

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

Herausgegeben von

C. Troll H. Hahn W. Kuls W. Lauer P. Höllermann
Schriftleitung: H.-J. Klink

Heft 49

Adelbert Thiele

**Luftverunreinigung und Stadtklima
im Großraum München**

**insbesondere in ihrer Auswirkung auf
epixyle Testflechten**

1974

In Kommission bei
Ferdinand Dümmlers Verlag - Bonn

Adelbert Thiele / Luftverunreinigung und Stadtklima im Großraum München
insbesondere in ihrer Auswirkung auf epixyle Testflechten

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN
Herausgegeben von
C. Troll H. Hahn W. Kuls W. Lauer P. Höllermann
Schriftleitung: H.-J. Klink

Heft 49

Adelbert Thiele

Luftverunreinigung und Stadtklima
im Großraum München

insbesondere in ihrer Auswirkung auf
epixyle Testflechten



1974

In Kommission bei
Ferd. Dümmlers Verlag · Bonn
— Dümmlerbuch 7549 —

Luftverunreinigung und Stadtklima im Großraum München


insbesondere in ihrer Auswirkung auf
epixyle Testflechten

- Ein Beitrag zum Problem des Umweltschutzes -

von
Adelbert Thiele

mit 25 Tabellen und 33 Abbildungen, 3 Bildtafeln,
2 Übersichten

In Kommission bei
Ferd. Dümmlers Verlag · Bonn

 ümmlerbuch 7549

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-427-75491-X

Druck: Druckerei Heise, 522 Waldbröl

I N H A L T

EINLEITUNG	9
I. ALLGEMEINE GRUNDZÜGE DER LUFTVERUNREINIGUNG UND DES STADTKLIMAS	11
1. Komponenten und Herkunft der Verunreinigungen in der Stadtluft	12
Gas- und Dampfförmige Stoffe	14
Feste (staubförmige) Stoffe	20
Anteile von Industrie, Wohnhäusern, Kraftfahrzeugen	23
2. Emissionen und Immissionen und ihre Beeinflussung durch natürliche und anthropogene Faktoren	25
Wind, Austauschvorgänge, Inversionen	25
Niederschlag, Luftfeuchte, Relief	28
Technische Maßnahmen, Bebauung, Grünflächen	31
3. Wirkungen der Luftverunreinigung auf die Umwelt	35
Mensch, Tier, Pflanze, Sachgüter	36
4. Luftverunreinigung und meteorologische Faktoren im Komplex Stadtklima	42
II. TESTPFLANZEN, INSBESONDERE FLECHTEN ALS INDIKATOREN DER LUFTVERUNREINIGUNG UND DES STADTKLIMAS	47
1. Allgemeines über Testpflanzen, insbesondere Flechten	47
2. Biologie und Ökologie der Flechten, insbesondere der rindenbesiedelnden in Städten	50
Allgemeines zur Biologie der Flechten	50
Zur Ökologie der epixylen Flechten	54
Klimatische Faktoren	54
Edaphische Faktoren	56
Biotische und anthropogene Faktoren	58
3. Bisherige Untersuchungen der Flechtenvegetation in Städten und Industriegebieten	62
III. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET	77
1. Naturräumliche Gegebenheiten	77
Topographie und Vegetation der Münchener Ebene	77
Wald, Heide, Moor	78
Wetter und Klima	80
Wind- und Niederschlagsverhältnisse	80

Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit	86
Strahlung, Nebelhäufigkeit	87
Inversionen	88
2. Wirtschaftsräumliche Gegebenheiten	90
Entwicklung zur Industrie- und Millionenstadt	
Stadtgebiet und Bevölkerung	91
Industrie und Gewerbe	93
3. Nutzungsarten des Münchener Stadtgebietes mit ihren Auswirkungen auf Luftverunreinigung und Klima	95
Bebauungs- und Einwohnerdichte	95
Industrie- und Handwerks-Betriebe	96
Brennstoffverbrauch der Industrie und Fernheizwerke mit ihren SO ₂ -Emissionen	101
Grünanlagen, Parks, Wälder	102
IV. MESSUNGEN DER LUFTVERUNREINIGUNG UND IHRE ERGEBNISSE IN MÜNCHEN	106
1. Meßmethoden und Meßgeräte	107
2. Lage der Meßstationen und Meßstellen im Stadtgebiet	108
3. Ergebnisse der Luftverunreinigungs-Messungen	109
Meßergebnisse der gas- und dampfförmigen Immissionen	110
Meßergebnisse des Staubniederschlages	119
V. UNTERSUCHUNGEN MIT TESTFLECHTEN UNTER DEM EINFLUSS VON STADTKLIMA UND LUFTVERUNREINIGUNG	123
1. Methode und Versuchsmaterial	123
2. Versuchsdurchführung	124
Gewinnung der Testflechten	124
Verpflanzung und Exposition der Testflechten	125
3. Ermittlung und Auswertung der Veränderungen (Schädigungen) an den Testflechten	129
4. Diskussion der Versuchsergebnisse, insbesondere mit den SO ₂ - und Staub-Immissionswerten	130
1. Versuchsreihe (SO ₂ - und Staubeinwirkung)	130
2. Versuchsreihe (Expositions-Abhängigkeit)	132
3. Versuchsreihe (Flechtenzweige)	134
5. Die Bedeutung der Flechten-Indikatormethode zur Beurteilung der lufthygienischen Situation einer Großstadt	135
ZUSAMMENFASSUNG	137
ANHANG	141
LITERATUR	145

TABELLEN, ABBILDUNGEN, BILDTAFELN UND TABELLARISCHE ÜBERSICHTEN

Tab. 1:	Einwirkungs-, Immissionsgrenzwerte und MAK-Werte von einigen toxischen Gasen	16
Tab. 2:	Einteilung der Kohlenwasserstoffe (Lösemittel) nach Klassen, Auswurfmengen, Einwirkungsgrenzwerten und MAK-Werten	19
Tab. 3:	Anzahl der Nebellagen an einigen deutschen Verkehrsflughäfen	30
Tab. 4:	Ermittelte bzw. geschätzte Größe der durch Immissionen geschädigten Kulturflächen in einigen Ländern der Bundesrepublik	39
Tab. 5:	Bisherige Untersuchungen in Städten über Luftverunreinigungen und Stadtklima	45
Tab. 6:	Bisherige Untersuchungen der Flechtenvegetation in Städten	63
Tab. 7:	Bisherige Untersuchungen der Flechtenvegetation im Einflußbereich von Industriebetrieben	66
Tab. 8:	Monatliche Niederschlagsmenge an 3 Beobachtungsstationen im Stadtgebiet von München	83
Tab. 9:	Monatswerte der Hauptwitterungs- und Klimadaten im Jahresdurchschnitt 1953—1962 von München	84
Tab. 10a:	Meteorologische und klimatologische Werte von München und einigen anderen Städten zum Vergleich	85
Tab. 10b:	Meteorologische und klimatologische Werte von München und einigen anderen Städten zum Vergleich	86
Tab. 11:	Monatswerte der relativen Luftfeuchte in München	87
Tab. 12:	Monatstage der Bodeninversionen in München-Riem	89
Tab. 13:	Einwohner: Gebäude und Haushaltungen in München von 1580 bis 1971	92
Tab. 14:	München im Städtevergleich der Einwohner, Wohnungen, Wirtschaft und Beschäftigte (1968)	93
Tab. 15:	Anzahl der Gewerbebetriebe in München seit 1500	94
Tab. 16:	Flächennutzung des Münchener Stadtgebietes	95
Tab. 17:	Zusammengefaßte Industriegruppen mit Arbeitnehmern in München	98
Tab. 18:	Brennstoffverbrauch und SO ₂ -Emission ausgewählter Industriegruppen in München 1967—1970	100
Tab. 19:	Brennstoffarten, SO ₂ -Emission und Schornsteinhöhe der kommunalen Fernheizwerke in München	103
Tab. 20:	München im Städtevergleich der Grünflächen	103
Tab. 21:	Grünflächen und Wälder im Münchener Stadtgebiet	104
Tab. 22:	Ortsfeste Meßstationen mit Beginn der Dauermessungen im Stadtgebiet Münchens	108
Tab. 23:	SO ₂ -Konzentrations-Mittelwerte der Dauermeßstationen in den Heizperioden	112
Tab. 24:	SO ₂ -Immissionen in einigen Städten des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes von 1965—1968	116
Tab. 25:	Staubniederschlag einiger Großstädte	121
Abb. 1:	Schematische Darstellung der Wirkungswege der Luftverunreinigungen	
Abb. 2:	Schematische Darstellung der Wechselwirkung von Luftverunreinigung und meteorologischen Faktoren im Komplex Stadtklima	
Abb. 3:	Industriezentren und Ballungsräume in der Bundesrepublik Deutschland	

- Abb. 4: Blockdiagramm der Münchener Ebene
 Abb. 5a: Profil durch das Stadtgebiet von München von NE nach SW
 Abb. 5b: Profil durch das Stadtgebiet von München von N nach S
 Abb. 6: Morphologie der Münchener Ebene
 Abb. 7: Vegetation der Münchener Ebene
 Abb. 8: Windverteilung im Raum München
 Abb. 9: Windverteilung in München (Sommer 1967 und Jahr 1967/68)
 Abb. 10: Windverteilung bei Inversionslagen ≥ 24 Stunden
 Abb. 11: Graphische Darstellung der Hauptwitterungs- und Klimadaten für 1953 bis 1962 von München
 Abb. 12: Mittlere monatliche Anzahl der Tage mit bodennahen Inversionen bis 500 m Untergrenze
 Abb. 13a: Stadtansicht bei labiler Luftschichtung
 Abb. 13b: Stadtansicht bei stabiler Luftschichtung
 Abb. 14: Entwicklung des Münchener Stadtgebietes von 1854 bis 1970
 Abb. 15: Bebauungsdichte in München nach Stadtbezirken
 Abb. 16: Einwohnerdichte in München nach Stadtbezirken
 Abb. 17: Dichte der Industrie- und Gewerbe-Betriebe in München nach Stadtbezirken
 Abb. 18: Verteilung der Industrie-Betriebe in München
 Abb. 19: Lage und SO₂-Emission der Fernheizwerke in München
 Abb. 20: Grünflächen in München
 Abb. 21: Dauermeßstation mit Meßhütte, Staub- und Regenniederschlagssammlern sowie Flechtentafeln
 Abb. 22: Lage der Immissions-Meßstellen in München
 Abb. 23: SO₂-Immission und Flechtenzonen in München
 Abb. 24: Immissionsbelastungszonen durch SO₂ und Flechtenzonen in München
 Abb. 25: Jahresgang der SO₂-Immission aus den Monatsmitteln von 1966—1970 an 4 Dauermeßstationen in München
 Abb. 26: SO₂-Windrosen von 4 Meßstationen in München
 Abb. 27: Jahresmittelwerte der SO₂-Immission von 1967—1970 an 4 Dauermeßstationen in München
 Abb. 28: SO₂-Immission am Fernsehturm in 3 verschiedenen Niveaus im Nov. 1968
 Abb. 29: Staub-Immission und Flechtenzonen in München
 Abb. 30: Entnahme der Flechtenproben mit dem Locheisen an einer stehenden Buche
 Abb. 31: Flechtentafeln mit Hypogymnia physodes (L) Nyl. zur Exposition vorbereitet
 Abb. 32: Flechtenschädigung und SO₂-Immission von Juli 1968 bis Oktober 1970 im Raum München
 Abb. 33: Abhängigkeit der Veränderungen (Schädigungen) an den Testflechten von der Exposition vom Mai 1969 bis Oktober 1970

Bildtafel 1, 2, 3: Charakteristische Veränderungen (Schädigungen der Testflechte Hypogymnia physodes (L) Nyl. bei Einwirkung von Stadtklima und unterschiedlicher SO₂- und Staub-Immission im Raum München vom Juli 1968 bzw. Mai 1969—Oktober 1970

Übers. 1: Verzeichnis der Stichproben-Meßstellen im Münchener Stadtgebiet	142
Übers. 2: Mittelwerte aus Stichprobenmessungen einiger Schadstoffe in München für die Jahre 1967 und 1968	144

EINLEITUNG

Von den negativen Veränderungen der Umwelt kommt der Verunreinigung der Luft, „air pollution“ im anglo-amerikanischen Sprachraum genannt, eine besondere Bedeutung zu, weil hierdurch vor allem das biologische Geschehen in der bodennahen Luftschicht beeinflusst und vielfach geschädigt wird. Die Gesundheit von Mensch und Tier kann durch gas- bzw. dampfförmige aber auch durch feste Beimengungen erheblich in Mitleidenschaft gezogen werden. Ähnliches gilt auch für die Pflanzenwelt, die durch ihren hohen Gasaustausch ebenfalls an die natürliche, reine Luft gebunden ist. Aber auch an Sachgütern können Luftverunreinigungen zu vorzeitiger Korrosion führen und so erhebliche Schäden an Bauwerken, Denkmälern und ähnlichem anrichten.

In Großstädten und industriellen Ballungsräumen wurden diese ungünstigen Auswirkungen zuerst beobachtet, da sie unter anderem auch eine Veränderung bzw. Beeinflussung der klimatischen Faktoren wie Lufttemperatur, Luftfeuchte, Strahlung usw. bewirken (vergl. hierzu Abb. 2). Das typische Phänomen der Dunstglocke charakterisiert hier in auffälliger Weise die unnatürliche Veränderung der Biosphäre.

In den vergangenen Jahrzehnten, in ganz besonderem Maße jedoch in der Gegenwart, wurde bzw. wird versucht, diese Umweltveränderung wissenschaftlich zu erforschen und mit technischen Mitteln einzuschränken. Spezielle Meßmethoden und Meßnetze lieferten für Luftverunreinigung und Stadtklima wertvolles und aufschlußreiches Material. Daneben wurden auch biologische Objekte auf ihre Reaktionen unter Immissions-Einwirkung herangezogen. Aus zahlreichen Rauchschadensfällen war bekannt, daß höhere aber auch niedere Pflanzen auf phytotoxische Einwirkungen mehr oder weniger stark reagierten bzw. unterschiedliche Empfindlichkeiten zeigten, wobei jedoch auch resistente Individuen gefunden wurden. Experimente in Klima- und Begasungskammern aber auch in Freilandversuchen in der Umgebung von Emittenten ergaben hierzu weitere wichtige Erkenntnisse. Von den niederen Pflanzen haben sich hiernach die epixylen Flechten, insbesondere *Hypogymnia physodes* (L) Nyl., syn. *Parmelia physodes* (L) Ach. als sehr geeignet erwiesen, da sie in charakteristischer Weise auf die Einwirkung von Schwefeldioxid, Fluor und Staub reagiert. Die bisherigen Untersuchungen der Flechtenvegetation in Städten ermöglichten auch gewisse Aussagen über die Ursachen der auffälligen Flechtenarmut bzw. dem völligen Fehlen in solchen Räumen. Da aber gleichzeitige Ermittlungen über den Grad der Flechtenschädigung und über die zeitlich-räumliche Konzentration der Schadkomponenten bisher fehlten, waren die Aussagen über die vermeintlichen Ursachen der Flechtenschädigung unterschiedlich und vielfach umstritten.

Hieraus resultieren die verschiedenen Meinungen, ob nun die Luftverunreinigung und / oder das Stadtklima ursächlich sind. DOMRÖS (1966) hat zur Klärung deshalb den Versuch unternommen, am Beispiel des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes die Verbreitung rindenbesiedelnder Flechten zum Grad der Luftverunreinigung durch gasförmige / feste Immissionen und zu stadtklimatischen Faktoren in Beziehung zu setzen. Vom Verfasser wurden in Weiterführung dieser und anderer (früherer) Kartierungen des Flechtenbewuchses an Bäumen als erstem ausgewählte Testflechten über mehrere Jahre (1968—1970) hinweg den Umwelteinflüssen einer Großstadt ausgesetzt.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es daher unter anderem, exakt ermittelte SO_2 - und Staub-Konzentrationen zum Grad der Schädigung der Testflechte *Hypogymnia physodes* an mehreren, im Großraum München befindlichen Dauermeßstationen in Beziehung zu setzen, um somit einen Beitrag zu der überaus aktuellen Frage zu leisten, welche Schadstoffe und Konzentrationen bzw. stadtklimatische Faktoren zu den Flechtenschädigungen im Lebensbereich der Menschen führen und lufthygienisch von besonderem Interesse sind. Nach den Untersuchungen von STEINER und SCHULZE-HORN (1955) und EMONDS (1954) stehen die Flechtenwuchszonen mit den wohnklimatischen Gütestufen einer Großstadt in einem engen Zusammenhang und können somit z. B. bei der Planung von Wohn- und Industriegebieten wertvolle Hinweise geben.

Hierzu wird neben einer Einführung in die Grundlagen der Luftverunreinigung und des Stadtklimas auch über Testpflanzen, insbesondere Flechten als Indikatoren dieser Umweltfaktoren mit einem kurzen Überblick zur Biologie und Ökologie der epixylen Flechten und über die bisherigen Untersuchungen der Flechtenvegetation in Städten berichtet. Außerdem werden die natur- und wirtschaftsräumlichen Gegebenheiten sowie die meteorologisch-klimatologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes näher aufgezeigt, da hiervon die Entstehung und Ausbreitung bzw. Verdünnung der Luftverunreinigungen abhängen und eine Betrachtung des Münchener Raumes unter diesen Gesichtspunkten bisher nicht erfolgt ist.

Für die bereitwillige Übernahme des Themas als Dissertation der Universität Bonn sowie für zahlreiche Hinweise und Ratschläge möchte ich an dieser Stelle Herrn Professor Dr. phil., Dr. sc. h. c., Dr. phil. h. c. C. TROLL, emer. Direktor des Geographischen Instituts der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn meinen ergebensten Dank aussprechen.

Zu großem Dank verpflichtet bin ich auch Herrn Professor Dr. phil. M. STEINER, Direktor des Pharmakognostischen Instituts der Universität Bonn, welcher insbesondere den lichenologischen Teil der Arbeit betreut hat, für viele Anregungen und Korrekturen.

I.

ALLGEMEINE GRUNDZÜGE DER LUFTVERUNREINIGUNG UND DES STADTKLIMAS

Gemäß der TA-Luft¹⁾ (Ziff. 2.11) gelten als luftverunreinigende Stoffe . . . „feste, flüssige und gasförmige Stoffe, die die natürliche Zusammensetzung der Atmosphäre ändern.“²⁾

Reine Luft in diesem Sinne und aufgrund einer chemisch-physikalischen Analyse ist jedoch heute in weiten Bereichen der menschlichen Siedlungsräume nicht mehr vorhanden. Durch zahllose Quellen erfährt sie in den Siedlungs- und Industriezentren aber auch auf dem flachen Lande ständig Veränderungen der Zusammensetzung und des Zustandes. In den Städten waren aber bereits in den vergangenen Jahrhunderten die lufthygienischen Verhältnisse nicht mehr ideal, wie WIETHAUP (1965) in einer interessanten Darstellung über die historische Entwicklung der Luftverunreinigung beschreibt.

Bereits A. VON HUMBOLDT (1845) hat in seiner berühmten Definition des Klimas im „Kosmos“ Bd. I, S. 340 . . . „die Reinheit der Atmosphäre oder die Vermengung mit mehr oder weniger schädlichen Exhalationen“ . . . das heutige Problem der weltweiten Verunreinigung der Umwelt als einen kennzeichnenden Faktor des Klimas, insbesondere des Stadtklimas, erkannt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann dieses Problem und seine Folgen nur angedeutet werden und es wird insoweit auf die umfangreiche Literatur verwiesen. In diesem Kapitel sollen daher lediglich allgemeine Ausführungen über die Verunreinigung der Luft und das Stadtklima gemacht werden, ohne schon jetzt in jedem Fall auf die besonderen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes einzugehen. Dies geschieht in den nachfolgenden Kapiteln. Hierzu gehört eine Darstellung der die Stadtluft verunreinigenden Stoffe mit ihren Quellen (Emittenten) sowie die Bedeutung von Emissionen und Immissionen. Mit letzterem stehen die natürlichen und anthropogenen Ausbreitungsbeeinflussungen in enger Wechselwirkung, wodurch auch deren Tages-, Wochen- und Jahresgang mit bestimmt wird. Abschließend werden die Wirkungen dieser Umweltveränderungen auf die Menschen, die Tier- und Pflanzenwelt sowie auf die Sachgüter aufgezeigt, um mit einem kurzen Überblick über die Wechselwirkung der meteorologischen Faktoren mit der Luftverunreinigung und bisherigen Untersuchungen in Städten die Verunreinigung der Luft im Sinne HUMBOLDTS in den Komplex des Stadtklimas aufzunehmen.

¹⁾ Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung — Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft — (TA-Luft) vom 8. 9. 1964 (GMBl. S. 433). Eine Neufassung ist in Vorbereitung.

²⁾ Die natürlichen Anteile trockener, reiner Luft sind bekanntlich in Vol.-%: Stickstoff 78,03; Sauerstoff 20,99; Argon 0,93; Kohlensäure 0,03; Wasserstoff 0,01. Der Rest besteht aus den Edelgasen Neon, Helium, Krypton und Xenon.

1. Komponenten und Herkunft der Verunreinigungen in der Stadtluft

Abgesehen von der Errichtung von Gebäuden (Baustellen) und vom gelegentlichen Verbrennen der Abfälle aus Hausgärten³⁾ wird die Luft in den heutigen Großstädten und industriellen Ballungszentren überwiegend durch die Rauchgase aus den Dampfkesselanlagen, durch die Gebäudeheizungen und in zunehmendem Maße durch den Fahrzeugverkehr verunreinigt. Hinzu kommt die mit schädlichen Gasen, Dämpfen und Stäuben mehr oder weniger verunreinigte Luft aus den Produktions- und Fertigungsstätten der Industrie- und Gewerbebetriebe. Aus Gründen des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten darf hier die Verunreinigung der Atemluft bestimmte Konzentrationen nicht überschreiten, welche durch die MAK-Werte festgelegt sind.⁴⁾

An der Luftverunreinigung ist besonders die chemische und pharmazeutische Industrie, die Herstellung von Farben und Kunststoffen usw. stark beteiligt, aber auch kleinere Betriebe wie Metallverarbeitung, Druckereien, Lösemittel-Regenerierungsbetriebe, Altölraffinerien usw. können zu erheblichen Belästigungen der Umgebung führen. Durch Farbspritzlackierereien der Fahrzeugreparaturwerkstätten, chemische Reinigungen, Tierhaltungen, Schreinereien, Metzgereien usw. entstehen Belästigungen bzw. Schädigungen durch übelriechende Dämpfe, Holzstaub oder ähnlichem. Betriebe der Nahrungs- und Genussmittelherstellung bzw. Verarbeitung bringen teils angenehm, überwiegend aber sehr unangenehm riechende Verbindungen in die Luft. Vor allem durch biologische und thermische Zersetzungsprozesse von Eiweiß, Fetten und sonstigen Naturstoffen (Haare, Knochen usw.).

Beim Abbrennen von Altmaterialien und Autowracks, von Altölen, Bleikabeln usw. in offener Weise, zumeist in aufgelassenen Kiesgruben, entstehen besonders in den Stadtrandgebieten häufig unzumutbare Luftverschmutzungen. Anlagen zur Aufbereitung von bituminösen Straßenbaustoffen (Teersplittanlagen) werden ebenfalls häufig so in Kiesgruben aufgestellt, daß sie dann durch Staub, Rauch und Lärm die Umgebung erheblich beeinträchtigen und auch die Vegetation schädigen.⁵⁾ Müllverbrennungsanlagen werden z. B. im Stadtgebiet München nur noch für Krankenhäuser, Kliniken sowie Forschungsinstitute zugelassen. Hier besteht nämlich eine besondere Gefahr durch die chlorhaltigen Abgase, vorwiegend aus den Kunststoffen, welche unter anderem Pflanzenschäden verursachen, wie BOHNE (1967, 1970) beobachtet hat. Auch

³⁾ Neuerdings durch das Gesetz über die Beseitigung von Abfällen (Abfallbeseitigungsgesetz AbfG) vom 7. Juni 1972 (BGBl. I S. 873) grundsätzlich verboten.

⁴⁾ Die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Wert) gilt für gas-, dampf- oder staubförmige Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz bei einer täglichen 8-stündigen Arbeitszeit.

⁵⁾ Derartige Anlagen sind genehmigungspflichtig nach § 16 GewO; jedoch nur dann, wenn sie länger als 6 Monate an einem Standort (ortsfest) betrieben werden. Eine Anlage mittlerer Größe (Leistung 150 to/h) emittiert bei einem stündlichen Verbrauch von 1300 kg Heizöl EL ca. 21 kg SO₂/h und rund 15 kg Staub/h.

den großen städtischen Müllverbrennungswerken bereiten die hohen Kunststoffanteile im Hausmüll erhebliche Sorgen, da hierdurch eine unerwartet starke Korrosion der Dampfkesselrohre, der Staubfilter usw. auftritt.⁶⁾

Als weitere neuere Quelle einer anthropogenen Luftverschmutzung in Großstädten wäre die Emission von toxischen Verbrennungsprodukten — ausgenommen CO₂ — aus den Treibstoffen der Düsenflugzeuge zu nennen, welche in der Umgebung von Flughäfen zu Schädigungen landwirtschaftlicher Kulturen führen können. Für den Airport in Los Angeles z. B. wurde nur bei den An- und Abflugphasen ein Tagesverbrauch von rund 800 000 Liter Treibstoff ermittelt. Messungen am Flughafen München-Riem sollen zwar bisher noch keine nennenswerten Erhöhungen der Schadgase im Flughafenbereich erbracht haben, obwohl die Abgase eines startenden Düsenflugzeuges etwa der Abgasmenge von rund 5000 Kraftfahrzeugen entsprechen und z. B. 1969 bei ca. 60 000 Starts und Landungen in Tonnen emittiert wurden: Kohlenmonoxid 590, Stickstoffoxide 350, Kohlenwasserstoffe 350, Kohlenstoff 150 und Schwefeldioxid 150. Da die Vegetation praktisch nur aus Rasen besteht, konnten Pflanzenschädigungen bislang nicht festgestellt werden. Ein in der Einflugschneise gelegener Fichtenwald (ca. 20 ha) weist jedoch bereits erhebliche Schädigungen auf, die durch die phytotoxischen Substanzen der Abgase verursacht sind. In ein- und zweijährigen Fichtennadeln haben ROHMERDER und WEBER (1970) einen stark erhöhten Bleigehalt ermittelt. Ozon und Photooxidantien sind in unserer Atemluft bis jetzt unerheblich wegen der geringen Sonneneinstrahlung im Vergleich mit den USA (Los Angeles). Eine geringe Rolle spielen auch die durch Insektizide und Herbizide (Biozide) wohl nur gelegentlich in der Stadtluft auftretenden Verunreinigungen, obgleich diese Stoffe von ELBERT (1966) in Großstadtluft nachgewiesen werden konnten. Nach MAIER-BODE (1969) wurde im Londoner Regenwasser unter anderem DDT und Dieldrin gefunden. Ähnliches gilt auch für den radioaktiven Niederschlag (Fallout), welcher mit dem Nachlassen der Kernwaffenversuche die anfängliche Bedeutung verloren hat. Die Möglichkeit der Umweltverseuchung durch radioaktive Aerosole aus Kernreaktoren und Kernkraftwerken bei Schadensfällen, Betriebsstörungen o. ä. ist jedoch durch den laufenden Neubau derartiger Anlagen nicht außer acht zu lassen. Diese

⁶⁾ Die VDI-Richtlinie 2090 — Katalog der Quellen luftverunreinigender Stoffe — nennt im einzelnen: Bergbau, Chemische und verwandte Industrien, Eisenhüttenwerke und -gießereien, Metallhütten und Umschmelzwerke, Feuerungsanlagen zur Dampf- und Krafterzeugung, Mineralölindustrie, Industrie der Steine und Erden, Industrien zur Verarbeitung tierischer und pflanzlicher Produkte, Sonstige Industrien, Gewerbe und Landwirtschaft, Öffentliche, technische Anlagen, Kleingewerbe und Hausbrand, Verkehr. Die Richtlinie enthält Erläuterungen hierzu. Die Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung i. d. F. vom 7. Juli 1971 (BGBl. I S. 888), welche bereits 1869 erlassen und seitdem mehrfach ergänzt bzw. dem technischen Fortschritt angepaßt wurde, beinhaltet i. w. die vorgenannten Industriezweige. In einem besonderem Genehmigungsverfahren müssen bei der Errichtung und bei wesentlichen Änderungen derartiger Betriebe (Anlagen) alle Maßnahmen zum Schutze der Nachbarn bzw. der Umwelt beachtet werden. Insbesondere müssen beim Betrieb die Immissionsgrenzwerte der TA-Luft eingehalten werden. Auf das Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 15. 3. 1974 (BGBl. I S. 721) und die neue TA-Luft wird hingewiesen.

Umweltradioaktivität wird durch den Deutschen Wetterdienst seit 1955 an 11 Meßstationen in der BRD überwacht und soll hier nicht näher betrachtet werden.

Als wichtige chemische Verbindungen, die häufig an einer Luftverunreinigung mit beteiligt sind, wären folgende Stoffe zu nennen, wobei die Stoffe 1—5 gasförmige anorganische und die Stoffe 6 organische Substanzen darstellen, während die Stoffe 7—9 als feste, staubförmige Partikel (Aerosole) vorliegen.

1. Verbindungen des Schwefels (SO_2 , SO_3 , H_2SO_4 , H_2S usw.)
2. Kohlenmonoxid (CO)
3. Stickstoffoxide (nitrose Gase, z. B. NO , NO_2 , N_2O_3 usw.)
4. Verbindungen der Halogene: Chlor-, Brom- und Fluorverbindungen, z. B. HF , SiF_4 , H_2SiF_6
5. Ozon (O_3)
6. Kohlenwasserstoffe der aliphatischen und aromatischen Reihe und ihre Oxidationsprodukte (Aldehyde, Ketone, Säuren, Peroxide, Epoxide mit den typischen Substanzen Benzin, Benzol, Xylol, Äthylen, Pentan, Butan, Aceton, Alkohol, Formaldehyd, chlorierte Kohlenwasserstoffe usw.)
7. Anorganischer Staub (Verbindungen von Blei, Eisen, Mangan, Chrom, Nickel, Vanadium, Arsen, Selen usw.)
8. Ruß und Produkte der unvollständigen Verbrennung, die polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe enthalten, z. B. 3,4-Benzopyren usw.
9. Staubbörmiger Abrieb von Asphaltstraßen und Autoreifen
10. Unangenehme Geruchstoffe (Amine, Mercaptane usw.)

Während nahezu alle vorgenannten Stoffe meßtechnisch erfassbar sind, können Gerüche nur subjektiv beurteilt werden, worauf vielfach die sehr unterschiedlichen Auffassungen über die Zumutbarkeit bzw. Erträglichkeit beruhen. Diese Stoffe können ferner ausgeprägte Reaktionsfähigkeiten und additive bzw. synergetische Wirkungen aufweisen. Die Beständigkeit in der Atmosphäre ist häufig sehr unterschiedlich. Insgesamt betrachtet, stellen diese — hier keineswegs vollständig angegebenen Stoffe — einen beträchtlichen Teil der heute weltweit erzeugten und verbrauchten technischen Umweltchemikalien dar. KORTE und Mitarbeiter (1970) haben dieses Problem eingehend geschildert.

Die wichtigsten der vorgenannten Stoffe sollen zum besseren Verständnis, insbesondere mit der Darlegung der Entstehungsquellen, etwas näher betrachtet werden.

Gas- und dampfförmige Stoffe

Die größte Rolle unter den gasförmigen Luftverunreinigungen spielt das *Schwefeldioxid* (SO_2), weshalb es auch bei der Messung und Beurteilung der lufthygienischen Situation eines Gebietes als sogenanntes Leitgas dient. In der normalen Atmosphäre ist es mit etwa $0,005$ — $0,02$ mg/m^3 und in verunreinigter

Luft mit 0,1—3,0 mg/m³ enthalten. In seiner Toxizität wird es allerdings von Chlor und Fluor weit übertroffen (siehe hierzu Tabelle 1). SO₂ ist ein stechend riechendes, farbloses Gas und schwerer als Luft (2,26fach). Es löst sich unter Bildung von schwefliger Säure (H₂SO₃) je nach Druck und Temperatur. Es wird in der Atmosphäre allmählich zu Schwefeltrioxid (SO₃) oxidiert, das sich mit der Luftfeuchtigkeit zu Schwefelsäure (H₂SO₄) umsetzt. Durch Ruß oder Stäube von Schwermetallen wird die Oxidation katalytisch beschleunigt. In der Luft sind neben SO₂ stets — wenn auch nur geringe Mengen — H₂SO₄ vorhanden. In der Natur kommt es in vulkanischen Gasen vor und entsteht vor allem bei der Verfeuerung fossiler Brennstoffe wie Kohle und Erdöl. Es tritt beim Rösten schwefelhaltiger Erze, aus Schwefelsäure-, Zellulose-, Düngemittelfabriken usw. auf und entweicht aus verschiedenen anderen Emittenten, z. B. Erdölraffinerien, Aufbereitungs- bzw. Sinteranlagen für Feinerze. Nach HERTCHE (1965) werden in der BRD etwa 4,3—4,9 Mio. to SO₂ jährlich emittiert. Neuere Angaben nach BALKE (1970) sprechen von 5,0 Mio. to SO₂/Jahr. Zu einer wesentlich geringeren Menge kommt die ESSO-Studie (1969), nämlich zu nur 3,3 Mio. to, wobei einer SO₂-Emission aus Heizölen (leicht und schwer) mit 0,96 Mio. to einer Emission von 2,28 Mio. to aus festen Brennstoffen (Steinkohle, Braunkohle und Sonstige) gegenübersteht.⁷⁾ Für München sind in Tabelle 18 einige Werte nach dem Brennstoffverbrauch der Industrie angegeben. Für die Schwefeldioxidmenge, welche bei Verbrennungsprozessen in die Atmosphäre abgegeben wird, ist die Gesamtschwefelmenge des Brennstoffes maßgebend. Er beträgt bei Braunkohle 0,3—6,5; bei Steinkohle 0,2—2,3 und bei Heizöl 0,5—4,0 Gewichtsprozent. Letztere Werte hängen von der Sorte (extra-leicht-„EL“- , leicht, mittel, schwer-„S“-) und vom Ursprungsland ab. Bei den festen Brennstoffen ist zu beachten, daß 5—50% des Schwefels von der Asche eingebunden und nicht als SO₂ emittiert werden.

