/Oberhausen). Sie deckt sich mit dem unterschiedlich stark industrialisierten, z. T. dicht bebauten und wald- und grünanlagenarmen Südteil des heutigen eigentlichen Industriegebietes, das sich im gesamten auch durch eine relativ hohe Ortsüblichkeit (vgl. Fußnote 29) des Grades der Luftverunreinigung auszeichnet.

Als Gegenstück zur Flechtenwüste, die den gesamten Norden des Untersuchungsgebietes einnimmt, breitet sich die **Normalzone** der Flechtenverbreitung über den gesamten Süden aus. Großräumig deckt sie sich etwa mit dem in den Kartenbereich fallenden Teil des Nordausläufers des Bergischen Landes, der auf Grund seiner landwirtschaftlichen Nutzung, der vorhandenen Wälder, der fehlenden emissionsreichen Industrie und der zumeist aufgelockerten Besiedlung eine hohe Luftverunreinigung ausschließt. Daß trotzdem der Epiphytismus auch in der Normalzone recht arm ist, liegt wohl an der vergleichsweise hohen Ortsüblichkeit des Grades der Luftverunreinigung im Ruhrgebiet, vielleicht auch an einem allgemein spärlichen Flechtenbewuchs im nördlichen Bergischen Land. Wo im großräumigen Bereich der Normalzone vorwiegend auf Grund vorhandener Industriebetriebe der Grad der Luftverunreinigung ansteigt, nimmt der

Deckungsgrad der Krustenflechten ab, d. h. die Normalzone wird von der Kampfzone abgelöst. Von Kampfzonen-„Inseln“ durchsetzt ist die Normalzone in Hattingen, Essen-Kupferdreh und -Werden, wobei bei den beiden zuletzt genannten Inseln das Ausmünden derselben im Bereich von Hauptverkehrsstraßen (Werden: Bundesstraße 224, Kupferdreh: B 227) auffallend ist.

Zwischen der Normalzone und der Flechtenwüste zieht sich von Osten nach Westen als ein sich bald verjüngendes, bald verbreiterndes Band die dreigeteilte **K a m p f z o n e**. In Höhe der Stadtzentren von Bochum, Essen und Mülheim ist die Kampfzone wesentlich schmaler ausgebildet als in den Übergangsgebieten der Städte, wo sie ihre größte Ausbreitung hat, so zwischen Mülheim und Essen und zwischen Essen und Bochum, d. h. vorwiegend im gesamten Süden der Stadt Wattenscheid und der angrenzenden Stadtrandgebiete von Essen und Bochum. Diese Gebiete sind z. T. noch stark landwirtschaftlich genutzt, außerdem locker bebaut und nur von wenigen Industriebetrieben durchsetzt.

Die Untersuchung der Flechtenvegetation ergibt zusammengefaßt im wesentlichen folgende Ergebnisse:

1. Die Lage und Verbreitung der Flechtenzonen ist ein gutes Spiegelbild der Flächennutzung des Untersuchungsgebietes. In der Lage der Flechtenzonen drückt sich die Verteilung von Wäldern, landwirtschaftlich genutzten Flächen, einzelnen Schwerindustriestandorten und Industriegebieten sowie von Siedlungsräumen (vor allem bzgl. ihrer Bebauungsdichte) deutlich aus.
2. Übereinstimmend mit früheren Untersuchungen der Flechtenvegetation in Städten lassen sich folgende Aussagen machen:
 - a) die Normalzone ist weitgehend frei von emissionsreicher Industrie, dafür von Wäldern durchsetzt, vielfach landwirtschaftlich genutzt und locker bebaut;
 - b) in der Kampfzone liegen einerseits Industriebetriebe und relativ dicht bebaute Stadtteile und andererseits landwirtschaftlich genutzte Flächen;
 - c) über die gesamte Flechtenwüste verteilen sich Industriebetriebe; in ihr befinden sich größere Industrie- und dicht bebaute Gebiete (Stadtzentren). Wälder fehlen hier praktisch. Altstadt- und Innenstadtbezirke der Großstädte bewirken ein Absterben der Flechten und somit die Zugehörigkeit dieser Gebiete zur Flechtenwüste.
3. Die Flechtenwüste ist weit größer als in anderen untersuchten Städten. Dies ist durch die Wahl des Kartenausschnittes bedingt. Die gürtelförmige Anordnung der Flechtenzonen steht im Gegensatz zu der ringförmigen Zonierung in den bisherigen Untersuchungen. Dies ist begründet durch die in dieser Arbeit vorgenommene Untersu-

chung einer Industriezone mit vielen Städten, während sich die bisherigen Arbeiten auf Einzelstädte beschränkten.

4. Obwohl die Normalzone der Flechtenvegetation an sich nur die Flechtenvegetation ausdrücken soll, die den klimatischen Bedingungen des Großraumes entspricht, dokumentiert der schlechthin spärliche Flechtenbewuchs gerade in der Normalzone des Untersuchungsgebietes die Flechtenarmut des gesamten Großraumes. Sie beruht vorwiegend auf der hohen Ortsüblichkeit staub- und gasförmiger Immissionen. Der Begriff „Normalzone“ ist hinsichtlich der Flechtenvegetation des Industriegebietes gerechtfertigt; ob er allerdings auch bzgl. des Epiphytismus des Bergischen Landes am Platz ist, müßte geklärt werden.
5. Auch in Gebieten, die großräumig arm an Flechten sind, ist die Methode — Flechten als Indikator des Stadtklimas bzw. der Luftverunreinigung zu benutzen — durchführbar; weit besser jedoch in solchen Gebieten, die sich durch Flechtenreichtum im allgemeinen auszeichnen (u. a. Skandinavien und die Schweiz).

5. Vergleich zwischen der Flechtenverbreitung und den Immissionsbelastungszonen

In diesem Abschnitt sollen die Karte der Flechtenvegetation und die der Immissionsbelastungszonen (Abb. 17, S. 92) miteinander verglichen werden, wobei das Schwergewicht auf der vergleichenden Beschreibung der Ergebnisse, nicht auf ihrer Analyse und Erklärung beruhen soll. Letztere erfolgen in Abschnitt IV, in dem aus der Gegenüberstellung der Flechtenzonen und der Immissionsbelastungszonen versucht werden soll, die Frage nach den Ursachen für die Schädigung und Zerstörung der städtischen Flechtenvegetation zu beantworten.

Die Flechtenzonen erstrecken sich in annähernd west-östlicher Richtung gürtelförmig über das Untersuchungsgebiet. Dabei ist die Kampfzone flächenmäßig am kleinsten; sie liegt nur als ein schmales Band zwischen der Flechtenwüste im Norden und der Normalzone im Süden. Auch die Immissionsbelastungszonen — abgesehen von den hochgradig-luftverunreinigten Gebieten — legen sich etwa in west-östlicher Richtung über das Untersuchungsgebiet. Wie die Kampfzone innerhalb der Flechtenzonen, so ist auch die schwach-luftverunreinigte Zone innerhalb der Immissionsbelastungszonen nur als ein schmales Band ausgebildet, das sich lediglich an zwei Stellen verbreitert, einmal im Übergangsbereich von Essen und Mülheim und zum andern in dem Raum, der sich von Essen-Kray/-Schoennebeck über den gesamten Süden der Stadt Wattenscheid bis hin nach Bochum-Linden, -Dahlhausen, -Weitmar erstreckt.

Diese beiden Ausweitungen innerhalb des im übrigen schmal ausgebildeten Streifens der schwach-luftverunreinigten Immissionsbelastungszone decken sich recht gut mit den beiden Verbreiterungen des schmalen Bandes der Kampfzone. Lediglich im Übergangsraum von Bochum und Dortmund, der sich am östlichen Rand des Untersuchungsgebietes andeutet, stimmt der Verlauf der Kampfzone und schwach-luftverunreinigten Zone nicht überein. Während sich das Band der Kampfzone ausweitet, verschmälert sich die schwach-luftverunreinigte Zone nach einer relativ kleinräumigen Ausweitung (über Bochum-Goy, -Laer, -Havkenscheid und -Altenbochum) wieder zu einer schmalen Zone, wie sie für den Süden der Stadtmitten von Mülheim, Essen und Bochum charakteristisch ist. Dies zu erklären, ist auf Grund der Lage dieses Gebietes am Rande des Untersuchungsraumes nicht möglich; vermutlich ist die Verjüngung der schwach-luftverunreinigten Zone auf den Einfluß der Industrie in Bochum-Werne zurückzuführen, die sich in einem kleinräumigen, hochgradig-luftverunreinigten Gebiet am Ostrand des Arbeitsgebietes andeutet. Im Bereich der Stadtmitten von Mülheim, Essen und Bochum schiebt sich die Grenze sowohl der stark- zur schwach-luftverunreinigten Zone als auch der Flechtenwüste zur Kampfzone weit nach Süden vor, so daß die Stadtmitten von stärker luftverunreinigten Zonen umgeben sind. Eine Ausnahme macht jedoch die Stadtmitte von Wattenscheid, die sowohl hinsichtlich des Grades der Luftverureinigung als auch bzgl. des Flechtenbewuchses an den Baumrinden nicht in Erscheinung tritt, denn die Grenze zwischen der Kampfzone und der Flechtenwüste behält in der Höhe von Wattenscheid ihre Richtung ebenso bei wie die zwischen der stark- und schwach-luftverunreinigten Belastungszone.

Im gesamten gesehen nimmt die Grenzlinie sowohl zwischen der Kampfzone und der Flechtenwüste als auch zwischen der schwach- und stark-luftverunreinigten Zone einen wellenförmigen Verlauf, wobei die „Wellenberge“ von den Übergangsgebieten aneinandergrenzender Städte und die „Wellentäler“ von den Stadtmitten und den südlich angrenzenden Stadtteilen gebildet werden.

Über den gesamten Süden des Kartenausschnittes breitet sich sowohl die Normalzone als auch die kaum-luftverunreinigte Immissionsbelastungszone aus. Auffallend ist die Übereinstimmung der Kampfzonen-Inseln mit schwach-luftverunreinigten Zonen, wie es in Essen-Werden, -Kupferdreh und Hattingen der Fall ist. Nur in Herbede fehlt jene Übereinstimmung. Im Fall Essen-Kupferdreh ragt die schwach-luftverunreinigte Zone — abweichend von der Kampfzone — weiter nach Norden (in Richtung Essen-Überruhr) und vor allem in einem Ausläufer über die Ruhr nach Essen-Rellinghausen und -Bergerhausen. Über den gesamten Norden des Untersuchungsgebietes breiten sich übereinstimmend die Flechtenwüste und die stark- und hochgradig-luftverunreinigten Gebiete aus.

IV. DIE FLECHTEN ALS INDIKATOR DER LUFTVERUNREINIGUNG

1. Indikatorproblem

Die Übereinstimmung der Karten legt es nahe, das Indikatorproblem erneut anzuschneiden. Vergleicht man die Lage und Verbreitung der Flechtzonen und der Immissionsbelastungszonen miteinander, so ergibt sich auffallend die Übereinstimmung der räumlichen Lage von Flechtenwüste und hochgradig- bzw. stark-luftverunreinigten Gebieten, von Kampfzone und schwach-luftverunreinigten Gebieten und von Normalzone und kaum-luftverunreinigten Gebieten. Diese Übereinstimmung legt die Vermutung nahe, daß die Flechtzonen und die Immissionsbelastungszonen voneinander abhängig sind, und zwar in der Weise, daß mit Höhe der Immission das Wachstum der Rindenflechten zunehmend beeinflußt, d. h. geschädigt wird. Im Fall der Richtigkeit dieser Vermutung wären die Flechten als Indikator der Luftverunreinigung bewiesen. Diese Vermutung ist naheliegend; sie ist bereits von zahlreichen Forschern aufgestellt worden. Dies beweist noch keineswegs ihre Richtigkeit. Andere Forscher sehen die wesentliche Ursache nicht in der Luftverunreinigung, sondern in stadtklimatischen Faktoren, z. B. in der durch die Bebauungsdichte bedingten Abnahme der relativen Luftfeuchte und damit Zunahme der Trockenheit der Stadtluft. Diese Ansicht erscheint auf Grund der vorliegenden Untersuchung unwahrscheinlich, denn in diesem Fall müßte der wachstumsschädigende Einfluß der stadtklimatischen Faktoren in ähnlicher Weise zu- oder abnehmen, wie es bei der Luftverunreinigung der Fall ist. Schon aus der Unglaubwürdigkeit dieser theoretisch möglichen Aussage geht hervor, daß auch die Luftverunreinigung das Wachstum der Flechten schädigt und an der Unterbindung des Flechtenbewuchses mitbeteiligt ist. Diese Aussage genügt schon, die Flechtenmethode als gültig und in der Praxis anwendbar zu erklären. Im Falle nur der Mitbeteiligung der Luftverunreinigung an der Schädigung der städtischen Flechtenvegetation ergeben sich allerdings die Fragen: Wieweit beeinflußt die Luftverunreinigung, wieweit das Stadtklima das Wachstum der Flechten? Bedeutet der zunehmende Grad der Luftverunreinigung auch eine zunehmende Wachstumsschädigung oder sogar -zerstörung der Flechten?

Zur Beantwortung dieser Fragen können die bisherigen Beobachtungen nicht mit letzter Sicherheit herangezogen werden, denn nach ihnen kann sowohl die Luftverunreinigung als auch die Trockenheit der Städte für die

Schädigung des Flechtenwachstums verantwortlich gemacht werden. Eine unwiderlegbare Antwort kann letztlich erst durch experimentelle Laborversuche, eventuell auch durch gute Vergleichsbeispiele (dicht bebaute Städte mit Fernheizung und vollelektrifizierter Industrie) gegeben werden, die das Flechtenwachstum in Abhängigkeit von den beiden genannten Faktoren beobachten. Derartige Versuche allerdings sind noch nicht durchgeführt worden, weshalb auch die unanfechtbar gültige Entscheidung über den bzw. die Faktoren der Wachstumsschädigung der Flechten nicht gegeben werden kann.

2. Expositionsverhältnisse

Um die Frage zu beantworten, welche Faktoren für die Schädigung der städtischen Flechtenvegetation verantwortlich zu machen sind, wurde stellvertretend für das gesamte Arbeitsgebiet die Exposition der Rindenflechten an 1600 Bäumen in den südlichen und südöstlichen Stadtteilen Bochums untersucht (siehe Tabelle 13). Grundsätzlich gesondert ausgewertet wurden die Registrierungen der Exposition nach dem Verlauf der Straßenzüge, wobei die vier Hauptrichtungen N—S, W—E, NW—SE und NE—SW untersucht wurden. Der Flechtenbewuchs der Bäume wurde nur in der jeweils bevorzugten Richtung berücksichtigt. Die Festlegung der Exposition war in fast allen Fällen ohne weiteres möglich, da sich der Flechtenbewuchs

Tabelle 13: Die Expositionsabhängigkeit der Rindenflechten (in Klammern Angaben in Prozent, nach Aufnahmen in Bochum).