Neben SO₂ ist in zunehmendem Maße *Kohlenmonoxid* (CO) an der Verschmutzung der Luft in den Städten beteiligt, da es bei der unvollständigen Verbrennung von gasförmigen, flüssigen oder festen Brennstoffen besonders Kohlenwasserstoffen entsteht, also mit den Kraftfahrzeugabgasen überwiegend in den Bereich der Atemluft emittiert wird. Mengemäßig übertrifft es erheblich die Emission anderer Stoffe in die Atmosphäre. Die Gefährlichkeit des farb- und geruchlosen Gases wird hauptsächlich durch die starke Affinität zum Blutfarbstoff bewirkt. Die tödlichen Unfälle in Garagen und Tunneln sind bekannt. In Eisenbahnunterführungen der Münchner Innenstadt werden die zulässigen Werte fast ständig überschritten. Da die CO-Konzentration sehr eng mit der Zahl der Kraftfahrzeuge verknüpft ist, die die jeweilige Meßstelle passieren, wird es gern als Indikator für die KFZ-Emission verwendet. Hierbei sind jedoch auch die aus der unvollständigen Verbrennung des Kraftstoffes (Benzin) im Motor herrührenden Kohlenwasserstoffe, darunter 3,4-Benzpyren zu beachten

⁷⁾ Zum Vergleich: SO₂-Emissionen aus Brennstoffen in New York nach Schätzungen etwa 1,3 Mio. to/Jahr.

Tabelle 1:
Einwirkungs-, Immissionsgrenzwerte und MAK-Werte von einigen toxischen Gasen.

Stoffe	MIK _D - Wert *) mg/m ³	MIK _K - Wert *) mg/m ³	IG _D - Wert **) mg/m ³	IG _K - Wert **) mg/m ³	MAK- Wert mg/m ³
Chlor (Cl ₂)	0,3	0,6	0,3	0,6	1,5
Fluorwasserstoff (HF)	2,0***)	5,0	—	—	2,0
Schwefeldioxid (SO ₂)	0,4	0,75	0,4	0,75	13,0
Stickstoffdioxid (NO ₂)	1,0	2,0	1,0	2,0	9,0
Kohlenmonoxid (CO)	—	—	—	—	55,0
Kohlendioxid (CO ₂)	—	—	—	—	9000
Ozon (O ₃)	—	—	—	—	0,2

*) MIK-Wert ist nach der VDI-Richtlinie 2108 (1961) diejenige Maximale Immissionskonzentration in bodennahen Luftschichten der freien Atmosphäre, die nach den derzeitigen Erfahrungen im allgemeinen für Mensch, Tier oder Pflanze bei Einwirkung von bestimmter Dauer und Häufigkeit als unbedenklich gelten kann. MIK_D ist dabei der Grenzwert als halbstündiger Mittelwert für Dauereinwirkung und MIK_K für Kurzeinwirkung; für SO₂ z. B. ist innerhalb von 2 Stunden jeweils einmal ein Halbstundenwert von 0,75 mg/m³ zulässig, nach der neuen TA-Luft soll dieser Wert 0,4 mg/m³, der MIK_D-Wert nur noch 0,14 mg/m³ betragen. Die anderen Stoffe werden ebenfalls vermindert.

**) Die Immissionsgrenzwerte IG_D und IK_K bzw. die mit I₁ und I₂ bezeichneten Immissionskenngrößen, welche aus dem Meß- und Auswerteverfahren der TA-Luft gewonnen werden, stellen diejenigen Mittelwerte dar, die mit einer 97,5%igen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden dürfen.

***) Für Fluor gibt es derzeit noch keine verbindlichen MIK-Werte. Die hier angegebenen Werte in µg/m³ bei gasförmigen Fluorverbindungen sind Richtwerte nach den Empfehlungen der VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“ und des Arbeits- und Sozialministers von Nordrhein-Westfalen vom März 1969. Auf die neue TA-Luft wird verwiesen.

und außerdem natürlich die Bleiverbindungen. In der BRD wurden bisher die sehr hohen CO-Konzentrationen von Paris, Mailand und New York noch nicht erreicht, da gerade in den USA durch die erheblich größeren Motoren (3—5 l Hubraum) auch mehr Benzin verbraucht wird und sich dadurch auch die Abgasmengen erhöhen. Trotz der gewaltig angestiegenen CO-Immission hat sich der Grundpegel in der freien Atmosphäre bisher kaum erhöht und liegt immer noch bei 0,03 mg/m³, so daß die Kenntnis über den genauen CO-Abtransport aus den bodennahen Luftschichten noch sehr unvollkommen ist und Rätsel aufgibt. In der unteren Atmosphäre schwankt der CO-Pegel im Bereich von 0,01 bis 0,2 mg/m³, er kann aber auch Konzentrationen von 0,6 bis 1,2 mg/m³ erreichen, je nach Herkunft der Luftmassen (Industriegebiete, Großstädte). In der BRD sollen nach BALKE (1970) jährlich etwa 7 Mio. t in die Atmosphäre gelangen. Gesetzliche Grenzwerte für die Emission von CO bei fabrikneuen Fahrzeugen sind in der BRD seit 1. Oktober 1970 in Kraft.

Stickstoffoxide (NO_x, nitrose Gase) kommen in der Luft von Salpetersäure- und Sprengstoff-Fabriken vor. Sie entstehen ferner beim Abbrand von festen und flüssigen Raketentreibstoffen und finden sich in den Spreng- und Autoabgasen. In Metallbearbeitungsbetrieben entstehen häufig nitrose Gase beim

Abbeizen bzw. Gelbbrennen von Metallen mit Salpetersäure (HNO_3), so daß diese Arbeiten nur unter Absaugungen durchgeführt werden können, wobei diese Abluft dann häufig zu Beschwerden Anlaß gibt. Der MAK-Wert ist sehr niedrig (25 mg/m^3). Stickstoffdioxid (NO_2) entsteht bei Verbrennungsvorgängen mit hohen Temperaturen, z. B. in mit Kohle, Erdöl und Erdgas befeuerten Kraftwerken. Messungen der NO_2 -Immissionen in Städten und ausgewählten Bezirken des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes (HARTKAMP und STRATMANN 1969) ergaben für den MIK_D -Wert $27 \dots 65 \text{ } \mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$ und für den MIK_K -Wert $74 \dots 174 \text{ } \mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$ und bleiben damit weit unter den zugelassenen Werten (siehe Tabelle 1).

Unter den Verbindungen der Halogene sind die *Fluor-* und *Chlor-*Verbindungen sowohl nach der Menge als auch nach ihren toxischen Eigenschaften die bemerkenswertesten luftverunreinigenden Stoffe. Mit Ausnahme der Edelgase bildet Fluor mit vielen chemischen Verbindungen Reaktionsprodukte, wobei Fluorwasserstoff (HF) entsteht, ein stechend riechendes und stark ätzendes Gas. Chlor (Cl_2) bildet mit der Luftfeuchtigkeit teilweise Chlorwasserstoff bzw. Salzsäure (HCl). Es gibt aber auch flüssige oder feste, jedoch in Wasser lösliche Fluorverbindungen, z. B. H_2SiF_6 , Alkalifluoride und feste, wasserunlösliche wie CaF_2 . In großem Umfang werden fluoridierte Kohlenwasserstoffe in Kühlanlagen als Kältemittel (Frigene), wozu früher meistens Ammoniak verwendet wurde, gebraucht. Die MAK-Werte betragen bei elementarem Fluor, das jedoch praktisch kaum vorkommt $0,2 \text{ mgF/m}^3$, bei HF 2 mg/m^3 und für die Salze der Fluorwasserstoffsäure $2,5 \text{ mg/m}^3$. In normaler Luft wurden F-Gehalte aus Fluorverbindungen von $0,5\text{—}0,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ und in der Luft einer Stadt mit mittlerer Industrie $0,9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ermittelt. Dauermessungen in Duisburg ergaben nach SCHNEIDER (1968) Werte von $1,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ Luft und damit um zwei bis drei Zehnerpotenzen unter dem MAK-Wert. In amerikanischen Großstädten liegt der durchschnittliche F-Gehalt jedoch bei $0,25\text{—}1,6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Nach BRANDT stellt „eine normale Luftverunreinigung mit Fluor von $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ und weniger keinen Grund dar, uns über eine Gefährdung des Menschen oder von Tieren durch Inhalation Sorgen zu machen.“⁸⁾

Als Emittenten von F-haltigen Abgasen kommen in erster Linie Aluminiumwerke in Betracht, die aus der Schmelzflußelektrolyse durch die fluorhaltigen Rohstoffe und Kryolith in die Atmosphäre gelangen. Weitere Emittenten sind: Ziegeleien, Glas-, Email- und Düngerefabriken (Superphosphat) und Metallhütten (Blei-, Zink- und Kupfererze).

In den Abgasen derartiger Betriebe wurden von HERMANN und RAPP (1967) die Konzentrationen von gasförmigen Fluorverbindungen gemessen. Sie ermittelten in mg/Nm^3 : Bei Kupolöfen $6,8\text{—}284$; bei Siemens-Martinöfen $11,9$ bis $69,3$; bei einer Sinteranlage $4,6$; bei Volldüngerfabriken $48,2\text{—}79,8$; bei einer

⁸⁾ C. ST. BRANDT, Annapolis (USA) in einem Vortrag „Luftqualitätskriterien für Fluorwasserstoff und Fluoride“ bei dem Fluor-Colloquium der VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“ am 3./4. September 1970 in Düsseldorf.

Phosphorsäureanlage 0,55; bei einer Sinterkorundanlage 7,9 und bei Ziegeleien mit Tunnelofen 33,4 bzw. 34,0 und mit Ringofen 5,1 bzw. 9,4. Die stündliche Emission ergab danach Werte von rund 1 . . . 100 g, bei einem Kupolofen fast 6 kg.⁹⁾ In Spuren sind jedoch Fluorverbindungen in sämtlichen festen und flüssigen Brennstoffen enthalten, so daß während den winterlichen Heizperioden in der Stadtluft stets ein erhöhter Fluorgehalt festgestellt worden ist.

Bei den Cl₂-Emittenten sind chlorherstellende und -verarbeitende Betriebe zu unterscheiden, bei letzterem besonders die Kunststoffhersteller (PVC usw.) neben Dünger- und Emailfabriken.

Ozon (O₃) welches unter Einwirkung von ultravioletter Strahlung und elektrischer Entladung auch in der freien Natur vorkommt, ist entgegen der landläufigen Meinung ein stark giftiges Reizgas mit einem MAK-Wert von nur 0,1 ppm¹⁰⁾ (= 0,2 mg/m³). Zum Vergleich: MAK-Wert der weithin als stark giftig bekannten Blausäure (Cyanwasserstoff, HCN) 10 ppm (= 11 mg/m³). Während in Los Angeles Maximalwerte bis 1 ppm aufgetreten sind, konnte LAHMANN (1969) in Berlin eine maximale Ozonkonzentration von lediglich 0,05 ppm feststellen. LÜBKE (1970) gibt ebenfalls für Berlin eine Konzentration im Sommer am Tage und je nach Wetterlage von 0,01—0,06 ppm an.

Die Verunreinigung der bodennahen Luftschichten mit *Kohlenwasserstoffen* kann hier nur angedeutet werden, da diese Stoffe bereits in den Umweltchemiekalorien in großer Vielzahl und den verschiedenartigsten Verbindungen aus zahlreichen Quellen emittiert werden. Neben der Gewinnung von Kohlenwasserstoffen aus Erdöl und Erdgas in der petrochemischen Großindustrie, in Raffinerien usw. gibt es die zahlreichen Verwender und Verbraucher von Kohlenwasserstoffen bzw. deren Verbindungen, insbesondere als Lösemittel, in Lack- und Farbenfabriken, bei der Herstellung von Kunststoffen, Gummi- und Fußbodenbelägen, ferner in Druckereien, Färbereien, Reinigungsanlagen, Spritzlackierereien mit ihren Trockenöfen usw. Bei der vielseitigen Verwendung der Lösemittel auch zum Reinigen, Oberflächenbehandlung, zum Kleben usw. durch Mittel- und Kleinbetriebe entstehen besonders in Großstädten, durch die gemischte Flächennutzung, sehr häufig Belästigungen durch Dämpfe und besonders durch Gerüche, die dann — wie oben schon gesagt — sehr subjektiv beurteilt werden. Zur Einhaltung gewisser Grenzwerte in der Luft hat die VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“ in den VDI-Richtlinien 2306 und 2280 für Organische Verbindungen und für Lösemittel Auswurfmengen und MIK-Werte festgelegt. In der Tabelle 2 habe ich hieraus die am häufigsten verwendeten Stoffe zusammengestellt. Darüberhinaus sind hierzu in einigen Bundesländern besondere Verordnungen erlassen worden.¹¹⁾

Durch Kraftfahrzeuge werden schließlich auch unverbrannte Kohlenwasserstoffe in den Bereich der Atemluft gebracht, die allerdings erst bei photo-

⁹⁾ Ein Ziegelei-Tunnelofen mit 60 to/Tag Brennleistung emittiert ca. 0,5 kg HF/h und ca. 2,5 kg SO₂/h.

¹⁰⁾ ppm = parts per million = cm³/m³

chemischen Reaktionen eine gewisse Bedeutung erlangen, für die wiederum in unseren Breiten durch die geringe Sonneneinstrahlung vorerst noch keine Befürchtungen bestehen. Nach LAHMANN und HÄNTZSCH (1969) sind bei Straßenluft-Untersuchungen in Berlin über 75% der Einzelmesswerte innerhalb eines Konzentrationsbereiches von 3 . . . 7 ppm ermittelt worden. Der MIK_D-Wert für Benzin beträgt jedoch 20 ppm.

Tabelle 2:
Einteilung der Kohlenwasserstoffe (Lösemittel) nach Klassen, Auswurfmengen, Einwirkungsgrenzwerten und MAK-Werten (Auszug aus den VDI-Richtlinien 2280 und 2306).

Stoff	Klasse *)	Grenzkonzentration **)		MIK _D -Wert mg/m ³	MIK _K -Wert mg/m ³	MAK-Wert mg/m ³
		mg/Nm ³	kg/h			
Äthanol	0	2000	—	100	300	1900
Äthylacetat	1	1000	40	75	225	1400
Aceton	1	1000	40	120	360	2400
Acetaldehyd	4	150	10	4	12	360
Anilin	5	20	5	0,8	0,24	19
Benzin (Lösemittel-B)	1	1000	40	80	240	2000
Benzin (aromat. 10%)	2	500	30	—	—	—
Benzol	4	150	10	3	10	32
Butanol	2	15	30	15	45	300
Diäthyläther	1	1000	40	65	195	1200
Diäthylamin	5	20	5	0,03	0,09	75
Dimethylamin	5	20	5	0,02	0,06	18
Formaldehyd	5	20	5	0,03	0,07	6
Kresol und Isomere	5	20	5	0,2	0,6	22
Methanol	2	500	30	15	40	260
Methylacetat	2	500	30	15	45	610
Monochlorbenzol	4	150	10	5	15	350
Perchloräthylen (Per)	3	250	15	35	110	670
Phenol	5	20	5	0,2	0,6	19
Pyridin	5	20	5	0,7	0,1	15
Styrol (Vinylbenzol)	3	250	15	20	65	420
Tetrachlorkohlenstoff	4	150	10	3	10	65
Toluol	3	250	15	20	60	750
Trichloräthylen (Tri)	3	250	15	30	90	520
Xylol	3	250	15	20	60	870

*) Einteilung nach Toxizität und Geruchsintensität

**) Zulässige Emissionen bei ausreichend hohen Abluftleitungen ohne Reinigungsanlagen (Filter, Nachverbrennung o. ä.)

11) Z. B. „Verordnung über Auswurfbegrenzung bei Trockenöfen“ des Landes Nordrhein-Westfalen vom 1. Oktober 1968 (GVBl. NW. S. 320); Verordnung zur Verhütung von Luftverunreinigungen durch Anlagen zur chemischen Reinigung“ des Landes Bayern vom 24. August 1970 (BayGVBl. Nr. 21/1970, S. 440). Hiernach dürfen solche Anlagen nur betrieben werden, wenn sie über Abluftreinigungsanlagen (Aktivkohlefilter, Abgasverbrennung) oder genügend hohe Abluftleitungen verfügen. Im einzelnen wird auf diese Vorschriften verwiesen.

Feste (staubförmige) Stoffe

Verunreinigungen der Stadtluft mit festen Stoffen sind überwiegend anthropogener Art. Rein natürlichen Ursprungs sind dagegen nur die biologischen Luftverunreinigungen (Aeroplankton) mit Viren, Bakterien, Pilzsporen, Soredien der Flechten, Sporen der Moose und Farne, Pollen, Samen und Früchten von Blütenpflanzen. Der Pollen- und Sporengehalt der Stadtluft in Darmstadt kann nach Untersuchungen von STIX (1969) im September bis zu 12100 Sporen/cm³ Luft betragen. Die Baumpollen (Haselnuß, Birke usw.) erreichten im April und die Graspollen (Getreide) im Juni bis September ein Maximum.¹²⁾ Eine ähnliche Verteilung wurde auch in Marseille und Paris gefunden (CHARPIN et alia, 1966).¹³⁾ Erwähnt sei hier noch das gasförmige Isopren als Naturprodukt der tropischen Wälder.

Die Verunreinigung der Luft mit festen Stoffen industriell-gewerblicher Herkunft, also dem Staub, hat zwar einen gewissen Rückgang erfahren, ist jedoch als Umweltfaktor für die Luftgüte noch immer von großer Bedeutung. Nach BALKE (1970) sollen in der BRD jährlich 2,5 Mio. to Staub in die Luft gelangen. Allein auf das Ruhrgebiet sollen davon etwa 50%, das sind etwa 2—4 to/ha entfallen.

Nach der VDI-Richtlinie 2031 wird Staub als „fein zerteilter Feststoff beliebiger Form, Struktur und Dichte, dessen Teilchengröße etwa zwischen 1 und 500 µm liegt“ definiert. Dieser weite Größenbereich wird durch die VDI-Richtlinie 2305 in vier Fraktionen unterteilt: Grobstaub mit 500—50 µm; Mittelstaub mit 50—10 µm; Feinstaub mit 10—0,5 µm und Feinststaub (Aerosol) unter 0,5 µm. Eng mit der Teilchengröße ist die Sinkgeschwindigkeit (Sedimentation) verknüpft, die für vorgenannte Fraktionen 3000—150, 150—6, 6—0,02 und 0,02—0,002 mm/sec beträgt und auch von der elektrostatischen Aufladung vieler Staubteilchen beeinflusst wird. Bei den Feinststäuben wird hierbei die BROWN'sche Molekularbewegung bereits wirksam. (1 µm = 10⁻⁴ cm).

Die natürlichen staubförmigen Verunreinigungen durch Vulkanausbrüche, Gesteins- und Bodenerosionen, Waldbrände oder ähnliches spielen in der Stadtluft nur eine untergeordnete Rolle. Von Bedeutung sind jedoch die Verwehung von Staub aus Baustellen, bei Errichtung und Abbruch von Gebäuden, sowie das Aeroplankton. Der Staub in der Stadt entsteht also überwiegend durch anthropogene Einwirkungen, wobei für die Staubentstehung bedeutsam ist, daß Staub als Nebenprodukt (Abfall) bei zahlreichen technischen Vorgängen entsteht, aber auch vielfach das Ziel technischer Maßnahmen ist. Als Nebenprodukt entsteht Staub bei Abbau-, Herstellungs- und Produktionsvorgängen, als Ver-

¹²⁾ Im Auftrag der Dt. Forschungsgemeinschaft (Kommission „Wirkung luftverunreinigender Stoffe“) wird dieser biologische Anteil des Luftstaubes noch an anderen Orten der BRD ermittelt (Gelsenkirchen, Westerland, Hunsrück, Bayerischer Wald).

¹³⁾ Anfang Mai 1971 wurde München vom gelben Blütenstaub der heimischen Fichte (*Picea excelsa*) aus den umliegenden Wäldern tagelang in ganz auffälliger Weise überzogen.

schleiß- und Verarbeitungsstaub, bei der Werkstoffbearbeitung, bei Abnutzungsvorgängen usw. Als Nutzstäube gelten z. B.: Kohlenstaub, Zement, Kalk, Gips, Düngemittel, Mehl, Pulver, Puder usw. Ferner muß beachtet werden, ob es sich um inerten oder toxischen Staub handelt und besonders die Tatsache, daß mit der Zerkleinerung die Reaktionsgeschwindigkeit sprunghaft ansteigt und Brand- und Explosionsgefahren bestehen. Dies trifft sowohl auf die staubförmigen Produkte fester brennbarer Stoffe zu, als auch für sonst unbrennbare Stoffe (Eisen, Aluminium usw.).

Da zahlreiche Stäube belästigende, gesundheitsschädliche oder sogar giftige Eigenschaften für die Arbeitnehmer besitzen, sind auch hierfür MAK-Werte festgelegt worden. Hier wären etwa zu nennen: Holzmehl, Kohlenstaub, Getreide-, Heu-, Leder- und Textilstaub, Talk, Kaolin, Aluminium, Olsaaten, Harze (tropische Hölzer), Pelze, Tabak, Asbest, Kieselsäure (SiO_2), Blei, Chrom, Zink, Arsen, Trinitritoluol usw. Durch die Lüftungsanlagen der Betriebe werden diese Stäube in die Umgebung abgelassen und gelangen so in die normale Luft.

Aus dem vorgenannten ergibt sich, daß Stäube aus fast allen Industrie- und Gewerbe-Betrieben emittiert werden. Zum Beispiel aus der Nahrungs- und Futtermittelindustrie, bei der Verarbeitung von pflanzlichen und tierischen Faserstoffen, bei der Holz- und Metallver- und -bearbeitung, bei organisch-chemischen Produkten, wie Kunststoffen, Pharmazeutika, Gummi- und Asbestverarbeitung usw. Hinzu kommt noch die Staubentstehung bei Verbrennungsvorgängen in Feuerungen, bei technischen Prozessen usw. wo Ruß und Flugasche den schwarzen Rauchfahnen das Gepräge gibt. Nach Ziff. 2.32 TA-Luft muß jedoch bei Feuerungsanlagen mit einer Leistung von 800 000 kcal/h und mehr der Grauwert von Rauchfahnen heller sein als der Wert 2 der RINGELMANN-Skala.¹⁴⁾ Beim Anheizen darf der Wert für die Dauer von 5 Minuten überschritten werden, er muß jedoch heller sein als der Wert 3. Rußteilchen (unter 1 μm) neigen außerdem zur Flockenbildung, an denen besonders die im Rauchgas vorhandene schweflige Säure (H_2SO_3) adsorbiert wird. Dies führt neben Geruchsbelästigungen zur Ablagerung von schmierig-öligen Filmen und damit zu starken korrosiven Wirkungen auf Gegenständen bzw. Sachgütern im Freien. In Zürich wurden hierzu durch Hess (1964) umfangreiche Untersuchungen an Ölfuerungsanlagen durchgeführt, wobei ein Drittel der Anlagen lufthygienisch zu beanstanden waren. Die Länder Nordrhein-Westfalen und Bayern z.B. haben für solche Anlagen eigene Vorschriften erlassen.¹⁵⁾ BAUM UND BROCKE (1970) berichten hierzu über eingehende Versuche zur Kontrolle von Ölfuerungen hinsichtlich der Ruß-Emission und der Geruchsentwicklung. Staubteilchen

¹⁴⁾ Die RINGELMANN-Skala besteht aus einer 4-stufigen Zunahme eines Grautons von Weiß bzw. Hellgrau bis Schwarz und erlaubt durch einen visuellen Vergleich der Rauchfahne mit diesen Grautönen die Festlegung des jeweiligen Schwärzungsgrades der Rauchfahne.

¹⁵⁾ Auswurfbegrenzung bei Feuerungen mit Ölbrennern vom 25. Oktober 1965 (GVBl. NW. S. 370) und Verordnung zur Verhütung von Luftverunreinigungen durch Feuerungsanlagen vom 16. Juli 1969 (Bayer. GVBl. Nr. 13/1969, S. 229).

adsorbieren ferner sofort Benzpyren, was bei der unvollständigen Verbrennung von polyzyklischen Kohlenwasserstoffen (Heizöl) neben unangenehmen Gerüchen entsteht. PAILER und Mitarbeiter (1967) haben im Wiener Stadtgebiet an aufgefangenen Staubproben Benzpyren-Konzentrationen von 16 . . 70 $\mu\text{g}/1000 \text{ m}^3$ Luft während der heizfreien Periode ermittelt. In der Heizperiode lagen die Werte wesentlich höher und sind mit den Werten aus anderen Städten vergleichbar. Über den 3,4-Benzpyren-Gehalt in den Abgasen von Hausbrandöfen hat BEINE (1970) mitgeteilt, daß der Auswurf sowohl von der Ofenkonstruktion (Durchbrand-, Unterbrandofen, Dauerbrenner) als auch von den Kohlenarten abhängt. Anthrazit-Nußbriketts ergeben die höchsten 3,4-Benzpyren-Emissionen. Die geringsten Werte liefern Braunkohlenbriketts und Steinkohlenkoks im Dauerbrenner.

Der Fahrzeugverkehr liefert auch zum Staubproblem in den Städten einen immer größer werdenden Beitrag durch den Abrieb der Gummireifen und Straßenoberflächen, hauptsächlich beim Anfahren und Bremsen, insbesondere mit Spikesreifen. Nach älteren Angaben sollen hierdurch in München etwa 7000 to Staub jährlich in die bodennahen Luftschichten gebracht worden sein. Der Reifenabrieb wird in der gesamten BRD auf etwa 60000 to im Jahr geschätzt. Eine ernste Gefahr bilden jedoch die in den Autoabgasen enthaltenen Bleiverbindungen wie Tetraäthyl- und Tetramethylblei,¹⁶⁾ die durch die hohen Temperaturen und den Sauerstoff im Motor zu Bleioxid umgewandelt werden und als Bleiaerosol in die Luft gelangen und vorzugsweise auf den Pflanzen längs vielbefahrener Straßen abgelagert werden. Hierzu liegen eingehende Untersuchungen durch EINBRODT und LIFFERS (1967) zum Bleioxidgehalt in städtischen Schwebestäuben vor, die in etwa 5 m Höhe über dem Boden in Münster, Hannover und Oberhausen aufgefangen wurden, vor. Münster und Oberhausen entsprechen sich ungefähr in den Einwohnerzahlen, unterscheiden sich aber erheblich in der Anzahl der Industriebetriebe, so daß Münster als reine Wohn Großstadt und Oberhausen als reine Industriestadt angesehen werden kann. Hannover hat etwa 3-fache Einwohnerzahl und mittlere Industrie, jedoch viel Autoverkehr als Messe- und Landeshauptstadt. Während in Münster an 62% der Meßtage überhaupt kein Blei nachgewiesen werden konnte, lagen in Hannover fast 93% der Werte unter 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; in Oberhausen dagegen war in allen Staubproben Blei nachweisbar und erreichte Konzentrationen von 0,2 bis 3,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei einem MAK-Wert von 0,2 g/m^3 sehen die Verfasser daher noch keinen Anhalt für eine Bleivergiftung der Großstadtbevölkerung. Es ist jedoch zu beachten, daß die Fahrzeugdichte je nach den Straßen und der Tageszeit (Berufsverkehr) erheblich schwanken kann und auch schon 5—10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt wurden und zudem seit 1965 wohl in allen Städten eine wesentliche Zunahme des Kraftverkehrs erfolgt ist. Die drastische Herabsetzung des Blei-

¹⁶⁾ Durch Zusätze von Äthylbromid können auch flüchtige Bromverbindungen des Bleies entstehen.

gehaltenes der Autobenzine von früher maximal 4—5 g/l auf nur 0,4 g/l ab 1. 1. 1972 wird sich sicher sehr günstig auswirken.¹⁷⁾

Messungen des Staubgehaltes der Luft in Städten sind sehr früh und zahlreich durchgeführt worden (siehe Tabelle 5). In München z. B. hat EMMERICH schon 1897 mit dem AIRKEN-Gerät die Stadtluft untersucht. Für viele Staubemittenten (Feuerungsanlagen, Industriebetriebe usw.) sind durch die TA-Luft und VDI-Richtlinien die zulässigen Immissions-Konzentrationen (Immissionsgrenzwerte) in $\text{g/m}^2 \cdot \text{Zeit}$ bzw. die Auswurfmengen in mg/Nm^3 festgelegt¹⁸⁾. Es wird hierzu auf das VDI-Handbuch „Reinhaltung der Luft“ und auf die Ausführungen auf S. 119 ff. verwiesen.

Anteile von Industrie, Wohnhäusern, Kraftfahrzeugen

Für praktische Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft in Großstädten sind Aussagen über die Anteile der eingangs genannten Gruppen der Luftverschmutzer von großem Interesse und Dringlichkeit. Wenn man von den typischen Industrie-Städten Nordrhein-Westfalens oder dem Rhein-Main-Dreieck absieht, weisen nahezu sämtliche Großstädte der BRD nur eine mehr oder weniger ausgeprägte Industrie auf, so daß hier die Heizungsanlagen der Wohngebäude und der Fahrzeugverkehr einen dominierenden Einfluß auf die Luftverunreinigung ausüben. Es muß jedoch die häufig im Schrifttum anzutreffende Dreiteilung dieser Emittentengruppen (Industrie-Hausbrand-Verkehr)¹⁹⁾ mit Vorsicht betrachtet werden, da die Anteile je nach dem Grad der Industrialisierung, der Bebauungs- und Fahrzeugdichte erheblichen Schwankungen unterliegen und diese Angaben nur grobe Schätzungen darstellen, welche zumeist nur auf dem Verbrauch der Brennstoffe bzw. Zahl der Kraftfahrzeuge beruhen. Außerdem läßt der Sammelbegriff Luftverunreinigung keinen Rückschluß auf die einzelnen Komponenten in der Stadtluft zu, da diese — wie oben schon dargelegt — wesentlich von der Art der Emittenten abhängen. So ist z. B. der Emissionsanteil des Autoverkehrs für SO_2 sehr gering. SCHWARZ (1964) gibt für dieses Schadgas im Bundesdurchschnitt die Industrie mit einem Anteil von rund 80% und den Anteil der Wohngebäudefeuerungen (Hausbrand) mit rund 20% an. In München soll dagegen — ähnlich wie in Paris — die Hausfeuerung mit 50%, die Industrie mit 20% und der Fahrzeugverkehr mit 30% an der Luftverschmutzung beteiligt sind. Ferner ist hierbei zu bedenken, daß die Raumheizungen im wesentlichen nur im Winterhalbjahr in Betrieb sind und auch hier

¹⁷⁾ Auf das Gesetz zur Verminderung von Luftverunreinigungen in Ottokraftstoffen für Kraftfahrzeugmotoren (Benzinbleigesetz) vom 5. 8. 1971 (BGBl. I S. 1234) wird hingewiesen.

¹⁸⁾ Nm^3 = Normalkubikmeter = m^3 trockenes Gas im Normalzustand (0°C , 760 Torr).

¹⁹⁾ Der Ausdruck „Hausbrand“ ist m. E. etwas unglücklich gewählt, obwohl weit im Schrifttum verbreitet, da er mehr an den Brand eines Hauses erinnert und doch die Emissionen aus den Feuerungsanlagen der Wohngebäude gemeint sind.

wiederum Unterschiede in der Zahl der Heiztage bestehen (vergl. Tabelle 10a, S. 85 hierzu) im Durchschnitt jedoch mit 220 Tagen/Jahr gerechnet werden muß. Nach BROCKE (1968) liegt der Anteil von Zentralheizungsanlagen in Großstädten mit über 500 000 Einwohnern bei rund 32%, so daß den Einzelfeuerungen (Öfen) für die Raumheizung doch eine erhebliche Bedeutung zukommt, obgleich oder gerade weil heute darin überwiegend Heizöl verbrannt wird. Nach HOPPE (1970) sollen sich in London nach der Umstellung von einigen hunderttausend Wohnungsheizungen auf Gas oder Elektrizität die Nebelbildung verringert und die Sonnenscheindauer wieder merklich zugenommen haben. 75% aller Verunreinigungen sollen hier aus den Schornsteinen der Wohnhäuser emittiert worden sein. Zahlreiche Großstädte verfügen bereits über Fernheizungen, wie aus einer Aufstellung von LIESE (1969) hervorgeht. Von 65 angegebenen Städten sind 26 mit Fernheizungen ausgerüstet. Auch in München werden durch mehrere Heizwerke einige zusammenhängende Stadtteile mit Fernwärme versorgt. Wenn hierdurch die lufthygienische Situation in diesen Stadtteilen auch wesentlich verbessert wurde, muß hier doch gesagt werden, daß auch die Heizkraftwerke durch ihren hohen Brennstoffverbrauch und durch ihre Lage im Stadtgebiet (vergl. Tab. 19, S. 103 und Abb. 19) zu einer gewissen Luftverunreinigung beitragen — trotz Einbau von Filteranlagen und sonstigen technischen Vorkehrungen, zumal es für die Niederschlagung von SO_2 bis jetzt noch keine technisch und kostenmäßig zufriedenstellende Lösung gibt — und sich z. B. das Heizkraftwerk in der Müllerstraße (Flechten-Expositions-Station Nr. II) bald nach Inbetriebnahme als ein Großemittent von SO_2 erwies. Ein von STRATMANN (1959) erstelltes Gutachten bewies eine erhebliche Zunahme der SO_2 -Immission in der Umgebung. Ähnliche Verhältnisse wurden von STRATMANN (1959) und KOLAR (1966) in der Umgebung der Heizkraftwerke in der Theresienstraße und der Technischen Hochschule festgestellt. Zum Teil waren diese negativen Auswirkungen auf zu niedrige Schornsteine und auf ihre architektonische Gestaltung (Blockbauweise) zurückzuführen, wodurch die Entstehung eines Unterdruckes auf der Leeseite begünstigt und die Rauchfahnen bis in Bodennähe, unmittelbar neben den Heizkraftwerken herabgezogen wurden. Nachträglich durchgeführte Modell- und Strömungsversuche bestätigten die Messungen, so daß entsprechende bauliche Maßnahmen (u. a. Erhöhung der Schornsteine um 8 m) durchgeführt werden mußten. Bei dem neuen Heizkraftwerk in der Isartalstraße mit den Brennstoffen Stadtmüll und Kohlenstaub bzw. Erdgas als Zusatzfeuerungen wurde durch den Bau eines 175 m hohen²⁰⁾ Schornsteins vorgesorgt, so daß insbesondere die Frischluftstraße des Isartales nicht beeinträchtigt wird und auch bei tiefliegenden Inversionen die Rauchgase der Hochdruck-Dampfkessel in die freie Atmosphäre abgegeben werden können. In der neu errichteten Waldstadt bei Karlsruhe wurden nach JÖRG (1968) bereits nach drei Jahren in der Hauptwindrichtung eines Heizwerkes sehr deutliche Schädigungen an den Bäumen, insbesondere

²⁰⁾ Zum Vergleich: Fernsehturm 290 m, Frauenkirche 99 m Höhe.

an einem Jungkieferwald beobachtet. Der Belag auf den Nadeln ließ sich . . . „zwischen zwei Fingern grau-schwarz und fettig-pastös abstreifen“ und bewies damit in ca. 500 m Entfernung das Immissions-Zentrum des Heizwerkes.

2. Emissionen und Immissionen und ihre Beeinflussung durch natürliche und anthropogene Faktoren

Emissionen sind nach der TA-Luft (Ziff. 2.12) . . . „luftverunreinigende Stoffe, die beim Verlassen der Anlage in die Atmosphäre gelangen“ und Immissionen sind nach Ziff. 2.13 . . . „luftverunreinigende Stoffe, die in der Nähe der Einwirkungsstelle (in der Regel in 1,5 m Höhe über dem Erdboden oder der oberen Begrenzung der Vegetation oder in einem Abstand von 1,5 m von der Oberfläche eines Bauwerks) auftreten.“²¹⁾

Wenn die Höhe der Immissionen an einem betrachteten Ort, z. B. einer Stadt auch primär von der Menge der emittierten luftfremden Stoffe abhängt, so besteht zwischen Emission und Immission keine lineare Beziehung, etwa derart, daß mit steigender Emission auch zwangsläufig der Grad der Immission ansteigt. Die aus den Quellen, in der Regel Schornsteine und Abgas- bzw. Abluftleitungen, in die freie Atmosphäre abgegebenen Verunreinigungen unterliegen nach dem Austritt vielfältigen natürlichen und anthropogenen Einflüssen. Die natürlichen Einflüsse sind im wesentlichen die meteorologisch-klimatischen Faktoren wie Wind, Austauschvorgänge mit Inversionen, Niederschläge und die vorgegebene Gestalt der Erdoberfläche (Täler, Mulden, Bergkuppen usw.). Der Mensch schafft mit der Errichtung von Gebäuden, welche dann durch Anzahl und Lage die Physiognomie einer Stadt bedingen, weitere immissionsbeeinflussende Faktoren, die durch Grünflächen, Bäume und Wälder gewisse Veränderungen erfahren.

Im Rahmen dieses Überblicks über Luftverunreinigung und Stadtklima können diese Faktoren hier in aller Ausführlichkeit und der jeweiligen Bedeutung nach, nicht abgehandelt werden. Es wird auch hierzu auf die einschlägige Literatur, z. B. DOMRÖS (1966), HEIGL (1969) und auf die entsprechenden Ausführungen im III. und IV. Kapitel verwiesen.

Wind, Austauschvorgänge, Inversionen

Die Bewegung der Luft in der Horizontalen und Vertikalen, welche einen Austausch der Luftmassen bewirkt, hängt weitgehend von der *Windrichtung* und

²¹⁾ Emissionen werden angegeben in mg/Nm³ Rauchgas, Abgas, Abdampf oder Abluft (als Konzentrationsmaß) und in kg/h oder g/h (als zeitliche Emissionsmenge). Immissionen werden angegeben allgemein in mg/m³ Luft, bei Gasen auch in cm³/m³ Luft (ppm), bei Stäuben auch nach der Zahl der Staubpartikel im cm³ Luft und bei Staubbiederschlägen in g/m² in einer bestimmten Zeiteinheit.

Windstärke ab, die wiederum — insbesondere in Städten — von der Höhe und Dichte der Gebäude, der Anordnung der Straßen und der Ausdehnung abhängen. Obgleich mit zunehmender Größe der Stadt die Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umgebung zunimmt und hierdurch unter anderem ein Stadt- oder Flurwind entsteht, weil nach den Gesetzen der Aerodynamik die wärmere Stadtluft aufsteigt und von den Stadträndern Luft ansaugt, wird der Wind der Großwetterlagen durch die Oberflächenrauigkeit so gebremst, daß die Windgeschwindigkeit vermindert wird. Niedrige Windgeschwindigkeiten (etwa unter 2,0 m/s) bewirken naturgemäß nur einen geringen Abtransport der Emissionen, so daß staubförmige Verunreinigungen rascher sedimentieren können. Ein Maximum an Luftverunreinigung ist daher bei Windstille zu beobachten. Hohe Windstärken verdünnen die Emissionen rasch und über größere Gebiete, da sie durch die vertikale Durchmischung auch in höhere Luftschichten verfrachtet werden, um erst in entfernten Gebieten zu sedimentieren. In industriereichen Gebieten wird unter anderem auch dadurch die genaue Herkunftsermittlung von luftverunreinigenden Stoffen sehr erschwert.

Von BAUM (1965) wird hierzu ein windrichtungs-abhängiges Staubniederschlagmeßgerät beschrieben, bei dem 16 DIEMSCHE Haftfolien so angeordnet sind, daß durch eine ausgesparte Öffnung eines darüber befindlichen, von einer Windfahne bewegten Schirmes, immer nur die dem Winde zugekehrte Folie freigegeben wird. Aus dem aufgefangenen Staub können genaue Angaben über den / die Emittenten gemacht werden.

Sogar einzelne Werke können durch die über sie hinwegwehenden Winde die Luft sehr unterschiedlich mit Verunreinigungen anreichern, wie VON BOMHARD (1955) in der Umgebung eines freistehenden Kraftwerkes ermitteln konnte. Im Hauptwind Schatten des Werkes war der Staubniederschlag mehr als doppelt so hoch wie in der normalen Umgebungsluft.

Durch Sonneneinstrahlung entsteht — besonders bei Windstille — in den Städten noch eine thermisch bedingte kleinräumige Zirkulation durch besonnte und schattige Hauswände und Dächer, welche einen Luftwechsel und damit auch einen Abtransport von Verunreinigungen bewirkt. Durch Turbulenz und *Austauschvorgänge* in der bodennahen Luftschicht wird dieser Effekt noch verstärkt, da die Turbulenz nach GEIGER (1961, S. 36) . . . „eine ungeordnet nach allen Richtungen erfolgende Zusatzbewegung zum (horizontalen) Winde“, ebenfalls eine ständige Durchmischung der Luft bewirkt. Dieser Austausch ist jedoch abhängig von der normalen Temperaturschichtung der Atmosphäre, d. h. von der Abnahme der Temperatur mit der Höhe. Wenn der Temperaturgradient γ negativ ist, wird die Schichtung stabil und der Austausch geringer. Nimmt die Temperatur mit der Höhe sogar zu, γ positiv, dann tritt mit der Temperaturumkehr, der sogenannten *Inversion* keine vertikale Durchmischung der Luft ein und eine Anreicherung mit Verunreinigungen ist die Folge, da diese Sperrschicht den Austausch zwischen der stark verunreinigten bodennahen Luftschicht und der darüber gelegenen, immissionsärmeren, unterbindet. Für die Ausbreitung von Luftverunreinigungen sind diese Vorgänge in der Atmosphäre daher von

großer Bedeutung, weshalb auch von meteorologischer Seite hierzu zahlreiche Abhandlungen vorliegen, z. B. KEIL (1963), HERB (1964), FELDMANN (1965) und sie auch hier kurz angesprochen werden sollen.

Inversionen können auf zweifache Weise entstehen:

1. durch Abkühlung und Ausstrahlung während der Nacht bei wolkenlosem Himmel und geringer Luftbewegung, wodurch die erdbodennahen Luftschichten einer stärkeren Abkühlung unterliegen als die höheren. Diesen Inversionstyp bezeichnet man daher auch als Boden- oder Strahlungsinversion.²²⁾ Mit zunehmender Sonneneinstrahlung im Laufe des Tages findet meist eine Auflösung statt. Für München ist die Anzahl und Dauer dieser Bodeninversion auf S. 88 ff. näher ausgeführt.
2. durch Luftmassenwechsel, z. B. Einbruch eines stabilen Hochdruckgebietes, wenn sich warme Luftmassen über kälteren lagern oder auf sie gleiten und zu Aufgleitinversionen führen. Für die Anreicherung der Luft mit Verunreinigungen ist dieser Inversionstyp, der oft tagelang erhalten bleibt, äußerst bedeutsam, weil dadurch die Verteilung und Verdünnung der Luftverunreinigungen sehr verzögert wird und Konzentrationen erreicht werden, die zu schweren Gesundheitsschäden der Bevölkerung führen können. Auf die bekannten Katastrophen hierdurch wurde schon hingewiesen. Im Ruhrgebiet z. B. stieg in der Zeit vom 2.—6. Dezember 1962 die SO_2 -Konzentration bis auf 5 mg/m^3 an. Auch in München wurden bei ähnlichen Wetterlagen hohe SO_2 -Konzentrationen gemessen (siehe hierzu die Ausführungen auf S. 114).

Beide Inversionstypen können auch gleichzeitig auftreten und sich überlagern und dadurch noch besondere meteorologische und lufthygienische Situationen herbeiführen. Das Land Nordrhein-Westfalen hat für diese kritischen Fälle einen besonderen Smog-Warndienst eingerichtet, welcher beim Überschreiten bestimmter Grenzwerte wirksam wird (Warnstufe I: $1,0 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3$ Luft und Warnstufe II: $2,0 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3$ Luft). Für Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und auch für München sind ähnliche Warndienste, mit allerdings wesentlich geringeren SO_2 -Konzentrationen, in Vorbereitung. Die komplizierten Vorgänge des Luftaustausches können an den Formen von Rauchfahnen häufig gut studiert werden, da aus der Ausbreitung des Rauches Rückschlüsse auf die Temperaturschichtung und die Windverhältnisse in der Höhe der betrachteten Schornsteinmündung gezogen werden können. Die Beiträge von BRAUER (1963) und HETTICHE (1969) enthalten Abbildungen derartiger Rauchfahnen-Typen.

²²⁾ Als Inversions-Untergrenze wird diejenige Höhe bezeichnet, von der ab die Temperatur mit der Höhe zunimmt und als Obergrenze einer Inversion diejenige Höhe, von der ab die Temperatur wieder — wie normal — mit der Höhe abnimmt.

Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Relief

Niederschlag in Form von Regen oder Schnee übt einen deutlichen Reinigungseffekt auf die Verunreinigungen in der bodennahen Luft aus. Andererseits führt die hohe Zahl von Kondensationskernen in der Luft über Stadtgebieten eher zu leichtem Nieselregen bzw. Schneefall als auf dem Umland. KRATZER (1956) berichtet hierzu über seine öfteren Beobachtungen bei Fahrten von außerhalb nach München, (Fürstenfeld, 25 km westlich München), daß . . . „aus den Stadtnebeln leichter, spärlicher Schneefall niederging, während draußen klares Wetter herrschte“ (S. 137). Nach SPERK (1943) hat auch Nürnberg einen Überschuß von 6 bis 15 Schneefalltagen im Jahr. Die Tage der Schneedecke sind in den Städten jedoch wesentlich geringer, weil durch die höheren Temperaturen, den Fahrzeugverkehr und anderen Einflüssen, die Schneedecke eher zum Schmelzen kommt. Der Reinigungseffekt wird hauptsächlich von der Zahl der Regen- oder Schneefälle beeinflusst, weniger von der Stärke oder Dauer der Niederschläge. Bereits vor dem eigentlichen Regenbeginn nimmt die Zahl der Staubteilchen am Erdboden zu, weil durch die Feuchtigkeit die Quellfähigkeit und damit die Schwebefähigkeit in höheren Luftschichten beeinflusst wird und eine Sedimentation einsetzt. Nach dem vorgenannten muß die Luft nach Regen oder Schneefall sauberer sein. Eine Tatsache, die man besonders im Sommer nach längeren Trockenperioden, bei denen der Staubgehalt der Luft hohe Werte erreichen kann, direkt spürbar empfindet. Daß auch gasförmige Immissionen auf diese Weise aus der Stadtluft entfernt werden, hat KELLER (1958) an SO_2 -Registrierungen in München beobachtet. Er betont daher zum Tagesgang der Konzentration: . . . „Ein völlig anderes Bild ergeben Messungen an Tagen, an denen längere Regen- oder Schneefälle vorausgegangen waren. Wohl lassen sich auch hier schwache Andeutungen der beiden Maxima beobachten, doch ist die reinigende Wirkung des in der vorhergehenden Nacht erfolgten Schneefalles unverkennbar.“ Nach KOLAR (1969) und anderen Forschern führt auch heftiger Regen zu einer SO_2 -Auswaschung aus der Luft. Bei einer Regenintensität von 3 mm/h sank z. B. innerhalb von 10 Minuten die SO_2 -Konzentration von 2 mg/m³ auf 1 mg/m³ bzw. von 0,45 mg/m³ auf 0,2 mg/m³. Ob die Großstadt einen Einfluß auf die Niederschlagstätigkeit überhaupt ausübt, — ältere Angaben sprechen zwar von einer erhöhten gewittrigen Tätigkeit über einer Stadt, für Nürnberg und München soll sie etwa 20—30% betragen, auch die Hagelfälle sollen erhöht sein — ist jedoch umstritten und auch statistisch schwer zu erfassen, weil die für die Niederschlagsbildung notwendigen Vorgänge sich in Höhen (1—5 km) abspielen, in die ein direkter Einfluß der Stadt durch Bebauung kaum hinaufreicht. MALKOWSKI (1964) hat versucht, diesen Einfluß näher zu untersuchen und zwar anhand von langjährigen Wetterradarbeobachtungen in Berlin. Die Lage dieser Stadt inmitten eines orographisch fast gleichmäßig ebenen Geländes (Norddeutsche Tiefebene), wo die höchste Erhebung von rund 200 m Höhe etwa 100 km von der Stadt entfernt liegt, ist hierzu besonders geeignet. Er kommt zu dem Ergebnis . . .“, daß ein merklicher

Stadteinfluß auf Flächenniederschlag *nicht* anzunehmen ist. Beim Zelleniederschlag liegen mehrere markante Fälle vor, wo ein Stadteinfluß auf die Bildung von Schauer- oder Gewitterzellen sehr wahrscheinlich ist.“

Zelleniederschlag kommt über einer Großstadt im wesentlichen dadurch zustande, daß an Tagen mit starker Einstrahlung im Häusermeer eine Wärmespeicherung erfolgt, die in den Abendstunden die normale Abkühlung über der Stadt verlangsamt, wodurch die Luftschichtung weniger stabil wird als über der sich rascher abkühlenden Umgebung. Dies kann dann zur Quellwolkenbildung und zu Schauern oder Gewittern führen. Es kann sich aber auch eine bodennahe Zirkulation ausbilden, wenn sich in den Abendstunden kältere (dichtere) Umgebungsluft unter die wärmere Stadtluft schiebt und diese zum Aufsteigen veranlaßt.²³⁾

Die *Luftfeuchtigkeit*, beeinflusst die Höhe der Verunreinigung der Stadtluft, weil sie bei dem hohen Gehalt der Luft an Kondensationskernen und den hygroskopischen Eigenschaften der staubförmigen Partikel bei Strahlungsnächten und Windstille häufig zur *Dunst-* und *Nebelbildung* führt, wobei eine Trübung der Luft mit einer Sichtweite von mehr als 1 km als Dunst und bei weniger als 1 km als Nebel bezeichnet wird. Durch den Nebel wiederum erfolgt eine Anreicherung der bodennahen Luftverunreinigungen und zwar sowohl mit gasförmigen als auch mit festen Stoffen. Mit zunehmender Luftfeuchte steigt daher auch der Gehalt an Immissionen an, wobei im Winter noch der zumeist geringe vertikale Luftaustausch beiträgt. Die typischen Stadt- und Industrienebel wurden zuerst in England beobachtet. Der Tages- und Wochen-Gang der Nebelbildung konnte nach HADER (1937) und KRATZER (1956) in Wien und englischen Industriestädten direkt auf den hohen Gehalt der Luft mit Verunreinigungen zurückgeführt werden. Von MÜLLER (1970) wurde der Versuch unternommen, aus den täglichen Sichtweitenbeobachtungen des Deutschen Wetterdienstes Aussagen über die geographisch-räumliche Verteilung der Luftverunreinigungen (Staubgehalt der Luft) in Deutschland zu machen. Bei der Auswertung von nebefreien Beobachtungen läßt sich eine gewisse Verteilung der Luftverunreinigungen ableiten, die sich angenähert mit der Verteilung von Industrie- und Siedlungszentren (Bevölkerungsdichte) deckt.

Durch die Verfeuerung von reineren Brennstoffen (Erdgas, Heizöl) hat sich in den letzten Jahren die Situation verbessert, da eine Verminderung der Rauch- und Rußteilchen die Zahl der Kondensationskerne herabsetzt und damit trotz hoher Luftfeuchte nur eine verminderte Nebelbildung eintreten kann. Auch die Temperaturerhöhung in der Stadt durch die Wärmeabgabe der Gebäude usw. verringert die Nebelhäufigkeit, wie z. B. KRATZER (1968) für München angibt.

²³⁾ Nach ERIKSEN (1972) ist durch klimatologische Untersuchungen in vielen Großstädten bewiesen . . . „daß im Stadtbereich eine auffällige Vermehrung der Niederschlagsmenge zu verzeichnen ist“. Die Verunreinigung der Luft (Kernproduktion) scheint neben thermischen und mechanischen Effekten die wichtigste Ursache hierfür zu sein.

Im Zentrum traten erheblich weniger Nebeltage/Jahr auf als in den west- und östlichen Stadtteilen (siehe hierzu die Ausführungen auf S. 88). Nach Untersuchungen von LAMP (1969, 1970) über die Nebelhäufigkeit an deutschen Verkehrsflughäfen ergab sich eine Abnahme, die sicher mit den Maßnahmen der Immissionsverminderung durch technische Einrichtungen zur Reinhaltung der Luft, und der schon oben erwähnten Verfeuerung von schwefel- und feststoffärmeren Brennstoffen zu erklären ist. In Düsseldorf verringerten sich die Nebelbeobachtungen im Mittel von 5 Jahren von 278 auf 126 und in Frankfurt/M. von 288 auf 170. Aus den Angaben LAMPS (1970) über die monatlichen Nebelbeobachtungen habe ich in Tabelle 3 zu einer orientierenden Übersicht die Sommer- und Wintermonate zusammengefaßt. Von den 8 Städten hat München neben Hamburg die höchste Zahl an Nebeltagen, wobei es im Sommerhalbjahr — abgesehen von Berlin — jedoch die geringsten Nebellagen aufweist; im Winterhalbjahr mit 844 Nebellagen jedoch alle Städte weit übertrifft. In diesen Zahlen spiegeln sich das Großklima aber auch die lokalen Gegebenheiten wider.

Tabelle 3:
Anzahl der Nebellagen an einigen deutschen Verkehrsflughäfen.

Stadt (Flughafen)	April—September	Oktober—März	Gesamt
Berlin	58	458	516
Frankfurt	206	606	812
Hamburg	284	778	1062
Hannover	289	597	886
Köln-Bonn	248	445	693
München	173	844	1017
Nürnberg	223	422	645
Stuttgart	249	664	913

Den Einfluß der vorgenannten natürlichen Faktoren auf die Konzentration von Luftverunreinigungen hat KETTNER (1964) bei Messungen des Schwebstaubgehaltes der Luft in Duisburg in Abhängigkeit von den jeweils herrschenden Witterungsbedingungen näher untersucht. Wurden bei „leichtem Regen“ 77 Teilchen/cm³ ermittelt, waren es bei „bedeckt, diesig, geringer Auftrieb“ 198; bei „stark dunstig, schwül“ 398 und bei „Inversionslage, Smogperiode, sehr stark dunstig“ 958 Teilchen/cm³. Bei SW-Winden betrug die Staubkonzentration am Ostrand der Stadt 75 und am Westrand 26 Teilchen/cm³, was den Einfluß der Stadt auf die Verstaubung der Luft deutlich unterstreicht.

Von den natürlichen Faktoren, welche bei der Ausbreitung von Luftverunreinigungen mit wirksam werden und die Immissionshöhe an einem bestimmten Ort beeinflussen, muß noch das *Relief* erwähnt werden. Nicht die verschiedenartige Gestalt der Erdoberfläche, sondern die hierdurch bedingten Unterschiede in den meteorologisch-klimatischen Verhältnissen sind jedoch letztlich für die

unterschiedliche Ausbreitung und Anreicherung von luftfremden Stoffen, verantwortlich. Täler, Hanglagen oder Berge weisen besonders abweichende Windverhältnisse auf, wodurch Immissionen verfrachtet oder auch angereichert werden können. In Tälern ist die Windgeschwindigkeit meist erheblich herabgesetzt, Stuttgart und Innsbruck sind hierfür bekannte Beispiele. Die Windgeschwindigkeiten liegen im Mittel um 1 m/s, die Windstillen um 24 bzw. 37%. In Tälern und Mulden bilden sich außerdem häufig durch nächtliche Ausstrahlung und Abkühlung Kaltluftseen, über die sich dann meist wärmere Luft lagert und somit eine Inversionslage herbeiführt, die eine hohe Konzentration der Immissionen zur Folge hat (Maastal-Katastrophe). GRUNDKE (1955) hat in seiner Dissertation zahlreiche Beispiele angegeben, wo in derartig ungünstigen Lagen die Fertigung von bestimmten Produkten, z. T. durch die eigenen Industrieabgase, nahezu unmöglich gemacht wurde bzw. hohe Ausschussquoten auftraten. Verschiedene Betriebe waren dadurch zu Verlegungen an klimatisch günstigere Standorte gezwungen. Bei hoher Luftfeuchte tritt, wie oben dargelegt, noch eine zusätzliche Anreicherung von Schadstoffen durch Nebelbildung ein. Mehr oder weniger häufige und kräftige Talwinde können zwar die Verhältnisse etwas verbessern, im ganzen sind derartige orographische Verhältnisse für Industriebetriebe jedoch äußerst ungünstig.

Technische Maßnahmen, Bepflanzung, Grünflächen

Die Tätigkeit des Menschen ist praktisch die alleinige Ursache für die Verunreinigung der bodennahen Luftschichten, insbesondere in den Städten. Die Verminderung des Auswurfes von luftfremden Stoffen aller Art erwies sich jedoch bald als nützlich, um Kosten zu sparen, da viele Stoffe, die sonst nutzlos in die freie Atmosphäre abgegeben wurden, wieder zurückgewonnen, gereinigt und z. T. erneut verwendet werden können. Es sei hierzu nur an die Rückgewinnung von Nutstäuben und Lösemitteln erinnert. Die Vielzahl der technischen Maßnahmen zur Emissionsverminderung können jedoch hier nur angedeutet werden, da sich heute ganze Industriezweige wegen der Reinhaltung der Luft damit befassen und für fast alle Abgas- bzw. Abluftprobleme zweckentsprechende technische Einrichtungen zur Verfügung stehen.

Einige Maßnahmen und Möglichkeiten seien hier beispielhaft angeführt.

Bei *Feuerungsanlagen* kommen in Betracht:

1. Wahl des Brennstoffes (Art, Schwefel- und Feststoffanteil).
2. Betriebs- und feuerungstechnisch optimale Funktion der Anlage.
3. Wartung und Feuerführung der Heizanlage (z. B. durch Dampfkesselwärter).
4. Ausreichende Schornsteinhöhe (Ermittlung nach TA-Luft und VDI-Richtlinien).

5. Einbau von Filter und Abscheidern (Absetzkammern, Schlauchfilter, Naßentstäuber, Zyklone, Elektrofilter usw.).

6. Emissions-Überwachung durch Registriergeräte.

Bei der Emissionsverminderung von gas- und dampfförmigen Stoffen sowie Gerüchen aus weiteren *Quellen* werden angewendet:

1. Erhöhung der Abluftleitungen.

2. Rückgewinnungsanlagen (Adsorption mit Aktivkohle o. ä., z. B. für Lösemittel).

3. Reinigung der Abluft (thermische, bzw. katalytische Nachverbrennung, Wäscher, Filter, Ozonierung und Biofilter zur Beseitigung von Gerüchen).

4. Chemisch-physikalische Verfahren (Waschtürme mit Wasser, Säure, Lauge).

Zur wirksamen Emissionsverminderung werden diese betriebstechnischen Möglichkeiten häufig miteinander kombiniert, um die in der TA-Luft und in den VDI-Richtlinien festgelegten Emissions- bzw. Immissionsgrenzwerte einzuhalten und einen optimalen Wirkungsgrad zu erzielen.

Die *Bebauung* bzw. das Verhältnis von bebauten zu unbebauten oder nur locker bebauten Flächen, die Bebauungsdichte schlechthin, kann als weiterer anthropogener Faktor die Emission und Immission von luftfremden Stoffen beeinflussen. Das erfolgt direkt durch eine höhere Zahl von Emittenten, z. B. Hausschornsteine, Fabrikanlagen usw. aber auch indirekt — ähnlich wie das Relief — durch Verminderung der Windgeschwindigkeit und Austauschvorgänge. Das bedeutet aber immer eine Zunahme der Luftverschmutzung.

Der schon erwähnte Stadt- oder Flurwind kann deshalb als Frischluftbringer nur dann wirksam werden, wenn ihm entsprechende unverbaute Bahnen zur Verfügung stehen. In Bonn hat sich z. B. ergeben, daß am Ausgang des Melbtales im SW der Stadt häufig ein Kaltluftsee entsteht, welcher durch die dichte Bebauung des Stadtteiles Poppelsdorf nur durch eine Straße bis zum Stadtzentrum vordringen kann. EMONDS (1957) sagt dazu: „Wenn man bedenkt, daß auf diese Weise frische, saubere Luft von den bewaldeten Hängen im Südwesten der Stadt bis zu deren Kern vordringt, dann leuchtet die Wichtigkeit der Erhaltung und Schaffung solcher Ventilationsbahnen ein.“ In Stuttgart hatte SCHWALB (1960) ähnliches beobachtet, was von OEHMICHEN (1962) nochmals unterstrichen wird, da hier ein etwa 5 km langer Grünzug als Frischluftstraße ausgebaut werden soll. In München bildet die Isar mit ihrem breiten Flußbett und Grünanlagen eine natürliche Frischluftstraße von SW nach NO.

Dichte Bebauung verändert außerdem die stadtklimatischen Faktoren (Temperatur, Strahlung, Luftfeuchtigkeit, Niederschläge) mehr oder weniger stark gegenüber dem Umland. In zahlreichen Untersuchungen ist die unterschiedliche Immissionsbelastung sowohl durch gas- (SO_2), als auch durch staubförmige Stoffe in Abhängigkeit von der Bebauungsdichte nachgewiesen worden. Es muß hierzu auf die Tabelle 5 (S. 45—46) verwiesen werden.

Im Rahmen der Nutzung eines Stadtgebietes kommt den Flächen eine besondere Bedeutung zu, von denen keine Emissionen ausgehen und somit nicht

zur Verschlechterung der Atemluft beitragen. Es sind dies neben größeren Plätzen und Freiflächen, soweit sie vom Autoverkehr unberührt bleiben, besonders die *Grünanlagen, Parks und Wälder* sowie die gärtnerisch und landwirtschaftlich genutzten Flächen, die eine wichtige Aufgabe zur Erhaltung bzw. Verbesserung der stadtklimatischen und lufthygienischen Verhältnisse zu erfüllen haben. Auch Friedhöfe bilden durch ihre Grünanlagen und zumeist hohen Umfriedungsmauern Oasen der Ruhe und angenehme kleinklimatische Standorte für die Großstadtbevölkerung.

Diese immissionsfreien oder zumindest sehr immissionsarmen Gebiete wirken mit ihrem vielfältigem Pflanzenbestand ausschließlich hemmend und verringernd auf den Grad der Luftverunreinigung ein, da hierbei physikalische, chemische und auch biologische Prozesse mehr oder weniger intensiv zur Luftreinigung beitragen.

Wenn auch die physikalischen und chemischen Reinigungsprozesse von Grünanlagen bzw. Bäumen (Wäldern) vielfach überschätzt werden, so ist doch unbestritten, daß Zweige, Blätter und Nadeln als Strömungshindernisse die durchstreichende Luft siebartig ausfiltern und dabei Staub und feste Teilchen der Rauchgase (Ruß, Asche usw.) festhalten. Durch Niederschläge (Regen) werden dann diese Partikel wieder abgewaschen und die „biologischen Filter“, wie das Laub- bzw. Nadelwerk der Bäume und Büsche kurz bezeichnet werden soll, stehen zu einer erneuten Beladung mit festen Luftverunreinigungen bereit. Dieser Filter- und Auswaschungseffekt läßt sich in München auf wenig begangenen Bürgersteigen, z. B. im Villenviertel Nymphenburg, deutlich durch die am Boden befindliche grauschwarze Schmutzschicht beobachten, die genau dem überragenden Kronenteil der Bäume entspricht. Da diese Ablagerungen verstärkt in den Monaten März und April auftreten, werden also ganz offensichtlich die von der Heizperiode herrührenden Ruß- und Ascheteilchen durch den Regen (Schnee) herabgespült. In den Sommermonaten kann allerdings auch durch die Bildung von sogenanntem „Rußtau“ durch Blattläuse und Algen ein ähnlicher Belag mit hervorgerufen werden. Nach MELDAU (1954) sollen — auf ein ha bezogen — Fichten ca. 32 to, Kiefern ca. 35 to und Laubbäume (Buchen) sogar 68 to Staub ausfiltern und festhalten können. Staubmessungen haben ferner ergeben, daß über emissionsreichen Industrien und in der Stadtluft bis zu 9000 Staubteilchen je Liter Luft enthalten sein können, im anschließenden offenen Gelände fast 4000 und im Wald weniger als 2000 Teilchen, und hinter dem Walde wieder 3000 bis 4000 Teilchen je Liter Luft festgestellt wurden. Daß diese Filterwirkung vom Alter der Bäume, vom Belaubungszustand, von der Bestandsdichte, von der Baumart und von der Größe der auffangenden Fläche abhängt, ist verständlich. STEUBING und KLEE (1970) haben hierzu in vergleichenden Untersuchungen zur Staubfilterwirkung von Laub- und Nadelgehölzen durch die Ermittlung der natürlichen winterlichen Staubablagerung an *Pinus mugo* und *Rhododendron catawbiense* in Frankfurt/M. und durch experimentelle Einstaubung an einreihigen Hecken von *Picea abies* und *Carpinus betulus* interessante Ergebnisse ermittelt. Hiernach waren z. B. die

Koniferen deutlich bessere Staubfänger, u. a. bedingt durch die hohe Haftwirkung der klebrigen Harze an den Nadeln.

Reine Grasflächen filtern deshalb sehr wenig, mit Bäumen und Büschen durchsetzte Grünflächen schon mehr und am meisten eben geschlossene Wälder. Weiter sind für diesen Effekt die Größe der Staubpartikel und die Wind- bzw. Turbulenzverhältnisse wichtig. Die staubreinigende Wirkung von Laubbäumen ist gegenüber Nadelbäumen entsprechend der vergrößerten Auffangfläche naturgemäß erheblich höher. Bei einem Laubbaum mittlerer Größe beträgt die gesamte Blattoberfläche annähernd 1200—1600 m².

Bei dieser physikalischen Filterwirkung ist nach HENNEBO (1955) zwischen einer *Aktiv-* und einer *Passiv*wirkung zu unterscheiden. Bei der Aktivwirkung handelt es sich um eine echte Filterwirkung, weil die Luftbeimengungen durch die Grün- und Waldflächen festgehalten werden und der Reinigungseffekt durch das mechanische Anhaften der Staubteilchen auf den Blättern bzw. Nadeln erfolgt.

Die Passivwirkung von Grünflächen, Parks und Wäldern besteht darin, daß — je dichter und höher die Anpflanzungen sind — sie dem Wind ein mehr oder weniger großes Strömungshindernis darbieten und dadurch Geschwindigkeits- und Richtungsunterschiede sowie Luftdruckdifferenzen erzeugen, so daß eine raschere Sedimentation der Staubpartikel erfolgt. Hierdurch unterscheidet sich unter anderem auch die Filterwirkung von schmalen, nur mit einzelnen Bäumen bestandenen Grünzonen vom geschlossenen Baumbestand (Wälder).

Zu diesem physikalischen Reinigungseffekt kommt noch eine chemische Aktivität der Blätter bzw. Nadeln hinzu, da die Pflanzen bekanntlich für einen relativ hohen Gasaustausch eingerichtet sind. Der geringe CO₂-Gehalt der Luft (0,03 Vol. %) erfordert dies, um eine genügende CO₂-Assimilation zu ermöglichen. Das wird durch die hohe Zahl der Stomata geleistet. In der Luft befindliches Schwefeldioxid wird durch Oxidation als Sulfatschwefel festgelegt und kann das Fünf- bis Zehnfache des organisch-gebundenen Schwefels betragen, vorausgesetzt, daß keine Schädigungen durch zu hohe SO₂-Konzentrationen auftreten. Zur Beurteilung von Immissionsschäden durch SO₂ können daher Blatt- bzw. Nadelanalysen wertvolle Hinweise geben. Nadelproben aus immissionsfreien bayerischen Wäldern und von rauchharten und rauchgasgeschädigten Fichten und Kiefern des Ruhrgebietes ergaben nach PAVLIK (1965) sehr deutliche Unterschiede bei den Sulfatschwefel- und Fluorwerten. „Demnach stellt die Nadelanalyse als Ergänzung zu anderen diagnostischen Verfahren immer noch ein brauchbares Beweismittel dar, insbesondere wenn die Analysenwerte der vergleichbar entnommenen Nadeln von der Rauchquelle bis in die Randzone des Rauchgebietes ständig abnehmen“ (Seite 82).

Daß Grünflächen im vorgenannten Sinne die verunreinigte Luft in den Städten nur zu einem Teil reinigen können, steht außer Zweifel. Bäume und Sträucher können bei der Staubminderung jedoch erhebliches leisten, wie z. B. BERNATZKY (1970) für Frankfurt/M. angibt, wo im Stadtzentrum abends 18370 Staubteilchen gemessen wurden, im Park 3140, in einer baumfreien Straße

11 490 und in einer baumbestandenen Straße 3 830 Teilchen. Hinzu kommt, daß Grünflächen, besonders in Verbindung mit Laubbäumen das unnatürliche Großstadtklima für den Menschen erträglicher gestalten und auch physiologisch und psychologisch gesehen, durch die Lebendigkeit und Farbe des Blattgrüns sowie der vielfältigen Blütenfarben und -düfte günstig stimmen, ist ohne Zweifel. LINKE (1941) und neuerdings auch SAUBERER (1955) weisen jedoch mit Recht darauf hin, daß große Bäume durch eine erhebliche Verminderung des Lichtgenusses in den umliegenden Wohnungen sich auch nachteilig auswirken können, daß also zwischen Baumbestand und -höhe und den Wohnhäusern ein vernünftiges Maß gefunden werden muß. In den Sommermonaten wird jedoch die schattenspendende Wirkung von Bäumen, besonders an Alleen und Straßen sehr geschätzt, da man sich mit den heutigen technischen Mitteln (Zentralheizungen, beheizbare Autos usw.) zwar verhältnismäßig leicht gegen Kälte schützen kann, hochsommerlichen Hitzeperioden aber noch immer nahezu hilflos gegenübersteht, von vollklimatisierten und damit auch kühlbaren Sonderräumen abgesehen.