	Richtung der Straßenzüge				Summe a—d
	a) N—S	b) W—E	c) NW—SE	d) NE—SW	
N	0	0	0	0	0
NE	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0
S	57 (12,2)	23 (7,8)	22 (6,5)	0	102 (6,4)
SSW	40 (8,6)	65 (21,7)	62 (17,9)	103 (21,0)	270 (16,9)
SW	109 (23,5)	56 (18,5)	104 (30,0)	288 (58,8)	557 (34,8)
WSW	236 (50,8)	121 (40,6)	135 (39,0)	91 (18,6)	583 (36,4)
W	23 (4,9)	34 (11,3)	19 (5,5)	0	76 (4,7)
WNW	0	0	4 (1,1)	8 (1,6)	12 (0,8)
NW	0	0	0	0	0
Summe	465 (100)	299 (100)	346 (100)	490 (100)	1600 (100)

entweder nur nach einer Seite richtete oder aber — wo die Flechten annähernd den gesamten Stammumfang besiedelten — die Richtung mit dem stärksten und dichtesten Bewuchs sich deutlich erkennen ließ. Diese Vereinfachung hinsichtlich der Festlegung der Exposition ergab sich dadurch, daß bei den meisten Bäumen, die überhaupt noch Flechtenbewuchs aufwiesen, Stadteinflüsse klimatischer Art nur noch einen kümmerlichen Bewuchs erlaubten, der sich dann auf die am wenigsten geschädigte Seite des Stammumfangs beschränkte. Dagegen drückte sich eine vom Stadtklima wenig

oder nicht beeinflusste Flechtenvegetation in einem relativ üppigen Epiphytismus auf dem gesamten Stammumfang aus; dies allerdings war nur in wenigen Fällen — im Süden des Untersuchungsgebietes — festzustellen. Fanden sich mehrere, schätzungsweise gleichstarke Bewuchsflächen, so mußten auch mehrere Bewuchsflächen protokolliert werden. In diesem Fall wurde die Zahl der untersuchten Bäume in dem Maße verkleinert, wie die Zahl der Expositionen registriert worden war, um stets eine Übereinstimmung in der Zahl der untersuchten Bäume und Expositionen zu haben. (Ergaben sich z. B. in einem Straßenzug für vier Bäume jeweils die Expositionen Süd und Südwest, so wurde zwei Bäumen die Exposition Süd und zwei Bäumen die Exposition Südwest zugeordnet.)

Das Ergebnis der Expositionsuntersuchung der Rindenflechten an 1600 Bäumen zeigt deutlich eine große Abhängigkeit von der Himmelsrichtung, insofern der Flechtenbewuchs sich fast ausschließlich (mit 99,2 Prozent) auf die Süd- bis Westflanken der Baumstämme konzentriert, während alle übrigen Flanken der Stämme nicht bevorzugt besiedelt sind. Betrachtet man die Expositionsabhängigkeit der Rindenflechten von der Richtung der Straßenzüge, so ergeben sich nur unwesentliche Unterschiede. In N-S-, W-E- und NW-SE-Straßen bevorzugten die Flechten die WSW-Flanken der Bäume, lediglich in NE-SW-Straßen die SW-Flanken. Aus der Summe der Häufigkeit der einzelnen Expositionen nach den Richtungen der Straßenzüge ergibt sich die WSW- und SW-Flanke der Bäume mit 36,4 bzw. 34,8% als bevorzugte Richtung der Flechtenbesiedlung. Bezogen auf die Zahl der Fälle, folgt aus der Häufigkeit der einzelnen Expositionen insgesamt die SW-Flanke als die Exposition des Flechtenbewuchses schlechthin. Damit entspricht das Ergebnis dem der Untersuchung von STEINER und SCHULZE-HORN, die bei der Untersuchung der Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten in Bonn (1955) anhand von 826 Fällen zu folgendem Schluß über die bevorzugte Exposition der Flechten kamen (in Prozent): N = 0,5; NE = 2,3; E = 4,1; SE = 15,8; S = 13,8; SW = 32,7; W = 24,2; NW = 6,7.

Die Übereinstimmung der bevorzugten Exposition der Rindenflechten mit der Hauptwindrichtung läßt vermuten, daß die Flechten nur die Wetterseite der Bäume — das sind die Südwestflanken — besiedeln, während auf allen übrigen Flanken der Bäume auf Grund des Mangels an (Regen-) Feuchtigkeit das Wachstum der Flechten geschädigt wird. Die genannte Übereinstimmung macht aber auch eine Abhängigkeit von der Luftverunreinigung wahrscheinlich, insofern die Flechtenbesiedlung gerade die Richtung bevorzugt, aus der die relativ saubersten Winde wehen. Das sind die Südwestwinde (neben den Süd- und Südostwinden), die außerdem auch die größte Häufigkeit aller Windrichtungen im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet aufweisen. Die auf Grund der Untersuchung über die Exposition der Flechtenbesiedlung auf den Baumstämmen gemachten Aussagen

bzgl. der Schädigung des Flechtenbewuchses in Städten (Luftverunreinigung und Stadtklima) erhalten ihre Begründung durch die beschriebene Übereinstimmung der Flechtenzonen und der Immissionsbelastungszonen.

Die Luftverunreinigung und das Stadtklima sind jedoch nicht als gleichwertige Faktoren für die Schädigung der städtischen Flechtenflora anzusehen, vielmehr stellen die Untersuchungen über die Verbreitung rindenbewohnender Flechten im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet die Luftverunreinigung als maßgeblichen Faktor³⁰ für die Schädigung und Zerstörung der Rindenflechten heraus. Hierfür sind folgende Gründe entscheidend:

1. Der Flechtenbewuchs fehlt in allen denjenigen Gebieten, die sich durch einen hohen Grad der Luftverunreinigung auszeichnen. Das sind nicht nur die dicht bebauten Stadtteile, die durch geringere relative Luftfeuchte als das freie Land gekennzeichnet sind.
2. Für den Fall, daß lediglich die stadtbedingte Abnahme der Luftfeuchte und damit Zunahme der Trockenheit die Flechten zerstört, müßte in Gebieten lockerer Bebauung (Stadttrandbezirke) der Flechtenbewuchs unbeschädigt sein, da in ihnen die Feuchtigkeit bzw. Trockenheit nicht oder nur unmerklich von der des offenen Landes abweicht. Das ist nicht der Fall.
3. Auch im Einflußgebiet emissionsreicher Industrie, die nicht in ausgeprägt städtischer Umgebung liegt, fehlt der Flechtenbewuchs an den Baumrinden.
4. An stark befahrenen Verkehrsstraßen weicht der Flechtenbewuchs (bzw. der Deckungsgrad desselben) weit zurück gegenüber dem Flechtenbewuchs der großräumigen Umgebung.

Die genannten Gründe rechtfertigen die Behauptung, daß die Rindenflechten als Indikator der Luftverunreinigung gelten. Aus der Verbreitung und dem Deckungsgrad der Rindenflechten kann eine großräumige Analyse des Grades und der Höhe der Luftverunreinigung gegeben werden. Im Gegensatz zu dieser Methode, die auf der quantitativen und qualitativen Beobachtung epiphytischer Siedlungstypen auf den Baumrinden beruht, gründen sich alle weiteren Methoden zur Bestimmung des Luftverunreinigungspegels auf exakten Messungen gasförmiger und fester Immissionen, vorwiegend Konzentrations- und Niederschlagsmessungen. Derartige Messungen jedoch können — nicht zuletzt auf Grund des ungeheueren Arbeitsaufwandes (vor allem bei der Auswertung der Messungen) — sich nur auf einen kurzen Meßzeitraum

³⁰ Das Untersuchungsergebnis entspricht demnach weitest dem von R. BESCHEL (1958), der behauptet, daß die Flechten — wie die Bäume und Lichtpflanzen überhaupt (vgl. hier OLIVER 1893) — „durch ein für sie ungünstiges Klima bereits geschwächt, dem Einfluß der Abgase nicht mehr standhalten können“ (S. 95). Nach BESCHEL wirkt sich vom Stadtklima „wohl“ die Trockenheit am stärksten aus.

und auf eine begrenzte Zahl von Meßpunkten beziehen. Im Falle des Vergleichs von Meßergebnissen sind gleiche Meßgeräte und Meßzeiträume fast unumgängliche Voraussetzungen. Eine geringe Zahl von Meßpunkten kann außerdem nicht repräsentativ für ein großes Gebiet sein; ferner können die Meßergebnisse eines kurzen Zeitraumes von meteorologischen Faktoren stark beeinflußt sein, so daß die wirkliche Höhe der Luftverunreinigung verfälscht worden ist. Diese wenigen Ausführungen deuten schon auf die mannigfachen Mängel und berechtigten Zweifel an exakten Messungen der Luftverunreinigung hin.

Von diesen Mängeln unabhängig ist die Methode, Flechten als Indikator und Gradmesser der Luftverunreinigung zu benutzen. Das Wachstum wird zwar von der Luftverunreinigung und anderen stadtklimatischen Faktoren mehr oder weniger stark beeinträchtigt, es reagiert aber nicht auf kurzperiodische Schwankungen in der Höhe der Immissionen. Hierauf beruht „ein unleugbarer Vorteil, daß die Flechtengemeinschaften, ähnlich wie die limnologischen Biozöosen an Gewässern, von zufälligen stärkeren oder geringeren augenblicklichen Störungen in der Atmosphäre unabhängig sind“ (A. SCHINZEL 1960, S. 66). Deshalb drückt sich in der Verbreitung der Flechten und in ihrem Deckungsgrad auf den Baumrinden der mittlere, langjährige Grad der Luftverunreinigung aus.

Ein weiterer großer Vorteil dieser Methode gegenüber exakten Meßergebnissen ist die Tatsache, daß auf Grund der normalerweise vorhandenen hohen Zahl von Straßenbäumen und der guten Streuung derselben Zufallsergebnisse praktisch ausgeschlossen sind und die Karte der Flechtenzonen ein repräsentatives Bild über den relativen Grad der Luftverunreinigung liefert. Nicht möglich ist es, mittels der Flechtenmethode die absolute Höhe des Luftverunreinigungspegels zu bestimmen.

Zusammenfassung

Im mittleren Teil des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes, wo mehrere Großstadtkerne einer Industrielandschaft ein besseres Vergleichsmaterial als eine einzelne Großstadt bieten, wurde die Verbreitung rindenbewohnender Flechten kartiert und diese anhand von exakten Meßergebnissen in Beziehung zum Grad der Luftverunreinigung gesetzt. Hierzu wurden neueste zugängliche Messungen fester und gasförmiger Immissionen kartographisch ausgewertet und mit der lichenologischen Kartierung verglichen. Das Ergebnis zeigt eindeutig die Schädigung der Rindenflechten durch die Luftverunreinigung, obwohl auch der schädigende Einfluß stadtklimatischer Faktoren (vor allem der Trockenheit) nicht verneint werden kann. Luftverunreinigung und Stadtklima bewirken die Wachstumschädigung der Flechten, wobei die Verunreinigung der Luft als entscheidender Faktor anzusehen ist. Damit entspricht das Ergebnis der Untersuchung dem der jüngsten Arbeiten über die Flechtenverbreitung in Städten (R. BESCHEL 1958, J. VILLWOCK 1962, D. NATHO 1964, O. L. GILBERT 1965). In knapper Form wird ein Einblick in die allgemeinen Kenntnisse über die Luftverunreinigung und in die bisherigen Untersuchungen der städtischen Flechtenvegetation gegeben, der zum Verständnis der Untersuchung sowohl der Luftverunreinigung als auch der Flechtenverbreitung im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet notwendig ist.

Zur weiteren Klärung der Frage der Flechtenschädigung wäre es interessant, den Flechtenbewuchs in der Umgebung solcher industrieller Betriebe zu studieren, die in nicht-städtischer Umgebung liegen oder auch solcher städtischer Siedlungskerne, die ferngeheizt sind und nur vollelektrifizierte Industrien haben.

Summary

The lichen vegetation on tree boles has been examined on a total number of 25114 trees along streets and places in the central part of the Ruhr District and related to air pollution, as determined by interpretation of immission measurements. The lichen vegetation is dealt with regard to physiognomy, density, and exposition, and in relation to bark characteristics of tree species. Classification of lichen vegetation follows the terms of SERNANDER 1926: Flechtenwüste (lichen desert), Kampfzone (transitional zone), and Normalzone (area of normal distribution of lichens), as shown on the coloured map (in pocket).

The results of the comparison between lichen vegetation and air pollution point to the sensitivity of lichens to air pollution, especially as far as sulfur dioxide immission is concerned. Furthermore the damaging influence of town climate, especially aridity, has to be taken into consideration. But amongst the damaging influences air pollution seems to be the decisive factor. For this the following reasons are quoted:

1. Lichen vegetation is missing in all areas with a high degree of air pollution. These are not only quarters of high density housing and of lower humidity compared with the open country.
2. If it is right that only the lower humidity and therefore higher aridity in towns affects damage upon the lichen vegetation, lichen growth could be expected to be abundant in those areas, which have a less density of houses. This however is not the case.
3. Furthermore lichen vegetation on tree boles is missing in the immediate neighbourhood of factories or industrial areas outside the towns.
4. Along much frequented roads lichen growth is reduced compared with the neighbourhood.

The result of this investigation corresponds to that of recent research on lichen vegetation in towns (BESCHEL 1958, VILLWOCK 1962, NATHO 1964, GILBERT 1965).

The general knowledge of air pollution and the hitherto existing publications on lichen vegetation in towns is summarized to help to understand the particular problems in this field as far as the Ruhr District it concerned.

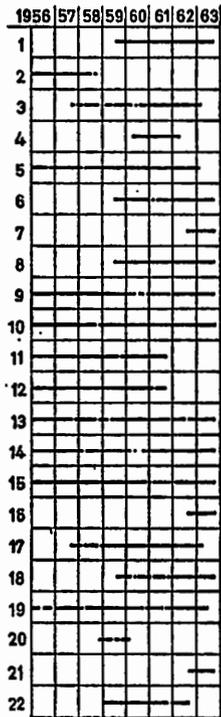
ANHANG

ÜBERSICHT 1

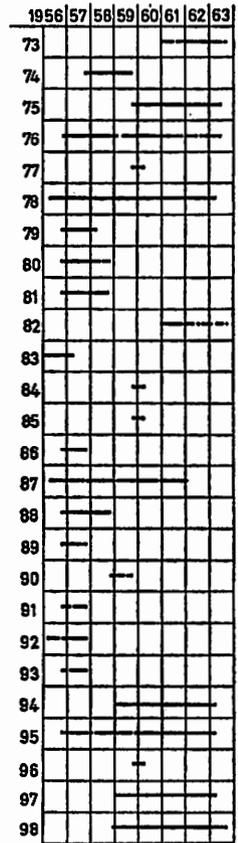
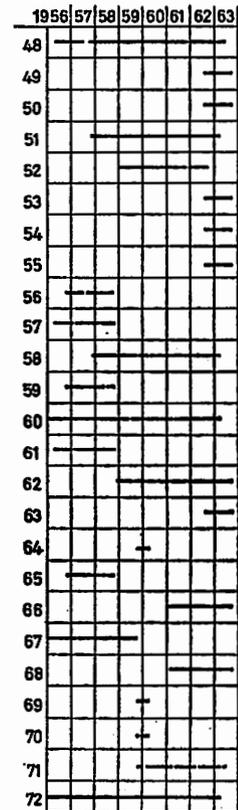
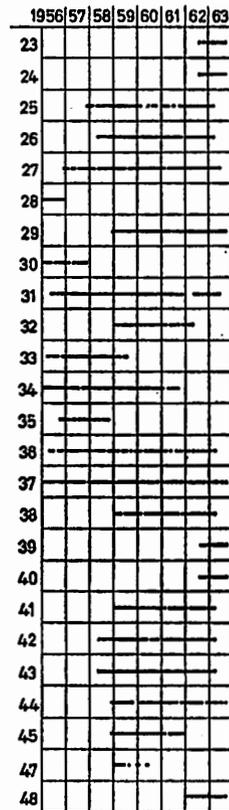
Die Lage der Staubbiederschlagameßstellen des Hygiene-Institutes Gelsenkirchen und des Bundesgesundheitsamtes Berlin-Dahlem (siehe auch Abbildung 1).

- 1 Bottrop, Hausastr. (Firma (Althoff)
- 2 Essen, -Karnap, Sigambreweg (Hindenburgschule)
- 3 Essen, -Karnap, Markt
- 4 Gelsenkirchen, -Hüllen, Vandalen-/Konradstraße
- 5 Bochum, -Hiltrop, Frauenlobstraße (Friedhof)
- 6 Bottrop, In der Welheimer Mark 154
- 7 Oberhausen, Bernadusstraße (Bernaduskirche)
- 8 Bottrop, Schule Welheim
- 9 Gelsenkirchen, Neumarkt (Sparkasse)
- 10 Gelsenkirchen, Weberstraße (Hochhaus)
- 11 Gelsenkirchen, Weberstraße (Firma Heiland)
- 12 Gelsenkirchen, Bahnhofstraße (Firma Boecker)
- 13 Gelsenkirchen, Wildenbruch (Feuerwache)
- 14 Gelsenkirchen, Rotthausener Straße (Hygiene-Institut)
- 15 Gelsenkirchen, Zeppelinallee (Firma Feilgenhauer)
- 16 Oberhausen, Koppenburgstraße 94
- 17 Essen, -Altenessen, Rahmdörne (Pumpwerk)
- 18 Bottrop, Kläranlage Ebel
- 19 Bochum, Castroper Hellweg 111
- 20 Essen, -Altenessen, Neuessener Straße (Schule)
- 21 Oberhausen, Bottroper Straße 98
- 22 Oberhausen, Bottroper Straße (Rathaus Osterfeld)
- 23 Oberhausen, Arminstraße 141 (Schillerschule)
- 24 Oberhausen, Arminstraße (Burg Vondern)
- 25 Essen, -Altenessen, Mevissenplatz (Mevissenschule)
- 26 Wattenscheid, Parallelstraße (Marienschule)
- 27 Bochum, -Hamme, Freudenbergstraße 1
- 28 Bochum, Schlachthof Riemke
- 29 Bochum, Frieda-Schanz-Straße (Feuerwache)
- 30 Bochum, -Werne, Deutsches Reich
- 31 Bochum, -Werne, Am Heerbusch
- 32 Essen, -Katernberg, Meybuschweg (Katholische Kirche)
- 33 Essen, -Katernberg, Ueckendorfer Straße
- 34 Gelsenkirchen, Rotthausener Straße (Firma Delog)
- 35 Essen, -Vogelheim, Lüscherhofstraße (Preßwerk)
- 36 Essen, -Altenessen, Grünstraße
- 37 Gelsenkirchen, Schemmannstraße (Gärtnerei)
- 38 Essen, -Vogelheim, Bottroper Straße (Pumpstation)
- 39 Oberhausen, Karl-Peters-Straße (Ripshorster Schule)
- 40 Oberhausen, Essener Straße (HOAG-Hauptverwaltung)
- 41 Essen, -Schonnebeck, Drostebusch (Heilig-Geist-Hospiz)
- 42 Wattenscheid, Swidbertstraße (Turnhalle)
- 43 Wattenscheid, Bochumer Straße (Feuerwehr)
- 44 Bochum, Rathausplatz (Rathaus)
- 45 Bochum, Wittener Straße (Schule)
- 46 Essen, -Bochold/-Vogelheim, Hafen-/Bottroper Straße
- 47 Bochum, Alleestraße 123/125
- 48 Bochum, Katharinastraße 5/7
- 49 Oberhausen, Essener Straße (Zech Oberhausen)

- 50 Oberhausen, Liebknechtstraße 115
- 51 Essen, Bamlersstraße (Gießerei)
- 52 Oberhausen, Tannenbergstraße (Gesundheitsamt)
- 53 Oberhausen, Stiftstraße (Johannesschule)
- 54 Oberhausen, Mellinghofer Straße (Turnhalle)
- 55 Oberhausen, Heiermannsfeld 2
- 56 Essen, -Bedingrade, Lohstraße
- 57 Essen, -Borbeck, Wüstenhofer Straße (Borbecker Mühlenbach)
- 58 Essen, Reckhammer Weg (Gaswerk)
- 59 Essen, -Vogelheim, Gladbecker Straße (Kläranlage Nord)
- 60 Essen, -Stoppenberg, Bahnhof Stoppenberg
- 61 Essen, -Kray (Volkspark, Gärtnerei)
- 62 Bochum, Hattinger Straße (Bergmannsheil)
- 63 Oberhausen, Höfmannstraße 60
- 64 Mülheim, -Dümpten, Barbarastraße
- 65 Essen, -Stoppenberg/-Frillendorf, Ernestinenstraße
- 66 Bochum, Wiemelhauser Straße 270
- 67 Mülheim, -Dümpten, Am Wenderfeld (Schule)
- 68 Bochum, Hattinger Straße 357
- 69 Mülheim, -Styrum, Feldstraße 30
- 70 Mülheim, Tiegelstraße
- 71 Mülheim, Carnalstraße 7
- 72 Mülheim, Kapuzinergasse (Stadtspark)
- 73 Bochum, Markstraße 292
- 74 Mülheim, -Styrum (Bahnhof)
- 75 Mülheim, Bahnhof Mülheim-Ruhr
- 76 Mülheim, -Heißen, Alexanderstraße
- 77 Mülheim, Frohnhauser Weg 270
- 78 Essen, -Frohnhausen, Kruppstraße (Straßenbahndepot)
- 79 Essen, Goethestraße (Folkwangmuseum)
- 80 Essen, -Bergerhausen, Am krausen Bäumchen
- 81 Essen, -Steele, Dahlhauser Straße (Gaswerk Horst)
- 82 Bochum, Natorpstraße 51
- 83 Mülheim, Schwimmstadion
- 84 Mülheim, Stadtmitte (gegenüber Hochhaus)
- 85 Mülheim, -Saarn, Düsseldorfer Straße (Sportplatz)
- 86 Essen, -Haarzopf, Birkmannsweg 86
- 87 Essen, -Bredeney, Arnoldstraße (Gärtnerei)
- 88 Essen, -Heisingen, Heisinger Straße
- 89 Essen, -Überruhr, Hof Hinderfeld
- 90 Essen, Kraftwerk Stausee (Baldeneysee)
- 91 Essen, -Schuir (Ruther Hof)
- 92 Essen, -Werden
- 93 Essen, -Hamm, Hammer Straße (Overhamms Hof)
- 94 Essen, -Kupferdreh, Kupferdreher Straße (Dr. Schuster)
- 95 Essen, -Kupferdreh, Deilbachtal (Firma Narjes & Bender)
- 96 Mülheim, -Selbeck, Fliednerstraße (Diakonenanstalt)
- 97 Essen, -Kupferdreh, Kampmansbrücke (Kläranlage)
- 98 Bochum, Cruismannstraße (Ingenieurbüro)



— Dauer der Staubbiederschlagsmessungen



ÜBERSICHT 1a: Die Dauer der Staubbiederschlagsmessungen der vom Hygiene-Institut des Ruhrgebiets in Gelsenkirchen und vom Bundesgesundheitsamt in Berlin-Dahlem betriebenen Meßstellen. *Orig. M. Domrös*

ÜBERSICHT 2

Die korrigierten Monatsmittelwerte (1956—1963) der Staubbiederschlagsmessungen des Hygiene-Institutes und des Bundesgesundheitsamtes.

Meß- stelle	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Mittel
1	12,8	12,5	10,9	11,5	13,4	10,7	9,8	12,3	8,8	8,4	14,3	11,8	11,5
2	24,7	28,7	20,8	16,2	25,9	26,8	25,4	25,4	40,3	22,6	17,0	27,8	25,4
3	29,8	45,4	33,8	41,6	36,6	43,7	52,5	51,8	41,8	30,0	36,2	56,2	43,3
4	keine Monatswerte												
5	27,9	27,5	26,1	23,6	27,2	26,5	35,3	33,8	29,0	26,2	25,8	31,3	28,4
6	25,1	25,4	21,1	23,2	34,8	32,7	27,8	24,2	24,2	26,2	36,2	21,0	26,8
7	11,1	11,1	15,7	13,5	13,9	15,9	12,5	17,9	12,3	10,0	16,4	12,6	13,6
8	34,4	26,6	23,6	25,3	22,1	27,5	27,0	18,2	24,5	22,6	30,2	20,0	25,2
9	13,7	16,9	16,7	15,1	17,5	15,4	17,3	14,5	13,8	13,7	12,8	17,9	13,8
10	14,0	19,4	18,6	19,5	19,7	17,5	19,4	14,9	16,3	15,8	14,5	18,1	17,3
11	22,6	25,9	31,7	30,9	24,8	24,0	24,8	24,8	27,8	23,4	21,3	30,4	26,1
12	26,7	23,7	30,0	25,0	30,7	24,2	25,6	20,2	19,7	21,2	21,3	30,4	24,9
13	19,9	26,6	22,7	21,3	21,7	17,0	18,6	15,8	18,2	18,0	21,7	27,2	20,8
14	23,8	24,2	22,7	23,1	22,7	21,7	21,8	17,5	18,7	22,1	19,7	22,7	21,7
15	10,7	13,3	11,9	11,5	15,3	11,5	13,0	9,9	9,7	10,5	12,0	12,3	11,8
16	13,1	13,1	21,4	14,6	17,9	31,9	15,7	15,9	19,4	14,0	16,7	30,0	18,7
17	16,9	17,5	23,4	22,1	27,4	28,4	26,3	24,2	22,6	18,5	20,1	23,8	22,6
18	15,4	14,8	16,6	10,9	18,1	14,6	14,1	11,0	10,8	11,0	14,2	11,7	13,6
19	10,4	15,1	16,8	19,5	20,6	18,7	21,4	17,0	17,6	14,1	13,8	14,9	16,7
20	16,7	16,6	31,7	18,8	19,2	18,2	26,1	19,4	12,5	22,8	21,4	21,6	20,4
21	14,7	14,7	39,8	23,6	27,7	30,7	25,0	26,4	22,7	27,5	22,5	25,0	25,0
22	29,3	28,5	31,3	20,6	23,3	27,9	25,8	23,3	27,8	30,5	26,4	27,4	26,9
23	13,3	13,3	40,6	27,7	24,2	42,2	29,1	33,3	29,7	22,3	57,5	40,4	31,1
24	11,0	11,0	26,7	17,2	20,4	27,6	22,0	28,7	22,0	15,3	17,1	27,0	20,5
25	17,5	18,9	30,3	30,4	33,0	27,0	33,1	25,0	33,1	23,8	19,6	28,7	26,7
26	13,6	13,9	15,3	12,8	14,9	13,1	11,6	11,6	11,9	10,5	11,9	11,6	12,8
27	19,7	23,8	23,2	24,0	25,2	24,1	28,4	19,8	26,1	24,4	24,3	23,1	23,9
28	9,4	7,2	10,2	10,1	10,5	18,6	23,7	11,8	—	14,1	10,7	—	12,6
29	11,1	10,5	13,5	11,3	15,3	14,8	13,7	10,9	12,3	10,7	13,3	10,7	12,4
30	63,9	70,6	27,1	75,6	46,1	38,5	53,2	69,3	58,9	110,5	44,6	61,0	60,0
31	21,0	23,0	18,0	25,8	36,4	37,5	38,4	31,6	27,8	27,8	21,5	25,6	27,9
32	24,1	17,7	23,5	20,6	20,1	25,2	22,2	23,2	25,1	21,5	22,9	25,8	22,7
33	47,4	40,8	39,9	33,9	32,6	30,7	27,6	27,1	28,2	24,9	26,4	40,6	33,4
34	21,3	24,6	22,6	21,5	21,8	18,1	17,8	12,1	14,3	17,5	20,0	19,7	18,4
35	13,1	14,8	10,9	15,0	20,6	17,5	21,8	16,7	19,8	17,5	17,0	17,6	17,7
36	19,8	17,6	19,7	19,0	22,1	19,3	24,7	19,5	20,5	16,5	20,4	23,9	20,3
37	13,9	13,6	12,1	16,1	20,1	15,6	19,9	13,4	13,1	12,8	12,1	11,9	14,6
38	15,4	14,1	22,6	21,8	25,4	23,1	10,7	20,5	19,8	21,3	20,6	19,6	20,9
39	10,2	10,2	28,8	13,9	17,1	26,6	22,4	15,3	19,8	10,9	20,3	29,4	18,8
40	13,3	13,3	41,2	21,7	24,6	45,6	27,4	24,0	27,8	27,0	30,4	52,7	29,3
41	14,4	13,3	22,1	16,3	21,6	17,9	21,3	13,6	12,6	13,1	13,3	13,6	15,3
42	10,1	9,4	11,5	12,9	12,4	10,7	7,9	7,8	8,6	10,1	12,6	9,1	10,3
43	10,9	11,4	11,7	10,1	14,7	10,2	7,9	8,3	10,5	10,7	11,7	10,3	10,7
44	15,7	14,1	15,8	13,1	17,0	17,8	16,6	11,6	14,3	13,1	18,4	12,3	15,0
45	10,8	11,9	12,6	9,9	17,6	16,5	17,4	11,5	14,2	11,3	13,2	16,8	12,9
46	14,7	17,9	23,4	21,1	26,3	22,0	—	9,6	—	—	—	16,1	15,9
47	20,6	13,1	21,8	23,3	14,4	17,6	23,8	11,9	15,3	18,7	19,0	13,2	16,1
48	21,6	20,0	21,5	18,7	22,7	10,9	23,6	15,5	19,1	18,6	14,0	19,1	18,8
49	27,8	27,8	70,2	29,8	73,2	60,7	41,0	20,0	20,5	39,9	29,2	25,3	38,8
50	32,2	32,2	55,8	29,1	23,6	35,3	32,4	13,4	22,7	18,9	24,0	28,1	29,0
51	26,2	24,0	23,5	26,8	31,4	29,0	37,3	38,8	26,8	25,3	23,3	29,2	28,5
52	16,7	10,0	17,7	14,5	13,5	15,2	13,7	10,2	11,7	13,0	10,1	14,9	13,4
53	12,8	12,8	21,1	10,8	19,1	23,5	14,0	13,7	12,7	15,8	16,0	20,1	16,0