Zur Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse ist daher die Erhaltung und Vergrößerung schon bestehender Grünflächen im Stadtbereich dringend erforderlich. Flächennutzung, Bebauung und immissionsvermindernde Flächen sollten in ausgewogener Beziehung zueinander stehen.

3. Wirkungen der Luftverunreinigung auf die Umwelt

Durch die vielfältigen chemischen und physikalischen Eigenschaften der gas- und dampfförmigen sowie festen Verunreinigungen der bodennahen Luftschichten ist auch ihre komplexe Einwirkung auf die belebte und unbelebte Welt sehr unterschiedlich und vielseitig. Bereits lange bevor mit der aufkommenden Industrie die umfangreichen Schädigungen der Vegetation (Wälder) sichtbar wurden, war der Einfluß von verunreinigter (schlechter) Luft auf den Menschen bekannt. Vor allem im Bergbau aber auch in Fabriken und Gewerbebetrieben traten Gesundheitsschäden an den Arbeitern auf, die von den Arbeitsstoffen, den Arbeitsverfahren und ähnlichem herrührten. Nach Erlaß der Reichsversicherungsordnung (RVO, 1911) wurden bereits 1925 bestimmte Gesundheitsschäden als Berufskrankheiten anerkannt und entsprechend entschädigt. Ein besonderer Zweig der Medizin, nämlich die Gewerbehygiene und Arbeitsmedizin befaßt sich daher seit Jahrzehnten in zahlreichen Instituten²⁴⁾ mit diesen möglichen Gefährdungen der menschlichen Gesundheit am Arbeitsplatz. Die zum Schutz festgelegten MAK-Werte vieler Arbeitsstoffe wurden bereits erwähnt. Bei den Schäden an der Vegetation fielen die wipfeldürren bzw. bald ganz abgestorbenen Nadelbäume in der Umgebung von Fabriken zuerst ins

²⁴⁾ In Bayern z. B. der seit 1909 eingerichtete gewerbeärztliche Dienst mit dem Institut für Arbeitsmedizin und neuerdings der Akademie für Arbeits- und Sozialmedizin.

Auge. Beeinträchtigungen von landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzen kamen jedoch bald hinzu und allmählich wurden auch eigentümliche Veränderungen an Sachgütern und Bauwerken, z. B. dem Kölner Dom, beobachtet.

Wenn heute die bodennahen Luftverunreinigungen für Mensch, Tier und Pflanze ein potentielles Gefährdungsmoment darstellen, so ist jedoch zu beachten, daß eine Schädigung von der Konzentration, der Toxizität, der Einwirkungsdauer und der Disposition des Objektes abhängt. Die Symptome für eine Schädigung können sehr vielfältig sein und auch andere Ursachen haben, z. B. bei Pflanzen durch Parasitenbefall, Krankheiten oder ähnlichem. Zahlreiche Experimente in Klimakammern, Begasungsanlagen und im Freiland haben hierzu umfangreiche Erkenntnisse geliefert, die in praktisch allen Fällen eine gesicherte Aussage über das Vorliegen von etwaigen Schädigungen durch Luftverunreinigungen gestatten. Der in lufthygienischer und damit auch klimatischer Hinsicht ungünstige Einfluß auf die Umwelt, besonders in den menschlichen Großsiedlungen muß daher etwas erörtert werden, wobei auch hier wiederum auf die umfangreiche Spezialliteratur verwiesen wird.

Eine schematische Darstellung der Wirkungswege der Luftverunreinigungen gibt Abb. 1.

Mensch, Tier, Pflanze, Sachgüter

Die Schädigung des *Menschen* durch die Verunreinigungen der Großstadtluft erfolgt im wesentlichen auf zwei Arten: 1. Direkt durch eine Aufnahme der toxischen Gase, Dämpfe und Feinststäube durch den Atemtrakt — der Mensch atmet täglich etwa 12 m^3 Luft ein — und 2. indirekt über die verminderte Sonneneinstrahlung (UV-Anteil) durch die Dunsthaube und häufigere Nebelbildung durch die dem Freiland gegenüber wesentlich höhere Zahl von Kondensationskernen. Ferner muß zwischen akuten und chronischen Schäden unterschieden werden. Erstere entstehen durch ungewöhnlich hohe Anreicherungen von gesundheitsschädlichen Verunreinigungen, meistens bedingt durch besondere meteorologische Verhältnisse (Inversionswetterlagen). Auf die hierdurch entstandenen bekannten Katastrophen im Maastal 1930, Donora/USA 1948 und London 1898 und 1952 wird verwiesen. Hierher gehört auch der Augen- und Hustenreiz durch die Photooxidantien des Los-Angeles-Smogs. In London sind chronische Schäden zuerst bekannt geworden, die sich im gehäuften Auftreten von Bronchitis und Lungenkrebs äußerten. Letzterer dürfte mit dem cancerogenen Benzpyrengehalt des Steinkohlenrußes zusammenhängen. Nach Untersuchungen von Rußen und Luftstäuben im Mannheimer Raum durch KUTSCHER und TOMINGAS (1966) wiesen Ruße aus Steinkohlen die höchsten Benzpyren-Konzentrationen auf. Ruße aus Ölfeuerungen waren wesentlich geringer benzpyrenhaltig. Kohlepartikel aus Rauchgasen, die tief in die Alveolaren der Lunge gelangen können, wiesen ebenfalls beachtliche Benzpyrengehalte auf. Nach Beobachtungen in London soll eine Zunahme der Sterblichkeit

einsetzen, wenn der Rußgehalt der Luft längere Zeit über $0,5 \text{ mg/m}^3$ ansteigt. Die oben erwähnten Benzpyrenmessungen in Wien ergaben für das täglich inhalierte Luftvolumen soviel Benzpyren wie der Rauch von 50—60 Zigaretten. Nach einer Untersuchung des Statistischen Landesamtes in München ist ein Ansteigen der Sterbefälle durch Krebs der Luftröhre, der Bronchien und der Lunge zu verzeichnen. Entfielen 1955 auf 100 000 Personen in Bayern durchschnittlich 17,9 Sterbefälle durch diese Todesart, so waren es in Großstädten bereits 24,9. Für 1960 waren es 23,4 bzw. 30,5; für 1965: 26,9 bzw. 31,3 und für 1969 28,9 Todesfälle in Bayern und 34,3 in Großstädten. Bei einer Untersuchung (Dissertation) über die Häufigkeit bestimmter Erkrankungen der Münchener Bevölkerung kommt auch THIEMANN (1960) zu ähnlichen Ergebnissen. Von POTHMANN (1962) und BOLLMANN (1963) wurden ebenfalls in Dissertation an der Medizinischen Akademie Düsseldorf die biologische Wirkung von Luftverunreinigungen (SO_2 , Nitrose Gase usw.) auf die Gesundheit von Menschen und Tieren eingehend untersucht. SCHLIPKÖTER (1965) betont daher: . . . „Von medizinischer Seite wird man den lufthygienischen Problemen große Beachtung schenken müssen, denn die Reinheit der Luft ist eine wichtige Voraussetzung der Gesundheit. Sie ist in den meisten Großstädten unseres Landes nicht mehr gegeben“ (S. 2).

Eine gewisse Bestätigung findet diese Forderung unter anderem durch eine statistische Untersuchung über die Sterblichkeitsziffer von 56 Großstädten der BRD für die Jahre 1959—1965²⁵⁾. Hiernach weisen die Industriegroßstädte im Ruhr- und Wuppergebiet wie Gelsenkirchen, Bochum, Essen, Duisburg, Mühlheim, Wuppertal um 5—10% höhere Sterblichkeitsziffern auf. Um den gleichen Prozentsatz niedriger waren dagegen die Ziffern in Stuttgart, Köln und München. Hamburg liegt mit 12,8 Sterbefällen je 1000 Einwohner an der Spitze der Großstädte. Wenn eine derartige Statistik auch mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten ist, da unter anderem die Zahl der Personen über 65 Jahre in den einzelnen Städten sehr unterschiedlich ist, sind klimatische Einflüsse, insbesondere stark verunreinigte Atemluft sicher mit ursächlich.

Wie die Abb. 1 zeigt, kann eine Schädigung des Menschen auch über die Aufnahme tierischer und pflanzlicher Lebensmittel erfolgen, wenn diese Organismen luftverunreinigende Stoffe inkorporiert haben. Dies gilt besonders für die Fluor- und Bleiverbindungen sowie Biozide, welche über die Pflanzen in die Lebensmittel tierischer Herkunft (Milch, Fleisch usw.) gelangen.

Über die Beeinträchtigungen von *Tieren* durch luftfremde Stoffe liegen zahlreiche Beobachtungen und Untersuchungsergebnisse von Weidevieh vor, besonders aus den USA. Ein größeres Aluminiumwerk in Oberbayern als Emittent von Fluor mußte erhebliche Schadenersatzleistungen aufbringen. Die Aufnahme von Blei längs vielbefahrenen Straßen (Autobahnen) durch Nutzvieh ist ebenso gesichert, wie die Aufnahme von Arsenverbindungen in der Nähe von Metallhüttenwerken, die bereits in den achtziger Jahren des ver-

²⁵⁾ Hrsg. vom Amt für Statistik und Datenanalyse der Landes-Hauptstadt München, 1966.

gangenen Jahrhunderts bei den Freiburger Hütten in Sachsen beobachtet worden waren. Hier wurden nach PRELL (1937) bereits Schädigungen (Haarausfall, Geweihmißbildungen usw.) an der freilebenden Tierwelt (Reh- und Rotwild, Hasen, Füchse) festgestellt. Das auffallende Bienensterben im Umkreis der Werke bis zu 40 km Entfernung in der Hauptwindrichtung, besonders nach Errichtung eines Schornsteines von 144 m Höhe, ergab durch Vergleich mit ähnlichen Schadbildern nach Anwendung arsenhaltiger Pflanzenschutzmittel, eindeutig die Abgase der Hüttenwerke als Ursache. Bereits 1956 habe ich anhand der vorgenannten Befunde auf diese Bedrohung unserer freilebenden Tierwelt hingewiesen und die Schaffung einer diesbezüglichen kleinen Forschungsstelle angeregt. Ähnliche Wildtierverluste durch Industrie-Immissionen werden neuerdings durch VON HORN (1967) mitgeteilt. Er berichtet, daß am nördlichen Harzrand, im Umkreis von nur 200 ha um dort ansässige Schwerindustrie im Laufe von 4 Jahren 48 Stück Rehwild aufgefunden wurden und nach Pflanzenanalysen die Industrie-Immissionen als Todesursache ermittelt werden konnten. In Zuckerrübenblättern wurden noch in 800 m Entfernung von den Werken 288 mg/kg Blei, 1,6 g/kg Zink, 26,9 mg/kg Molybdän bezogen auf die Trockensubstanz (in kg) festgestellt, auch Arsen, war nachweisbar. Die Veränderung der Umwelt der Haus- und Wildtiere durch giftige Industrie-Emissionen und Schädlingsbekämpfungsmittel wird auch von HAPKE (1970) erneut betont. Im allgemeinen dürfte die Schädigung von Tieren jedoch nur auf die unmittelbare Nachbarschaft von Emittenten bzw. an den Straßen beschränkt sein, da Tiere kaum im großstädtischen Bereich gehalten werden, von Hunden und Katzen abgesehen. Hunde sollen in München jedoch jetzt stärker erkranken als früher. Dies ist durchaus verständlich bei den oben genannten hohen Konzentrationen von CO, Benzpyren und Blei, die durch die Autoabgase direkt in den Atmungsbereich dieser Tiere gebracht werden, wobei zusätzlich noch der ebenfalls mit Blei und Ruß angereicherte Straßenstaub aufgewirbelt und eingeatmet wird. COHRS (1965) hat eine aufschlußreiche Übersicht über die schädlichen Einwirkungen verunreinigter Luft auf Tiere je nach den Stoffen angegeben und bemerkt hierzu: „Die Tiere können Schädigungen durch Industrieabgase und -stäube in gleicher Weise wie Menschen und Pflanzen erfahren. Abgesehen von plötzlichen Katastrophenfällen, die akute Vergiftungen bedingen, handelt es sich meist um subchronische und chronische Schädwirkungen, die mit uncharakteristischen Erscheinungen allgemeiner Art oder mit typischen Veränderungen einhergehen“ (S. 29).

Die Einwirkung von Luftverunreinigungen auf *Pflanzen* führte in Deutschland ab Mitte des vorigen Jahrhunderts mit der beginnenden Industrialisierung — ähnlich wie in den übrigen Ländern Westeuropas und in Nordamerika — zu umfangreichen Vegetationsschäden in der näheren und weiteren Umgebung der Fabriken und Industriewerke. Namentlich dort, wo heimische Grundstoffe wie Kohle und Erze verarbeitet wurden, und die Betriebe zumeist in der Nähe von land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen lagen, traten sogenannte Rauchschäden an Ackerbaukulturen und Wäldern in erschreckendem Maße auf. Die

ältere und neuere Rauchscha­denliteratur weist hierzu umfangreiche Beispiele zahlreicher Forscher bzw. Autoren auf.²⁶⁾

Bereits 1907 sollen in Deutschland rund 100 000 ha Waldflächen unter indu­striellem Raucheinfluß gestanden haben, wovon etwa 900 ha so schwer ge­schädigt waren, daß sogenannte Rauchblößen, d. h. fast vegetationsfreie Gebiete um die Betriebe herum entstanden. Nach WENTZEL (1967) sollen gegenwärtig in Mitteleuropa annähernd 300 000 ha Wald immissionsbeeinflußt sein, wovon allein 50 000 ha auf das Bundesgebiet entfallen. Tabelle 4 enthält hierzu einige Angaben aus älteren Schätzungen für die einzelnen Bundesländer. Das Land Nordrhein-Westfalen weist — wie zu erwarten — den größten Anteil auf. Im Ruhrgebiet sollen derzeit rund 31 000 ha Wald gefährdet sein.

Bei den Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf Pflanzen muß jedoch zwischen einem Schaden und einer Schädigung unterschieden werden. Letztere sind alle Reaktionen der Pflanzen auf verunreinigte Luft, z. B. Blattnekrosen, Wuchsverminderung u. ä., die, wenn sie zu einer Minderung des Nutzungswertes führen, dann einen Schaden darstellen. Eine Schädigung kann, muß aber nicht immer die Vorstufe zu einem Schaden sein. Zu beachten ist neben einem wirt­schaftlichen auch die ideale Wertminderung und die Beeinträchtigung der Wohl­fahrts- und Erholungswirkungen von Pflanzen bzw. Grünanlagen und Wäldern.

Tabelle 4:

Ermittelte bzw. geschätzte Größe der durch Immissionen geschädigten Kulturflächen in einigen Ländern der Bundesrepublik (nach GARBER, 1967, S. 28).

Land	Wald		Landwirtschaft Obst- und Gartenbau	
	vorh. ha	geschäd. ha	vorh. ha	geschäd. ha
Baden-Württemberg	1 274 000	730 = 0,057%	1 920 000	900 = 0,047%
Bayern	2 282 000	3 120 = 0,136%	3 962 000	1 680 = 0,042%
Hessen	827 000	783 = 0,095%	1 000 000	*)
Niedersachsen	934 000	3 493 = 0,374%	2 948 000	*)
Nordrhein-Westfalen	815 000	25 000 = 3,067%	2 026 000	50 000 = 2,468%
Rheinland-Pfalz	750 000	1 282 = 0,171%	965 000	260 = 0,027%
Saarland	81 000	*)	133 500	*)

*) Erhebungen bzw. Schätzungen nicht vorhanden.

²⁶⁾ FREYTAG (1868), STÖCKHARDT (1871), VON SCHRÖDER und REUSS (1883), LINDAU (1903), WIELER (1905), SORAUER (1911), HASELHOFF, BREDEMANN und HASELHOFF (1923), STOKLASA (1923), FLURY und Andere (1932 und 1969), BERGE (1963), GARBER (1967), STRATMANN und Mitarbeiter (1969).

Immissionsschäden an Pflanzen werden besonders in Industrie- und Großstadtgebieten selten durch nur einen Schadstoff verursacht, vielmehr liegt hier — von Sonderfällen abgesehen — meist ein Komplex von phytotoxischen Stoffen vor. Schwefeldioxid und Fluorwasserstoff sind die überwiegenden pflanzenschädigenden Komponenten, Stickoxide, Chlor, Ozon usw. treten seltener und nur örtlich begrenzt in toxischen Konzentrationen auf. Diese gasförmigen Luftverunreinigungen dringen über die Spaltöffnungen in das Mesophyll der Blätter ein und können in Abhängigkeit von Toxizität, Konzentration und Einwirkungsdauer zu akuten oder chronischen Schäden — ähnlich wie beim Mensch und Tier — führen. Klimakammer-Versuche durch HILL (1971) haben ergeben, daß die Aufnahme auch vom jeweiligen Schadstoff abhängt. Bei Alfalfa (35—40 cm Höhe) ergab sich eine absteigende Reihenfolge von HF, SO₂, Cl₂, NO₂ und O₃. Akute Schädigungen entstehen meist durch kurzzeitige, aber extrem hohe Immissions-Konzentrationen. Vegetationslose Zonen um einen Emittenten herum sind hierfür typisch. Die spezifischen Schadsymptome treten dabei schon nach wenigen Tagen auf. Aus zahlreichen Begasungsversuchen ist dies bekannt, z. B. an Fichten und Kiefern durch PAVLIK (1965), wo bei SO₂-Konzentrationen von 2,0 bzw. 4,5 mg/m³ nach 15 bzw. 16 Tagen starke Schädigungen auftraten. Junge Kiefern (Propflinge), welche im Ruhrgebiet von phänotypisch gegen Industriegase resistenten Bäumen ausgesucht worden waren, zeigten bei diesen Konzentrationen hingegen fast keine Schädigungen. Chronische Schädigungen treten bei niedrigen, aber langandauernden bzw. ständigen phytotoxischen Immissionen auf. Die Auswirkungen dieser Schädigungsart führen zu einer zunehmenden Schwächung der Pflanzen mit vorzeitigem Blatt- bzw. Nadelabfall, Abnahme des Zuwachses und über ein längeres Siechtum bis hin zum Absterben, z. B. der Koniferen, vornehmlich Kiefern. Nach dem Vorgenannten können die Schadsymptome sehr vielfältiger Natur sein und folgende Veränderungen an den betroffenen Pflanzen hervorrufen: 1. Welkeerscheinungen durch Schädigungen von Mesophyllzellen und Störungen im Wasserhaushalt. 2. Verfärbungen mit hellen Chlorosen bis zu Braunverfärbungen (Nekrotisierungen). 3. Absterbeerscheinungen wie in Industriegebieten z. B. bei den ein- oder nur zweijährigen Nadeln, während ungeschädigte Koniferen 3—5jährige Nadeln aufweisen. 4. Formveränderungen der Blätter, z. B. kahn- oder löffelförmige Aufwölbungen, welche typisch für Fluorschäden sind, vom Verfasser (1970) jedoch auch bei unmittelbarer Einwirkung von Benzindämpfen an einer Roßkastanie nachgewiesen wurde, und Zwergwuchs bzw. Mißbildungen.²⁷⁾ Auch Stäube können zu Schädigungen durch ätzende Bestandteile führen und außerdem durch Lichtentzug und Verstopfung der Stomata die Assimilationsleistung der Blätter herabsetzen. Indirekte Schäden sind auch über die Anreicherung pflanzenschädlicher Stoffe im Boden möglich, wie ebenfalls PAVLIK (1965) in Düngungsversuchen mit Fluorgaben an jungen Fichtenpflanzen ermitteln konnte. Andererseits kann

²⁷⁾ Auf den Farbtafelatlus von VAN HAUT und STRATMANN (1969) über phytotoxische Immissions-Einwirkungen an Pflanzen wird hierzu hingewiesen.

durch geeignete Düngerzugaben die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegen Luftverunreinigungen erhöht werden.

Das äußere Schadbild einer rauchgasbedingten Pflanzenschädigung hängt überdies wesentlich von der arteigenen Resistenz gegenüber phytotoxischen Luftverunreinigungen ab. Durch viele Experimente (Begasungs- und Freilandversuche), z. B. der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz (LIB) des Landes Nordrhein-Westfalen sind diese Zusammenhänge weitgehend aufgeklärt. Es liegen umfangreiche Aufstellungen über land- und forstwirtschaftliche sowie gärtnerische Pflanzen vor, aus denen Resistenzreihen abgeleitet werden können. Hierbei ist aber zu beachten, daß durch das Standortklima, durch Boden-, Düngungsverhältnisse und anderen Faktoren, sowie durch individuelle Eigenschaften der einzelnen Pflanzen Abweichungen vorkommen können.

Daß in der Großstadt besonders die Nadelgehölze durch Abgase und Stadtklima bevorzugt geschädigt werden, hat unter anderem HAASE (1960) in einer diesbezüglichen Untersuchung in Hamburg beobachtet. Die nach Zonen eingeteilte Rauchbelästigung im Stadtgebiet (REIDAT, 1965) ergibt sehr deutliche Unterschiede in der Anzahl der geschädigten Nadelbäume, wobei auch die Artenzahl — durch die Resistenzunterschiede bedingt — sehr zurückging. Eine neuere Untersuchung aus dem Ruhrgebiet (KNABE, 1970) zeigt einen eindeutigen Zusammenhang der exakt ermittelten SO_2 -Belastung und den Kiefernorkommen. Immissionswerte über $0,25 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ führen zu einer kiefernwaldeeren Zone. Besonders auffallend sind im Ruhrgebiet nach WENTZEL (1971) die Habitus-Änderungen der Waldbäume als Folge der starken Luftverunreinigung, wobei Kronenabdachung und vermehrtes Astwachstum neben erheblich vermindertem Höhenwachstum zu einem typischen „Immissionshabitus“ führt.

Die besonders gegen Fluorwasserstoff (HF) sehr empfindlichen Gladiolen wurden von SPIERINGS (1963) an verschiedenen Orten in Holland untersucht, wobei er feststellte, daß die symptomatischen Blattspitzenschäden (gelblich-braune Verfärbungen) besonders in solchen Städten auftraten, wo kein Epiphytenbewuchs und eine hohe Luftverunreinigung vorlag. Nach GUDERIAN und Mitarbeitern (1969) treten bei Zwiebel- und Knollengewächsen (Tulpe, Gladiole, Krokus, Narzisse, Scilla) starke wertmindernde Schäden bereits bei Konzentrationen von $1\text{—}2 \mu\text{gHF}/\text{m}^3$ Luft und nur mehrtägiger Einwirkung auf. Auch Forstpflanzen (Fichte, Tanne, Lärche) besitzen eine hohe Fluor-Empfindlichkeit.

Im Münchener Botanischen Garten im Westen der Stadt (Nymphenburg) werden immer häufiger Schäden beobachtet, so daß bereits an eine spätere Verlegung gedacht wird. Auf die Schädigung eines in der Einflugschneise des Flughafens gelegenen Fichtenwaldes wurde bereits auf S. 13 hingewiesen.

Bei der Wirkung von Luftverunreinigungen auf *Sachgüter* (Materialien) spielen die Oxide des Schwefels eine große Rolle, die besonders bei hoher Luftfeuchtigkeit bzw. Nässe an Metallen und Baustoffen zu starken Korrosionsschäden führen. Zur Förderung dieser Schädigungen können als Katalysatoren wirkende Stoffe, z. B. Vanadiumpentoxid, welches in bestimmten Heizölen

vorkommt, beitragen. Schwefelwasserstoff ist die Ursache für das Nachdunkeln von Farben mit Blei-, Kobalt- und Quecksilberverbindungen. Industrieabgase sollen 800 Jahre alte Glasbilder am Augsburger Dom in ihrer Farbqualität bereits weitgehend beeinträchtigt haben. Bekannt sind ferner die häufigen Schäden an Autolackierungen durch zahlreiche feste Komponenten der großstädtischen Luftverunreinigungen. Textilien, insbesondere Kunstfasern (Nylon, Perlon usw.) werden durch Aldehyde und saure Rußflocken in ihrer Haltbarkeit herabgesetzt. Ozon als Hauptschädiger von natürlichen und künstlichem Gummi (Autoreifen) spielt bei uns keine Rolle wegen der verminderten Sonneneinstrahlung. Anders ist dies z. B. in den USA, insbesondere in Los Angeles. GRÜN (1965) gibt interessante Beispiele anhand von Schadensfall-Untersuchungen über zunächst nicht richtig erkannte Schädigungen von Bauwerken durch verunreinigte Großstadtluft an. Ein bekanntes Beispiel ist hierfür der Kölner Dom, dessen carbonathaltiger Sandstein durch SO_2 , H_2S und CO_2 an Festigkeit eingebüßt hat. KNETSCH (1952) betont hierzu, daß außer den verwendeten Sandsteinen, Andesit und Muschelkalk, besonders der Trachyt (Drachenfels-, Berkumer-) starke Verwitterungsschäden zeigt und die Zersetzung in den letzten 30 Jahren sehr rasch erfolgt ist. „Es scheinen hier also Verhältnisse vorzuliegen, die ‚stadtklimatisch‘ bedingt, eine enorm verstärkte chemische Verwitterung während der letzten Jahrzehnte vermuten lassen“. Die Veränderung des „Luftchemismus in den letzten 100 Jahren (Rauchgase usw.)“ . . . spielt neben Temperatureinflüssen ohne Zweifel eine entscheidende Rolle.

Nach SARRING (1971) haben langjährige Beobachtungen eines Instituts in München ergeben, daß helle Kalksteinbauten (Rathaus, Justizpalast usw.) aber auch Sandsteinbauten (Residenz, Alte Pinakothek usw.) und zahlreiche Denkmäler aus denselben Materialien oder auch aus Bronze (Figuren, Brunnen) auf Friedhöfen, in der Residenz usw. mit dem Aufkommen der Ölheizung und des Fahrzeugverkehrs sehr geschädigt wurden, . . . „was 500 Jahre gehalten hat wurde jetzt in 5 Jahren zerstört.“ SO_2 , Ruß und Straßenstaub werden als Ursachen angegeben, was neuerdings heftig umstritten ist (z. B. LUCKAT 1973 und RIEDERER 1974).

4. Luftverunreinigung und meteorologische Faktoren im Komplex Stadtklima

Da in der vorliegenden Arbeit die Besonderheiten des Stadtklimas wiederholt dargestellt werden und die Wechselwirkung der meteorologischen Faktoren mit der Luftverunreinigung besonders betont wird, soll lediglich noch auf die Strahlungsverhältnisse und das Phänomen der Dunstglocke hingewiesen werden, die sich bei geringer Luftbewegung und bevorzugt bei Inversions-Wetterlagen über der Großstadt ausbildet. Bei entsprechenden Wetterbedingungen und starker Anreicherung der bodennahen Luftschichten mit luftfremden Stoffen bildet sich auch direkt in Bodennähe eine Dunstschicht aus. KRATZER (1956, S. 138) schreibt hierzu: „Draußen lacht der blaue Himmel über der Landschaft, in der Stadt dagegen ist alles in Grau gehüllt und die Sonne scheint nur in

schwachem gelblich-rötlichem Lichte. Draußen kann man kilometerweit entfernte Kirchtürme noch sehen, drinnen verschwinden die Häuser langer Straßen bald in undurchdringlichem Grau. Je größer die Stadt, um so dichter und dicker, um so widerstandsfähiger ist ihre Dunsthaube.“

Dieser Stadtdunst bzw. die Dunstglocke über der Stadt beeinflusst besonders den Strahlungshaushalt. Vor allem wird die direkte Sonneneinstrahlung durch den Dunst geschwächt und zwar um so mehr, je länger ihr Weg (tiefer Stand im Winter) und je höher der Gehalt an Verunreinigung in der Luft ist, was ebenfalls im Winter zutrifft. Man schätzt, daß dadurch im Sommer etwa 20% und im Winter 50% der direkten Sonneneinstrahlung vom Stadtdunst absorbiert werden. Für die Schwächung der Strahlung spielen besonders die festen Aerosole, insbesondere die Rußpartikel, wie PRÜSSMANN (1965) in seiner Dissertation näher untersucht hat, eine große Rolle.

Die Strahlungsbilanz (Q) wird durch die Dunstglocke derart beeinflusst (Glashauswirkung), daß eine Erhöhung der Lufttemperatur eintritt, weil die effektive Ausstrahlung — ähnlich wie bei bewölktem Himmel — vermindert wird. Da andererseits von der Einstrahlung (Globalstrahlung) in der Stadt nur wenig Wärmeenergie zur Verdunstung verbraucht wird, da das Niederschlagswasser (Regen, Schnee) von den Dächern und Straßen rasch abfließt und eine Bodendurchfeuchtung kaum möglich ist — abgesehen von den Grünflächen — trägt die Einstrahlungsenergie vor allem zur Erwärmung der Luft bei. Die Wärmeabgabe der beheizten Gebäude unterstützt im Winter diese Temperaturerhöhung.

Die Strahlungsbilanz lautet nach FLOHN (1968, S. 19):

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

Hierbei bedeuten:

(S + H)(1 - a)	effektive Einstrahlung
(E - G)	effektive Ausstrahlung
S	direkte Sonneneinstrahlung
H	diffus gestreute Himmelsstrahlung
a	Albedo (Rückstrahlungsvermögen)
E	Ausstrahlung der Erdoberfläche
G	atmosphärische Gegenstrahlung

In Wien beobachteten DIRMHORN und SAUBERER (1959) an einem Wintertag eine erhebliche Abnahme der Belichtungsstärke durch die Luftverunreinigungen und, daß sich außerdem dieser absorbierende Stadtdunst bei schwachem Wind nur sehr langsam verlagerte. Bei einer Untersuchung der Globalstrahlung in München durch BAUMGARTNER (1962) hatte die Stadt im Jahresdurchschnitt nur 86% derjenigen Strahlung empfangen, die am Hohenpeißenberg (ca. 40 km südwestlich München) ankam. Der Unterschied in der Höhenlage der beiden Stationen beträgt 450 m und macht etwa 4,5% der Strahlungsdifferenz aus,

d. h. infolge der Dunstglocke über der Stadt kommen rund 10% weniger Strahlung an. Bei ähnlichen Messungen durch GRÄFE und SCHLUNK (1965) im Hamburger Raum wies das Stadt- und Industriegebiet im Vergleich zur näheren Umgebung ebenfalls erhebliche Strahlungsminderungen auf. Im Mittel längerer Zeiträume jedoch geringer als im Ruhrgebiet. „Diese Globalstrahlungsminderungen werden auf die großstädtischen und industriellen Luftverunreinigungen zurückgeführt und ermöglichen eine direkte Kontrolle der Luftverschmutzung.“ Nach DOMRÖS (1966) beträgt der Lichtverlust im Kern des Ruhrgebietes bis zu 50%.

Über einen Rückgang der Sonnenscheindauer wird auch aus Paris und amerikanischen Städten berichtet. In England sollen sich dagegen in einigen Industriestädten durch technische Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft die Einstrahlungsverhältnisse wieder verbessert haben.

Zusammenfassend ist festzustellen: Die wesentlichsten Ursachen für die Ausbildung eines eigenen Stadtklimas liegen in den tiefgreifenden Veränderungen der Lufttemperatur, der Windverhältnisse, des Niederschlages einschließlich Tau und Nebel, der Strahlungsverhältnisse und schließlich der Luft durch Verunreinigungen. Bei starker Luftbewegung, Bewölkung und Regen verschwinden jedoch die klimatischen Unterschiede zwischen Stadt und Land, so daß LINKE (1940, S. 76) schreibt: . . . „Das Stadtklima ist also ein Schönwetterphänomen, das bei Windstille und wolkenlosem Himmel seine stärkste Entfaltung zeigt.“ Die zahlreichen Einzeluntersuchungen hierzu wurden von BREZINA und SCHMIDT (1937), KRATZER (1956), GEIGER (1961), BOER (1964), BLÜTHGEN (1966), BERENY (1967) und neuerdings von HEIGL (1969) zusammengefaßt und kritisch diskutiert.

Die graphische Darstellung (Abb. 2) soll die Wechselwirkung der meteorologischen Faktoren mit der Verunreinigung der Großstadtluft im Komplex des Stadtklimas etwas veranschaulichen. Tabelle 5 gibt außerdem einen Überblick über die Vielzahl der bisherigen Untersuchungen zu diesem Problem.

Tabelle 5:
Bisherige Untersuchungen in Städten über Luftverunreinigungen und Stadtklima *).

Stadt	Art der Untersuchung	Forscher und Jahr
Aschaffenburg	Luftuntersuchungen	NOLL, 1965
Bad Tölz	Staubgehalt der Luft	KÄHLER u. BRANDTNER, 1938
Basel	Stadtluftuntersuchungen	BÄUMLER u. MÜLLER, 1959
Berlin	Lufthygien. Eigenschaften	FLACH u. WÜRFEL, 1952
Berlin	Staubniederschlagsmessungen	BRACHT, 1960
Berlin (DDR)	Lufthygien. Untersuchungen	KAHL u. Andere, 1963
Berlin-Dahlem	Staubgehalt der Luft	FETT, 1965
Berlin	Staubniederschlags-Messungen	KAMPF u. SCHMIDT, 1967
Berlin	Mess. v. Kohlenwasserstoffen	LAHMANN u. HÄNTZSCH, 1969
Bochum	Staubgehalt der Luft	BROCKHAUS u. Andere, 1963
Bonn	Stadtklimatische Untersuchungen	EMONDS, 1954
Bremen	Rechn. Erm. d. SO ₂ -Grundbelast.	FORTAK, 1966
Darmstadt	Pollen- und Sporeng. der Luft	STIX, 1969
Dortmund	Kontinuierl. Staubbmessungen	BARTH, 1962
Dresden	Straßenluftuntersuchungen	VASU, 1928
Dresden	Klima, Ruß- u. Staubgehalt der Luft	DONAU, 1931
Düsseldorf	Staubgehalt der Luft	BROCKHAUS u. Andere, 1963
Duisburg	Ergebnisse von Luftuntersuchungen	ALTVATER, 1962
Duisburg	Unters. über SO ₂ -Immissionen	STRATMANN, BUCK u. A., 1965
Duisburg	Schwebstaub-Konzentrationen	KETTNER, 1964
Duisburg	Lufthygien. Gutachten	Stadtverwaltung, 1965
Duisburg	Dauerunters. z. Fluorproblem	SCHNEIDER, 1968
Erfurt	SO ₂ -Messungen	KAUNZNER, 1963
Frankfurt/M.	Blütenstaub in der Luft	PHILIPPI, 1961
Frankfurt/M.	Ber. ü. Luftverunrein. und Lärm	WIEGAND u. ZINKE, 1961
Frankfurt/M.	SO ₂ -Immissionsbelastung	KÖRNER, 1966
Frankfurt/M.	Zeitl. Veränd. d. Staubpegels	KÖRNER, 1967
Frankfurt/M.	SO ₂ -Konzentrationsverteilung	GEORGII u. Andere, 1968
Frankfurt/M.	Lufthyg.-meteorol. Unters.	Plan.-Gem. Untermain 1970/71
Freiburg	Staubkonzentrat. und Inversionen	REIFFERSCHIED, 1967
Geislingen/St.	Staubniederschlagsmessungen	BAUM, 1966
Göteborg	SO ₂ -, CO- und Staubbmessungen	Gesundheitsamt, 1966
Graz	SO ₂ -Ablagerungen i. Stadtgebiet	STEINHAUSER u. CHALUPA, 1956
Graz	Mess. d. Staubablagerungen	STEINHAUSER, 1966
Halle/S.	Mess. d. Staubsedimentation	HAMMJE, 1963
Halle/S.	SO ₂ -Messungen	KNAUER, 1963
Hamburg	Staubniederschlags-Unters.	GRÄFE u. SCHÜTZE, 1966
Hamburg	Säurestufen d. Niederschlages	GRÄFE u. SCHÜTZE, 1967
Hanau	Staubbelastung	KÖRNER, 1968
Hannover	Bleioxidbest. i. Schwebestaub	EINBRODT u. LIFFERS, 1968
Innsbruck	Verteilung der Aerosole	GINNER u. HESS, 1937
Karlsruhe	Mess. d. SO ₂ -Gehaltes der Luft	HÖSCHELE, 1965
Kassel	Staubniederschlagsmessungen	KÖRNER, 1970
Köln	Gutacht. ü. Luftverunreinigung	BERGE, 1963
Köln	SO ₂ -Belastung von 1964—1968	GUTHOF u. DEIMEL, 1967
Leipzig	Städteklimatologische Unters.	HESS, 1951
Linz	Rauch- und Industriegase	WEISS u. FRENZEL, 1956
Linz	Witterung und Klima	WEISS u. FRENZEL, 1958

Stadt	Art der Untersuchung	Forscher und Jahr
Linz	Städtehygienische Situation	JAROSCH, 1967
London	SO ₂ -Messungen seit 1954	COMMINS a. WALLER, 1967
Ludwigshafen	SO ₂ -Immissions-Messungen	LAHMANN u. Andere, 1967
Mainz	Denkschrift z. Reinh. der Luft	Stadtverwaltung, 1964
Mannheim	Unters. v. Rußen u. Luftstäuben	KUTSCHER u. TOMINGAS, 1966
Mannheim	SO ₂ -Immissions-Messungen	LAHMANN u. Andere, 1967
Marseille	SO ₂ - und Windmessungen	ORIEUX et POUGET, 1966
Marseille, Paris et Briançon	Pollen- und Sporengehalt der Luft seit 1955	CHARPIN, AUBERT, GUEHE, LAURIOL et CHARPIN, 1966
Mülheim/R.	Schwebstaubgehalt der Luft	LANGMANN u. KETTNER, 1965
Münster/Westf.	Unters. ü. Staubbiederschlag	FRANKE, 1962
Münster/Westf.	SO ₂ -Konzentration der Luft	ZSCHAUBITZ, 1964
Münster/Westf.	Bleioxidbest. i. Schwebstaub	EINBRODT u. LIFFERS, 1967
München	Stadtklimatische Studien	BÜDEL u. WOLF, 1933
München	Beiträge zum Stadtklima	KRATZER, 1968
München	Berichte ü. Luftreinhaltung	SCHWEGLER, 1967 u. 1969
Nordrhein-Westf. Städte **)	Reinhaltung der Luft, Messungen von SO ₂ - und Staub-Immissionen	Ber. d. Arbeits- u. Sozial- ministers NW, 1969
Nordrhein-Westf. Städte **)	Untersuchungen über NO ₂ - Immissionen	HARTKAMP und STRAT- MANN, 1969
Nürnberg	Das Klima der Stadt	SPEK, 1943
Oberhausen	Bleioxidbest. i. Schwebstaub	EINBRODT u. LIFFERS, 1967
Paris	Luftverunr. u. Gesundheit	MEMETRIER e. PELLETRIER, 1967
Rostock	Winterliche Staubverteilung	SCHMIDT u. OTTO, 1964
Rotterdam	Luchtverunr. e. volksgezoznh.	BUREMA u. Andere, 1964
Stockholm	Luftförensungsundersöcknungen	VON UBISCH u. NILSON, 1967
Stuttgart	Stadtklima und Luftverunr.	SCHWALB, 1960
Stuttgart	Staubbiederschlags-Messungen	GREINER, 1962
Stuttgart	Klima- und Grünplanung	OEHMICHEN, 1962
Wien	Unters. z. Luftchemie	BANGERT, 1958
Wien	Klima und Bioklima der Stadt	STEINHAUSER u. Andere, 1959
Wien	CO-Messungen im Stadtbereich	DIRMHIRN, 1963
Wien	Feste u. gasförmige Luftverunr.	BAUMANN u. Andere, 1966
Wien	Benzpyrengelhalt der Luft	PAILER u. Andere, 1966
Wiesbaden	Staubbelaftung	KÖRNER, 1968
Zürich	Luftunters. von 1961—1965	HESS, 1966
Zürich	Staubbiederschlags-Messungen	DEUBER u. Andere, 1967
Zwickau/Sa.	Mess. d. Luftverunreinigungen	SÄNDIG, 1963

*) Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Unberücksichtigt blieben ältere Untersuchungen und aus amerikanischen Städten, da sie durch die große Anzahl von Hausmüll-Verbrennungsanlagen, Kraftfahrzeugen und auch anderen klimatischen Bedingungen mit europäischen bzw. deutschen Verhältnissen kaum vergleichbar sind.

**) SO₂, NO₂ und Staub in: Bochum, Castrop-Rauxel, Dortmund, Düsseldorf, Essen, Gelsenkirchen, Oberhausen; ferner SO₂ in: Bottrop, Duisburg, Hagen, Mülheim, Recklinghausen, Wanne-Eickel; ferner NO₂ in: Krefeld, Ringenberg, Grevenbroich, Nievenheim, Lünen.

II.

TESTPFLANZEN, INSBESONDERE FLECHTEN ALS INDIKATOREN DER LUFTVERUNREINIGUNG UND DES STADTKLIMAS

1. Allgemeines über Testpflanzen, insbesondere Flechten

Mit der beginnenden Industrialisierung um die Mitte des vorigen Jahrhunderts führten die beträchtlichen Rauchschäden in der Land- und Forstwirtschaft zwangsläufig zu prozessualen Streitigkeiten zwischen den Waldeigentümern und den Industrierwerken über den zu leistenden Schadenersatz. Hierbei zeigte sich bald, daß es äußerst schwierig war, den eindeutigen Nachweis für die Herkunft der phytotoxischen Immissionen zu erbringen. Besonders in den Fällen, wo mehrere Industriebetriebe in Nachbarlage verschiedene Schadstoffkomponenten in die freie Umgebung abließen, war die Herkunft der Immissionen häufig umstritten.

Eine gewisse Klärung in den Methoden zum Nachweis von industriellen Immissionen brachte zuerst SORAUER (1904) mit dem sog. Fangpflanzenverfahren. Hiernach werden bestimmte, gegen Rauchgase besonders empfindliche Pflanzen unter gleichen Boden-, Düngungsverhältnissen usw. in Holzkästen eingepflanzt und exponiert bzw. um den fraglichen Betrieb herum angebaut, wobei gleichzeitig unter möglichst gleichen Bedingungen ein Versuch in einem rauchschadensfreien Gebiet durchgeführt wird. Die Pflanzen werden laufend beobachtet und später der mikroskopischen und chemischen Analyse unterzogen. Hierbei sind besonders die Bodenverhältnisse zu beachten, da mit dem Flugstaub die natürlichen Verhältnisse besonders in Bezug auf die Düngung gestört werden und dadurch wiederum das äußere Schadbild der Pflanzen beeinflusst werden kann, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben (PAVLIK 1965, GUDERIAN und STRATMANN 1968). Bei den letzteren Untersuchungen wurden an sechs Stationen in 60 l fassenden Holzkübeln Obstgehölze und Beerensträucher, landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzpflanzen sowie Forstkulturen um die Eisenerzröstanlage Füsseberg in Biersdorf/Sieg über mehrere Vegetationsperioden hinweg aufgestellt und beobachtet bzw. untersucht. Gleichzeitig wurden auch die SO_2 -Immissionen registriert.

Das Fangpflanzenverfahren nach SORAUER wurde dann mehrfach modifiziert, insbesondere die Testpflanzen geändert. Eine Abwandlung wurde z. B. von SCHÖNBECK (1963) und GARBER (1967) angegeben. Letzterer verwendet Kunststoff-Eimer als Versuchsgefäße, die in der Praxis zwar gut zu handhaben sind, sich jedoch nicht für massenwüchsige bzw. tiefwurzelnende Pflanzen eignen.

Nach den mit der Fangpflanzenmethode gemachten guten Erfahrungen zur Ermittlung der Herkunft von industriellen Schadstoffen lag es nahe, höhere Pflanzen als biologische Indikatoren für Luftverunreinigung und Klima auch in Städten zu verwenden. Von BOBROV (1955) wurde im Gebiet von Los Angeles

Sauergras (*Poa annua* L.) zur Erforschung des Smogs verwendet und als besonders empfindlich auf die smogspezifischen phytotoxischen Stoffe erkannt. Neuerdings werden in den USA (HECK and HEAGLE, 1970) zur Erforschung des „photochemical smog“, welcher aus den Bestandteilen der Autoabgase (Kohlenwasserstoffe und Stickoxide) durch Einwirkung von Sonnenlicht entsteht, Tabakpflanzen als empfindliche Reaktionspflanzen benutzt, wobei die laufend nachwachsenden Blätter eine einheitliche Empfindlichkeit aufweisen, so daß aus der Reaktion der Pflanzen auf die Verteilung und Konzentration photochemischer Oxydationsprozesse geschlossen werden kann. Nach KÜHL und WAGNER (1970) eignen sich hierzu auch Petunien sehr gut, wie sie aus Begasungsversuchen ermitteln konnten. In Lausanne wurden 96 Stunden alte Linsensprößlinge (*Lens culinaris*) im Stadtgebiet exponiert, wobei sie bereits nach 10 Tagen meßbare Unterschiede in der Entwicklung aufwiesen. Diese zeigten sich sowohl im Aussehen der Pflänzchen als auch im Längenwachstum. Die gleichzeitig ermittelten SO_2 -Werte lagen im Winter bei 0,117 und im Sommer bei 0,029 mg/m^3 (CHOLLET et alia, 1967).

Im Stadtgebiet von Hamburg wurden zur Erfassung von Pflanzenschäden durch Abgase der Kraftfahrzeuge an besonders stark frequentierten Straßenkreuzungen Zierpflanzen (Petunien, Pelargonien, Fuchsien und andere) in Holzkübeln aufgestellt. HETTICHE (1960) berichtet darüber, daß die Blätter der Pflanzen sehr klein blieben, die Blüten kaum zur Entwicklung kamen und Pflanzenteile bzw. ganze Pflanzen abstarben. GARBER (1965/66) hat ebenfalls in Hamburg in ähnlicher Weise an mehreren Stellen inner- und außerhalb des Einflußbereiches eines Industriegebietes Gefäßversuche mit Buschbohnen, Salat, Spinat usw. durchgeführt und statistisch gesicherte Mindererträge durch die Industrie-Immissionen festgestellt, wobei die SO_2 -Durchschnittswerte bei 0,4 bis 0,5 mg/m^3 lagen, Spitzenwerte jedoch auch über 0,75 mgSO_2/m^3 . Nach SCHÖNBECK, SCHOLL und Mitarbeitern (1970) ergab eine Exposition von Graskulturen (*Lolium multiflorum* und *L. perenne*) in Kunststoffgefäßen kultiviert, in etwa 1 km Abstand in Nord-Südrichtung durch das Ruhrgebiet, eine interessante Abhängigkeit des Fluorgehaltes dieser Gräser von den Industrie-Immissionen. Die Fluor-Gehalte aus 6 Schnitten stiegen von 1,26 mg F/100gTS (TS = Trockensubstanz) aus unbeeinflusster Lage stetig zum Zentrum des Ruhrgebietes an und gelangten mit 3 mg F/100gTS in bereits tiergefährdende Konzentrationen.²⁸⁾

Ausgehend von Beobachtungen der Botaniker und Pflanzengeographen über das Vorkommen der niederen Pflanzen in Städten und Rauchschaengebieten,

²⁸⁾ Ebenfalls im Ruhrgebiet hat VAN HAUT (1972) Blätterkohlpflanzen zur Erkennung von fluor-, chlor-, schwefel- und bleihaltigen Immissionskomponenten exponiert. Diese Pflanze (mancherorts auch Grünkohl genannt), eignet sich wegen ihrer Resistenz gegenüber Luftverunreinigungen, ihrer relativen Frostunempfindlichkeit und großen Blattoberflächen besonders zur Erfassung der erhöhten herbst/winterlichen Immissionen und auch zum Nachweis polyzyklischer Kohlenwasserstoffe, darunter auch das kanzerogene Benz(a)pyren.

besonders der Verbreitung von baumbesiedelnden Flechten, z. B. durch ARNOLD (1891/1901) in München und Oberbayern, finden sich dann auch in der Rauchschadenliteratur entsprechende Hinweise, so schreiben z. B. HASELHOFF und LINDAU (1903): „Zum Schlusse sei noch auf ein sehr interessantes Verhalten hingewiesen, daß die Flechten zeigen. Es ist gewiß schon häufig aufgefallen, daß die Bäume in den Parkanlagen größerer Städte niemals einen Behang von Flechten zeigen. Auch die in und auf der Rinde lebenden Krustenflechten fehlen gänzlich. Nicht ohne triftigen Grund ist als Ursache für das Verschwinden dieser sonst so häufigen Gewächse der Steinkohlenrauch angegeben worden. Wenn nun auch nicht absolut feststeht ob nur der Ruß oder die schweflige Säure hemmend auf die Flechtenvegetation einwirken, so erscheint es doch wahrscheinlicher, die letztere dafür verantwortlich zu machen, denn sonst müßten ja an rußgeschützten Stellen die Flechten trotzdem ihr Fortkommen finden.“ Nach der Angabe von einigen Beispielen hierzu aus dem Tiergarten und größeren Parkanlagen in Berlin sowie in Großlichterfelde, wo noch 1887 an den Pappeln eines Feldweges, Flechten die Rinde von oben bis unten bedeckten, führen sie aus: „Jetzt sind, wie fortlaufende Beobachtungen zeigten, Flechten dort bis auf wenige Spuren verschwunden. Der Weg war intakt geblieben, aber ringsum waren Häuser und Fabriken gebaut worden, die aus den Essen Steinkohlenrauch entließen.“

Sie kommen daher zu dem bemerkenswerten Schluß: „Vielleicht läßt sich diese große Empfindlichkeit der Flechten zur schnellen Erkenntnis von Rauchschäden verwerten. Allerdings müßten zunächst noch mehr Beobachtungen darüber gesammelt werden und namentlich ihr Verhalten in Rauchgebieten näher studiert werden“ (S. 120).

Auch WIELER (1905) berichtet, daß im Rauchschadengebiet einer Zinkhütte bei Stolberg im Rheinland die niedrige Vegetation, die Gräser, die krautartigen Pflanzen und kryptogamischen Gewächse Veränderungen erleiden, auch, daß die Überpflanzen stark zurückgetreten sind, so daß . . . „die Stämme ganz oder fast frei von Moosen und Flechten sind.“

„Überall erweisen sich die Flechten als untrügliche Indikatoren in Bezug auf die leichtesten Verunreinigungen sowohl des Wassers als auch der Luft . . .“ betont auch ERICHSEN (1928, S. 57).

Im Lehrbuch „Forstschutz“ von HESS-BECK (1930) wird ebenfalls darauf hingewiesen, daß in ausgesprochenen Rauchgebieten neben landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, wie Rüben, Bohnen . . .“ vor allem die an Baumrinden und Ästen epiphytisch wachsenden Flechten, z. B. die gemeine Astflechte (*Parmelia physodes*), sehr beeinträchtigt werden, so daß stark rauchgeschädigte Bestände durch völliges Fehlen des grauen Flechtenbewuchses an den Rinden auffallen. Auch innerhalb der Städte sind Parkbäume niemals mit größeren Flechten bewachsen, was ebenfalls als Rauchwirkung anzusehen ist.

Unter Umständen wird also das Verhalten solcher hochempfindlicher Gewächse bei der Beurteilung, ob Rauchschäden vorliegen, mit heranzuziehen sein“ (1930, S. 114).

Obgleich man also bereits um die Jahrhundertwende erkannt hatte, daß Flechten sehr empfindlich auf Verunreinigungen der Luft, bzw. Veränderungen der Biosphäre überhaupt, reagieren, dauerte es nahezu 60 Jahre, bis diese Indikatoreigenschaft in wissenschaftlicher Weise zum Studium des Einflusses von Luftverunreinigung und Stadtklima angewendet wurde. In diesem Zeitraum befaßten sich allerdings zahlreiche Forscher mit der Flechtenvegetation in Städten und um einige Industriebetriebe (vergl. Tabelle 6 und 7). Hierauf und auf die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen wird später noch näher eingegangen.

2. *Biologie und Ökologie der Flechten, insbesondere der rindenbesiedelnden in Städten*

Da es nicht Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist, die derzeitige Verbreitung der Flechtenvegetation im Untersuchungsgebiet zu erfassen und kartenmäßig darzustellen, sondern im wesentlichen darin besteht, die Blattflechte *Hypogymnia physodes* (L) Nyl., syn. *Parmelia physodes* (L) Ach. als biologischen Indikator für die Veränderungen der Biosphäre (Stadtklima und Luftverunreinigung), gewissermaßen als „Meßinstrument“ zu verwenden und ihre Veränderung unter der Einwirkung von Luftverunreinigung und Stadtklima zu ermitteln, soll die *Biologie* der rindenbesiedelnden Flechten nur kurz dargestellt werden, um etwas ausführlicher auf die *Ökologie*, insbesondere auf die meteorologisch-klimatologischen Faktoren einzugehen, da die Entwicklung der Flechten, vornehmlich in Städten, weitgehend von der Tageshelligkeit (Licht), der Feuchtigkeit (Niederschlag, Taufall, Nebel) und der Temperatur abhängt und gerade diese Faktoren in Großstädten und industriellen Ballungsräumen erhebliche Veränderungen gegenüber der natürlichen, unbeeinflussten Landschaft erfahren.

Allgemeines zur Biologie der Flechten

Die Flechten (Lichenen) gehören zu den eigenartigsten Organismen der Pflanzenwelt. In ihren vielgestaltigen äußeren Wuchsformen, die bereits durch A. VON HUMBOLDT (1806) in seinen „Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse“ beschrieben wurde, erscheinen sie als einheitliche Organismen. In Wirklichkeit aber sind sie Pilze, welche mit Algen in einer so engen Symbiose leben, daß ein morphologisch und physiologisch einheitliches Gewächs entsteht. Die Flechtenpilze sind meist Schlauchpilze (Ascomycetes), die Flechtenalgen können zumeist der Gattung nach mit freilebenden Arten identifiziert werden, es handelt sich überwiegend um Grün- und Blaualgen. Der gesamte Flechtenthallus setzt sich somit aus einem lichenisierten Pilz (Mycobiont) und einer lichenisierten Alge (Phycobiont) zusammen, deren Anteile an der von ihnen gebildeten Flechte als Gonidien bezeichnet werden. Bei den meisten der 400

Gattungen und etwa 18 000 bis 20 000 Arten (MATTICK 1954) ist der Pilz vorherrschend und auch für die Wuchsform der Flechten bestimmend. Es können sich auch sogenannte „Halbflechten“ (Hemilichenes) durch eine sterile Verbindung zwischen Pilz und Alge bilden. Nicht selten gesellt sich auch zur Flechte ein zweiter Pilz als „Parasymbiont“ oder Flechtenparasit, so daß besonders auffallende habituelle Veränderungen der Wuchsform entstehen können (STEINER 1965).

Nach ihren äußeren Wuchsformen unterscheidet man Krusten-, Blatt- (Laub) und Strauchflechten. Die Krustenflechten sind entweder ins Substrat (Unterlage) eingesenkt oder sehr dicht mit ihm verbunden. Die Blattflechten bilden einen flächenhaften Thallus, welcher auf der Unterlage, z. B. Baumrinde, mehr oder weniger fest anhaftet. Bei den Strauchflechten steht der Flechtenkörper strauch- oder bartförmig dreidimensional von der Unterlage ab.

Die Vermehrung der Flechten erfolgt in der Hauptsache vegetativ, indem sich Bruchstücke des Thallus, die durch mechanische Einwirkungen entstehen, ablösen und die sich dann bei zusagendem Standort und klimatischen Bedingungen zu neuen Flechten entwickeln können. Für die Fortpflanzung bilden sich jedoch auch Soredien als spezifische Vermehrungskörper, die aus einer oder wenigen Algenzellen, umwickelt von Pilzhyphe, bestehen. Als weitere Verbreitungsorgane kommen noch unterschiedlich geformte kleine Auswüchse der Thallusoberfläche — Isidien — in Betracht, die ebenfalls abbrechen und zu neuen Flechten heranwachsen können.

An die Umweltbedingungen (Licht, Feuchtigkeit usw.) und an die Unterlage, auf denen sie wachsen, stellen sie nur sehr geringe Ansprüche, so daß sie zu den genügsamsten aller Pflanzen überhaupt zählen. Sie sind daher in allen Klimabereichen der Erde zu finden und siedeln noch unter extremen Bedingungen, wo andere Gruppen des Pflanzenreiches nicht mehr existieren können. Sie gedeihen daher sowohl in Wüstengebieten als auch in der arktischen Tundra und im Hochgebirge. Am häufigsten verbreitet sind sie in kühlen und feuchten Klimaten . . .“ noch in den unwirtlichsten Gegenden der Erde vermögen sie zu gedeihen, und sie stellen dort die äußersten Vorposten pflanzlichen Lebens dar“ (MATTICK, 1953, S. 264).

In gleicher Anspruchslosigkeit und Genügsamkeit vermögen sie nahezu alle Substrate zu besiedeln und leben auf ihnen als Epilichenes oder in sie hineinversenkt als Endo- oder Kryptolichenes. Sie gedeihen auf sterilen Sandböden, humushaltigem Erdboden aber auch auf nacktem Fels, Stein- und Betonmauern, Dachziegeln, auf abgestorbenem Holz (Dachschindeln, Bretterhütten, Zaunlatten usw.) sogar auf Glas, Knochen, Eisenteilen (Grabkreuze) und ganz besonders auf den Rinden und Borken der Bäume. Durch ihre große Anpassungsfähigkeit werden sie daher auch die „Pioniere der Pflanzenwelt“ (NIENBURG 1921) genannt. Dies gilt besonders für die Krustenflechten, die ihre Unterlage durchdringen und so auf Kalk- bzw. Silikatgestein einige Millimeter tiefe Schichten auflösen können und somit höheren Pflanzen gewisse Standortbedingungen schaffen und Ansiedlungen erst ermöglichen.

In dem Verhältnis der Zahl der Flechtenarten zu der Zahl der Gefäßpflanzen, dem „Flechtenkoeffizienten“ nach MATTICK (1953) drückt sich ebenfalls die Lebensfähigkeit der Flechten bei Ungünstigerwerden der klimatischen Verhältnisse aus. So beträgt dieser Koeffizient z. B. für Deutschland als Ganzes 0,48, für Schweden bereits 0,95, für Spitzbergen 3,5 und für die Antarktis 100, das bedeutet beim letzteren, daß 200 Flechtenarten nur 2 Gefäßpflanzen gegenüberstehen. Diese Zunahme des Flechtenkoeffizienten vom Äquator zu den Polen hin findet sich in ähnlicher Weise auch in der vertikalen Verbreitung der Pflanzen vom Tiefland zum Hochgebirge. So kommen in Tirol oberhalb von 3 400 m noch über 100 Arten vor und im Himalaya-Gebirge wurden bei 6 200 m Höhe noch Flechten gefunden. Von POELT wurde dort die montan-ozeanische Flechte *Parmelia sinuosa* bei über 5 000 m Meereshöhe über den Gletschern an Gestein beobachtet (zit. nach SCHAUER 1965, S. 146). In seiner Dissertation über die ozeanischen Flechten, welche an hohe Niederschläge und Luftfeuchtigkeit gebunden sind, hat SCHAUER (1965) jedoch gezeigt, daß viele Flechten wiederum sehr von den jeweiligen Standortfaktoren, insbesondere dem Lokalklima und der Waldform abhängen. Er beschreibt daher in einigen Beispielen die charakteristische Flechtenvegetation in typischen Waldformen der Nordalpen (S. 134 ff.).

Dieser erstaunlichen Resistenz bei den klimatischen Bedingungen, wie Feuchte und Trockenheit, Nässe und Schneebedeckung, Hitze und Kälte steht nun eine bemerkenswerte Empfindlichkeit der meisten Flechtenarten Veränderungen der Biosphäre, insbesondere verunreinigter Luft gegenüber, denn nahezu alle Lichenologen beklagen den Rückgang und das zum Teil völlige Verschwinden der Flechten in Städten bzw. in der Umgebung größerer menschlicher Siedlungen, Industriebetrieben usw. in den letzten Jahrzehnten. „In der Nähe des Menschen und seiner Kulturen und Siedlungen verschwinden sie immer mehr, vertrieben durch die Verunreinigungen der Luft (Rauch und Abgase) und durch die ungünstiger (vor allem trockener) gewordenen mikroklimatischen Verhältnisse ihrer Standorte.“ (MATTICK, 1953, S. 264). Von einigen Großstädten²⁹⁾ liegen zeitlich verschiedene Untersuchungen vor, die diesen bedauerlichen Sachverhalt deutlich belegen. So berichtet KLEMENT (1966) vom Flechtensterben im nördlichen Deutschland, besonders der Laub- und Strauchflechten . . . „zahlreiche Arten, die noch zwischen den beiden Weltkriegen als häufiger vorkommend bezeichnet wurden, zählen heute bereits zu Seltenheiten.“ Ähnliches gilt für große Teile der Nordalpen und des Alpenvorlandes wie SCHAUER (1965) feststellen mußte. Besonders für die ozeanischen Flechten, die ein ausgeglichenes Waldklima mit ständig hoher Luftfeuchtigkeit verlangen, betont er . . . „die Einflüsse des Menschen auf die Flechtenwelt, deren Bedeutung nicht stark genug eingeschätzt werden kann“ (S. 144) und ferner (S. 145): „Unsere Karten zeigen vielfach frühere und zwar oft sehr üppige Vorkommen in den großen Waldungen südlich von München und in den Wäldern des fränkischen Jura,

²⁹⁾ Berlin, Dresden, Hamburg, London, München, Paris, Stockholm.

deren einstiger Flechtenbestand heute völlig oder zumindest weitgehend erloschen ist.“ Arten wie *Parmelia maxima* und andere sind daher fast völlig verschwunden. Ähnlich äußert sich auch BARKMAN (1961, 1966) über die zunehmende Verarmung der Kryptogamenflora durch anthropogene Einflüsse in Holland während der letzten hundert Jahre.

ARNOLD (1897—1901), welcher die Lichenenflora von München und seiner Umgebung über einige Jahrzehnte hinweg sehr eingehend beobachtet hat, klagte schon um die Jahrhundertwende, daß durch die Veränderungen der Wälder vom vorherrschenden Laubwald (Eichen und Buchen) zum Nadelholz die Laubholz bevorzugenden Rindenflechten immer mehr eingeschränkt werden und außerdem die alten Bäume aus den Wäldern verschwinden und somit gewisse Flechtenarten aussterben und überhaupt wird . . . „durch die gegenwärtige herrschende Behandlung der Wälder vielen Flechten das Dasein erschwert“ (1900, S. 99) . . . „Baumbärte, besonders *Usnea ceratina*, kommen um München an Buchen nur noch selten vor, waren aber früher häufiger“ . . . bemerkt er hierzu und an anderer Stelle über den Forstenrieder Park: „Die Baumbärte waren noch vor zwanzig Jahren weit häufiger als in der Gegenwart“ (1900, S. 13 und 57). Was würde er wohl heute sagen?

Auch BEHR (1954) bedauert, daß im Odenwald, welcher zu 60% aus Waldflächen besteht, die Flechtenvegetation — obgleich sie über 500 Arten aufweist — in den letzten Jahrzehnten sehr verarmt ist. Den Quotienten aus Gebietsgröße und Artenzahl gibt er mit 0,2 an, während er für die Umgebung Münchens nach KLEMENT (1952) noch 0,27 beträgt.

In der heutigen zweckbestimmten Wald- und Forstwirtschaft werden alte, bzw. abgestorbene Bäume erst recht nicht mehr geduldet. In den Obstplantagen wird gekalkt und gespritzt; ähnliches erfahren auch die Bäume an den Straßen, soweit sie nicht überhaupt beseitigt wurden. Moore werden entwässert, Flüsse und Bäche begradigt und ganze Landschaften durch neue Siedlungen, Straßen (Autobahnen), Industrieanlagen usw. tiefgreifend verändert. Dies alles muß sich in ungünstiger Weise auf die Flechtenvegetation auswirken. Irgend einen Schutz genießen sie zudem überhaupt nicht, im Gegenteil.³⁰⁾

Forscht man jedoch nach den genauen Ursachen des auffälligen Rückganges oder des völligen Verschwindens zahlreicher Flechtenarten, so ergibt sich ein sehr unbefriedigendes Ergebnis, worauf später bei der Erörterung der Verhältnisse in Großstädten noch eingehend hinzuweisen ist. Vorab ist jedoch zu sagen, daß makroklimatische Veränderungen, insbesondere hinsichtlich der für die Flechten lebensnotwendigen Feuchtigkeit (Niederschlag, Luftfeuchtigkeit bzw. Taufall), sowie der Temperatur- und Windverhältnisse kaum ausschlaggebend sein können, da sich die Jahresmittel dieser Faktoren noch immer im Rahmen langjähriger normaler Klimaschwankungen bewegen. So sind letztlich nur

³⁰⁾ Im Pflanzenschutzgesetz vom 10. 5. 1968 i. d. F. vom 27. 7. 1971 (BGBl. I S. 352/1161) werden Moose und Flechten als Schadorganismen neben schädlichen Algen und Pilzen, Bakterien, Unkräutern und parasitischen höheren Pflanzen angeführt.

Veränderungen der Umwelt, insbesondere die Verunreinigung der bodennahen Luftschichten (Mikroklima), die wiederum überwiegend durch anthropogene Ursachen hervorgerufen werden, als verantwortlich anzusehen.

Zur Ökologie der epixylen Flechten

Für das Gedeihen der epixylen Flechten sind die klimatischen, edaphischen und biotischen (anthropogenen) Umweltfaktoren besonders entscheidend, da schon geringfügige Veränderungen nachhaltige Wirkungen für die Flechten haben können, wobei besonders mikroklimatische Einflüsse von großer Bedeutung sind. Die vorgenannten Umweltfaktoren müssen daher einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

Klimatische Faktoren

Von den klimatischen Faktoren sind es die Tageshelligkeit (Licht), die Feuchtigkeit (Niederschlag, Tau, Nebel) bzw. Trockenheit, Temperatur sowie in zunehmendem Maße die Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der bodennahen Luftschichten, die die lebenswichtigen physiologischen Vorgänge der Flechten an dem jeweiligen Standort beeinflussen und bestimmen.

Hierzu hatte bereits der k.-bayer. Forstmeister VON KREMPPELHUBER (1861) bemerkt: . . . „Nebst hinreichender Feuchtigkeit ist auch den Lichenen ein gewisses Maass von Licht und Wärme zu ihrem Wachstum und Gedeihen unentbehrlich, doch scheint dieses Maass sehr verschieden zu sein. Dem grössten Theil unserer Lichenen sagt offenbar ein mittleres Maass von Licht und Wärme am besten zu, und die Feuchtigkeit, welche ihnen die Niederschläge aus der Atmosphäre, Regen, Schnee, Thau und Nebel spenden, reicht vollkommen zu ihrer ungestörten Entwicklung und zur Fristung ihres langen Lebens hin“ (S. 69).

Diese Faktoren stehen naturgemäß in enger Wechselbeziehung, so daß der Einfluß einzelner Faktoren für das Wachstum bzw. Verschwinden der Flechten nicht eindeutig beurteilt werden kann. Dies gilt besonders für die Verhältnisse in Städten und Industriegebieten.

Die Tagesbelichtung, kurz Helligkeit oder *Licht* genannt, scheint am wichtigsten zu sein, denn man kann immer wieder feststellen, daß üppiger Flechtenbewuchs sich nie im Innern von Waldbeständen, z. B. Fichtenwald, findet. Stets sind es die Bäume an den Waldwegen, an Lichtungen oder in sehr weitständigen, lichten Wäldern, an denen dichte Flechtenüberzüge siedeln. Der auffallende Flechtenreichtum der Straßenbäume — selbst an stark befahrenen Ausfallstraßen der Städte — hängt gewiß mit dem optimalen Lichtfaktor zusammen, wobei allerdings die Beobachtung zu machen ist, daß die reinen Südseiten der Baumstämme etwas gemieden werden. Dies trifft besonders für die häufige Blattflechtenart *Hypogymnia physodes* (L) Nyl., syn. *Parmelia physodes* (L) Ach. zu. Die Flechten gelten daher allgemein als lichtliebend, da die Belichtungsverhältnisse für die Assimilation lebensnotwendig sind und

nur wenige Arten an schattigen Standorten existieren können. BUTIN (1954) bezeichnet nach seinen eingehenden experimentellen physiologisch-ökologischen Untersuchungen über den Wasserhaushalt und die Photosynthese bei Flechten z. B. die epixylen Flechten *Parmelia furfuracea*, *Ramalina fraxinea* und *Evernia prunasti* zu den Sonnenflechten und *Biatora lucida*, *Coniocybe furfuracea* zu den Schattenflechten.

Die Einstrahlungsverhältnisse bzw. der tatsächliche Lichtgenuß am jeweiligen Standort hängt wiederum von der Jahres- und Tageszeit, von der Exposition und Neigung der Substratfläche und von der Intensität des einfallenden Lichtes überhaupt, ab. In industriellen Ballungsgebieten und Großstädten tritt durch die festen, flüssigen und gasförmigen Luftbeimengungen eine Schwächung des Sonnenlichtes ein, wobei bei verstärkter Dunstentwicklung der Ausfall an kurzweiliger (UV-) Strahlung am größten ist (vergleiche hierzu die Ausführungen auf S. 43 ff.).