Meß- stelle	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Mittel
54	8,6	8,6	31,3	15,6	23,1	29,9	21,5	11,0	15,8	15,8	16,0	24,0	17,6
55	6,1	6,1	13,1	10,7	15,3	19,6	16,5	9,6	8,8	10,1	11,6	15,3	11,9
56	8,6	10,5	8,9	9,7	13,9	13,4	19,3	11,1	15,4	11,0	10,2	10,9	11,9
57	8,8	13,9	9,1	11,6	15,2	17,6	18,4	11,0	16,0	11,3	13,2	15,8	13,5
58	17,4	19,2	20,9	19,2	23,9	21,8	23,1	18,8	20,3	20,3	19,8	19,6	20,4
59	12,5	16,9	15,4	12,8	26,7	15,2	18,6	16,1	18,3	15,8	17,7	16,0	16,9
60	18,1	18,5	21,1	21,8	27,8	25,8	33,8	24,3	23,7	18,1	16,6	18,5	22,4
61	9,6	12,4	16,2	15,5	17,1	14,5	16,1	11,9	13,2	11,6	13,9	14,4	13,9
62	14,7	12,2	11,9	10,7	14,4	13,9	11,2	9,4	8,9	11,0	12,2	12,2	11,9
63	7,8	7,8	24,1	12,8	17,2	17,0	12,5	9,0	10,3	11,0	15,3	12,7	13,1
64	13,0	7,5	12,5	—	—	—	—	—	—	19,5	7,3	10,0	11,6
65	12,9	12,7	12,2	17,9	15,7	13,8	17,4	12,1	15,8	10,6	14,2	12,8	14,1
66	11,9	7,7	12,5	12,6	12,6	13,2	11,5	11,5	8,9	8,8	13,6	8,8	12,2
67	12,5	15,9	16,8	20,5	18,2	20,2	17,4	16,8	15,7	12,5	14,3	15,2	16,3
68	12,9	11,2	13,1	12,6	14,4	13,8	11,9	7,8	8,7	7,8	12,6	7,3	11,2
69	21,4	13,1	33,3	—	—	—	—	—	—	21,6	12,1	14,1	19,3
70	14,6	10,3	11,1	—	—	—	—	—	—	19,5	—	13,1	13,7
71	9,4	8,5	10,8	9,6	16,8	13,8	15,3	12,5	12,8	12,8	9,3	11,0	11,9
72	11,8	11,0	12,1	14,8	16,0	15,0	14,3	12,2	13,4	10,5	12,2	14,3	13,2
73	18,7	13,0	16,6	18,5	18,4	20,5	15,7	13,8	12,3	10,6	14,6	10,5	15,3
74	37,8	26,5	21,8	29,3	27,4	29,0	47,3	28,5	26,7	34,7	30,5	52,1	32,7
75	31,2	27,0	23,3	25,4	24,9	23,8	33,5	30,0	31,7	42,4	32,4	22,9	29,1
76	10,8	9,5	11,7	13,2	15,6	15,0	15,2	13,4	12,1	15,7	13,2	9,8	12,8
77	20,4	11,2	11,8	62,2	20,3	17,3	17,2	15,1	12,4	19,4	21,1	19,2	20,8
78	9,8	10,8	14,3	12,6	14,0	13,3	14,3	11,1	11,8	10,3	10,1	12,2	11,9
79	11,4	14,2	12,2	12,9	16,2	17,1	20,5	15,3	13,4	10,9	12,6	13,1	14,2
80	9,3	11,6	10,3	14,0	12,7	14,0	14,3	23,3	12,6	17,9	11,3	11,6	13,6
81	10,3	12,7	11,2	14,0	15,4	12,7	14,2	11,5	10,9	11,1	11,3	9,6	12,1
82	12,5	7,1	12,7	9,9	10,4	10,4	9,6	7,1	10,1	8,2	17,9	6,8	10,3
83	9,0	7,7	7,1	14,0	12,0	10,4	8,0	9,1	11,8	8,6	8,8	8,0	9,6
84	16,4	8,9	11,6	—	—	—	—	—	—	16,5	13,7	—	13,4
85	11,9	8,4	6,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,5
86	8,0	6,5	5,9	6,2	11,4	10,1	11,7	8,7	9,1	7,4	7,4	7,1	8,3
87	11,7	7,9	8,1	11,1	12,4	10,5	15,2	13,3	10,5	9,7	7,9	11,3	10,8
88	7,8	8,3	8,9	9,8	13,6	11,5	11,7	9,6	10,6	7,5	7,8	7,8	9,6
89	9,2	10,1	6,9	6,1	14,0	10,9	12,8	7,4	12,8	12,1	8,5	7,2	9,9
90	5,6	8,7	5,3	8,9	10,1	10,1	—	6,9	8,1	—	8,9	8,1	8,1
91	6,0	—	5,1	4,9	11,0	8,5	9,9	6,2	7,2	5,2	5,1	4,4	6,6
92	—	—	17,7	15,2	17,5	17,1	22,0	16,0	17,4	6,7	—	—	16,2
93	—	7,0	4,5	4,2	10,4	9,4	9,3	7,8	7,7	5,1	6,1	5,3	6,9
94	12,8	15,9	17,9	16,4	16,6	18,0	18,4	16,0	17,2	16,0	14,1	15,0	16,2
95	31,2	21,7	35,1	32,0	35,6	37,4	32,3	27,3	30,7	38,8	27,4	33,3	29,0
96	7,5	3,6	4,4	—	—	—	—	—	—	17,7	3,5	5,3	7,0
97	14,2	14,6	17,5	14,1	17,5	18,5	18,7	18,1	15,6	19,1	15,1	16,6	16,7
98	14,6	12,0	15,0	12,1	16,2	20,9	18,5	15,0	14,5	14,3	15,1	16,4	15,4

ÜBERSICHT 3

Ergebnisse der Außenluftuntersuchungen mit dem Glockenverfahren nach LIESEGANG in Essen (21. 6. 1957 — 25. 6. 1957).

	mg S je Glocke
1 Schederhofstraße (Tiefbauamt)	11,6
2 Folkwangmuseum	6,6
3 Kläranlage Nord	9,6
4 Lager Ernestinenstraße	8,3
5 Gärtnerei Volkspark	9,2
6 Ueckendorfer Straße	7,5
7 Lager Grünstraße	10,6
8 Preßwerk Vogelheim	12,3
9 Fünfhöfestraße 40	9,3
10 Vogelheimer Straße 143	11,4
11 Lohstraße	10,2
12 Kruppstraße (Straßenbahndepot)	9,9
13 Deilbachtal	9,5
14 Kraftwerk Kupferdreh	7,1
15 Bredebuschhang 11	9,8
16 Dahlhauser Straße (Gaswerk Horst)	10,1
17 Stiftsdamenwald 33	8,5
18 Bahnhof Stoppenberg	7,3
19 Kapitelberg-Kirche	6,6
20 Huestraße (Gärtnerei)	9,0
21 Germaniastraße 26	18,2
22 Bottroper Straße (Firma Heggerfeld)	17,4
23 _____	
24 Schlackenstraße 12	12,0
25 Zollstraße 114	7,9
26 Bocholder Straße 290	8,6
27 Bocholder Straße 197	11,0
28 Pappelweg 2a	8,9
29 Spielstraße 1	14,1
30 Gerichtsstraße 7	6,8
31 Borbecker Mühlenbach	6,9
32 Bocholder Straße 156	9,4
33 Stolbergstraße 43	6,6
34 _____	
35 Am Sturmhof (Stadtgrenze)	10,2
36 Kleiner Zuschlag (bei Pumpstation)	8,9
37 Sperlingshorst 41	13,1
38 Turmstraße/Kastanienallee	8,1
39 Segerothstraße 41	9,6
40 Bülow-/Lützwowstraße	11,9
41 Stoppenberger-/Herzogstraße	11,6

ÜBERSICHT 4

Ergebnisse der Außenluftuntersuchungen mit dem Glockenverfahren nach LIESEGANG in Essen (4. 11. 1957 — 8. 11. 1957).

	mg S je Glocke
1 Hans-Berge-Straße 143	9,6
2 Germaniastraße 26	8,8
3 Zinkstraße 38	14,1
4 Carolus-Magnus-Straße 16	12,9
5 nördlich Rot-Weiß-Stadion (Hafenstraße)	14,0
6 Bottroper Straße 382	20,2
7 nahe Sulterkamp	22,7
8 Heegstraße 44	15,8
9 Schlackenstraße 12	10,7
10 Bocholder Straße 197	zerstört
11 Spielstraße 1	14,6
12 Stolbergstraße 43	11,2
13 Bocholder Straße 156	10,8
14 Schederhofstraße (Tiefbauamt)	10,2
15 Salkenbergsweg/Gerlingstraße	zerstört
16 Salkenbergsweg 156	11,0
17 Stoppenberger-/Herzogstraße	10,8
18 Lützw-/Bülowstraße	10,2
19 Sperlingshorst 41	13,6
20 Boshamer Weg 103	11,1
21 Am Sturmhof (Stadtgrenze)	14,0
22 II.Schnieringstraße 6	17,9
23 Fünfhöfstraße 40	13,2
24 Vogelheimer Straße 143	10,9
25 Seumannstraße/Stadtfeld	9,9
26 Karolingerstraße 107a	12,1
27 Kläranlage Nord	17,5
28 Lager Ernestinenstraße	13,6
29 Gärtnerei Volkspark	12,6
30 Ueckendorfer Straße	12,2
31 Grünstraße (Lager)	14,9
32 bei Kraftwerk Emscher	22,6
33 Preßwerk Vogelheim	22,8
34 Lohstraße	18,3
35 Kruppstraße (Straßenbahndepot)	12,8
36 Deilbachtal	8,7
37 Bredebuschhang 11	8,5
38 Dahlhauser Straße (Gaswerk Horst)	8,4
39 Stiftsdamenwald 33	11,6
40 Huestraße (Gärtnerei)	9,9

ÜBERSICHT 5

Ergebnisse der Außenluftuntersuchungen mit dem Glockenverfahren nach LIESEGANG in Essen (23. 6. 1958—27. 6. 1958).

	mg S je Glocke
1 Hans-Berge-Straße 143	10,9
2 Germaniastraße 26	9,9
3 Zinkstraße 38	19,6
4 Carolus-Magnus-Straße 16	18,2
5 Schlackenstraße 12	11,1
6 nördlich Rot-Weiß-Stadion (Hafenstraße)	16,0
7 Preßwerk Vogelheim	11,6
8 nahe Sulterkamp	13,4
9 Bottroper Straße 382	11,6
10 Heegstraße 44	13,0
11 Neustraße 75	12,4
12 Stolbergstraße 43	8,3
13 Spielstraße 1	11,3
14 Bocholder Straße 191	8,0
15 Bocholder Straße 156	7,1
16 bei Kraftwerk Emscher	11,9
17 Boshamer Weg 103	12,0
18 Heisterholz 66	15,0
19 Karnaper Straße 214	15,1
20 Sperlingshorst 41	12,9
21 II. Schnieringstraße 6	12,8
22 Johanniskirchstraße 94	14,0
23 Stoppenberger-/Herzogstraße	9,7
24 Johanniskirchstraße 5	8,6
25 Backwinkelstraße 61	10,7
26 Halsfelder Stiege	8,7
27 Bredebuschhang 11	6,5
28 Kraftwerk Kupferdreh (östlich)	5,7

ÜBERSICHT 6

Ergebnisse der Außenluftuntersuchungen mit dem Glockenverfahren nach LIESEGANG in Mülheim (4.—8. 4. 1960 und 7.—11. 11. 1960).

	mg S je Glocke	
	4.—8. 4. 1960	7.—11. 11. 1960
1 Heifeskamp	7,9	8,6
2 Schildberg (Schule)	8,1	7,7
3 Denkhäuser Höfe 91	7,0	10,0
4 Voßkuhle	8,0	10,3
5 Sellerbeckstraße (Kampermann)	7,7	6,2
6 Bickenborn 23	6,9	12,6
7 Tiegelstraße 45	7,1	10,6
8 Boverstraße/Denkmalfeld	6,6	10,2
9 Mellinghofer Straße (Schule)	7,3	13,9
10 Seilerstraße (Altersheim)	7,3	11,1
11 Friedrich-Ebert-Straße (Tor 3)	13,8	15,0
12 Bahnhof Mülheim-Ruhr	13,6	16,0
13 Dümptener Straße 40	11,4	12,1
14 Grabenstraße 40	6,7	8,0
15 Adolfstraße (Kath. Krankenhaus)	5,8	—
16 Beckmannshofstraße	10,7	13,1
17 Beckmannshofstraße	8,4	11,7
18 Fischhofstraße	8,6	9,9
19 Weseler-/Hansastraße	5,4	10,8
20 Rennbahn Raffelberg	8,2	7,9
21 Stadion Friesenstraße	6,4	8,8
22 Alexanderstraße (Siedlung)	7,3	9,2
23 Dessauer Straße (Kindergarten)	6,6	7,5
24 Wrangelstraße 5	6,5	7,4
25 Kiekweg	5,2	8,1
26 Amselstraße	6,0	6,6
27 Sunderweg 20	6,5	6,5
28 Max-Planck-Institut	9,8	6,5
29 Düsseldorfer Straße (Badestrand)	2,8	5,8
30 Freundhof (Altersheim)	3,9	5,2
31 Lintorfer Straße (Altersheim)	5,4	—

ÜBERSICHT 7

Meßstellen und -ergebnisse der SO₂-Stichprobenuntersuchungen „Nördliches Ruhrgebiet“, Juli 1962 — Juni 1963, Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz in Essen. (Angegeben sind nur die Meßstellen und -ergebnisse, die im Untersuchungsgebiet liegen.)