Neben dem Lichtfaktor ist die *Feuchtigkeit* (Wasserfaktor) in Form von Niederschlag, Tau oder Nebel sehr wichtig für ein optimales Wachstum der Flechten, da sie in der Lage sind — im Gegensatz zu den Gefäßpflanzen — abgesehen von wenigen Ausnahmen, wie z. B. die epiphytische Bromeliacee *Tillandsia recurvata*, welche nach TROLL (1966, S. 298) in Südamerika . . . „auch noch auf Telegraphendrähten lediglich vom Kondenswasser der Luft und zugewehemten Staub zu leben vermag“ — Wasser nicht nur im flüssigen Zustand (Regen), sondern auch als Tau oder Nebel aufzunehmen (OCHSNER 1927, MATTICK 1951, BUTIN 1954, STEINER 1965), weil die Hyphenwände quellfähig sind und sie als poikilohydre Organismen in der Lage sind, sich den Feuchtigkeitsverhältnissen des Standortes anzupassen.

Für eine apparente Assimilation ist nach STOCKER (1927) jedoch ein bestimmter Wassergehalt der Flechten erforderlich, welcher bei etwas untersättigtem Durchfeuchtungszustand eine maximale Assimilation und Atmung ermöglicht. Nach NEUBAUER (1938) ist eine maximale Wassersättigung jedoch immer nur für kurze Zeit — während und kurz nach Regenfällen — gewährleistet. Die übrige Zeit verharren die Flechten im latenten Zustand kaum meßbarer Aktivität, während der nur mit feineren Versuchsmethoden ein geringer Gaswechsel noch nachgewiesen werden kann (BUTIN 1954). In einer neueren Untersuchung von BERTSCH (1966) wurde an einigen Bart- und Bandflechten auch die bereits bekannte Tatsache, nämlich, daß die Flechten die Fähigkeit besitzen, auch Wasserdampf aus der Luft aufzunehmen, erneut bestätigt, da unter anderem . . . „die ausgetrockneten Thalli aus nahezu wasserdampfgesättigter Luft bis zu 70% ihres Trockengewichtes an Wasserdampf aufnehmen. Diese Wasserdampfaufnahme reicht aus, um den CO₂-Gaswechsel zu reaktivieren“ (S. 165).

Die Wasserdampfaufnahme erfolgt ausschließlich durch die Oberfläche der Thalli, so daß der Einfluß der Wasserführung, bzw. -haltung des Substrates (Unterlage) praktisch gering ist oder nur indirekt einwirkt, indem bei rissigen Rinden und Borken (z. B. Eiche) am Stamm herabfließendes Regenwasser besser zurückgehalten bzw. in ihnen eindringen kann als in glatte Rinden (Buchen,

Birken). Für den Wasserhaushalt und damit auch für den Wachstumsverlauf der Flechten ist das Substrat -jedoch hinsichtlich der Exposition dieser Unterlagen wichtig, weil hiervon der Lichtgenuß bzw. eine Temperaturerhöhung und als Folge eine mehr oder weniger starke Verdunstung abhängt.

Nach den eingehenden Untersuchungen durch BESCHEL (1950 bzw. 1954) über den Wachstumsverlauf von Flechten an den Grabkreuzen zahlreicher Friedhöfe in und um Innsbruck zeigte sich, daß Perioden höherer *Niederschläge* auch ein erhöhtes Wachstum bedingen. Unter den Parmelienarten nimmt die *Hypogymnia physodes* eine Mittelstellung ein. Auch BUTIN (1954) fand in der Umgebung von Bonn bei der Erdflechte *Peltigera praetextata* im trockenen Sommer 1952 einen wesentlich geringeren Zuwachs als im regenreichen Sommer 1953. Im Mittel betrug der Zuwachs 0,7 cm (1952) und 3,06 cm (1953).

Nächtlicher *Taufall* ermöglicht nach BUTIN (1954) am Morgen etwa 2 bis 4 Stunden lang eine apparente Assimilation und durch Nebel wird die Verdunstung bzw. Austrocknung taufeuchter Flechten verzögert. Die große Bedeutung des Tauens wird auch durch eine neuere Beobachtung von LANGE (1969) unterstrichen, welcher in der Wüste Negev bei Jahresniederschlägen von nur 30 bzw. 100 mm noch *Ramalina maciformis* fand, die sich ausschließlich vom Tau (198 Taunächte/Jahr) am Leben erhalten kann.

Durch *Nebel* wird nach TROLL (1956) der hygrische Charakter eines Klimas wesentlich erhöht, so daß — wie bereits in den Mittelgebirgen und in den Alpen zu beobachten ist — der Flechtenbewuchs und der -behang der Bäume mit Laub- und Bartflechten stark zunimmt. Sowohl in den Nebel- und Höhenwäldern der immerfeuchten Tropen, als auch in den ariden Gebieten der Tropen und Subtropen mit stärkerer Nebelentwicklung ist dadurch der Epiphytismus ein auffallendes und charakteristisches Merkmal der Vegetation.

Die *Temperaturverhältnisse* an den Unterlagen (Substrat) sind für die Flechten weniger entscheidend, da in unseren Klimaberichen eine Schädigung durch Austrocknung nach LANGE (1953) unwahrscheinlich ist und sie Erwärmungen bis 70° C ertragen können. SCHMEIDL (1965) maß an trocknen Torfziegelresten im Chiemsee-Moor Temperaturen von 60 bis 70° C und betont, daß sie dennoch von Flechten besiedelt werden. Es ist also über einen weiten Temperaturbereich eine bemerkenswerte Resistenz vorhanden.

Edaphische Faktoren

Für die Beurteilung der Flechtenverbreitung und des -wachstums in Städten wurden in nahezu allen Untersuchungen die rindenbesiedelten Flechten der Bäume herangezogen, weil auf diesem Substrat überwiegend diejenigen Flechten anzutreffen sind, (Blatt- und Krustenflechten) welche für die Abgrenzung der Flechtenwüste, bzw. der Normal- und Kampfzone nach SERNANDER (1926) von Bedeutung sind. Es sollen daher die Eigenschaften der *Baumrinde* bzw. *-borke* näher betrachtet werden, da auch hierzu VON KREMPELHUBER (1861, S. 48)

bereits bemerkt: . . . „dass ausser den klimatischen Verhältnissen auch die Beschaffenheit des Bodens (Substrates), welcher den Flechten zum Wohnsitze dient, vorzüglich Einfluss auf das Vorkommen dieser Gewächse äussert, ist eine Thatsache . . .“ In ausführlichen Übersichten . . . „die Verbreitung auf den verschiedenen Substraten, welche ihnen zum Wohnsitze dienen . . .“ (S. 51) belegt er diese Meinung und betont nochmals: „Die Lichenen entnehmen die zu ihrer Ernährung dienenden Stoffe nur aus der Luft und aus dem Wasser, nicht aber aus dem Substrate, das ihnen lediglich zum Wohnsitze dient“ (S. 68).

Für die Ansiedlung und das Wachstum der Flechten ist die *Oberfläche* der Rinde/Borke bedeutsam, da auf glatten Oberflächen die Fortpflanzungskörper naturgemäß schlechter haften können als auf rissigen und rauhen.

Auch die Absorptionsfähigkeit der Rinde beeinflusst das Wachstum, da eine länger feuchte Unterlage auch die Durchfeuchtung der Flechtenthalli beeinflusst und begünstigt. Rauhe und rissige Rinden weisen normalerweise auch ein höheres Absorptionsvermögen auf als glatte, an denen Regenwasser schnell ablaufen kann. Nach BESCHEL (1958) kann jedoch alte Rinde von Holunderstämmen bei sehr starker Durchfeuchtung (Regen) so stark quellen, daß anhaftende Thalli zerstört werden können. Nach seinen Beobachtungen hört daher die Besiedlung auf Holunder gegen die Zentren der Städte zu eher auf als auf anderen Bäumen. Dies dürfte m. E. neben anderen Ursachen (Luftverunreinigung) auf die Tatsache zurückzuführen sein, daß im Bereich der Großstädte eine deutliche Zunahme des Regenniederschlages festgestellt wurde. Für München wird hierzu auf die Ausführungen auf S. 82 verwiesen.

An den meisten Bäumen löst sich mit fortschreitendem Wachstum und Alter die Rinde mehr oder weniger rasch ab, so daß bereits vorhandener Flechtenbewuchs wieder zerstört wird. BESCHEL (1958, S. 83) gibt nach einer unveröffentlichten Mitteilung von VARESCI eine Baumreihenfolge an, in welcher ein schnelleres Abblättern der Rinde erfolgt. Einige Baumarten seien hieraus angeführt: Buche — Tanne — Eiche — Fichte — Lärche — junge Birke. Die häufig anzutreffenden Straßen- bzw. Parkbäume (Akazie, Linde, Ulme, Kastanie, Robinie, Platane) sind leider nicht angegeben. Auch hier tritt nach BESCHEL mit Annäherung an das Stadtzentrum eine Verlangsamung des Flechtenswachstums ein, weil rascher abblätternde Bäume zwangsläufig auch die darauf siedelnden Flechten eher einbüßen.

Bei den Eigenschaften des Substrates spielt auch der *pH-Wert*³¹⁾ eine Rolle. Rinde von Nadelbäumen reagiert sauer, ähnlich die von Buche, Eiche, Esche und Birke. In der Normalzone der Flechtenverbreitung liegt der pH-Wert zwischen 4 und 5 und im Stadtgebiet bei 5,5 bis 6,5. An staubigen Straßen kann die Reaktion bis zum Neutralpunkt steigen (pH = 7,0).

Die Rinden bzw. Borken der einzelnen Baumarten bieten den Flechten höchst unterschiedliche Siedlungs- und Wachstumsbedingungen, die noch durch die

³¹⁾ Der pH-Wert (Wasserstoffionenkonzentration) ist bekanntlich ein Maß für die saure oder alkalische Reaktion einer wässrigen Lösung. Ist sie sauer, so liegt ein pH-Wert von 1 bis 7 vor und sie reagiert alkalisch, wenn ein pH von 7 bis 12 vorliegt.

kleinklimatischen Faktoren (Stammklima) wie Sonneneinstrahlung, Temperatur und Feuchtigkeit des jeweiligen Standortes modifiziert werden. Hieraus erklärt sich auch die Bevorzugung bestimmter Teile der Stammoberfläche, meist der „Wetterseite“ durch eine deutliche Expositionsabhängigkeit der Rindenflechten. STEINER (1952) konnte z. B. im Wipptal bei Steinach/Tirol in etwa 1100 m Höhe beobachten, daß *Xanthoria substellaris* . . . „in standortsökologischer Hinsicht durch die strenge Bindung an die S- und W-Flanken von Baumstämmen gekennzeichnet ist“ (S. 260). Eine ähnliche Expositionsbevorzugung haben STEINER und SCHULZE-HORN (1955) an der artenarmen Epiphytenflora in Bonn festgestellt. Die gleichzeitig mit aufgenommenen Algen, überwiegend Grünalgen (*Pleurococcus*) zeigen in der übersichtlichen Windrosendarstellung der Expositionsabhängigkeit des Epiphytenbewuchses an Bäumen, daß die Krustenflechten die W-SW-Flanke und die Algen die N-, NE- und NW-Flanke der Bäume bevorzugen . . . „die verschiedenen ökologischen Ansprüche dieser beiden Epiphytengruppen kommen in diesem Unterschied der Expositionswahl sehr klar zum Ausdruck“ (S. 160). Auch in neueren Untersuchungen wird auf die Bevorzugung der Wetterseite (W, SW) hingewiesen. Für Hamburg z. B. durch VILLWOCK (1962). DOMRÖS (1966) hatte hierzu in Bochum 1600 Bäume untersucht und festgestellt, daß der Flechtenbewuchs (Krustenflechten mit vorwiegend *Lecanora*- und *Pertusaria*-Arten) . . . „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“ (S. 104). MIELKE (1971) fand an 8900 Bäumen in Magdeburg nur die Krustenflechte *Lecanora varia* (Ehrh.) Ach. und bemerkt zur Expositionsabhängigkeit: . . . „Je näher man in das Stadtinnere kommt, also in Gebiete, die wenig von Flechten besiedelt sind, desto mehr sucht sich *Lecanora* die Wetterseite der Baumstämme zum Wachstum aus“ (S. 176). Die vorherrschende Windrichtung ist W und SW.

Biotische und anthropogene Faktoren

Bei den *biotischen Faktoren*, welche einen gewissen Einfluß auf die Flechten ausüben, sollen hier im engeren Sinn nur die Beziehungen zwischen Flechten und *Tieren* verstanden werden, die sich in mannigfacher Weise bemerkbar machen können. Die vom Menschen geschaffenen stadtklimatischen Verhältnisse und Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft werden gesondert behandelt, weil sie von allen Umweltfaktoren den stärksten Einfluß auf die Flechtenvegetation ausüben.

Eine direkte Schädigung des Epiphytenbewuchses durch Haustiere (Pferde, Kühe, Schweine) spielt heute praktisch keine Rolle mehr, wie noch FELDÖLDY (1941) angibt, da die Zahl dieser Tiere durch Motorisierung usw. sehr abgenommen hat und zudem die Haltung heute überwiegend in Tierstallungen bzw. eng begrenzten Koppeln erfolgt. Bei überwiegender Grünland- bzw. Weidewirtschaft, wie z. B. im Alpenvorland kann man jedoch häufig die Beobachtung

machen, daß freistehende Bäume mit einem üppigen Flechtenbewuchs durch das Scheuern der Tiere (Kühe, Rinder, Pferde) bis zu ca. 2 m Höhe völlig flechtenfrei sind. Freilebende Tiere, wie Hasen, Rehe und besonders Rot- und Gamswild, können in schneereichen Wintern durch Abnagen und Verbeißen erheblichen Schaden anrichten. Besonders in der Nähe von Einständen werden die Rinden, einschließlich der darauf siedelnden Flechten, sämtlicher erreichbaren Äste abgeäst. Für das Gamswild, welches auch in härtester Wintersnot keine menschliche Fütterungshilfe annimmt, dürften Flechten die wichtigste Nahrungsgrundlage überhaupt sein, da sie reich an Flechtenstärke, dem Lichenin, sind. Das Ren der nordischen Länder lebt fast ausschließlich, besonders im Winter von Flechten und auch der Mensch hat in Notfällen sein Leben oftmals nur durch Flechten retten können. Mehrfach wurde bekannt, daß z. B. Flugzeugbesatzungen bei Notlandungen in unwirtlichen Gebieten sich überwiegend durch Flechten am Leben erhalten konnten. Daß SANDSTEDTE (1930), der von Beruf Bäcker war, zur Probe selbst aus Cladonienmehl, vorwiegend aus schwedischer *Cladonia alpestris*, Flechtenbrot zum menschlichen Verzehr gebacken hat, sei hierzu nur als Kuriosum erwähnt.

Tiere, insbesondere Vögel können jedoch durch ihre Exkreme (Harn und Kot) den Flechtenbewuchs erheblich beeinflussen, wie z. B. SCHULZ-KORTH (1931) an den Bäumen einer Reiherkolonie beobachten konnte und auch von BESCHEL (1958) bei aufragenden und freistehenden Substraten (Grab- und Feldsteine, Zaunpfosten u. ä.) bestätigt wird. Derartige Beeinflussungen dürften aber im ganzen gesehen kaum ins Gewicht fallen, da viele Flechten, insbesondere die nitrophilen Arten auf eine solche Düngung geradezu angewiesen sind. Erst dann, wenn diese Düngung ein gewisses Maß überschreitet, kann eine Schädigung entstehen. In der Mehrzahl der Fälle, wie eben bei den nitrophilen Flechten, ist jedoch das Vorhandensein von Vogelexkrementen, wozu Spuren völlig ausreichen, eine Voraussetzung für das Gedeihen.

Größeren Schaden können aber Schnecken und Milben anrichten. BESCHEL (1958) betont hierzu, daß die Schädigungen durch Milbenfraß stadtwärts zunehmen. . . . „Natürlich tritt der Milbenbefall auch in der Normalzone auf. Wird aber dort eine Flechte schwer geschädigt, so wird sie von gesunden Exemplaren überwachsen, oder sie vermag sich rasch zu regenerieren. In der Stadt mit der geringsten Konkurrenz der Flechten bleiben diese angefressenen Exemplare lange erhalten, da mit der Wachstumsgeschwindigkeit wahrscheinlich auch die Regenerationsfähigkeit nachgelassen hat“ (S. 82).

Bei den *anthropogenen* Einwirkungen auf die Flechten steht ohne Zweifel die Verunreinigung der Luft durch die zunehmende Industrialisierung in den letzten Jahrzehnten, besonders im Bereich der chemischen Großindustrie (Herstellung von Kunststoffen, Verarbeitung von petrochemischen Produkten usw.) und der gewaltig angestiegene Verbrauch von festen und flüssigen Brenn- und Kraftstoffen (Kohle, Heizöl, Benzin usw.) zur Deckung des Energie- und Wärmebedarfs in Dampf-, bzw. Heißwasserkesselanlagen der Industrie und Wohnhäuser und schließlich des Kraftfahrzeugverkehrs an erster Stelle. Nach

TEWORTE (1970) wurden 1969 in der Bundesrepublik Deutschland in Millionen Tonnen verbraucht: Steinkohle 54, Koks 10, Braunkohle ca. 100, Heizöl S 28, Heizöl EL 39, Benzin 18, Dieselkraftstoff 10.

Alle diese Brenn- und Kraftstoffe enthalten neben Feststoffen, Fluor, Blei usw. vor allem in unterschiedlichen Anteilen Schwefel, welcher als phytotoxisch wirkendes Schwefeldioxid (SO_2) in die Atmosphäre abgegeben wird. Eine Folge davon ist, neben der Einwirkung auf die Vegetation und Sachgüter, die zunehmende Versäuerung des Regenwassers, wie Messungen im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft ergeben haben. So sank z. B. an der Aerosol-Meßstelle Schauinsland im Schwarzwald der pH-Wert von 1965 bis 1968 um den Betrag von 0,4%. Dieses Absinken geschieht nicht gleichmäßig, sondern in Schwankungen, die genau die winterliche Heizperiode erkennen lassen.

Schweden hat sich daher nach WITT (1969) an den Europarat gewandt, da sich durch die stete Zunahme des SO_2 -Gehaltes in der Luft der pH-Wert der Niederschläge von 1962 bis 1966 um 0,9% vermindert hat. Das bedeutet, daß der Säuregehalt in vier Jahren um das 8-fache gestiegen ist. In zahlreichen Seen hat er sich alle zwei Jahre verdoppelt und schon teilweise Werte erreicht, die den Fischbestand ernsthaft gefährden. Tierisches Leben ist im Wasser normalerweise nur bei einem pH-Wert oberhalb 4 möglich, die erreichten Werte lagen bei 3,0.

Nach Untersuchungen des Regenwassers durch SCHAFFNIT (1957) ergab sich für die industrialisierte Zone des Ruhrgebietes (Herne, Wanne-Eickel, Bochum, Hiltrop, Oberhausen) ein SO_4 -Gehalt von 52,0 bis 81,3 mg/l; für die Randzone 13,1 bis 20,0 mg/l und für die rauchschadenfreie Zone 14,2 mg/l. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der mit großer Sorgfalt von DOMRÖS (1966) durchgeführten Untersuchung zur Verbreitung der rindenbewohnenden Flechten im mittleren Ruhrgebiet wieder, obgleich er — durch die außerordentliche Armut an Flechten bedingt — lediglich Krustenflechten (Lecanora- und Pertusaria-Arten) aufnehmen und kartieren konnte. Er betont unter anderem, . . . „daß der spärliche Flechtenbewuchs gerade in der Normalzone des Untersuchungsgebietes die Flechtenarmut des gesamten Großraumes dokumentiert. Sie beruht vorwiegend auf der hohen Ortsüblichkeit staub- und gasförmiger Immissionen“ (S. 100).

Nach GARBER (1967, S. 106) ergaben Fluorbestimmungen im Regenwasser:

im ländlichen Gebiet von Hamburg	0,13—0,27 mg/l
im Industriegebiet von Hamburg	0,25—0,55 mg/l
im Industriegebiet Raum Köln	0,3 —7,96 mg/l
im Industriegebiet an Wesermündung	0,15—6,96 mg/l
in der Großstadt Nürnberg	0,18—1,0 mg/l

GRÄFE und SCHÜTZE (1967) haben ebenfalls in Hamburg 230 Niederschlagsproben aus BERGERHOFF- und LÖBNER-Geräten auf ihren pH-Wert überprüft und gefunden, . . . „daß im Winter der Niederschlag in bezeichnender Weise saurer ist als im Sommer“, abgesehen von der Umgebung um Industriegebiete und der City, wo ständig ein hoher Säuregehalt (pH 3,0—3,25) festgestellt

wurde. Zwischen den pH-, Staub- und SO₂-Werten ergaben sich überraschenderweise keine signifikanten Beziehungen. Grünanlagen erwiesen sich zwar als staubvermindernd, jedoch nicht säureherabsetzend. Lediglich größere Parks und Friedhöfe wiesen einen etwas geringeren Säuregehalt auf.

Durch die hier nur kurz aufgezeigte Verunreinigung der Luft (Biosphäre) durch Schwefeldioxid, Fluor und andere schädliche Abgase und Stäube wird das Gleichgewicht in der Natur nachhaltig gestört und dürfte neben Veränderungen des Kleinklimas sicher den Rückgang bzw. das völlige Verschwinden vieler Flechtenarten bewirken, denn besonders den baumbesiedelnden Arten werden durch den Regen die schädlichen Luftverunreinigungen direkt zugeführt. MROSE hatte bereits 1941 den Rückgang der Usneen in den deutschen Mittelgebirgen auf den zunehmenden Sulfatgehalt des Regenniederschlages zurückgeführt.

Abb. 3 läßt aus der geographischen Lage und Größe der Industriezentren und Ballungsräume unschwer erkennen, daß praktisch die gesamte Bundesrepublik — abgesehen von Bayern — von diesen großflächigen Emittenten ausgehend als mehr oder weniger stark immissionsbelastet angesehen werden muß, da bei entsprechenden meteorologischen Bedingungen (Windverhältnisse, Inversionen) die entstehenden Luftverunreinigungen aus diesen Räumen in die umliegende Landschaft verfrachtet werden. In Bayern sind es im wesentlichen die Ballungsräume München und Nürnberg—Fürth—Erlangen, sowie die in den letzten Jahren entstandenen Erdö Raffineriegebiete bei Ingolstadt/Donau³²⁾ und Burghausen/Inn, die neben einigen Großstädten als großflächige Emittenten anzusehen sind. Die unterschiedliche Immissionsbelastung der einzelnen Bundesländer ist auch aus der geschätzten Fläche von geschädigten land- und forstwirtschaftlichen Kulturen ersichtlich (Tabelle 4, S. 39).

Auf eine neue Art der anthropogenen Luftverunreinigung — die m. E. bisher zu wenig beachtet wurde — sei noch hingewiesen, nämlich die zunehmende Verwendung von chemischen, meist hochgiftigen Mitteln zur Vernichtung bzw. vorbeugenden Bekämpfung pflanzlicher und tierischer Schädlinge. Zahllose Herbizide und Insektizide (Biozide) sind auf dem Markt und werden in der Land- und Forstwirtschaft ausgiebig verwendet. Durch die maschinelle Feinstzerstäubung werden besonders Waldränder, Straßenalleen und freistehende Bäume beaufschlagt, also gerade solche Standorte, die normalerweise durch ihre optimalen Wachstumsfaktoren (Licht, Feuchtigkeit) einen artenreichen und üppigen Flechtenbewuchs aufweisen. Wie in den allgemeinen Ausführungen über Luftverunreinigung und Stadtklima schon betont, konnten derartige Stoffe sogar in der Stadtluft nachgewiesen werden (S. 13).

Zu diesen hemmenden bzw. schädlichen Umwelteinflüssen auf die Flechtenvegetation treten in den menschlichen Ballungsräumen, insbesondere in den Großstädten, die schon mehrfach erwähnten klimatischen Besonderheiten.

³²⁾ In der Hauptwindrichtung sind bis 15 km Entfernung bereits mehr als 100 ha Kiefernwald geschädigt; die Flechtenvegetation dürfte hier ebenfalls sehr beeinträchtigt sein.

3. Bisherige Untersuchungen der Flechtenvegetation in Städten und Industriegebieten

Obleich die große Empfindlichkeit der epiphytischen Organismen, besonders der Flechten, auf Veränderungen der Umweltfaktoren bekannt war — wie auf S. 49 ff. bereits ausgeführt wurde — befaßten sich die meisten, insbesondere die älteren Untersuchungen, ausschließlich mit der Flechtenvegetation in Städten, wozu allerdings ARNOLD (1892, S. 31) bemerkt: „In keiner dieser Specialfloren ist auf die Verbreitung der Flechten im Innern der Stadt Gewicht gelegt worden.“

Erst in neuerer Zeit wurden derartige Beobachtungen auch auf Industriegebiete und einzelne Werke ausgedehnt. Hinweise auf schädliche Einwirkungen industrieller/gewerblicher Emittenten (Fabriken) sind jedoch auch in einigen städtischen Untersuchungen zu finden. Die Testflechte *Hypogymnia physodes* soll bei dieser Betrachtung von bisherigen Untersuchungen besonders hervorgehoben werden, weil sie als Bio-Indikator in meßbarer Weise auf bestimmte Immissionstypen und hier wiederum phänotypisch auf die häufigste Schadstoffkomponente Schwefeldioxid, reagiert. Auch zur Diskussion und Gegenüberstellung der eigenen Meßergebnisse erscheint eine gesonderte Betrachtung dieser Flechtenart sinnvoll und zweckmäßig.

In Tabelle 6 sind in alphabetischer Reihenfolge die bisherigen Untersuchungen mit den Forschern nach dem Untersuchungsgebiet (Stadt) aufgeführt. Tabelle 7 gibt ergänzend hierzu einen Überblick über einige Untersuchungen der natürlichen Flechtenvegetation im Einflußbereich von Industriebetrieben, die unter anderem für die Frage nach den Ursachen der Flechtenschädigung von großer Wichtigkeit sind. Beide Tabellen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Wenn auch von den meisten Forschern die Luftverunreinigung für die Schädigung der Flechten verantwortlich gemacht wird, so darf sicherlich der Einfluß der Stadt mit ihren vielschichtigen Einwirkungsfaktoren nicht außer Acht gelassen werden. Auf diesen, hier nur kurz angedeuteten unterschiedlichen Auffassungen über die Ursachen der Flechtenschädigung, beruhen von den bis jetzt vorliegenden Untersuchungen im wesentlichen folgende verschiedene Meinungen:

NYLANDER (1866), BRITZELMAYR (1875), ARNOLD (1891—1901), LINDAU (1923), ERICHSEN (1928), HAUGSJA (1930), VAARNA (1934), FELFÖLDY (1942), SAUBERER (1951/59), VARESCHI (1953), BORTENSCHLAGER und SCHMIDT (1963), FENTON (1964), SLOOVER (1964), DOMRÖS (1966), LAUNDON (1967), LUNDSTRÖM (1968), SKYE (1968), TRASS (1968), BORTENSCHLAGER (1969), MAURER/EHRENDORFER und Mitarbeiter (1969/1971), RUGE und FÖRSTER (1970) und STEUBING (1970) sowie KIRSCHBAUM und Mitarbeiter (1971) kommen zu der Überzeugung, daß das Wachstum der epixylen Flechten durch die Luftverunreinigungen, besonders aus den Haus- und Industrie-Feuerungsanlagen so beeinträchtigt wird, daß sie beim Erreichen bestimmter Grenzwerte und langzeitigen Einwirkungen völlig verschwinden müssen. Außer dampf- bzw. gas-

förmigen Stoffen kommt hierbei auch dem Staub eine besondere Bedeutung zu.

Neben NYLANDER (1866), welcher . . . „die Flechtenflora eines Theiles von Paris geschildert hat und schon damals auf die aus der Verschlechterung der Luft entspringenden, sogar bei den Flechten sich äussernden Nachteile hingewiesen hat“ (zit. n. ARNOLD, 1892, S. 30) und BRITZELMAYR (1875), welcher die Flechtenflora von Augsburg näher beschreibt und hierzu bemerkt: . . . „an mehreren Plätzen der inneren Stadt stehen ältere Bäume ohne alle Flechtenvegetation. Aehnliches lässt sich auch an anderen ungünstigen Standorten, z. B. in unmittelbarer Nachbarschaft von Fabriken wahrnehmen“ (S. 56), hat ARNOLD (1891—1901) nach seinen langjährigen Beobachtungen in München, das um die Jahrhundertwende bereits nahezu 500 000 Einwohner besaß, als Erster detaillierte Angaben über die Flechtenvegetation und die möglichen Ursachen ihrer Schädigung gemacht. Er schreibt in der „Vertheilung der Arten“ 1892, S. 28 ff.: „Im Innern der Stadt, nämlich dem einst von einer Backsteinmauer umschlossenen Theile von München, kommen Flechten jetzt wohl nicht mehr vor. Während der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts reichte jedoch, wie aus wenigen in die Jahre 1845 bis 1855 fallenden Beobachtungen hervorgeht, ein Theil der in der näheren Umgebung von München vorhandenen Flechten weit in die Vorstädte und bis an die Ueberreste der alten Stadtmauer herein. An den Bäumen vom Sendlingerthorplatze durch die Sonnenstraße über den Dultplatz (heute Karlsplatz, gen. „Stachus“, d. Verf.) sowie im Hofgarten und in den Anlagen am Gasteige gegen Bogenhausen gibt es keine Flechten mehr. Es darf behauptet werden, dass theils das Zusammenwohnen einer grösseren Bevölkerung und vorzugsweise die Einwirkung des durch den Verbrauch der Stein- und Braunkohlen verursachten Rauches das Verkümmern der Lichenen herbeiführt. Erst in den äusseren Stadtteilen und den in neuester Zeit

Tabelle 6:
Bisherige Untersuchungen der Flechtenvegetation in Städten.

Ort (Stadt)	Forscher	Jahr
Augsburg	BRITZELMAYR	1875
Belfast	FENTON	1964
Berlin	HASELHOFF und LINDAU	1903
Berlin	SCHULZ-KORTH	1931
Berlin (DDR)	NATHO	1964
Bonn	STEINER und SCHULZE-HORN	1955
Bregenz	BESCHEL	1958
Caracas	VARESCHI	1953
Danzig	MATTICK	1934
Debrecen	FELFÖLDY	1942
Dornbirn	BESCHEL	1958
Dresden	MATTICK	1937
Estnische Städte	TRASS	1968
Frankfurt/Main	KIRSCHBAUM, KLEE und STEUBING	1969/1971

Ort (Stadt)	Forscher	Jahr
Graz	EHRENDORFER und Mitarbeiter	1969/1971
Hamburg	ERICHSEN	1905
Hamburg	VILLWOCK	1959/1962
Hamburg	RUGE und FÖRSTER	1970
Hannover	KLEMENT	1958
Helsinki	VAARNA	1934
Innsbruck	BESCHEL	1950/1958
Kiel	FISCHER-BENZON	1901
Kiel	TRÜMPENER	1926
Köln (Dom)	KLEMENT	1956
Köpmanholmen	MOBERG	1968
Krakau	ZURZYCKI	1950
Kühlungsborn	NATHO	1964
Landeck	BESCHEL	1958
Landskrona	KAJANUS	1911
Leipzig	FISCHER-BENZON	1901
Linz	BORTENSCHLAGER und SCHMIDT	1963
London	WEDDEL	1873
London	LAUNDON	1967
Lublin und einige Kleinstädte in Polen	RYDZAK	1953/1959
Lund	ALMBORN	1943
Magdeburg	MIELKE	1971
München	ARNOLD	1891/1901
München	SCHMID	1957
München	JÜRGING	1968
Newcastle	GILBERT	1965
New York (Long Island)	BRODO	1961/1966
Niederländ. Städte	BARKMAN	1958
Norwegische Städte	LYNGE	1921
Oslo	HAUGSJA	1930
Paris	NYLANDER	1866
Paris	BOULY DE LESDAINS	1948
Pilsen	ROZKOVA und KMOCH	1956
Rheinisch-Westfälische Städte *)	DOMRÖS	1966
Salzburg	BESCHEL	1958
Selby/Yorkshire	JONES	1952
Sudbury	BLANC and RAO	1966
Stockholm	SERNANDER	1926
Stockholm	HOEG	1934
Stockholm	LUNDSTRÖM	1968
Stockholm	SKYE	1968
Tomaszow Mazowiecki	RYDZAK und KRYSIAK	1968
Uppsala	KRUSENSTJERNA, VON	1945
Wels	BORTENSCHLAGER	1969
Wien	SAUBERER	1951/1959
Zürich	VARESCHI	1936

*) Essen, Dortmund, Duisburg, Gelsenkirchen, Bochum, Oberhausen, Mülheim, Recklinghausen, Herne, Bottrop, Wanne-Eickel, Castrop-Rauxel, Gladbeck, Hamm, Herten, Lünen, Rheinhausen und Witten.

zur Stadtgemeinde gezogenen ländlichen Vororten (vergl. Abb. 14 d. Verf.) nimmt die Zahl der Flechten soweit zu, dass bestimmte Gruppen unterschieden werden können, welche sich auf Rinde und mannigfachem Holzwerk, auf Ziegeln und sonstigem Gestein an älteren, zwischen den hohen Neubauten stehengebliebenen Gebäuden erhalten haben.“

Auch in späteren Schilderungen über die Verbreitung der Rindenflechten in München weist ARNOLD auf die Schädigung durch die verunreinigte Luft hin. So schreibt er zu den nach Nymphenburg führenden Lindenalleen: . . . „Die durch den Steinkohlenrauch verdorbene Luft beseitigt die kränkelnden Flechten“ (1900, S. 24). Auch an den alten Weidenbäumen im Englischen Garten und längs der Isar sind die Flechten verschwunden . . . „worauf bis gegen 1885 die um München allgemein verbreitete Flechtenflora der Strassenbäume zu erblicken war. Im Laufe der letzten 15 Jahre sind jedoch zufolge des Steinkohlenrauches die Flechten bis auf wenige kränkelnde, krüppelhafte Exemplare verschwunden“ (1900, S. 44).

Die Zonierungskarten der Flechtenverbreitung (Normalzone, Kampfzone, Flechtenwüste) z. B. von München, Wien und neuerdings von Linz, Wels, Graz, Frankfurt/Main und Hamburg zeigen eindeutig einen bestimmten Zusammenhang zwischen dem Flechtenvorkommen und der Bebauungsdichte (Hausfeuerungen) und größeren Emittenten (Fabriken, Industrieanlagen, Heizkraftwerke usw.) und stehen überdies in guter Übereinstimmung mit den von diesen Städten vorliegenden Meßergebnissen der Luftverunreinigung, insbesondere der Verteilung und absoluten Höhe der Schwefeldioxid-Immissionen. Die neuesten Arbeiten aus den vorgenannten Städten sollen daher etwas ausführlicher erörtert werden.

Bei den Untersuchungen durch BORTENSCHLAGER und SCHMIDT (1963) über Luftverunreinigung und Flechtenverbreitung in Linz (200 000 Einwohner), ergab sich eine interessante Beobachtung bei der Flechtenwüste, die in zwei Arealen im Stadtgebiet auftritt. Sie erstreckt sich nämlich einmal in der Stadt im Industriegebiet (Stickstoffwerke) und dann am Südwestabhang des Pfennigberges. Sie betonen daher: . . . „In dem völlig unverbautem Gebiet am Südwestabhang des Pfennigberges, ungefähr 100 m über dem Stadtniveau, sind vor allem Industrieabgase als Ursache für das Fehlen der Flechten verantwortlich zu machen“ (S. 26).

Tabelle 7:

Bisherige Untersuchungen der Flechtenvegetation im Einflußbereich von Industriebetrieben.

Art des Betriebes	Ort und Jahr	Forscher
Aluminiumhütte	Ruhrgebiet, 1969	SCHÖNBECK
Aluminiumhütte	Romanche/Isere, 1968	MARTIN et JACQUARD
Chemische Werke	Buna/Halle, 1965	SCHUBERT und FRITSCHÉ
Eisenerz-Röstanlage	Biersdorf/Sieg, 1965	LIB Essen
Eisenerzverarbeitung	Rudnany/Slowakei, 1962	PISUT
Elektrizitätswerk	Wien, 1951/1959	SAUBERER
Emailwerk und Gießerei	Wels, 1969	BORTSCHENSLAGER
Fabriken	Oslo, 1930	HAUGSJA
Kalk- und Zementwerk	Gmund/Tegernsee, 1957	SCHMID
Maschinenwerkstätten	Helsinki, 1934	VAARNA
Papierpulfabrik	Köpmanholmen/Schwed., 1968	SKYE
Schieferölgewinnung	Närkes/Kvarntorp, 1958	SKYE
Schwefelsäurefabrik	Augsburg, 1875	BRITZELMAYR
Stickstoffwerke	Linz, 1963	BORTSCHENSLAGER u. SCHMIDT

Die Flechtenwüste zieht sich hier als schmaler, deutlicher Streifen unmittelbar ostwärts des Industriegeländes in Höhe der Schornsteine hin, obwohl dieses Gebiet eines der nebelreichsten von Linz ist. Von WEISS und FRENZEL (1956) wurden hier bei den häufigen Westwinden und einem Abstand von rund 2,5 km zur Großindustrie hohe SO_2 -Immissionswerte gemessen. Bei Inversionswetterlagen werden die aus den Schornsteinen emittierten Feuerungsabgase der Hochdruck-Dampfkesselanlagen am Aufsteigen gehindert und schädigen nicht nur die Flechten, sondern auch den Wald selbst, insbesondere die Nadelbäume. An dieses sehr stark beaufschlagte Gebiet schließen sich dann rasch die Zonen ohne Einwirkung von Luftverunreinigung und Stadtklima an. Sie kommen daher unter anderem zu dem Ergebnis: „Daß die Karte der Flechtenzonen ein gutes Bild von der Reinheit der Luft gibt, wie es mit keiner anderen Methode so schnell und genau gewonnen werden kann, da mit der Beobachtung des Flechtenwachstums die gesamten schädigenden Wirkungen über lange Zeit integriert erfaßt werden.“ (1963, S. 26). Sie räumen allerdings auch ein, daß es vom Standpunkt der Flechtenökologie sehr schwierig ist, . . . „im einzelnen zu beurteilen, welche schädigenden Einflüsse ausschlaggebend sind“ (S. 27).

In Wels (50 000 Einwohner) wurden von BORTSCHENSLAGER (1969) ähnliche Zusammenhänge aufgedeckt. Auch hier ist die Ausdehnung der ebenfalls in zwei Arealen auftretenden Flechtenwüsten sowohl durch den dichtverbauten Stadtkern als auch durch Industrien bedingt. Die Zone IV (entspricht der inneren Kampfzone nach DOMRÖS) zeigt eine erhebliche Ausdehnung, die durch Metallgießereien, Emailierwerke, Fabriken und durch den Hauptbahnhof verursacht wird.³³⁾

³³⁾ Emailwerke und Metallgießereien emittieren neben den Schadstoffen Schwefeldioxid und Staub besonders Fluor in erheblichen Mengen, wobei die Toxizität von Fluor bzw. Fluorwasserstoff (HF) auf Pflanzen etwa das 400-fache von SO_2 beträgt. Siehe hierzu auch Tabelle 1 (S. 16).

Auch die eingehenden Kartierungen der Flechtenvegetation im Stadtgebiet von Graz (255 000 Einwohner) durch MAURER und Mitarbeiter (1969) bzw. EHRENDORFER und Mitarbeiter (1971) zeigen, daß mit Annäherung an das Stadtgebiet von der Normalzone aus mit fehlender oder nur sehr geringer Luftverunreinigung sich dann bereits an den der Stadt zugekehrten Hängen der umrahmenden Berge eine reduzierte Flechtenvegetation bemerkbar macht (äußere Kampfzone). In der Übergangzone = mittlere Kampfzone, die bereits im direkten Einwirkungsbereich von Stadtklima und Luftverunreinigung liegt, treten nur noch nitrophile Flechten auf. In der Zone IV und V (innere Kampfzone bzw. Flechtenwüste) wird dann durch dichtverbaute Stadtteile und Industriegebiete eine fast völlige Zerstörung des Flechtenwachstums hervorgerufen. Diese Flechtenzonierung deckt sich auch hier weitgehend mit den im Grazer Stadtgebiet durch STEINHAUSER und CHALUPA (1965) gemessenen SO_2 -Immissionen.

In einer Untersuchung über Flechten als Indikatoren für die Immissionsbelastung einer Großstadt wurde von KIRSCHBAUM, KLEE und STEUBING (1971) in Frankfurt/Main (685 000 Einwohner) erneut bestätigt, daß die Flechtenwüste durch dichte Bebauung, der Ansiedlung von gewerblichen Betrieben und eine Erweiterung nach Osten durch ein größeres Industriegebiet bedingt ist. Flechtenwüste und innere Kampfzone erstrecken sich hauptsächlich nördlich des Mains in der vorherrschenden Windrichtung (SW). Die äußeren Vororte umfassen im wesentlichen die mittlere Kampfzone, in welche im Westen das Industriegebiet von HÖCHST als innere Kampfzone inselförmig eingelagert ist. Im Süden der Stadt folgt sie als schmales Band dem Lauf des Mains und grenzt hier an die äußere Kampfzone an, die bereits durch das Auftreten von Laubflechten charakterisiert ist und verläuft etwa parallel zur Bebauungsgrenze. Interessant ist die Feststellung, daß größere Grünflächen (Parks) im Stadtgebiet eine deutliche Zunahme der Flechtenbesiedlung erkennen lassen. Dies wird allerdings weniger auf veränderte (erhöhte) Luftfeuchtigkeit als auf eine merkliche Verminderung der Staub-Immission zurückgeführt. In den vergangenen 100 Jahren wurde freilich auch im Frankfurter Raum die Flechtenvegetation stark dezimiert. Aus diesem Rückgang und den vorgenannten Untersuchungsergebnissen wird daher geschlossen, „daß die Flechten gegenüber SO_2 , ungünstigen Feuchtigkeitsbedingungen und auch Staub empfindlich reagieren“ (S. 24).

Durch die hier mögliche direkte Gegenüberstellung des Verhaltens der unter phytotoxischen Einwirkungen stehenden Flechten zu den Emittenten bzw. Immissionen selbst, — ähnlich wie es von DOMRÖS (1966) für das Rheinisch-Westfälische Industriegebiet durchgeführt wurde — kann schon jetzt die Behauptung aufgestellt werden, daß die Luftverunreinigung ursächlich ist für die Schädigung und letztlich für das Verschwinden der Flechten aus den Städten.

Einen weiteren Beweis für diese Ansicht liefern unter anderem nach SCHÖNBECK (1969) die von der LIB Essen durchgeführten Expositionsversuche mit *Hypogymnia physodes* sowohl in einigen Städten des Rheinisch-Westfälischen

Industriegebietes als auch um einige Großemittenten (Eisenerz-Röstanlage und Aluminiumhütte) mit Schwefeldioxid- und Fluor-Immissionen. Auf weitere Beweise durch die Untersuchung der natürlichen Flechtenvegetation im Einwirkungsbereich von Industrierwerken (Tabelle 7) und den Ergebnissen von SO₂-Begasungsversuchen mit verschiedenen Flechtenarten, unter anderem auch *Hypogymnia physodes*, durch DÄSSLER und RANFT (1969), KLEE (1970), sowie den eigenen Expositionsversuchen mit exakt ermittelten SO₂-Immissionswerten, wird später noch näher eingegangen.

Eine Reihe von Forschern vertritt indeß die Ansicht, daß nicht die Luftverunreinigung, sondern die stadtbedingte geringere Feuchte der Luft in Verbindung mit höheren Temperaturen, geringerem Taufall und somit insgesamt gesehen, eine stärkere Austrocknung wachstumsschädigend für die Flechten ist. BESCHEL (1958, S. 95) betont z. B.: . . . „Vom Stadtklima wirkt sich dabei wohl die Trockenheit am stärksten aus. Während in Trockenwüsten durch die großen Temperaturschwankungen noch ausgiebig Tau fällt und so den dort lebenden Flechten Wasser zukommen läßt, wird der Taufall in den Städten durch die relativ hohen Nachttemperaturen vermindert. Die viel geringere Luftfeuchtigkeit in der Stadt geht Hand in Hand mit einem viel rascheren Austrocknen der Thalli nach Niederschlägen. Sie verkürzt so die Zeiten, in denen ein Assimilationsüberschuß erreicht werden kann“.

Er meint aber auch, daß die Flechten . . . „durch ein für sie ungünstiges Klima bereits geschwächt, dem Einfluß der Abgase nicht mehr standhalten können. Wo wenig Flechten wachsen, sinkt auch die Zahl der Fortpflanzungskörper. Die giftigen Rauchgase aber verhindern in den Zentren der ungünstigen Gebiete auch ein Auskeimen neuer Lager“ (1958, S. 95).

SCHMID (1957) liefert jedoch hierzu aus München ein Gegenbeispiel, indem größere, waldähnliche Grünanlagen — der Englische Garten (360 ha Fläche) an der Isar (Isarauen) und der Nymphenburger Park (220 ha Fläche) im Westen der Stadt gelegen, nahezu die gleichen Luftfeuchtigkeitsverhältnisse wie das Freiland aufweisen. Der Nymphenburger Park besitzt dadurch eine . . . „nahezu normale Flechtenvegetation, die die Kampfzone bis zum dicht bebauten Stadtkern hereindrängt“. Der Englische Garten hingegen ist . . . „mit Ausnahme einiger Krustenflechten und winzigen Anflügen von Laubflechten epixylenfrei“. Hier schädigen eindeutig die durch die vorherrschenden SW-Winde aus der Stadt verfrachteten Luftverunreinigungen. Während also der Nymphenburger Park nahezu eine Insel der Normalzone darstellt, schiebt sich der Englische Garten zungenförmig als Kampfzone in das Stadtgebiet hinein, obgleich der nächtliche Taufall und die relative Luftfeuchte auch in trockenen Sommermonaten die der Normalzone erreicht (vergl. hierzu Abb. 23, 24 und 29). Die relative Trockenheit der Stadtluft bzw. des Stadtklimas kann natürlich für die Flechten ungünstig sein, wie z. B. aus den Untersuchungen von STEINER und SCHULZE-HORN (1955) über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenflechten in Bonn hervorgeht, besonders in der Gegenüberstellung mit den gleichzeitig von EMONDS (1954) durchgeführten stadtklimatischen Unter-

suchungen. Die Flechtenwüsten decken sich hier nach ihrer Lage und Ausdehnung fast genau mit den von EMONDS durch Meßfahrten ermittelten Temperatur- und Feuchtewerten und den danach festgelegten Bezirken der wohlklimatischen Gütestufe V (sehr schlecht).

Bei dem Fragenkomplex „Stadtklima oder Luftverunreinigung“ als Ursache für die Flechtenarmut der Städte kommt daher STEINER (1957, S. 122/23) zu dem Schluß: „Bei Berücksichtigung des Wasserhaushaltes der epiphytischen Kryptogamen scheinen vor allem zwei Klimaelemente ausschlaggebend zu sein. Erstens die relative Trockenheit des Stadtklimas. Nach EMONDS werden etwa zwei Drittel der Niederschläge durch das Kanalisationssystem abgeführt; sie bleiben ohne Einfluß auf das Feuchtigkeitsklima der Stadt. Zweitens die nächtliche Übertemperatur der eingebauten Stadtkerne. Die geringe nächtliche Abkühlung wird zu verminderter Tauhäufigkeit führen; die rindenbewohnenden Flechten werden relativ selten in durchfeuchtetem Zustand die ersten Stunden nach Sonnenaufgang zur Stoffproduktion verwenden können.“

Ähnlich äußert sich KLEMENT (1958) über die Flechtenvegetation der Stadt Hannover. Allerdings wurde hier die epiphytische Flechtenflora ganz vernachlässigt, weil schon die . . . „weitere Umgebung von Hannover nur eine bemerkenswert dürrtige Epiphytenvegetation aufweist.“ Zu der reichhaltigeren epilithischen Flechtenvegetation bemerkt er daher: . . . „daß nur die Luftfeuchtigkeit und alle von dieser beeinflussten mikroklimatischen Komplexe den ‚Faktor im Minimum‘ darstellt und alleine oder doch fast alleine darüber entscheidet, ob noch ein Flechtenleben in der Steinwüste der Städte möglich ist. Denn über den Wüstencharakter des Stadtklimas kann nicht der geringste Zweifel bestehen. . . . Damit werden aber auch die Voraussetzungen für eine Taubildung ungünstig beeinträchtigt und schließlich die Lebensmöglichkeiten außerordentlich erschwert“ (S. 59/60).

Bei der Untersuchung der Flechtenvegetation Unterfrankens kommt KLEMENT (1953, S. 2) allerdings zu dem Ergebnis: „Wie überall in dichter besiedelten Gebieten ist auch die Flechtenvegetation im Kreis Ebern (Nordbayern) verhältnismäßig arm. Die verschiedenen Kultivierungsmaßnahmen, die sich ausnahmslos als flechtenfeindlich erweisen, im Zusammenhang mit den *Rauchgasen* in der Nähe größerer Industriebetriebe, drängen das Groß der empfindlichen Flechten immer weiter zurück und lassen nur noch eine bescheidene Anzahl widerstandsfähiger Arten von Ruderalcharakter aufkommen.“

RYDZAK (1953), welcher in Polen zahlreiche Städte — meistens allerdings Kleinstädte — untersucht hat, betont z. B. bei Lublin (150 000 Einwohner, ca. 3000 ha Fläche) in der deutschen Zusammenfassung: „Über Vorkommen, Dislokation, schwache Entwicklung und Elimination von Flechtenarten in den Städten entscheidet nicht ein einziger Faktor, im gegebenen Falle das allgemein beschuldigte Schwefeldioxyd und noch andere die Luft verunreinigende Gase, sondern ein Komplex von vielen Faktoren, welche das Verhältnis von Luft und Untergrundfeuchtigkeit in der ganzen Stadt und an den einzelnen Standorten gestalten.“

Ferner führt er aus: „Die vom Verfasser beschriebenen Flechtenwüsten, Kampfzonen und Zonen mit normal entwickelter Flechtenflora decken sich mit der Dislokation von Temperatur und einer gewissen (verhältnismäßigen) Luftfeuchtigkeit im Stadtgebiet und sind das Resultat eines Kampfes mit der Luftdürre, das Resultat des Kampfes um Wasser und nicht ein Kampf mit schädlichen Gasen“ (S. 354).

In einer neueren Arbeit kommen RYDZAK und KRYSIAK (1968) bei Untersuchungen in Tomaszów Mazowiecki (53 500 Einwohner, 1000 ha bebaute Fläche) zu einem ähnlichen Ergebnis, obgleich in der Stadt große Kunststoff-Herstellungswerke ansässig sind. Mit den Hausfeuerungen zusammen werden täglich etwa 22 t SO_2 emittiert. Obwohl hierdurch an land- und forstwirtschaftlichen Kulturen, insbesondere an den Nadelbäumen, erhebliche Schäden festgestellt wurden, kommen sie zu dem Ergebnis, daß der Stand der Flechtenflora ähnlich dem Zustand in kleinen Kurorten Polens ist. Sie folgern daraus: . . . „Die Flechten sind also kein Hinweis für die Luftverunreinigung durch Gase in den Städten, sondern ein Hinweis eines Komplexes von mikroklimatischen Komponenten, welche ihnen im Verlaufe des ganzen Lebens die Möglichkeit geben, an dem genannten Standort eine positive Bilanz in den Assimilations- und Atmungsprozessen zu unterhalten“ (S. 190).

Man muß hier allerdings beachten, daß RYDZAK nicht nur die Flechten an Bäumen, sondern auch auf Mauern, Betonpfeilern usw. mit aufgenommen hat und man ihm freilich zustimmen muß, daß eine Stadt nicht eine Ansammlung von Bäumen, sondern vielmehr einen „Mineraluntergrund“ darstellt (1953, S. 348). Die Anzahl der epiphytischen Flechten ist in seinen untersuchten Städten trotzdem etwa doppelt so hoch wie die Zahl der Flechten auf Steinuntergrund. In Lublin z. B. 55 Flechtenarten an Bäumen und 35 auf mineralischen Substraten; in Tomaszów Mazowiecki standen 70 epiphytische Flechtenarten 30 epipetrischen Arten gegenüber. Aus der Literatur (z. B. BARKMAN, 1958) ist außerdem bekannt, daß die epipetrischen Flechten weitgehend toxtolerant sind und es ist eine Tatsache, daß sie noch in Stadtbezirken vorkommen, wo epiphytische Flechten bereits völlig fehlen. Nach PISUT (1962), welcher sowohl die epiphytische als auch die epipetrische Flechtenvegetation in der Umgebung einer Eisenerzhütte aufnahm und kartierte, hängt dieses Verhalten besonders bei Kalksteinen „wahrscheinlich mit günstigeren mikroklimatischen Bedingungen (größere Feuchtigkeit, Neutralisationsfähigkeit des Substrates usw.) zusammen“. Er meint daher: . . . „Wie es scheint, ist die epiphytische Flechtenvegetation wesentlich empfindlicher“ (S. 482).

Ähnliches war auch von STEINER und SCHULZE-HORN (1955) im Bonner Stadtgebiet beobachtet worden, denn sie betonen: „Schon eine flüchtige Orientierung zeigt, daß auf Mäuerchen und Steinsockeln von Gartenzäunen und am Grund schattiger Hausmauern eine relativ gut entwickelte Flechtenvegetation zu finden ist. . . Diese Feststellungen gelten durchaus auch für die Stadtgebiete, in denen *epixyle* Flechten gar nicht oder nur in äußerst reduzierter Vitalität vorkommen“ (S. 13).

Im Westen von München (Stadtteil Nymphenburg) fand ich auf der oberen, geraden Fläche von Betonpfosten einer Vorgarteneinfriedung bis zu 8 cm \varnothing große Exemplare von *Lecanora muralis*³⁴⁾ obgleich die Fundstelle unmittelbar an der Grenze der beginnenden Flechtenwüste (nach SCHMID, 1957) liegt und außerdem nach Messungen als stark luftverunreinigt anzusehen ist. Hingewiesen sei auch noch auf die Feststellungen KLEMENTS (1956, S. 87) zur Flechtenflora des Kölner Domes . . . „eine Örtlichkeit, wo es an der Einwirkung von Rauchgasen, Ruß und Teer gewiß nicht mangelt . . . und auf seine Beobachtungen im Stadtgebiet von Hannover (1958).

Bereits BRITZELMAYR (1875) hatte bei seinen Flechtenstudien in Augsburg beobachtet, daß die „Rinden- und Steinflechten“ sehr unterschiedlich verbreitet sind. Er schreibt dazu: „An mehreren Plätzen der inneren Stadt stehen ältere Bäume ohne alle Flechtenvegetation oder nur mit einem kränklichen Anfluge von *Physcia parietina* überzogen, während einige Schritte weiter entfernt auf Sand- oder Ziegelsteinen *Verrucaria muralis*, *Physcia murorum*, *Placodium albescens* etc. in ziemlich ordentlicher Ausbildung anzutreffen sind. Es scheinen also die auf Rinden wachsenden Flechten inmitten der Stadt noch weniger aufkommen zu können, als die auf Steinen sich festsetzenden Arten. Ähnliches läßt sich auch an andern ungünstigen Standorten, z. B. in unmittelbarer Nachbarschaft von Fabriken wahrnehmen“ (S. 56/57).

Bei der Untersuchung der Flechtenvegetation in . . . „der nächsten Umgebung der chemischen und Schwefelsäurefabrik, Watte- und Gasfabrik“, wo es nicht mangelt . . . „an vegetationsfeindlichen Einflüssen, an Russ, Rauch und mancherlei Dämpfen“, betont er nochmals: . . . „Die auf Steinen, auf dem Boden oder nahe an demselben wachsenden Flechten leiden durch die Fabrik-Nähe am wenigsten“ (S. 57/58).

In einigen, z. T. ebenfalls neueren Arbeiten wird eine Mittelstellung der vorgenannten Auffassungen über die Ursachen der Flechtenschädigung in den Städten eingenommen.

MATTICK (1937) hatte hierzu wohl als erster die . . . „direkten Einwirkungen der dichten Besiedlung“ verantwortlich gemacht und damit die Bebauung, Industrialisierung, Zunahme des Verkehrs, aber auch die Veränderung des Stadtklimas durch Luftverunreinigung, Abnahme der Lichtintensität, der Luftfeuchte und der Taumenge sowie veränderte Temperaturverhältnisse, gemeint. Auf die ähnliche Ansicht BESCHELS (1958) wurde bereits hingewiesen. Ferner ist z. B. VILLWOCK (1959) in ihrer Dissertation nach stoffwechselphysiologischen und Begasungsversuchen mit Schwefeldioxid von 1,0—3,0 mg SO_2/m^3 ³⁵⁾ mit den Flechten *Parmelia furfuracea*, *P. physodes* und *Lecanora varia* zu dem Ergebnis gekommen, daß es unwahrscheinlich ist, . . . „daß die erhöhte Trockenheit der Stadt *allein* die Verdrängung der Flechten aus der Stadt verursacht . . .“

³⁴⁾ Für die Bestimmungshilfe wird Herrn Dr. SCHAUER, München gedankt.

³⁵⁾ Derartige SO_2 -Konzentrationen wurden in Städten bei austauscharmen Wetterlagen schon häufig gemessen (vergl. die Angaben auf S. 110 und 114).

und sie betont dann weiter (S. 68), . . . „es können weder allein die klimatischen Bedingungen einer Stadt noch ausschließlich SO_2 für das Fehlen der Flechten im Stadtgebiet verantwortlich gemacht werden, vielmehr sind dafür die Wechselbeziehungen zwischen diesen beiden Hauptfaktoren unter Berücksichtigung der jeweils artspezifischen Wasserhaushalts- (und Stoffwechsel-) Eigenarten der in Frage stehenden Flechten maßgebend.“ In einer neueren Zusammenfassung der Ergebnisse (1962) weist sie darauf hin, daß bei der ständig hohen relativen Luftfeuchte in Hamburg — bei einem Jahresmittel von 80% sinken auch die Sommerwerte kaum unter 70% — die Trockenheit allein kaum ausschlaggebend sein kann, da auch in größeren Parkanlagen im Stadtgebiet, wo die Feuchtigkeitsverhältnisse nahezu den Freilandwerten entsprechen, eine anomale Flechtenvegetation anzutreffen ist. Ähnliches hatte auch SCHMID (1957) beim Englischen Garten in München beobachtet.³⁶⁾ Abschließend stellt sie daher fest: . . . „Daß eine so ausgedehnte Flechtenwüste, wie sie in Hamburg angetroffen wird, ihre Ursache im Zusammenwirken mehrerer, der Großstadt eigenen Faktoren hat, unter denen sich zwei als besonders hemmend abzeichnen: Einmal als entscheidender Faktor der Einfluß von Schwefeldioxyd (SO_2) zur Zeit der winterlichen Nebelhaube und zum anderen die erhöhte Trockenheit der Stadt während der Sommermonate“ (S. 164).

Auch NATHO (1964), welcher in seiner Habil.-Schrift die Verhältnisse in Berlin (DDR) untersucht hat, kommt zu dem Ergebnis, daß in den Wintermonaten . . . „die Abgase der Hausfeuerungen sich besonders mit ihrem hohen Schwefeldioxyd Gehalt auf die Flechtenentwicklung auswirken und diese hemmen.“ Ein Einfluß größerer Industriebetriebe ließ sich jedoch nicht nachweisen, da die Zahl der Großbetriebe in diesem Teil Berlins verhältnismäßig gering ist und zudem auf wenige Gebiete beschränkt ist. „Teilweise wirkt die Industrie verschlechternd auf den Flechtenbewuchs, wie es für Oberschöneweide gesichert und für Karlsruhorst als wahrscheinlich anzusehen ist.“

Abschließend bemerkt er: „Das Zusammenwirken der Faktorengruppen ‚Luftverunreinigung‘ und ‚Stadtlima‘ ist für die Zonierung des FlechtenbewUCHSES im Stadtgebiet verantwortlich, wobei die Struktur der Stadt (Bebauungsdichte usw.) eine nicht unwesentliche Rolle spielt“ (S. 69).

Beim Komplex Stadtklima ist jedoch zu beachten, daß die relative Luftfeuchtigkeit nur einen geringen Einfluß auf die Assimilation der Flechten ausübt, da sie auch bei 70 oder 80% relativer Luftfeuchte bereits so trocken sind, daß sie nicht mehr assimilieren können. Bei höheren Luftfeuchten kann diese Austrocknung lediglich etwas verzögert werden. In Afghanistan z. B. beträgt die relative Luftfeuchtigkeit im Sommer nur etwa 35—40% und lediglich einige Taufälle bzw. die Durchfeuchtung im Winter reichen völlig aus, um ein üppiges Flechtenleben zu ermöglichen.³⁷⁾

³⁶⁾ Tabelle 10b enthält unter anderem die Werte der relativen Luftfeuchte einiger Städte zum Vergleich.

³⁷⁾ Nach einer persönlichen Mitteilung von Herrn Prof. Dr. M. STEINER, Bonn.

Für das Stadtgebiet von Wien widerlegt auch SAUBERER (1959) die alleinige Abhängigkeit der Flechtenverbreitung von den Feuchtigkeits- bzw. Trockenheitsverhältnissen, da im Westen der Stadt trotz erheblich höheren Regenniederschlägen und Feuchte eine üppigere Flechtenbesiedlung nicht zu beobachten ist. Unter Hinweis auf die Ausbildung einer flechtenarmen bis flechtenfreien Zone in der Umgebung der mit dem Brennstoff Kohle betriebenen Dampfkesselfeuerungen eines Elektrizitätswerkes, in welcher auch sehr starke SO_2 -Immisionen gemessen wurden, kommt sie zu dem Schluß: „Es kann daher angenommen werden, daß die Luftverunreinigungen, zumindest an der Verbreitung der rindenbewohnenden Flechten maßgebend mitbeteiligt sind und daß die kartenmäßige Darstellung der Verbreitung als Ergänzung zu den Ergebnissen der Untersuchungen über die Luftverunreinigungen gelten kann“ (S. 119).

DOMRÖS kam auch zu dem Ergebnis: „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* Faktor für die Schädigung und Zerstörung der Rindenflechten heraus“ (1966, S. 105).

Neuerdings betont auch TRASS (1968), welcher einige estnische Städte (Tartus, Pörnus, Viljandis, Haapsalus) untersucht hat, daß mikroklimatische Bedingungen nur eine sekundäre Rolle spielen und die Flechtenarmut in den Großstädten auf die Verunreinigung der Luft mit giftigen Gasen zurückzuführen ist, wobei sich verschiedene Flechtenarten wegen ihrer unterschiedlichen Empfindlichkeit gegenüber phytotoxischen Abgasen, insbesondere Schwefeldioxid, als ein Gradmesser für die Luftverunreinigung eignen.

Eine Untersuchung über die Verbreitung der epiphytischen Flechten durch RUGE und FÖRSTER (1970) in Hamburg (1 835 000 Einwohner) — rund 12 Jahre nach der Flechtenaufnahme durch VILLWOCK (1959) betont insbesondere den schädlichen Einfluß der staubförmigen Luftverunreinigungen auf die Flechtenvegetation und hat unter anderem ergeben, daß sich die Grenze der Flechtenwüste in diesem Zeitraum bis zu 3 km in neu erbaute Industrie- und Wohnviertel vorgeschoben hat, wobei die Alster jedoch ausgeklammert wird. „Die Ausdehnung der Flechtenwüsten nach O dürfte sich eindeutig aus der hier neu angesiedelten Industrie erklären lassen. Die nördliche Ausdehnung dieser Zone muß dagegen zunächst im Zusammenhang mit der zunehmenden Besiedlungsdichte in diesem Gebiet gesehen werden: Die Häufigkeit der Taubildung nimmt bei einer dichteren Bebauung so stark ab, daß die CO_2 -Assimilation und somit die zum Flechtenwachstum erforderlichen Voraussetzungen für *Lecanora varia* (Ehrh.) Ach. nicht mehr voll gegeben sind“ (S. 31).

Ähnliches gilt auch für die Kampfzone, die sich z. B. nach N um mehr als 1 km verschoben hat . . . „Aus diesem ursprünglichen Wiesen- und Weidegebiet, in dem auch Laubflechten naturgemäß vertreten waren, sind diese Flechten nach der starken Bebauung der Flächen also verdrängt worden.“

Interessanterweise sollen dagegen im Nord- und Südosten der Stadt Laubflechten wieder zum Stadtzentrum zurückgewandert sein (z. T. bis zu 7,5 km) und heute auch in solchen Grün- und Parkanlagen wachsen, wo sie vor 12 Jahren noch fehlten. Sie kommen dadurch zu dem Schluß, daß die SO_2 -Konzentration in der Luft allein nicht die entscheidende Schadkomponente sein kann, sondern es muß . . . „ein neuer, für die Entwicklung der Laubflechten entscheidender Faktor hinzukommen, der bisher noch nicht beachtet wurde. Dies ist — und das gilt offenbar nicht nur für Hamburg — die *Staubkonzentration*“ (S. 32).

In einem Vergleich mit der Staubniederschlagsverteilung nach Messungen durch GRÄFE und SCHÜTZE (1966) ergibt sich nämlich, daß die Laubflechten die Gebiete meiden, in denen im Jahresdurchschnitt mehr als $0,1 \text{ g Staub/m}^2 \cdot \text{Tag}$ fallen. Sie folgern daher: „Während bisher die Flechten als Zeiger für SO_2 , Taubildung usw. gewertet wurden, können die Laubflechten heute nach den Hamburger Erfahrungen auch als *Staubzeiger* innerhalb der Großstädte angesprochen werden“. Sie machen hierfür physikalische und chemische Eigenschaften des Staubes verantwortlich, z. B. verminderten Lichteinfall, Verringerung des CO_2 - und O_2 -Nachschubes durch Verklebung des Staubes auf den Organismen, Verringerung der Benetzungsfähigkeit der Flechten und chemische Faktoren.

Wenn die Hamburger Ergebnisse für die Diskussion über die möglichen schädigenden Komponenten der Großstadtluft auf die epixylen Flechten auch einen neuen Gesichtspunkt beinhaltet, so ist hierbei aber zu bedenken, daß der Staub im allgemeinen vielen Flechten erst ein Wachstum ermöglicht oder zumindest nicht völlig unterbindet. Dies gilt besonders für die nitrophilen Arten, die durch den Straßenstaub, besonders wenn dieser noch durch organische Stoffe (Tierkot o. ä.) angereichert ist, regelrecht gedüngt werden und schon deswegen im Innern von Wäldern gar nicht vorkommen können. Die heutigen staubfreien (asphaltierten) Straßen auch außerhalb von Städten und Dörfern, sogar ein erheblicher Teil ehemaliger Feldwege ist bereits staubfrei, tragen zweifellos eine große Schuld am Verschwinden zahlreicher Flechtenarten. Der Flechtenreichtum an noch gelegentlich zu findenden staubigen Straßen- und Alleebäumen ist hierfür ein beredter Beweis.³⁸⁾

Es muß daher bei derartigen Angaben über die Staubmenge noch die mineralogische Zusammensetzung bekannt sein, um einen wachstumshemmenden oder -fördernden Einfluß beurteilen zu können. Insgesamt betrachtet ist jedoch die Wirkung von Staub auf Pflanzen geringer als die Wirkung von toxischen Gasen (Dämpfen) wie Schwefeldioxid, Fluor, Stickstoffdioxid usw. Dichte Staubablagerungen können allerdings eine chemisch-physiologische Wirkung ausüben. Bereits HASELHOFF (1932) hatte hierzu auf die schädliche Einwirkung der Flug-

³⁸⁾ Nach einer persönlichen Mitteilung von Herrn Prof. Dr. M. STEINER sind die Flechten in Afghanistan durchwegs nitrophile Arten, die trotz massiver Belastung durch den Straßenstaub, welcher durch Tierkot (Schafe, Kamele) stark angereichert ist, einen üppigen Wuchs an den Bäumen aufweisen. Selbst in Wüstengebieten bilden nach seinen Beobachtungen Gesteinsflechten direkt Polster von einigen cm Höhe, weil sie durch den abgelagerten Staub, der sich besonders nach einer Taudurchfeuchtung hier ansetzt, hindurchwachsen.

asche aus Stein- und Braunkohlefeuerungen hingewiesen, da diese Brennstoffe einen hohen Gehalt an Natrium- und Calciumsulfid aufweisen, welche durch Hydrolyse H_2S entstehen lassen und dadurch Pflanzenschäden zur Folge haben. Bei dem hohen Anteil der Flugaschen im Staubniederschlag der Großstadtluft, in München z. B. mehr als die Hälfte (vergl. hierzu die Ausführungen auf S. 119 ff.), wird es daher verständlich, daß der Großstadtstaub und das trifft sicherlich auch für Hamburg zu, in Verbindung mit Feuchtigkeit (Regen, Tau, Nebel) durchaus in der Lage ist, auf die Flechtenthalli, insbesondere bei Blatt (Laub)flechten, zerstörend einzuwirken. Die Untersuchungen von KLEE (1970) haben ebenfalls ergeben, daß aufgebrauchte Koksasche Hypogymnia physodes stark schädigt und besonders die ständig befeuchteten Flechten die höchste Absterberate zeigten. Daß Fabrikstäube die Keimung von Flechtensporen beeinträchtigen, wurde auch von KOFLER, JACQUARD und MARTIN (1969) festgestellt. In zahlreichen neueren Untersuchungen wird ebenfalls auf die Abhängigkeit der Flechtenvitalität bzw. -verbreitung von der Höhe der Staub-Immissionen hingewiesen. Konzentration und Verteilung des Staubes weisen auch in München eine angenäherte Übereinstimmung mit den Zonen der Baumflechten auf (vergl. Abb. 29). Zur Flugasche kommt noch die schädliche Wirkung des Rußes, welcher überwiegend — wie eingangs schon erwähnt — bei der unvollständigen Verbrennung von festen und flüssigen Brennstoffen (Braun- und Steinkohle, Heizöl) entsteht. Hierzu schreibt schon ARNOLD (1900, S. 99) . . . „dass der durch den Verbrauch der Steinkohlen erzeugte Russ sich rings um München als schwarzer Ueberzug an allen Bäumen, hauptsächlich an den Aesten und Zweigen festsetzt. Hierdurch gehen die kleinen Krustenflechten zu Grunde und werden verhindert, wieder nachzuwachsen. Die Strauch- und Laubflechten in der Nähe der Stadt fangen an zu kränkeln, erschlaffen, verfärben sich und werden vielfach von einer grünen, jede Symbiose ausschliessenden Alge verdrängt. Der nachtheilige Einfluss dieses Russes erstreckt sich schon weit in die Wälder hinein“³⁹⁾.