	mg SO ₂ /m ³
Essen, Bräuker Wald/Emscherstraße	0,25
Essen, Einbleckstraße (Eisenbahnbrücke)	0,21
Essen, Einbleckstraße (gegenüber Strandbad)	0,23
Bottrop, Wissmann-/Lüderitzstraße	0,24
Bottrop, Friedrich-Ebert-/Hardenbergstraße	0,25
Bottrop, Im Beckrahm	0,22
Bottrop, Am Lamperfeld	0,22
Bottrop, Horster-/Wiggermannstraße	0,22
Bottrop, Ostring/Möddericherstraße	0,22
Bottrop, Hebeleckstraße (Eisenbahnbrücke)	0,23
Bottrop, Welheimer Straße	0,25
Bottrop, Knappen-/Holbeinstraße	0,22
Bottrop, Rucktererstraße (Bahnübergang)	0,23
Essen, Sturmschhof/Vogelheimer Straße	0,21
Bottrop, In der Welheimer Mark/Lüningstraße	0,24
Essen, Gladbecker Straße (Die Boye)	0,20
Essen, Waldemey/Spanierwehr	0,22
Essen, Boyer-/Bertramstraße	0,23
Gelsenkirchen, Fischerstraße/Im Ostenbrink	0,26
Gelsenkirchen, Blumenstraße (Ende)	0,24
Essen, Emscherstraße (vor dem Kanal)	0,21
Gelsenkirchen, Grothusstraße (Eingang Schrebergarten)	0,23
Gelsenkirchen, Grothusstraße 60	0,22
Gelsenkirchen, Tiefbachstraße	0,23
Gelsenkirchen, Brückenstraße 9	0,20
Gelsenkirchen, Röhrenstraße 48	0,20
Gelsenkirchen, Wilhelminenstraße 106	0,24
Gelsenkirchen, Franz-/Königstraße	0,26
Gelsenkirchen, Magdeburger-/Breslauer Straße	0,26
Gelsenkirchen, Hubertusstraße (Bahnhof Schalke)	0,24
Gelsenkirchen, Hohenzollernstraße/Sellmannshof	0,26
Gelsenkirchen, Hüller-/Plutostraße	0,23
Gelsenkirchen, Pluto-/Bulmker Straße	0,25
Wanne-Eickel, Gelsenkirchener Straße/Zechenweg	0,26
Gelsenkirchen, Bulmker-/Herthastraße	0,29
Gelsenkirchen, Wanner-/Oskarstraße	0,31
Gelsenkirchen, Wanner-/Skagerakstraße	0,28
Wanne-Eickel, Strahlmannsweg/Barbarastraße	0,25
Wattenscheid, Aschenbruch	0,22
Gelsenkirchen, Bergmannstraße (Nähe Kistenweg)	0,25
Gelsenkirchen, Almastraße (Zechentor)	0,29
Wattenscheid, Günnigfeld-/Wilhelmstraße	0,23
Wattenscheid, Sommerdellenstraße 48	0,24
Wattenscheid, An der Papenburg/Promenade	0,22
Wattenscheid, Schlachthofstraße 10	0,23
Gelsenkirchen, Osterfeld-/Nansenstraße	0,22
Gelsenkirchen, Festweg/Ueckendorfer Straße	0,26
Wattenscheid, Hollandstraße (Bahnübergang)	0,22
Wattenscheid, Steeler Straße/Westfalendamm	0,20
Essen, Haltener-/Langestraße	0,22
Gelsenkirchen, Nattmannsweg/Hövelmannstraße	0,22

	mg SO ₂ /m ³
Gelsenkirchen, Virchowstraße (Ende)	0,20
Gelsenkirchen, Hauptbahnhof	0,27
Gelsenkirchen, Zeppelinallee/Wittekindstraße	0,27
Gelsenkirchen, Ostermannstraße (Ende)	0,23
Gelsenkirchen, Bromberg-/Mechtenbergstraße	0,22
Essen, Bonifatiusstraße 335	0,20
Essen, Elsterbuschstraße (Tennisplatz)	0,19
Gelsenkirchen, Zeppelinallee (1. großer Wohnblock)	0,21
Gelsenkirchen, Grüner Weg/Auf der Reihe	0,23
Gelsenkirchen, Steinfurt-/Saarbrücker Straße	0,23
Essen, Teutoburgerweg 18	0,22
Essen, Mörgekenweg (Ende)	0,20
Essen, Morgensteigmühlencamp	0,22
Essen, Immelmannstraße (Katholische Kirche)	0,23
Essen, Dornbuschhegge/Karl-Meyer-Straße	0,23
Essen, Grundstraße (Bahnunterführung)	0,24
Gelsenkirchen, Nienhausenstraße (Trabrennbahn)	0,20
Essen, Schalker Straße (Bahnüberführung)	0,24
Essen, Schiedtkamp/Katernberg Markt	0,26
Essen, Gelsenkirchner Str. (zwischen Straßenbahndep. u. Bahnschr.)	0,25
Essen, Hallostraße (100 m vor Im Natt)	0,24
Essen, Langemark-/Nünningstraße	0,21
Essen, Hangetal (vor Bahnübergang)	0,20
Essen, Bruchweiherstraße	0,23
Essen, Bruchweiherstraße (Eingang Werksgelände)	0,28
Essen, Im Langenbusch (Ende)	0,22
Essen, Emscherstraße/Leseband	0,20
Essen, Bischoff-/Basunestraße	0,24
Essen, Hohendahl-/Thiesstraße	0,24
Essen, Rahmdörne (30 m vor Gladbecker Straße)	0,20
Essen, Wohlbeckstraße/Strunksweg	0,20
Essen, Rahmstraße 249	0,27
Essen, Schonefeld-/Rodemannstraße	0,23
Essen, Palmbuschweg 105	0,25
Essen, Bäuminghausstraße (20 m vor Gladbecker Straße)	0,26
Essen, Katzenbruch-/Karolingerstraße	0,30
Essen, Stoppenberger Straße (Schlachthof)	0,26
Essen, Bamlerstraße (20 m vor Bottroper Straße)	0,24
Essen, Lütkenbraukstraße (130 m vor Vogelheimer Straße)	0,21
Essen, Wichagenstraße (Ledigenheim)	0,20
Essen, Lüsershof/Voßstraße	0,23
Essen, Bottroper Straße 488	0,21
Essen, Bottroper Straße (Eingang zur Rennanlage Rhein-Ruhr)	0,22
Essen, Bottroper Straße/Rhein-Herne-Kanal	0,22
Essen, Prosperstraße 33	0,22
Essen, Donnerstraße/Ripshorster Straße	0,21
Essen, Gerscheder Straße/Stratmanns Hang	0,21
Essen, Am Ellenbogen/Hülsmannstraße	0,23
Essen, Stolberg-/Dünkelbergerstraße	0,27
Essen, Zink-/Germaniastraße	0,25
Essen, Bocholder Straße 146	0,21
Essen, Fürstäbtissin-/Drogandtstraße	0,20
Essen, Triftstraße/Möllnhoven	0,19
Essen, Bocholder-/Altendorfer Straße	0,21
Essen, Altendorfer Straße 468	0,17
Essen, Altendorfer Straße/Grieper Straße	0,21
Essen, Husmannshofstraße 49	0,21
Essen, Lewin-/Weidenstraße	0,24
Wanne-Eickel, Gartenstraße/Drosselweg	0,28

	mg SO ₂ /m ³
Wanne-Eickel, Ackerstraße	0,24
Wanne-Eickel, Friedhofstraße (Friedhof)	0,26
Wanne-Eickel, Wilhelm-/Hammerschmidtstraße	0,25
Wanne-Eickel, Kurhaus-/Langekampstraße	0,33
Wanne-Eickel, Dorneburger-/Eintrachtstraße	0,24
Wanne-Eickel, Dorstener Straße (200 m hinter Feldkamp)	0,24
Bochum, Rensingstraße (Stadtgrenze)	0,22
Herne, Ewaldstraße/Am Schrebergarten	0,26
Herne, Berg-/Waldstraße	0,22
Bochum, Wiescherstraße 121	0,22
Bochum, Herzog-/Dorstener Straße	0,20
Bochum, Meesmannstraße/Am Gartenkamp	0,24
Bochum, Beisingstraße (Bahnübergang)	0,24
Bochum, Stembergbusch (Rohrleitung)	0,24
Bochum, Hiltroper Straße/In der Röttgersbank	0,24
Bochum, Hofsteder-/Eisenbahnstraße	0,24
Bochum, Dorstener-/Hordeler Straße	0,24
Bochum, Sechsbrüderstraße 67	0,21
Wanne-Eickel, Hordeler-/Richard-Wagner-Straße	0,24
Bochum, Hannover-/Fichtenstraße	0,22
Bochum, Im Zugfeld	0,22
Bochum, Heide-/Untere Heidestraße	0,23
Bochum, Dorstener Straße (hinter Ruhrschnellwegabzweigung)	0,29
Bochum, Robertstraße (Ende)	0,25
Bochum, Goldhammer Weg/Zentrumstraße	0,24
Wattenscheid, Hansa-/Blücherstraße	0,19

Literatur³¹

- Adams, D. F., The effects of air pollution on plant life; Arch. ind. Health. 14 (1956) Nr. 3, S. 229—245 (Ref. in: Staub 53, 1957, S. 971—973).
- Ahlner, S., Utbredningstyper Blad Nordiska Barrträds-lavar; Acta Phytogeogr. Suecica 22, Uppsala 1948.
- Air pollution, Bibliographie in „Meteorological Abstracts“, Vol. I, Heft 1 (1950).
- Aitken, J., Staub und meteorologische Erscheinungen (Ref. in: Naturwiss. Rundschau 22, Bd. 9, 1894, S. 277—279 und Met. Ztschr. 1894, S. 348—351).
- Albrecht, F., Untersuchungen der vertikalen Zirkulation in einer Großstadt; Met. Ztschr. 50 (1933), S. 93—98.
- Albrecht, F., Grunow, J., Ein Beitrag zur Frage der vertikalen Luftzirkulation in der Großstadt; Met. Ztschr. 52 (1935), S. 103—108.
- Alborn, O., Lavfloran i Botaniska trädgården i Lund, Svensk. Bot. Tidskr. 44, Heft 2, Uppsala 1950.
- Alissow, B. P., Drosdow, O. A., Rubinstein, E. S., Lehrbuch der Klimatologie, Berlin 1956.
- Amelung, W., Becker, F., Sparwasser, H., Neue Untersuchungen über den Kern- und Staubgehalt im Mittelgebirge; Heilbad und Kurort 12 (1950), S. 212.
- Anders, J., Die Strauch- und Laubflechten Mitteleuropas, Jena 1928.
- Arnold, F., Zur Lichenenflora von München; Ber. d. Bayer. Botan. Ges. Bg. I: (1891) S. 1—147; Bd. II: (1892) S. 1—76; Bd. V: (1897) S. 1—45; Bd. VI: (1899) S. 1—82; Bd. VII,2: (1900); Bd. VIII,1: (1902).
- Bachmann, E., Zur Physiologie der Krustenflechten. Ztschr. f. Botanik 14, 1922, S. 193—233.
- Barkman, J. J., On the ecology of cryptogamic epiphytes with special reference to the Netherlands; Diss. Leiden 1958.
- Barkman, J. J., Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Assen 1958.
- Barth, H., Kontinuierliche Staubmessungen im Stadtgebiet von Dortmund; Staub 22 (1962), S. 51—54.
- Baur, F., Einführung in die Großwetterkunde; Wiesbaden 1948.
- Beiträge zur Statistik des Landes Nordrhein-Westfalen, Sonderreihe Volkszählung 1961, Heft 1: Die Wohnbevölkerung in den Gemeinden Nordrhein-Westfalens; Stat. Landesamt NRW, Düsseldorf 1963.
- Berg, H., Besprechung zum „Kartenwerk mit Staubpegelzonen nach Sedimentationsmessungen der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes NRW“; in: Erdkunde 12 (1958), S. 73—74.
- Berge, H., Schädliche Einwirkungen der verunreinigten Luft auf Pflanzen; Luftverunreinigung 1960, S. 38—45.
- Berge, H., Phytotoxische Immissionen (Gas-, Rauch- und Staubschäden), Berlin u. Hamburg 1963.
- Bergerhoff, H., Hölte, W., Kartenwerk mit Staubpegelzonen nach Sedimentationsmessungen der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Bochum 1957.
- Bertsch, K., Flechtenflora von Südwestdeutschland, Stuttgart 1955.

³¹ Verwiesen wird auf das umfangreiche Verzeichnis der internationalen Literatur zur Frage der Luftverunreinigung, das sich in dem von der World Health Organization herausgegebenen Werk: Die Verunreinigung der Luft; Ursachen, Wirkungen, Gegenmaßnahmen (Weinheim 1964, deutsche Übers.) befindet.

- Beschel, R., Flechten als Altersmaßstab rezenter Moränen; *Zt. f. Gletscherkde. u. Glacialgeologie* 2 (1950), S. 152—161.
- Beschel, R., Flechten und Moose im St.-Peters-Friedhof in Salzburg; *Mitt. d. Naturwiss. Arbeitsgemeinschaft am Hause d. Natur in Salzburg. Botan. Arbeitsgruppe 2* (1951), S. 44—51, Salzburg 1952.
- Beschel, R., Eine Flechte als Niederschlagsmesser; *Wetter und Leben* 3—4 (1954), S. 56—60.
- Beschel, R., Flechtenvereine der Städte, Stadtflechten und ihr Wachstum; *Ber. d. Naturwiss.-Medizin. Vereins in Innsbruck*, 52. Band (1957/58), Innsbruck 1958.
- Beyreis, O., Heller, A., Bursche, E. M., Beiträge zur Außenlufthygiene; *Schriftenreihe d. Vereins f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem*, Bd. 10, 1955.
- Blüthgen, J., Allgemeine Klimageographie; Bd. II des Lehrbuchs der Allgem. Geographie von E. Obst, Berlin 1964.
- Bobrov, R. A., Use of plants as biological indicators of smog in the air of Los Angeles county; *Science* 121 (1955), S. 510 (Ref. in: *Staub* 48 (1957), S. 155).
- Böer, W., Fragen der Luftverunreinigung vom meteorologischen Standpunkt aus gesehen; *Ztschr. f. d. ges. Hygiene u. ihre Grenzgebiete*, 1961, Heft 6, S. 412—419.
- Bomhard, H.G. von, Der Einfluß von Steinkohlenflugasche auf Boden und Pflanze; *Diss. Techn. Hochsch. München* 1955.
- Bouly de Lesdain, M., *Ecologie (Phanérogames, Mousses et Lichens) de quelques sites de Paris*; *Encyclop. biogéogr. et écol.* IV, Paris 1948.
- Bracht, G., Staubniederschlagsmessungen in Berlin; *Techn. Überwachung* 1 (1960), S. 80—84.
- Braun-Blanquet, J., *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*, Wien 1951.
- Britzelmayr, M., *Die Lichenen der Flora von Augsburg*; *Ber. d. Naturwiss. Ver. f. Augsburg* 23 (1875).
- Brockmann, A., Schlipkötter, H. W., Dolgner, R., Vergleichende Untersuchungen über den Staubgehalt der Luft in Düsseldorf und Bochum in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren; *Arbeit und Leistung* 6 (1963), S. 77—83.
- Bundesgesundheitsministerium, *Gutachten des ... über die Luftverunreinigung in Essen vom 24. 11. 1961.*
- Butin, H., Physiologisch-ökologische Untersuchungen über den Wasserhaushalt und die Photosynthese bei Flechten; *Biolog. Zentralbl.* 73 (1954), S. 459—502.
- Defant, A., Über die Abkühlung der untersten staubbeladenen Luftschichten; *Ann. d. Hydrographie* 47 (1919), S. 93—105.
- Deutscher Gemeindetag, *Soll unsere Landschaft weiter zerstört werden? Bad Godesberg* 1964.
- Diem, M., Staubausbreitung in der freien Atmosphäre in Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen; *Staub* 26 (1951), S. 342—355.
- Diem, M., Messungen von Staubniederschlägen; *Staub* 20 (1960), S. 278—282.
- Diem, M., Jurksch, G., Vergleichsmessungen des Staubgehalts der Luft nach Niederschlags- und Konzentrationsmethoden; *Staub* 21 (1961), S. 345—354.
- Donau, M., Hygienische Untersuchungen über die klimatischen Faktoren und den Ruß- und Staubgehalt der Luft in verschiedenen Stadtteilen Groß-Dresdens, *Diss. Techn. Hochsch. Dresden* 1931.
- Effenberger, E. und Linder, A., Untersuchungen über den Tagesgang des Staubgehaltes der Luft in einer Großstadt; *Ann. d. Met.* 8 (1957/58), S. 235—255.
- Effenberger, E. und Lindner, A., Statistische Untersuchungen über den Wochengang des Staubgehaltes in einer Großstadt; *Ann. d. Met.* 8 (1957/58), S. 149—162.
- Egle, K., Die Analyse der Schwefeldioxydwirkung auf Pflanzen im Naturexperiment und im Laboratoriumsversuch; *Staub* 21 (1961), S. 51—52.
- Ellenberg, H., *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*; Bd. 4, Teil 2 der *Einf. i. d. Phytologie* von H. Walter, Stuttgart 1963.

- Emden, R., Über Strahlungsgleichgewicht und atmosphärische Strahlung; Sitzungsber. d. bayr. Akad. d. Wissensch. 1913, S. 55ff.
- Emonds, H., Das Bonner Stadtklima; Arb. z. Rhein. Landeskunde H. 7 (1954).
- Erichsen, C. F. E., Beiträge zur Flechtenflora der Umgebung von Hamburg und Holstein. Verh. Naturw. Ver. Hamburg 13 (1905). S. 44—104.
- Erichsen, C. F. E., Die Flechten des Moränengebietes von Ostschleswig mit Berücksichtigung der angrenzenden Gebiete; Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg 70 (1928), S. 128—172.
- Erichsen, C. F. E., Neue skandinavische Flechten; Nyt. Magazin for Naturvidenskaberne 68 (1930), S. 159—165.
- Ernst, M., Der Einfluß der Stadt auf die Flechtenvegetation (unveröff. Staatsexamensarbeit, Göttingen 1948).
- Faerber, K. P., Luftverunreinigung — Anliegen und Verpflichtung der Kommunen; Kommunalwissenschaft 1962, H. 4, S. 131—134.
- Faerber, K. P., Hoffmann, A., Weitere Untersuchungen über die Einflüsse von Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit; Der öffentl. Gesundheitsdienst 1961, S. 17—25.
- Faerber, K. P., Hoffmann, A., Schmitz, G., Untersuchungen zum Nachweis schädigender Einflüsse von Luftverunreinigungen auf die Gesundheit des Menschen an größeren Bevölkerungsgruppen; Der öffentl. Gesundheitsdienst 1959, S. 493—511.
- Felföldy, L., A városi levegő hatása az epiphyton-zuzmóvegetációra Debrecenben (Über den Einfluß der Stadtluft auf die Flechtenvegetation der Bäume in Debrecen); Acta Geobotanica Hungaria 4,2 (1942), S. 332—349.
- Fett, W., Der atmosphärische Staub und seine Bedeutung, Berlin 1958.
- Fitting, Schumacher, Harder, Firbas, Lehrbuch der Botanik für Hochschulen; S. 368—370: Lichenes, Flechten, Stuttgart 1951.
- Flach, E., Über ortsfeste und bewegliche Messungen mit dem SCHOLZschen Kernzähler und dem ZEISSschen Freiluftkonimeter. Ein Beitrag zur biologischen Geländeaufnahme (I); Zt. f. Met. 6 (1952), S. 97—112.
- Flach, E., Würfel, H., Lufthygienische Eigenschaften Berlins und seiner Randgebiete; Angew. Met. 1 (1952), S. 161—169.
- Flohn, H., Klimaschwankungen und großräumige Klimabeeinflussung; Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen; Natur-, Ingenieur- und Gesellschaftswissenschaften, Heft 115, Köln und Opladen 1963.
- Froriep, G., Im Industriegebiet sind Grünflächen lebensnotwendig; VdI-Nachrichten Nr. 22 (29. 5. 1963), S. 27.
- Fünfstück, M., Zahlbruckner, A., Lichenes (Flechten); in: Engler-Prantl, Die natürlichen Pflanzenfamilien, Bd. 8, Leipzig 1926, 2. Aufl.
- Gams, H., Rindenflechten der Alpen; Vegetationsbilder, 25. Reihe, Heft 1, Jena 1936.
- Geiger, R., Das Klima der bodennahen Luftschicht, Braunschweig 1961, 4. Aufl.
- Gilbert, O. L., Lichens as indicators of air pollution in the Tyne Valley. In: Ecology and the industrial society (British Ecological Society Symposium Number Five). Hrag.: Goodman, G. T.; Edwards, R. W.; Lambert, J. M., Oxford 1965, S. 35—47.
- Ginzberger, A., Pflanzengeographisches Hilfsbuch, Wien 1939.
- Goebel, K., Die Wasseraufnahme der Flechten; Ber. d. Dt. Bot. Ges. 44, 1926, S. 158—161.
- Goldberg, M. S., Die Reinheit der atmosphärischen Luft und ihr Schutz (aus dem Russischen übersetzt von G. Müller); Sowjetwissenschaft naturwiss. Beiträge 1957, H. 3, S. 249—261.
- Goldmerstein, J., Stodiek, K., Wie atmet die Stadt? Neue Feststellung über die Bedeutung der Parkanlagen für die Lufterneuerung in den Großstädten, Berlin 1931.
- Graeber, P., Lehrbuch der allgemeinen Pflanzengeographie, Leipzig 1929.
- Gräfe, K., Wintertemperatur, Schwefeldioxid-Immission und -Emission; Staub 23 (1963), S. 557—559.

- Greiner, H., Staubbiederschlagsmessungen in Stuttgart; *Techn. Überwachung* 3 (1962), S. 349—352.
- Guthmann, K., Das Staubproblem in der Eisen- und Stahlindustrie; *Techn. Mitteilungen*, 55. Jgg., Heft 6 (1962), S. 244—255.
- Haase, P., Die Schädigung von Nadelhölzern durch Abgase und Stadtklima; *Städtehygiene* 1960, H. 4, S. 67—68.
- Handbuch der Essener Statistik 1960.
- Hanstedt, W., Luftverunreinigung im Ruhrgebiet und Vorschläge zu ihrer Beseitigung; *Westdt. Türmer*, August 1956, S. 122—125.
- Haselhoff, E., Grundzüge der Rauchschadenkunde, Berlin 1932.
- Haselhoff, E., Bredemann, G., Haselhoff, W., Entstehung, Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden, Berlin 1932.
- Haselhoff, E., Lindau, G., Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch, Leipzig 1903.
- Haugaja, P. K., Über den Einfluß der Stadt Oslo auf die Flechtenvegetation der Bäume; *Nyt. Mag. Naturvidensk.* 68 (1930), S. 1—116.
- Haut, H. van, Die Analyse von Schwefeldioxydwirkungen auf Pflanzen im Laboratoriumsversuch; *Staub* 21 (1961), S. 52—56.
- Haut, H. van, Stratmann, H., Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Schwefeldioxyd auf die Vegetation; *Forschungsber. d. Landes NRW Nr. 884*, Köln und Opladen 1960.
- Heller, A., Industrielle Immissionen; *Schriftenreihe aus dem Gebiet des öffentlichen Gesundheitswesens*, Heft 8, 1958, S. 65—77.
- Heller, A., Möglichkeiten und Maßnahmen zur Besserung der Luftverhältnisse in Industriegebieten und Großstädten; *Kommunalwirtschaft* 1958, S. 135—138.
- Heller, A., Praktische Erfahrungen aus der Staubbiederschlagsmessung; *Staub* 20 (1960), S. 282—285.
- Helmrich, W., Das Ruhrgebiet, Wirtschaft und Verflechtung, Münster 1949 2. Aufl.
- Hennebo, D., Staubfilterung durch Grünanlagen; *Wiss. Berichte, Folge II: Bauwesen*, Heft 19 (1955).
- Hentschel, G., Lufthygienische Gesichtspunkte für die Anlage von Industrien und Wohnbezirken; *Energietechnik* 8 (1958), S. 491—494.
- Hentschel, G., Methodische Vorschläge und Bewertungshinweise für die lufthygienische Praxis; *Angew. Met.* 3 (1959), S. 257—263.
- Hentschel, G., Leidreiter, W., Die Häufigkeit von Inversionen im bodennahen Luftraum (15—76 m über Grund) in Abhängigkeit von Jahreszeit, Tageszeit und Windrichtung; *Zt. f. Angew. Met.* 3 (1960), S. 353—362.
- Hess, P., Brezowsky, H., Katalog der Großwetterlagen Europas. *Ber. d. Deut. Wetterdienstes in der US-Zone*, Nr. 33. Bad Kissingen 1952.
- Hesse, W., Neue städteklimatologische Untersuchungen in Leipzig; *Annalen d. Met.* 1951, H. 1—6, S. 62—64.
- Hettche, O., Reinhaltung der Luft. Eine dringende Forderung unserer Zeit; *Kosmos* 1963, H. 6, S. 238—241.
- Hoeg, O. A., Zur Flechtenflora von Stockholm; *Nyt. Mag. Naturvidensk.* 75 (1936), S. 129—136.
- Högger, D., Die Reinhaltung der Atmosphäre als hygienische Aufgabe; *Plan* 3 (1963), S. 101—105.
- Hölte, W., Erläuterungen zum Kartenwerk: „Staubpegelzonen nach Sedimentationsmessungen der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz“, Bochum 1956.
- Hoffmann, A., Ausbreitung von Luftverunreinigungen in einer Großstadt des Ruhrgebiets; *Kommunalwirtschaft* 1958, S. 153—155.
- Hoffmann, A., Wüstenberg, J., Untersuchungen über den Anteil von Kohle und Eisen im Staubbiederschlag innerhalb des mittleren Ruhrgebietes; *Forschungsberichte d. Landes NRW Nr. 1139*, Köln u. Opladen 1963.

- Hoffmann, R., Lufthygiene und Siedlungspolitik, *Kommunalwirtschaft* 1959, S. 157—160.
- Hofmann, E., Amberger, A., Über den Einfluß von Steinkohlenflugasche auf Boden und Pflanzen, H. 11, S. 67—79 d. Schriftenreihe des Vereins f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene Berlin-Dahlem: „Steinkohlenflugasche, Einfluß auf Boden, Pflanzen und Milchkühe“, Stuttgart 1956.
- Humboldt, A. von, Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse, Tübingen 1806 (her. v. M. Dittrich, Nr. 247 Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Leipzig 1959).
- Jahnel, H., Physiologisches über Einwirkungen von SO₂ auf Pflanzen; *Wiss. Ztschr. d. TH Dresden* 4, 1954/55, S. 447—457.
- Jenne, D. E., Vertical temperature profiles in relation to other meteorological elements and air pollution; *Journ. Air Pollution Control Assoc.* 7 (1957), S. 31—35 (Ref. in: *Staub* 18 (1958) S. 65—66).
- Jones, W., Some observations on the Lichen flora of tree boles, with special reference to the effect of smoke; *Revue Bryologique et Lichénologique* 21 (1952), S. 96—115.
- Junge, Chr., Die Konstitution des atmosphärischen Aerosols; *Ann. d. Met., Beiheft* 1952.
- Kajanus, B., Morphologische Flechtenstudien; *Ark. f. Botanik* 10, Nr. 4, S. 1—47, Stockholm 1911.
- Katz, M., Sulfur Dioxide in the Atmosphere and its Relation to Plant Life; *Industr. and Eng. Chem.* 41 (1949), S. 250—255.
- Kegel, S., Die Luft im Industriegebiet muß sauberer werden! *Chem. Industrie* H. 7, 1954, S. 367—369.
- Kershaw, K. A., Flechtenkunde; *Endeavour* (dt. Ausgabe) 22, Nr. 86 (Mai 1963), S. 65—69.
- Klement, O., Prodomus der mitteleuropäischen Flechtengesellschaften; *Feddes Repert. spec. novarum regni vegetabilis*, Beih. 135, 1955, S. 5—194.
- Klement, O., Zur Flechtenflorula des Kölner Domes, *Decheniana* 109 (1956), S. 87—90.
- Klement, O., Die Flechtenvegetation der Stadt Hannover; *Beiträge Naturkunde Niedersachsens*, Jgg. 11 (1958), S. 56—60.
- Knaauer, A., Noack, R., Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Luftverunreinigung und meteorologischen Faktoren; *Zt. f. d. ges. Hygiene u. ihre Grenzgebiete*, 8. Jgg. (1962), S. 937—954.
- Koepcke, H.-W., Synökologische Studien an der Westseite der peruanischen Anden; *Bonner Geograph. Abhandl.* H. 29 (1961).
- Kolbig, J., Abschätzung der Ausbreitung von Luftverunreinigungen; *Zt. f. Met.* 13 (1959), S. 70—74.
- Kolumbe, E., Untersuchungen über die Wasserdampfaufnahme der Flechten; *Planta* 3 (1927), S. 734—757.
- Krämer, J., Schäden und Wirkungsgrenzen der Luftverunreinigung, in: *Die Reinhaltung der Luft* (her. v. Rationalisierung-Kuratorium d. Deutschen Wirtschaft), Berlin-Köln-Frankfurt 1963, S. 29—45.
- Krämer, J., Kettner, H., Maßnahmen zur Luftreinhaltung bei Haus- und Kleingewerbe-feuerungen; *Staub* 23 (1963), S. 196—203.
- Kratzer, A., Das Stadtklima; *Die Wissenschaft* Bd. 90, Braunschweig 1956, 2. Aufl.
- Krusenstjerna, E., Bladmossvegetation och Bladmossflora i Uppsala-trakten, *Acta Phytogeogr. Suec.* 19, Uppsala 1945.
- Kühn, E., Stadtplanung und Reinhaltung der Luft; *Staub* 23 (1963), S. 214—217.
- Lampadius, F., Die lufthygienische Bedeutung des Waldes in ihrer Abhängigkeit von schädlichen Raucheinwirkungen auf den Wald; *Zt. f. Ang. Met.* 4 (1963), S. 248—249.
- Lange, O. L., Hitze- und Trockenresistenz der Flechten in Beziehung zu ihrer Verbreitung; *Flora* 140 (1953), S. 39—97.
- Lange, O. L., Einige Messungen zum Wärmehaushalt poikilohydrer Flechten und Moose; *Arch. f. Met., Geophysik u. Bioklimatologie* 5/2 (1954).

- Langmann, R., Über den Anteil des Schwebstaubes an der Luftverunreinigung; Der öffentl. Gesundheitsdienst 1962, S. 560—561.
- Lettau, H., Atmosphärische Turbulenz, Leipzig 1939.
- Liesegang, W., Die Betriebsüblichkeit der Staubimmission und die Ortsüblichkeit des Staubniederschlags; Staub 1951, S. 4—10.
- Lindau, G., Die Flechten (Kryptogamenflora für Anfänger Bd. 3); Berlin 1913 (1. Aufl.), 1923 (2. Aufl.).
- Linke, F., Das Klima der Großstadt, S. 75—90 in: de Rudder, B. und Linke, F., Biologie der Großstadt, Dresden und Leipzig 1940.
- Löbner, A., Horizontale und vertikale Staubverteilung in einer Großstadt, Diss. Leipzig 1935 und Veröff. Geophys. Inst. Leipzig 7, H. 2 (1935), S. 55—100.
- Löbner, A., Vergleichende Untersuchungen über den Staubgehalt der Großstadtluft im Winter und im Sommer; Kleine Mitteilungen für die Mitglieder des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, 13. Jgg., Juni/August 1937, Nr. 6/8.
- Löbner, A., Verstaubungskurven von Berlin 1949/50; Raumforschung und Raumordnung, 1950, S. 142—143.
- Löbner, A., Ergebnisse von Regenwasseruntersuchungen in den Jahren 1940—50; Staub 27 (1951), S. 443—448.
- Löbner, A., Ergebnisse von Staubniederschlagsmessungen an verschiedenen Orten Deutschlands in den Jahren 1953 bis 1959; Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem, H. 15, 1960.
- Londons Rauch verpfeffert alles. Ein geschichtlicher Überblick über den Kampf gegen die Luftverunreinigung; VDI-Nachrichten Nr. 14, 7. 4. 1965.
- Lüdeling, G., Luftelektrische und Staubmessungen an der Ostsee und auf Helgoland; Veröff. d. Königlich Preussischen Meteorol. Institutes Berlin 1904 (Ref. in: Met. Zt. 1905, S. 378—380).
- Lynge, B., Studies on the lichen flora of Norway; Vidensk. Selsk. Skr. 1921.
- Mägdefrau, K., Flechtenvegetation und Stadtklima; Naturwiss. Rundschau, 13. Jgg. (1960), S. 210—214.
- Mägdefrau, K., Wutz, Die Wasserkapazität der Moos- und Flechtendecke des Waldes; Forstwiss. Centralbl. 70 (1951), S. 103—117.
- Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft. Zwischenbericht der Landesregierung NRW auf den Landtagsbeschuß vom 13. 12. 1955 (Drucksache Nr. 261), betreffend Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft, April 1957.
- Matthes, D., Die Autoabgase entgiften; VDI-Nachrichten, Nr. 50, 9. 12. 1964.
- Mattick, F., Die Veränderung der Flechtenflora von Dresden seit 1799; Repert. spec. novarum regni vegetabilis, Beiheft XCI (Beiträge zur Systematik und Pflanzengeographie 14), 1937, S. 11—26.
- Mattick, F., Die Bedeutung der Flechten für die Polargebiete; Polarforschung 2 (1946), S. 98—102.
- Mattick, F., Alte und neue Probleme der Lichenologie; Ber. Dt. Botan. Gesellschaft 64 (1951), S. 93—107.
- Mattick, F., Wuchs- und Lebensformen, Bestand und Gesellschaftsbildung der Flechten; Botan. Jahrbuch 75 (1952), S. 378—424.
- Mattick, F., Lichenes, in: Engler, A., Syllabus d. Pflanzenfamilien, I. Bd., S. 204—218, Berlin 1954, 12. Aufl.
- Meetham, A. R., Atmospheric pollution. Its origin and prevention. London 1952.
- Meldau, R., Wirtschaftlichkeitsfrage in der Staubbeseitigung; Chem. Industrie 4 (1952), S. 465—466.
- Meldau, R., Handbuch der Staubtechnik, Bd. I: Grundlagen, Düsseldorf 1952.
- Meldau, R., Technische und biologische Probleme der industriellen Abluftreinigung; Chem. Industrie 7 (1954), S. 369—372.
- Meldau, R., Besondere lufttechnische Aufgaben der Städte; Der Städtetag, Jg. 10 (1957), S. 549—554.

- Mellinghoff, V., Die Grünpolitik im Ruhrgebiet mit besonderer Berücksichtigung der Rauchbekämpfung; VDI-Berichte 7 (1955), S. 77—82.
- Mellinghoff, V., Das Ziel: Ein grünes Revier, S. 407—412 in: Das grüne Buch von Nordrhein-Westfalen, her. v. Minister f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten des Landes NRW, Hilstrup/Westfalen 1962.
- Migula, W., Pflanzenbiologie, Leipzig 1926, 2. Aufl.
- Müller-Wille, W., Die Naturlandschaften Westfalens; Westfäl. Forschung 5, 1—2 (1942), S. 1—78.
- Müller-Wille, W., Westfalen, landschaftliche Ordnung und Bindung eines Landes, Münster 1952.
- Natho, G., Die Verbreitung der epixylen Flechten und Algen im Demokratischen Berlin; Wissensch. Ztschr. d. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Naturw. Reihe, Jgg. 13 (1964), S. 53—75.
- Natho, G., Zur Verbreitung rindenbewohnender Flechten in Kleinstädten — Ostseebad Kühlungsborn; Wiss. Ztschr. d. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Naturw. Reihe, Jgg. 13 (1964), S. 639—643.
- Natho, G., Flechtenentwicklung in Städten, Drudea, Jgg. 4, H. 1 (1966), S. 33—44.
- Neumann, W., Forderungen der Humanmedizin an die Luftreinhaltung vom Standpunkt der Toxikologen; Staub 23 (1963), S. 130—135.
- Neuwirth, R., Einige Resultate luftchemischer Untersuchungen im Zusammenhang mit der atmosphärischen Turbulenz; Met. Rundschau 11 (1958), S. 137—141.
- Nienburg, W., Studien zur Biologie der Flechten, Ztschr. f. Botanik 11 (1919), S. 1—38.
- Nienburg, W., Pilze und Flechten; Aus Natur und Geisteswelt 675, Leipzig und Berlin 1921.
- Noack, K., Photochemische Wirkungen des Chlorophylls und ihre Bedeutung für die Kohlensäureassimilation; Zt. f. Botanik 17 (1925), S. 481—548.
- Noack, R., Die lufthygienische Situation in einigen Kurorten und Erholungszentren der DDR sowie Hinweise für Neuanlagen von Kurzentren; Ztschr. f. Met. 13 (1959), S. 63—66.
- Nylander, W.: Les lichens du jardin du Luxembourg. Bull. de la Soc. Botan. de France 13, 1866.
- Oberhagemann, E., Ergebnisse langjähriger Witterungsbeobachtungen in Bochum 1888—1950; Mitt. d. Westfälischen Bergwerkschaftskasse Bochum, H. 3, März 1952.
- Ochsner, F., Studien über die Epiphyten-Vegetation der Schweiz, Diss. St. Gallen 1927.
- Ochsner, F., Verdunstungsmessungen an Epiphyten-Standorten; Ber. ü. d. Geobotan. Forschungsinst. Rübel in Zürich f. 1932, Zürich 1933, S. 58—63.
- Ochsner, F., Ökologische Untersuchungen an Epiphytenstandorten; Ber. ü. d. Geobotan. Forschungsinst. Rübel in Zürich f. d. Jahr 1934, Zürich 1935, S. 69—80.
- Oliver, F. W., On the effect of urban fog upon cultivated plants; Journ. R. Horticult. Soc. 16, London 1893.
- Oliver, H., Die Verunreinigung der Luft; Luftverunreinigung 1960, S. 2—4.
- Ordnung und Planung im Ruhr-Raum, her. v. Institut f. Raumforschung Bonn, Dortmund 1951.
- Ost, K., Kritische Betrachtungen über Immissionsprobleme im Norden des Ruhrgebiets; Brennstoff-Chemie 37, Nr. 19/20 (1956), S. 310—317.
- Ost, K., Mirisch, G., Über Messungen von Staubbiederschlägen in der Umgebung eines größeren Kraftwerkes auf Steinkohlenbasis; Mitt. d. Vereinigung d. Großkesselbesitzer 37 (1955), S. 689—700.
- Paffen, KH., Die natürliche Landschaft und ihre räumliche Gliederung; Forsch. z. Dt. Landeskunde 68 (1953).
- Parker, A., Atmospheric pollution — causes, effects and prevention. London 1954.
- Paszyński, J., Luftverunreinigung im Oberschlesischen Industriegebiet; Angew. Meteorol. 4 (1962), S. 161—165.
- Péczely, G., Die Luftverunreinigung in Budapest; Zt. f. Meteorol. 13 (1959), S. 67—68.

- Poelt, J., Systematik der Flechten, in: Fortschritte der Botanik 18 (1955), S. 75—82.
- Rötschke, M., Untersuchungen über die Meteorologie der Staubatmosphäre; Veröff. Geophys. Inst. Univ. Leipzig, Bd. 11, H. 1 (1937).
- Rydzak, J., Rozmieszczenie i ekologia porostów miasta Lublina, Annales Univers. Mariae Curie-Sklodowska, Lublin, Sect. C, Bd. 8 (1953), S. 233—356.
- Rydzak, J., Wplyw malych miast na flore porostow (The influence of Small Towns on the Lichen Vegetation); Annales Univers. Mariae Curie-Sklodowska, Lublin, Sect. C; Bd. 10 (1957): S. 1—32, S. 33—66, S. 157—175, S. 321—398; Bd. 11 (1959): S. 25—50, S. 51—72; Bd. 13 (1959): S. 275—323.
- Sauberer, A., Die Verteilung rindenbewohnender Flechten in Wien, ein bioklimatisches Großstadtproblem; Wetter und Leben 3 (1951), H. 5—7, S. 116—121.
- Sauberer, F., Härtel, O., Pflanze und Strahlung, Leipzig 1959.
- Schade, A., Schneckenfraß an Flechten; Decheniana 108 (1956), S. 243—246.
- Schaede, R., Die pflanzlichen Symbiosen, S. 75—105: Die Flechten, Jena 1948 2. Aufl.
- Schenck, H., Flechtenbestände; Vegetationsbilder 12. Reihe, Heft 5, Jena 1914.
- Schinzl, A., Flechten und Moose als biologische Indikatoren der Luftverunreinigung; Städtehygiene 4 (1960), S. 64—66.
- Schmid, A. B., Die epixyle Flechtenvegetation von München, Diss. Univ. München, 22. 10. 1957.
- Schmidt, G., Zur Nutzbarmachung staubklimatischer Untersuchungen für die städtebauliche Praxis; Ber. d. Dt. Wetterdienstes in der US-Zone 38 (Weickmann-Heft), 1952, S. 201—205.
- Schmidt, W., Schweben von Teilchen in Luftwirbeln; Met. Ztschr. 30 (1913), S. 171.
- Schmidt, W., Messungen des Staubkerngehalts der Luft am Rande einer Großstadt; Met. Ztschr. 35 (1918), S. 281—285.
- Schroeder, S. und Reuss, C., Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden, Berlin 1883.
- Schulz-Korth, K., in: Feddes Repert. specierum novarum regni vegetabilis, Beiheft 67, 1931.
- Schwarz, K., Arbeitsschwerpunkte, Forschungsvorhaben und Arbeitsergebnisse der Kommission „Reinhaltung der Luft“; Staub 19 (1959), S. 192—197.
- Schwarz, K., Überblick über Probleme der Staubbiederschlagsmessung; Staub 20 (1960), S. 275—278.
- Schwarz, K., Emissionen aus niedrigen Quellhöhen. Anteil des Hausbrandes an der Luftverschmutzung; VDI-Nachrichten Nr. 14, 7. 4. 1965.
- Schwarz, K., Gilbert, T., Ratzki, E., Untersuchungen über die Luftverunreinigung im Stadtgebiet Essen, I. Teil: Bericht über Messungen des Staubbiederschlags im Stadtgebiet Essen von November 1955 bis Februar 1957, Essen 1959.
- Seiler, Die Reinhaltung der Luft. Eine gemeinsame Aufgabe aller Beteiligten; Bundesarbeitsblatt 1954, Heft 10, S. 40—45.
- Sernander, R., Stockholms natur, Uppsala und Stockholm 1926.
- Siebert, A., Großstadt und Landschaft; Umschaudienst d. Forschungsausschusses „Landschaftspflege und Landschaftsgestaltung“ d. Akademie f. Raumforschung u. Landesplanung, Heft 2, Hannover 1953.
- Siebert, A., Landschaft und Großstadt, II. Teil: Spezielles, Umschaudienst d. Forschungsausschusses „Landschaftspflege u. Landschaftsgestaltung“ d. Akad. f. Raumforschung u. Landesplanung, Heft 3/4, Hannover 1958.
- Siebert, A., Landschaft und Großstadt, I. Teil: Allgemeines, Umschaudienst... (wie oben), Heft 1/2, Hannover 1958.
- Skye, E., Luftförvreningar inverkan pa busk — och bladlavfloran kring Skifferoljeverket i närkes kvarntorp; Svensk Botanisk Tidskrift 52, 1 (1958), S. 133—190.
- Sloover, J. de, Végéteaux épiphytes et pollution de l'air; Revue des Questions scientifiques, Oktober 1964, S. 531—561.

- Smith, D. C., *The physiology of Teltigera polydactylt* (Neck.) Hoffm.; *The Lichenologist*, Vol. I, 5 (1961), S. 209—226.
- Sorauer, P., *Mikroskopische Analysen rauchgeschädigter Pflanzen*, Berlin 1911.
- Stalfelt, M. G., *Der Gasaustausch der Flechten*, *Planta* 19 (1938), S. 11—31.
- Staubatlas, *Kartenwerk mit Staubpegelzonen nach Sedimentationsmessungen der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes NRW*, 67 Blatt, Bochum 1957.
- Steiner, M., *Rindenepiphyten als Indikatoren des Stadtklimas*, in: Vogler-Kühn, *Medizin und Städtebau*, Bd. 2 (1957), S. 119—124.
- Steiner, M., Schulze-Horn, D., *Über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn*; *Decheniana* 108 (1955), S. 1—16.
- Stell, K.-W., *Der Beitrag des Städtebaus und der Landesplanung zur Reinhaltung der Luft in Industriegebieten*; H. 15 der Schriftenreihe des Ministers für Landesplanung, Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten des Landes Nordrhein-Westfalen, Landesplanungsbehörde, Düsseldorf 1962.
- Stern, A. C. (Her.), *Air pollution*. New York und London 1962.
- Stocker, O., *Physiologische und ökologische Untersuchungen an Laub- und Strauchflechten*; *Flora* 121 (1927), S. 334—415.
- Stocker, O., *Wasseraufnahme und Wasserspeicherung bei Thallophyten*, S. 160—172 des Handbuches der Pflanzenphysiologie, Bd. III (1956), her. W. Ruhland; Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956.
- Stoklasa, J., *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und andere Fabrikexhalationen*, Wien und Berlin 1923.
- Stratmann, H., *Staub- und Gasimmission von Kohlenfeuerungen, ihr Einfluß auf die Vegetation und ihre Messung*; *VDI-Berichte* 15 (1956), S. 59—66.
- Teichert, F., *Die Verstaubung der Luft in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren*; *Ztschr. f. Meteorol.* 11 (1957), S. 112—118.
- Thoenes, H. W., *Emission und Immission aus dem Straßenverkehr*; *VDI-Berichte* 15 (1956), S. 67—70.
- Thomas, M. D.; Hendricks, R. H. u. Hill, G. R., *Some impurities in the air and their effect on plants*; in: *Air pollution* (Her. McCabe, L. C.), *Proc. US Techn. Conf. on Air pollution*, New York 1952, S. 41.
- Thomas, M. D., *Auswirkungen der Luftverunreinigung auf Pflanzen*; in: *Die Verunreinigung der Luft*, her. v. d. World Health Organization, Weinheim 1964, S. 229—277.
- Tietzsch, KH., *Auswirkungen der industriellen und technischen Entwicklung in Ballungsgebieten und die Konsequenzen für die Landesplanung*; *Staub* 23 (1963), S. 210—213.
- Tobler, F., *Die Flechten, eine Einführung in ihre allgemeine Kenntnis*, Jena 1934.
- Troll, C., *Das Wasser als pflanzengeographischer Faktor*, S. 750—786 des Handbuches der Pflanzenphysiologie, Bd. III (1956), her. W. Ruhland; Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956.
- Trümpener, E., *Über die Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration für die Verbreitung der Flechten*; *BBC* 42/I, 1926.
- Ullrich, H., *Forderungen an die Luftreinhaltung zum Schutz der Vegetation*; *Staub* 23 (1963), S. 147—151.
- Ulmer, W. T., *Die Wirkung der Luftverunreinigung auf die menschliche Gesundheit*; *Staub* 23 (1963), S. 141—147.
- Umlauf, J., *Siedlungsplanung, Industrieentwicklung und Lufthygiene*; *Ber. d. Fachausschusses für Staubtechnik im Verein Deutscher Ingenieure*, H. 3, Okt. 1951, S. 13—17.
- Vaarna, V.V., *Helsingin kaupungin puiden ja peusaiden jäkäläkasvisto* (Über die epiphytische Flechtenflora der Stadt Helsinki); *Annales Botanici Societatis Zoologicae-Botanicae Fennicae*, Vanamo, Tom. 5, Nr. 6 (1934), S. 1—32.

- Vareschi, V., Meereshöhe, Kontinentalität und Epixylenverbreitung (Epixylenstudien I); Ber. ü. d. Geobotan. Forschungsinstitut Rübel in Zürich für das Jahr 1933, Zürich 1934, S. 65—72.
- Vareschi, V., Die Epixylenvegetation von Zürich (Epixylenstudien II); Ber. schweiz. botan. Ges. 46 (1936), S. 445—488.
- Vareschi, V., La Influencia de los Bosques y Parques sobres el Aire de la ciudad de Caracas; Acta Cientifica Venezolana, Vol. IV, Nr. 3 (1953), S. 89—95.
- Vasu, L., Straßenluftuntersuchungen in Dresden; Diss. Techn. Hochsch. Dresden 1928.
- VdI-Kommission „Reinhaltung der Luft“; VdI-Merkblatt 2090, Februar 1958.
- Vereinigung der Großkesselbesitzer, Luftverunreinigung durch Rauchgase aus Dampfkesselanlagen; Mitteilungen der Vereinigung der Großkesselbesitzer, Heft 34/35, April 1955, S. 455—566.
- Villwock, I., Ökologisch-physiologische Untersuchungen zur Frage von Großstadteinflüssen auf die Verbreitung epiphytischer Flechten. Diss. Math.-Naturw. Fak. Univ. Hamburg, Hamburg 1959.
- Villwock, I., Der Stadteinfluß Hamburgs auf die Verbreitung epiphytischer Flechten; Abhandlungen und Verhandlungen des Naturwiss. Vereins in Hamburg, Neue Folge Bd. VI (1961), Hamburg 1962.
- Voigts, H., Aus der Praxis des wetterkundlichen und klimatologischen Unterrichts; Der Erdkundeunterricht Heft 1 (1956), Stuttgart 1956.
- Weißner, J., Erfahrungen über Rauchsäden im Ruhrbezirk; Mitt. aus d. Markscheidewesen 5 (1954), S. 162—172.
- Wentzel, K. F., Die Verantwortlichkeit von Industrie- und Hausfeuerung für Waldrauchschäden und Luftverschmutzung; Forstarchiv 27 (1956), S. 84—89.
- Wentzel, K. F., Industrieeinwirkungen auf den Wald, in: Das Grüne Buch von NRW, herg. v. Minister f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes NRW, Hilstrup 1962, S. 397—406.
- Wentzel, K. F., Konkrete Schadwirkungen der Luftverunreinigung in der Ruhrgebietslandschaft; Natur und Landschaft 37 (1962), S. 118 ff.
- Wentzel, K. F., Waldbauliche Maßnahmen gegen Immissionen, Allgemeine Forstzeitschrift 18 (1963), S. 101—106.
- Wexler, H., Einfluß der Meteorologie; in: Die Verunreinigung der Luft, her. v. d. World Health Organization, Weinheim 1964, S. 41—54.
- Wieler, A., Untersuchungen über die Einwirkung schwefeliger Säure auf die Pflanzen, Berlin 1905.
- Wislicenus, H., Sammlung von Abhandlungen über Abgase und Rauchsäden, Berlin 1914.
- Wislicenus, H., Zur Klärung einiger Grundlagen der Beurteilung von Abgasschäden an der Vegetation. Feuerungstechnik, 25. Jgg. (1937), S. 437 ff.
- World Health Organization, Die Verunreinigung der Luft. Ursachen, Wirkungen, Gegenmaßnahmen, Weinheim 1964.
- Wüstenberg, J., Der gegenwärtige ärztliche Standpunkt zum Problem der Beeinflussung der Gesundheit durch Luftverunreinigung; Forsch. NRW, H. 81, Köln 1959.
- Zenker, H., Waldeinfluß auf Kondensationskerne und Lufthygiene; Ztschr. f. Meteorol. 8 (1954), S. 150—156.



Bild 1: Warzige, krustenbildende Überzüge von vorwiegend *Lecanora*- und *Pertusaria*-Arten des epiphytischen Siedlungstypes der *Punktflechten* (Terminologie nach V. Vareschi 1936), die sich — besonders in durchfeuchtetem Zustand — durch ihre graugrüne Farbe deutlich von der Farbe der Baumrinde unterscheiden lassen. Trägerpflanze: Spitzahorn. Etwa fünffach verkleinerte Aufnahme.

M. Domrös, 1964



Bild 2: Bei näherem Betrachten heben sich die Krustenflechten durch ihre warzigen Klein- und Kleinstformen gut von den Rinden der Bäume ab. Trägerpflanze: Spitzahorn. Aufnahme etwa zweifach vergrößert.

M. Domrös, 1964

Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde

Herausgegeben vom Geographischen Institut der Universität Bonn

durch C. Troll und KH. Paffen

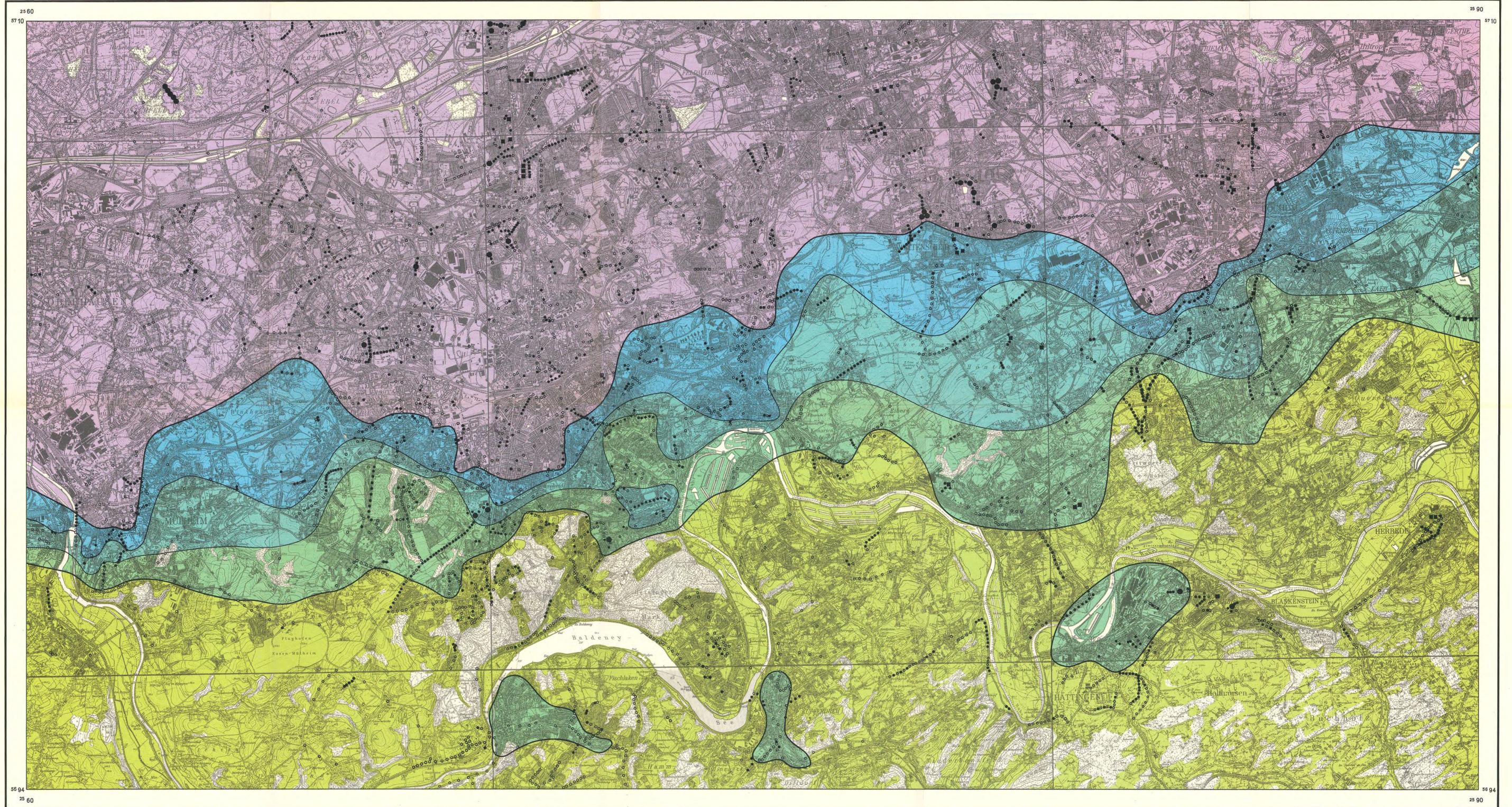
Schriftleitung: Gerhard Hard

- Heft 1: *Straka, Herbert*: Zur spätquartären Vegetationsgeschichte der Vulkan-eifel. 1952. 116 S., 7 Abb., 5 Tafeln und 23 Tabellen. Vergriffen.
- Heft 2: *Kötter, Heinrich*: Die Textilindustrie des deutsch-niederländischen Grenzgebietes in ihrer wirtschaftsgeographischen Verflechtung. 1952. 86 S. und 16 Abb. DM 3.50
- Heft 3: *Schwickerath, Hildegard*: Die Basaltindustrie zwischen Rhein, Sieg und Wied. 1953. 59 S., 13 Abb. und 1 Kartenbeilage. DM 3.50
- Heft 4: *Sins, Gabriele*: Die Baumschulen des Rheinlandes mit besonderer Betonung der Verhältnisse von Meckenheim. 1953. 69 S., 14 Abb. und 2 Kartenbeilagen. DM 4.—
- Heft 5: *Schneider, Matthias*: Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft im Gebiet der Erftquellenflüsse (Nordeifel). 1953. 89 S. und 30 Abb. DM 5.—
- Heft 6: *Kremer, Elisabeth*: Die Terrassenlandschaft der mittleren Mosel als Beitrag zur Quartärgeschichte. 1954. 100 S., 28 Abb., 11 Profile, 5 Tab. und 2 Karten im Anhang. DM 5.—
- Heft 7: *Emonds, Hubert*: Das Bonner Stadtklima. 1954. 64 S., 35 Abb. und 6 Tabellen. DM 4.—
- Heft 8: *Barners, Ernst*: Landnutzung und agrargeographische Struktur des Bitburger Landes. 1955. 83 S., 40 Abb., 11 Tab. und 1 mehrfarbige Nutzungsflächenkartierung als Beilage. DM 6.—
- Heft 9: *Kufferath-Stieberin, Günter*: Die Zuckerindustrie der linksrheinischen Bördenlandschaft. 1955. 44 S., 13 Abb. und 3 mehrfarbige Kartenbeilagen. DM 5.—
- Heft 10: *Heyn, Erich*: Zerstörung und Aufbau der Großstadt Essen. 1955. 149 S., 22 Abb., 15 Bilder im Anhang und 1 Kartenbeilage. DM 6.—
- Heft 11: *Herzog, Wilhelm*: Die Rieselfeldkulturen der Stadt Dortmund. Kultur-geographische Auswirkungen städtischer Abwasserwirtschaft. 1956. 58 S., 15 Abb., 12 Diagramme und 1 mehrfarbige Karte. DM 6.—
- Heft 12: *Ballensiefen, Willi*: Die Agrarlandschaft der Wittlicher Senke und ihrer Nachbargebiete. 1957. 137 S., 67 Abb., 16 Tab. im Anhang und 2 Bodennutzungskarten als Beilage. DM 8.—
- Heft 13: *Pley, Herbert*: Garten- und Feldgemüsebau am mittleren Niederrhein. 1958. 107 Seiten mit 6 Abbildungen u. 1 Landnutzungskarte. DM 10.80
- Heft 14: *Böhling, Günther*: Die Rindviehwirtschaft in den Agrarlandschaften des nördlichen Rheinlandes. 1959. 93 S., 2 Abb. u. eine mehrfarbige Land-nutzungskarte. DM 12.—
- Heft 15: *Panhuyzen, Helene*: Die Entwicklung der Agrarlandschaft im Raume Straelen seit 1800 unter besonderer Berücksichtigung des Gemüse- und Blumenanbaus. 1961. 107 S. 13 Abb., 6 Diagr., 2 Kartenbeilagen. DM 11.20
- Heft 16: *Arnold, Paul*: Die Kalkindustrie am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges. 1961. 112 S., 24 Abb., 10 Karten und 7 Tabellen. DM 9.60
- Heft 17: *Gildemeister, Reinhard*: Wald, Bauernland und Holzindustrie im östlichen und mittleren Hunsrück. 1962. 142 S., 11 Abb., 2 farb. Kartenbeilagen. DM 16.—
- Heft 18: *Wenzel, Irmund*: Ödlandentstehung und Wiederaufforstung in der Zentraleifel. 1962. 119 S., 2 Abb. DM 8.—
- Heft 19: *Bauer, Hermann Josef*: Landschaftsökologische Untersuchungen im ausgekohlten rheinischen Braunkohlenrevier auf der Ville. 1963. 101 S., 14 Fig., 19 Tab., 3 Kurven, 30 Abb. a. Kunstdrucktafeln. DM 9.50
- Heft 20: *Krause, Werner*: Eine Grünland-Vegetationskarte der südbadischen Rheinebene und ihre landschaftsökologische Aussage. 1963. 77 S., 18 Abb., 3 Karten als Beilage. DM 15.—
- Heft 21: *Galvão, Maria do Carmo Corrêa*: Das Ruwergebiet. Landschaftswandel und Sozialstruktur. (Mit einem Kartenband). Im Druck.
- Heft 22: *Henning, Ingrid*: Das Laacher-See-Gebiet, eine Studie zur Hydrologie und Klimatologie. 1965. 135 S., 22 Tab. im Anhang, einer Karte und 24 Abbildungen als Beilage. DM 16.40

Die Flechtenvegetation im mittleren Rheinisch - Westfälischen Industriegebiet

nach ihrem Deckungsgrad auf Bäumen an öffentlichen Straßen und Plätzen (ausgenommen Platanen und junge Bäume)

Beilage zu : Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde, Heft 23



Topographische Unterlagen: Landesvermessungsamt Nordrhein - Westfalen

Entwurf: Manfred Domrös Kartographie: Elke Gebhardt

Auf Flechten untersuchte Bäume (aufgenommen Frühjahr/Sommer 1963)

○ 5 ● 10 ■ 25 ● 50



Maßstab 1:50 000