In einer neueren Untersuchung über die epiphytischen Flechtenwuchszonen von München kommt JÜRGING (1968) ebenfalls zu dem Ergebnis, daß seit der letzten Aufnahme durch SCHMID (1957) bei den untersuchten Bäumen von Park- und Grünanlagen sowie der wichtigsten Ausfallstraßen gewisse Veränderungen der Flechtenvegetation zu beobachten sind. Gegenüber einer Ausweitung der Zonen nach NE ist vom W her die Kampfzone etwas in das Stadtgebiet vorgerückt, wobei überwiegend die SW-Seiten der Bäume (Wetterseite) besiedelt werden. Hierbei dürften — ähnlich wie in Hamburg — die seit Jahren durchgeführten Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft mit einer erheblichen Verminderung der SO_2 - und Staub-Immission (vergl. Abb. 23, Abb. 25, 27 und S. 115 ff.), den baumbesiedelnden Flechten wieder ausreichende Existenzbedingungen geschaffen haben.

³⁹⁾ Um 1900 erstreckten sich die Wälder bis in die heutigen Stadtbezirke Nymphenburg, Bogenhausen, Sendling und längs den Isaraueu.

Zur Poleophobie⁴⁰⁾ der Rindenflechten bemerkt er: . . . „Es scheint nun doch so zu sein, daß sowohl Trockenheit als auch die Luftverunreinigung als schwer zu trennende Faktoren gemeinsam entscheidenden Einfluß auf die Flechten ausüben.“ Er weist daher darauf hin, daß für genaue Aussagen zum Problem Luftverunreinigung und Flechtenschädigung sowohl Begasungsversuche von Flechten mit Schwefeldioxid als auch . . . „Beobachtungen gleichmäßig in der Stadt verteilter Flechtenproben . . .“ erforderlich wären.

Bis zu einer endgültigen Klärung der Frage nach den tatsächlichen Ursachen für den Rückgang bzw. das Verschwinden und letztlich für die Flechtenarmut der menschlichen Großsiedlungen wird man wohl STEINER zustimmen müssen, der ausführt: „Daß die Luftverunreinigung eine wichtige Rolle spielt, ist kaum zweifelhaft. In manchen Fällen dürfte sie sogar allein ausschlaggebend sein, wie ein kürzlich von SKYE (1958) genau analysiertes Beispiel von Flechtenschädigungen in der Umgebung eines schwedischen Industrierwerkes zeigt . . . Zusammenfassend wird man sagen dürfen, daß beide Faktoren: Luftverunreinigung und Stadtklima, von Bedeutung sind. In einzelnen Fällen wird der eine oder der andere Faktor allein den Ausschlag geben. Häufiger werden beide zusammen für die Erscheinung der Poleophobie verantwortlich sein. Die verschiedene Stellungnahme der Untersucher mag vielfach mit der Besonderheit ihrer Untersuchungsgebiete zusammenhängen“ (1965, S. 796).

Unbestritten ist jedoch auf Grund der zahlreichen Beobachtungen und Untersuchungen die Erkenntnis, daß insbesondere die rindenbesiedelnden Flechten als vorzügliche Indikatoren von ungünstigen Veränderungen der Biosphäre anzusehen sind, denn es „reagieren die Flechten offenbar spezifischer auf eine Änderung der lufthygienischen Verhältnisse als die nur wenige Komponenten registrierenden Meßinstrumente“ (STEUBING, 1970, S. 37). Auf die Tabellen 6 und 7 (S. 63 und 66) und das umfangreiche Schrifttum wird nochmals hingewiesen.

Von DOMRÖS (1966) wurde dieses Indikatorproblem eingehend erörtert und begründet und durch neuere Untersuchungen anderer Forscher bestätigt. Auf dem Symposium in Wageningen/Holland 1968 über die Wirkung luftverunreinigender Stoffe auf Pflanzen und Tiere wurde besonders auf die Eignung von niederen Pflanzen (Flechten und Moose) zur Abgrenzung immissionsbelasteter Gebiete hingewiesen (LE BLANC, WENTZEL, 1968). Ähnliches erfolgte auch auf dem Kongreß „Reinhaltung der Luft“ 1969 in Düsseldorf durch SCHÖNBECK, BUCK, VAN HAUT und SCHOLL (1970).

Über die Brauchbarkeit und den Nutzen der Flechtenmethode für die Praxis der Immissions-Überwachung bzw. Abgrenzung von Immissionsgebieten und Ermittlung des / der Emittenten durch die zuständigen Behörden und Institutionen wird im V. Kapitel näheres ausgeführt.

⁴⁰⁾ Der Begriff Poleophobie = Stadtfeindlichkeit wurde (lt. BARKMAN 1958) von ERICHSEN 1928 eingeführt. (Zit. nach STEINER, 1965, S. 796).

III.

DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Bei der Entstehung und Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der erdbodennahen Grundsicht der Atmosphäre spielen die natur- und wirtschaftsräumlichen Gegebenheiten des betrachteten Gebietes eine große Rolle.

Für den Großraum München sind daher sowohl die Oberflächengestalt als auch die landschaftliche Eigenart der Münchener Ebene einer näheren Betrachtung zu unterziehen, wobei besonders die morphologischen Besonderheiten hervorgehoben werden müssen, die klimatisch wirksam sind und hemmend oder fördernd auf den Austausch der verunreinigten Luftmassen einwirken und unter anderem die besonderen meteorologisch-klimatologischen Verhältnisse bedingen. Die wirtschaftsräumlichen Gegebenheiten, die durch Industrie- und Gewerbebetriebe, den Haushaltsfeuerungen und den Kraftfahrzeugverkehr die wesentlichen Quellen der Luftverunreinigung beinhalten, müssen in diesem Zusammenhang ebenfalls einer Betrachtung unterzogen werden, da sie zusammen mit den naturräumlichen Gegebenheiten die lufthygienischen Verhältnisse beeinflussen und bestimmen.

1. Naturräumliche Gegebenheiten

Topographie und Vegetation der Münchener Ebene⁴¹⁾

Die Stadt München liegt auf dem fluvioglazialen Schotterfeld des (schwäbisch-) bayerischen Alpenvorlandes, der sogenannten „Schiefen Ebene von München“ gleichsam als ein „Goldener Sattel auf dürrer Mähre“ wie der Schwedenkönig GUSTAV ADOLF 1632 gesagt haben soll. In ihrem Grundriß stellt sie ein gleichschenkliges Dreieck dar, dessen Basis in der Linie Darching (Taubenberg) — Maisach mit 60 km Länge der Stirnfront des Isargletschers entspricht und von 700 m NN nach NW auf nahezu 500 m NN abfällt, während die dritte Dreieckspitze bei Moosburg in etwa 400 m NN liegt. Dem symmetrischen Umriß entspricht also nicht gleichzeitig auch eine Symmetrie des Gefälles. Abb. 4 zeigt deutlich, daß diese Ebene mit schwacher Neigung nach NE abfällt und im NW an der Linie Moosburg—Dachau—Maisach an das tertiäre Hügelland angrenzt, welches sich als Stufe deutlich im Landschaftsbilde abhebt. Diese Abdachungsebene wurde durch die eiszeitlichen Schmelzwasser aufgeschüttet und überwiegend mit Niederterrassenschottern, den Aufschüttungen der letzten Eiszeit, bedeckt, so daß die große Ebenheit des Geländes der herrschende Formeneindruck ist. Es senkt sich aber nicht nur die Oberfläche der Schotterebene von

⁴¹⁾ Im wesentlichen folge ich hier C. TROLL (1926).

S nach N, die bei Wolfratshausen eine Mächtigkeit von etwa 80 m, in Deisenhofen etwa 25 m und im Stadtzentrum etwa 15 m Mächtigkeit aufweist, sondern auch seine aus wasserundurchlässigen Letten und Mergeln, dem sogenannten Flinz, bestehende Unterlage. Der Flinzhorizont hat allerdings geringeres Gefälle als die Schotteroberfläche. Auf ihm verläuft der Grundwasserstrom, der dort, wo die Schotterterrasse ausdünnt und ein bestimmtes Maß unterschreitet, in einem Quellhorizont an die Oberfläche tritt und zur Entstehung der großen Quell- und Wiesenmoore (Dachauer und Erdinger Moor) führte.

Innerhalb des Stadtgebietes ist die „Hanglage“ aus den Profilen (Abb. 5a und 5b) zu erkennen. Zur leichteren Übersicht wurden den Profilverpunkten die zugehörige Nummer des Stadtbezirkes beige gesetzt. Bei einer durchschnittlichen Höhe von 530 m NN beträgt die maximale Höhendifferenz 100 m, wobei der höchste Punkt mit 580,6 m NN an der südlichen Stadtgrenze in Solln, nahe dem Kloster Warnberg, liegt (36. Stadtbezirk). Der niedrigste Punkt mit 480,6 m NN liegt im N, nahe dem Schwarzhölzel bei Feldmoching (33. Stadtbezirk). Im Südteil der Stadt beträgt das Gefälle etwa 11 m/km, im N nur 3 m/km.

In die Schotterebene hat sich die Isar tief eingeschnitten, wobei das Westufer nach N zu immer weniger ausgebildet ist und sich bereits in der Stadtmitte fast verliert, während das Ostufer bis über Ismaning hinaus als Steilhang erhalten ist. Die Isar mit den Nebenflüssen Würm, Loisach, Amper, Glonn und Sempt nimmt die Donau auf, in die auch aus dem tertiären Hügelland Ilm und Abens fließen. Die Terrasseneinschnitte hat TROLL (1926) als Grünwalder-, Altstadt- und Hirschau-Stufe bezeichnet. Die letztere umfaßt die feuchteren Stadtteile, praktisch die Isarauen, die dadurch auch nicht so stark besiedelt wurden. Hier erstrecken sich größere, waldähnliche Grünflächen (Hellabrunn, Hirschau, Englischer Garten). Aber auch die beiden anderen Stufen sind noch heute im Stadtbild deutlich wahrzunehmen, z. B. im W die Theresienhöhe mit der Bavaria, im Osten die Steilufer mit dem Maximilianeum (Landtagsgebäude) und dem Friedensengel. Interessant ist hierbei, daß sich die alten Siedlungskerne an diese Terrassenränder anlehnen. Im W z. B. Pullach, Thalkirchen, Sendling, die Altstadt, Schwabing, Freimann und Garching, im Osten: Grünwald, Harlaching, Giesing, Haidhausen, Ober- und Unterföhring und Ismaning. An der Würm ist ähnliches nicht zu beobachten, da sie nur bei Pasing kleinere Terrassenränder aufweist.

Die morphologischen Verhältnisse der Münchener Ebene sind in Abb. 6 dargestellt.

Wald, Heide, Moor

Die *Vegetation* der Münchener Ebene, die für die klimatischen und damit auch für die lufthygienischen Verhältnisse von Bedeutung ist, läßt sich in drei große Gruppen einteilen: Wald, Heide und Moor, welche in gürtelförmiger Anordnung von S nach N aufeinander folgen (vergl. Abb. 7). Der *Wald*

bedeckt den ganzen südlichen Teil der Münchener Ebene, ausgenommen die Rodungsinseln um die Ortschaften herum und bildet als Waldgürtel das Gegenstück zum Moorgürtel im N der Ebene. Einige besitzen eine größere zusammenhängende Fläche, wie der Kreuzlinger Forst westlich der Würm, der Forstener Wald (Park) zwischen Würm und Isar, der Perlacher und Grünwalder Forst zwischen Isar- und Gleißental und die Deißenhofener, Hofoldingener und Höhenkirchener Forste. Im Osten erstreckt sich der Ebersberger Forst als ein großes Waldgebiet. Innerhalb des Stadtbereiches befinden sich noch einige kleinere Wälder, die bei den Grünanlagen näher erläutert werden.

Die *Heideflächen*, die sich an den Waldgürtel anschließen, sind Grasheiden im Sinne von MEUSEL (kontinentale Heiden, Steppenheiden), nicht Strauchheiden (ozeanische Heiden), also trockene Wiesen, die jedoch östliche und südöstliche (xerotherme) Florenelemente aufweisen. Sie werden heute überwiegend als Ackerbauflächen genutzt, soweit nicht die dünne Bodenkrume einen Anbau von Feldfrüchten ausschließt, und eine geschlossene Grasnarbe nur eine Nutzung als Wiese zuläßt. Stellenweise ist auf mageren Böden jedoch auch dies nicht mehr möglich, so daß . . . „Moose und Flechten, die auch sonst im Unterbewuchs eine große Rolle spielen, die Führung übernehmen (*Cladonia rangiformis*, *Cetraria islandica* usw.)“ (TROLL, 1926, S. 190).

Die ehemals großen Flächen der Menzinger Heide zwischen Pasing und Obermenzing nehmen heute neue Siedlungen ein und die bekannte Garchingener Heide zwischen Eching und Garching bis Schleißheim ist ebenfalls durch Besiedlung sehr zusammengeschrumpft, obgleich sie früher bis in das Stadtgebiet (Schwabing) herein gereicht hat (Fröttmaninger Heide).

Im nördlichen Teil der Münchener Ebene dominiert das *Moor*, das durch das kalkreiche Grundwasser jedoch auf dem Stadium des Flach- und Wiesenmoores stehen bleibt. Die Vegetation setzt sich überwiegend aus den als Heuwiesen genutzten Moorflächen und aus den Moorwäldern (Birken) zusammen. Die Gewinnung von Torf zum Eigenverbrauch (Hausfeuerung) ist praktisch bis auf kleine Reste erloschen. Zwischen Moor und Heide sind vielfach kleine Wälder, die sogenannten „Lohwälder“ eingestreut, die überwiegend Laubwälder (Eichen) sind und mit dem schon höheren Grundwasserstand in der Nähe des Moores zusammenhängen, wobei sie eine besondere Bodenflora aufweisen. Hierzu sind die Wäldchen bei Schleißheim, Lohhof, das Kapuzinerhölzl beim Botanischen Garten zu zählen. Abb. 7 läßt diese Lohwälder, welche den Rand der Schotterzungen gegen das Moor hin umsäumen, deutlich erkennen.

Für die klimatischen Verhältnisse der Münchener Ebene sind die orographischen und damit zusammenhängenden hydro- und vegetationsgeographischen Gegebenheiten sehr wichtig, da sie unter anderem die hohe Nebelhäufigkeit aus den Moorgebieten und eine ständige Frischluftzufuhr aus dem südlichen Waldgürtel bedingen, so daß sie auch für Fragen der Luftreinhaltung von Bedeutung sind. Bei den nachfolgenden Betrachtungen der klimatischen Faktoren wird hierauf noch näher eingegangen.

Wetter und Klima

Beobachtungen von Wetter und Klima waren lange Zeit nur für die Landwirtschaft und dann allmählich auch für die Fremdenverkehrsorte bzw. Erholungsgebiete in der Urlaubszeit und an den Wochenenden von besonderem Interesse. Durch die zunehmende Luftverunreinigung wurden derartige Beobachtungen jedoch auch in Großstädten und Industrielandschaften in jüngster Zeit sehr bedeutungsvoll, da hierdurch wichtige Unterlagen für Maßnahmen zur Luftreinhaltung bereitgestellt werden.

München liegt in $48^{\circ} 8' 23''$ nördlicher Breite und $11^{\circ} 34' 28''$ östlicher Länge (Stadtmittelpunkt ist der nördliche Turm der Frauenkirche). Etwa gleiche geographische Breite haben in Europa Freiburg i. Br., Linz und Wien und etwa gleiche Länge Oslo, Magdeburg, Jena, Bayreuth, Innsbruck und Bologna. Durch diese geographische Lage ist das Großklima vorgezeichnet, da Bayern im Westwindgürtel der Erde liegt, in dem durch die wandernden Hoch- und Tiefdruckgebiete sowie das wechselnde Zuströmen von Luftmassen aus Nord oder Süd, vom Meere oder Binnenland, der Witterungscharakter insgesamt sehr veränderlich ist. Die vom Westen her einströmenden Luftmassen beeinflussen mit ihrem hohen Feuchtigkeitsgehalt den schon stark kontinental geprägten Münchener Raum. Im Sommer entstehen dadurch absinkende Temperaturen und im Winter zeitweise Kälteminderungen. Der Einfluß des Azorenhochs macht sich im Sommer und das Festlandhoch im Winter bemerkbar. Vom Mittelmeer über die Alpen ziehende Tiefdruckgebiete bedingen in den Übergangsmonaten das oft wechselhafte Wetter. Stabilere Wetterlagen treten erst bei Winden aus Osten auf, da hierdurch im Sommer trockene und heiße und im Winter längere anhaltende Kälteperioden entstehen. Durch die nahe Lage zu den Alpen wirken sich außerdem die Föhneinflüsse sehr stark auf das Klima aus, so daß das oft rasch wechselnde Wetter ein Klima erzeugt, das als „mehr rauh als mild“ bezeichnet werden muß.

Da fast alle meteorologischen Elemente im Stadtgebiet gegenüber dem unbeflügelten Umland mehr oder weniger starke Veränderungen erfahren und somit ein eigenes Stadtklima erzeugen, welche unter anderem auch für die Verteilung von Luftverunreinigungen und somit letztlich für das Immissionsangebot entscheidend beitragen, müssen die Wind- und Niederschlagsverhältnisse, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung, Nebelhäufigkeit und Inversionen näher betrachtet werden.

Wind- und Niederschlagsverhältnisse

Die Jahresmittelwerte der *Windstärke* in der BRD nehmen von Nord nach Süd ab, d. h. die größten Windstärken treten in den Küstengebieten und die geringsten im Alpenvorland auf. In Tabelle 10b (S. 86) sind zum Vergleich die Werte von einigen Städten zusammengestellt und man ersieht, daß München gegenüber den anderen Städten, insbesondere Kiel und Hamburg, eine wesent-

lich geringere mittlere Windstärke aufweist. Dasselbe gilt für die Häufigkeit der Winde > 5 m/s, welche für eine rasche Durchlüftung des Stadtgebietes und damit für eine Verfrachtung von Luftverunreinigungen wichtig sind, da schwache Winde nur eine geringe und sehr langsame Durchmischung bewirken.

Auf der Münchener Ebene entsteht jedoch durch die „Hanglage“ bedingt — vor allem bei Hochdruckeinfluß — häufig ein lokales Windsystem, das etwa mit den Berg- und Talwinden in Gebirgstälern verglichen werden kann. Die infolge nächtlicher Ausstrahlung abgekühlte bodennahe Luft fließt von S nach N bzw. NE ab, während tagsüber die durch Einstrahlung erwärmte Luft in entgegengesetzter Richtung (N nach S) aufsteigt. Abb. 8 zeigt die Verteilung der Windrichtungen in Prozenten ihrer Häufigkeit sowie die Windstillen an einigen Orten in und um München.

Der Wind wird durch die Bebauung im Stadtgebiet sowohl in seiner Stärke als auch in seiner Richtung am meisten verändert. Nach KRATZER (1968) hat sich nach der Auswertung der Klimawerte von drei meteorologischen Stationen, nämlich im Westen der Stadt Nymphenburg mit 515 m NN (23. Stadtbezirk), Bavariaring im Zentrum (Landeswetterwarte) 520 m NN (10. Bezirk) und Riem im Osten (Flughafen) mit 524 m NN (32. Bezirk) in der Zeit von 1956 bis 1965 (10 Jahre) ergeben, daß die Windstärke — wie erwartet — im Stadtzentrum geringer ist als auf dem Land, denn an der Station Bavariaring wurde im Mittel ein Wert von 1,83 Beaufortskala (etwa 1,6 m/s), gemessen, in Riem dagegen 2,2 Beaufortskala (2,5 m/s), obgleich sich der Windmesser hier in einer Höhe von 18 m befindet. Am Bavariaring ist er auf dem Dach eines Gebäudes in 26 m Höhe angebracht. Im Mittel wird im Zentrum im Jahr 104,5 mal, in Riem 67 mal Windstille registriert. Die verminderte Windgeschwindigkeit im Zentrum beweist erneut die Tatsache, daß die Luftströmung durch das Häusermeer doch erheblich beeinflußt wird und eine ungehinderte Strömung sich erst in größerer Höhe ausbilden kann. Nach neuesten Untersuchungen, die nach REIDAT (1969) auf dem Symposium für Stadt- und Gebäudeklimatologie 1968 in Brüssel mitgeteilt wurden, führt die aufgelockerte Bauweise der modernen Stadtteile mit Wohnblöcken verschiedener Höhe und größeren Freiflächen zu verstärkter Wirbelbildung und Böigkeit des Windes. In Hamburg wurden dazu an $\frac{1}{3}$ des Jahres Böen mit einer Stärke von 7—10 Beaufort beobachtet, so daß bereits mit Gefährdungen von Passanten und des Verkehrs gerechnet werden muß.

Nach der Abb. 8 herrschen auf der Münchener Ebene bzw. in und um München Winde aus S und SW vor, wobei allerdings beachtet werden muß, daß die Stationen des Wetterdienstes nur die freie Luftströmung, d. h. nur die Windverhältnisse, die in etwa 20 m Höhe über freiem Gelände herrschen, registrieren und daß größere Hindernisse (Städte, Industrieanlagen usw.) diese freie Strömung sowohl in der Richtung als auch in der Geschwindigkeit verändern. In einer Großstadt bildet sich zudem meist ein eigenes Windsystem aus, so daß z. B. im Süden der Stadt eine andere Hauptwindrichtung vorherrschen kann als im Norden.

Zur Ermittlung der tatsächlichen Windverhältnisse in München wurden daher von SCHWEIGLER (1969) von November 1964 bis April 1968 die Windrichtungen gezählt, wobei die Tage mit Inversionswetterlagen gesondert betrachtet wurden. Es standen ihm Werte von der Flugwetterwarte Riem und vom Fernheizwerk Müllerstraße im Stadtzentrum (60 m über Grund) zur Verfügung.

Abb. 9 zeigt die Ergebnisse der Windauszählung für die Sommermonate (Mai bis Oktober) 1967 und eine Jahresauszählung von Mai 1967 bis April 1968. Es überwiegen die Windrichtungen Süd bis West, Winde aus Nord sind selten.

Bei den häufigen Inversionswetterlagen sind auch die nach SCHWEIGLER (1969) in Abb. 10 dargestellten Windauszählungen für eine Inversionsdauer von 24 Stunden oder mehr, recht aufschlußreich, zeigen sie doch eine deutliche Bevorzugung der Windrichtung Ost bis Süd, teilweise auch Nordost. West- bis Nordwinde hingegen sind nur schwach oder fast nicht vertreten.

Die Auszählungen für eine Inversionsdauer von 48 Stunden und mehr zeigen eine ähnliche Verteilung, bei denen jedoch die Südrichtung noch mehr bevorzugt ist. Auf S. 88 ff. wird auf die in München an 70 bis 80% aller Tage des Jahres auftretenden Inversionslagen noch besonders eingegangen. Bei solchen Inversionslagen wehen in der ersten Tageshälfte häufig Winde aus S bis SW und in der zweiten Tageshälfte aus N bis NE. Hinzu kommt, daß diese Winde sehr stetiger Natur sind — im Gegensatz zu den turbulenteren West- bis Nordwestwinden — wodurch die mitgeführten Luftverunreinigungen nicht nur sehr gering verteilt werden, sondern mit der Luftströmung noch in relativ konzentrierter Form transportiert werden. Bei länger anhaltenden Inversionslagen im Winter herrschen jedoch meist Winde aus südlichen und östlichen Richtungen vor.

Die sich aus diesen Windverhältnissen ergebenden Besonderheiten für die luft-hygienische Situation in München, insbesondere ihre Auswirkungen auf die natürlichen und exponierten epixylen Flechten sowie auf planerische Gesichtspunkte bei der Festlegung von Industriestandorten und Siedlungsgebieten wird später noch eingegangen.

Eine Betrachtung der *Niederschlags*verhältnisse ergibt nach KRATZER (1968), daß sich die Stadt München in das allgemeine Stadtklima mit einem Überschuß einreihet. Im Zentrum (Bavariaring) fielen 87,2 mm (= Liter/m²) mehr Niederschlag als am Westrand der Stadt (Nymphenburg) und 3,1 mm weniger als am östlichen Stadtrand (Riem). Dieser Überschuß Land-Luvseite ist durch schwächere Niederschläge in Riem bedingt; bei stärkeren Niederschlägen (pro Tag mehr als 10 mm) hat allerdings die Stadt einen Überschuß. Wie hoch die Monatsmittel 1967, 1968, 1969 und 1970 an den vorgenannten Stationen gewesen sind, zeigt Tabelle 8. Sowohl die monatlichen Regenmengen als auch die Tagesmaxima unterstreichen in ihren Schwankungen den recht wechselhaften Witterungsverlauf in den einzelnen Jahren. Der Überschuß in der Stadtmitte (Bavariaring) bleibt jedoch immer deutlich erhalten. Wenn auch der Einfluß der Großstadt auf die Niederschlagstätigkeit umstritten ist, so werden jedoch in München in der Regel 10 Tage und mehr mit Gewittern registriert als in den

Tabelle 8:
 Monatliche Niederschlagsmenge an drei Beobachtungsstationen im Stadtgebiet von München.

Monate 1969 (1968)	Nymphenburg		Bavariaring		Riem	
	Menge mm	Tagesmax. mm	Menge mm	Tagesmax. mm	Menge mm	Tagesmax. mm
Januar	41 (90)	11 (23)	50 (119)	17 (27)	53 (106)	18 (17)
Februar	30 (34)	9 (8)	34 (42)	10 (10)	31 (43)	8 (8)
März	48 (27)	17 (6)	42 (41)	16 (9)	45 (35)	17 (8)
April	43 (54)	9 (17)	52 (67)	11 (21)	43 (52)	12 (18)
Mai	88 (65)	29 (17)	82 (78)	24 (24)	76 (75)	18 (28)
Juni	163 (97)	45 (27)	210 (176)	47 (61)	154 (160)	39 (62)
Juli	93 (117)	42 (39)	81 (151)	16 (46)	73 (92)	16 (35)
August	119 (161)	15 (37)	177 (155)	36 (38)	116 (145)	20 (23)
September	11 (113)	4 (40)	25 (120)	12 (47)	13 (97)	5 (38)
Oktober	4 (63)	1 (22)	4 (68)	2 (26)	3 (72)	1 (32)
November	84 (11)	18 (5)	88 (15)	20 (9)	77 (12)	17 (6)
Dezember	97 (23)	16 (5)	62 (25)	19 (5)	51 (21)	16 (5)
Monats- $\bar{\phi}$						
1970	86	19	78	16	77	16
1969	65	18	76	19	61	16
1968	71	21	88	27	76	23
1967	70	16	78	16	71	15

nördlichen Landesteilen, was — ähnlich wie die Windverhältnisse — durch die nahe Lage zu den Alpen bedingt ist. Entsprechend verhalten sich auch die Niederschlagshöhen, die von Norden nach Süden zunehmen. REICHEL (1965) hat in einer Untersuchung über die Häufigkeit und Verbreitung von Niederschlag und Schneefall im Stauraum des Alpenvorlandes folgende Werte angegeben: Ingolstadt 690 mm, Weihenstephan 787 mm, München-Riem 934 mm, Ammerland 1032 mm und Bad Tölz 1507 mm. Die Zahl der Tage mit einer Niederschlagshöhe von mindestens 10 mm/Tag ergibt eine ähnliche Zunahme, nämlich Ingolstadt 12,5 Tage/Jahr, Weihenstephan 15,4; München-Riem 27,7; Ammerland 28,2 und Bad Tölz 52,9 Tage/Jahr.

Die Monatswerte der Hauptwitterungs- und Klimadaten im Durchschnitt der Jahre 1953—1962 sind nachfolgend in Tabelle 9 und Abb. 11 wiedergegeben. Zum Vergleich sind in den Tabellen 10a und 10b einige meteorologische und klimatologische Werte von München und einigen anderen Städten zusammengestellt, aus denen unter anderem die besonderen meteorologisch-klimatischen Verhältnisse Münchens hervorgehen.

Monat	mitrl. Luft- druck mm	Lufttemperatur (°C)					Bewölk.- mittel *)	Sonnenschein- dauer h	Niederschlags- menge mm	Zahl der			Zahl der Tage mit				
		Mittel	absol. höchste	am	absol. tiefste	am				Eistage	Frosttage	Sommertage	Niederschlägen	Schneefall	Schneedecke	Gewitter	
Januar	715,7	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62	53/62
Februar	715,4	—1,8	13,7	31.1953	—20,0	15.1960	7,5	65	59	12	26	—	17	14	21	—	—
März	715,4	—1,1	19,8	29.1960	—29,6	10.1956	7,0	80	59	9	22	—	16	11	16	0	0
April	714,9	3,5	22,3	26.1955	—14,8	8.1955	6,1	158	45	3	18	—	12	7	8	1	1
Mai	716,2	7,9	26,2	30.1955	—7,6	8.1956	6,4	173	70	0	6	1	16	5	—	2	2
Juni	716,9	11,8	29,7	26.1953	—2,8	9.1957	6,5	213	103	0	1	2	17	1	—	3	3
Juli	716,6	15,5	30,3	24.1962	0,5	5.1962	6,6	205	132	—	—	5	18	0	—	8	8
August	716,6	17,0	34,1	6.1957	5,1	5.1962	6,4	217	161	—	—	9	18	—	—	8	8
September	717,0	16,6	33,1	14.1962	3,9	31.1956	5,8	223	102	—	—	8	17	—	—	6	6
Oktober	717,7	13,9	30,7	3.1962	0,3	19.1959	5,1	194	66	—	—	5	12	0	—	2	2
November	717,4	—8,5	25,4	2.1956	—6,2	30.1955	5,9	143	59	—	4	—	11	1	1	0	0
Dezember	716,7	2,8	19,2	7.1954	—13,5	25.1962	7,9	60	30	2	14	—	14	5	4	—	—
Dezember	714,8	0,1	17,5	5.1961	—23,2	28.1962	7,7	50	58	8	21	—	17	9	11	—	—

*) In Zehnteln der Himmelsbedeckung (0 = wolkenlos, 10 = bedeckt).

Tabelle 9:
Monatswerte der Hauptwitterungs- und Klimadaten im Jahresdurchschnitt 1953—1962 von München (aus EICHER, 1964).

Tabelle 10a:

Meteorologische und klimatologische Werte von München und einigen anderen Städten zum Vergleich.

Zusammengestellt nach Angaben des Dt. Wetterdienstes und RECKNAGEL-SPRENGER, 55. Aufl. (1968).

Ort	Mittl. Jahres- temperatur °C	Jahresmax. der Temperatur		Jahresminim. der Temperatur		Heiztage	Heizgrad- tage *)	mittlere Zahl der Tage mit einem Temperatur- maximum			
		mitl. °C	absolut °C	mitl. °C	absolut °C			≥ 30° C	≥ 25° C	≥ 0° C	≥ -10° C
Augsburg	8,2	32,0	36,6	-16,6	-28,2	228	3490	3,9	30,6	—	1,0
Berlin-Dahlem	8,4	32,6	37,2	-14,7	-26,0	226	3420	5,7	30,5	23,2	0,3
Bonn	10,2	31,9	35,5	- 9,9	-19,6	212	2880	3,8	29,6	—	0,1
Bremen	8,9	30,6	34,4	-12,6	-21,8	233	3280	1,9	17,1	17,9	0,4
Dresden	9,3	33,0	37,9	-15,2	-27,8	216	3140	6,5	35,8	19,1	0,5
Essen-Mülheim	9,3	31,6	35,2	-11,3	-20,4	222	3040	3,1	21,9	10,3	0,1
Erfurt	8,0	32,1	36,4	-19,2	-30,4	233	3510	4,0	27,3	—	1,9
Frankfurt/M.	9,6	32,0	37,5	-12,5	-21,5	214	3030	7,2	38,7	16,5	0,2
Halle	9,2	32,7	36,3	-14,5	-27,3	226	3260	5,9	33,9	20,6	0,5
Hamburg	8,5	30,0	33,5	-11,5	-21,1	230	3350	1,4	13,3	20,3	0,1
Hannover	8,7	31,1	36,4	-13,9	-25,0	227	3240	2,6	21,9	19,6	0,3
Karlsruhe	9,9	32,5	38,2	-13,9	-23,2	212	2950	6,2	40,7	17,1	0,4
Kiel	7,6	27,4	31,3	-11,2	-20,0	227	3600	0,0	5,0	22,8	0,0
Köln-Leverkusen	9,5	32,1	35,7	-12,2	-19,5	213	2910	3,8	27,0	7,9	0,1
Königsberg	6,9	32,1	36,6	-19,5	-31,2	243	3900	3,7	25,6	40,4	3,0
München	7,4	31,6	36,2	-16,0	-25,4	238	3720	1,3	20,5	38,8	2,2
Münster	9,1	32,5	35,4	-13,4	-27,0	224	3140	4,8	30,3	—	0,2
Nürnberg	8,7	32,6	37,2	-17,2	-27,8	224	3370	6,4	34,2	97,2	0,6
Rostock	7,5	31,7	36,4	-15,3	-28,3	240	3570	2,6	18,9	—	0,6
Stuttgart	10,0	33,0	38,7	-13,5	-25,0	210	2930	7,0	41,4	—	0,5
Wien	9,2	33,0	38,3	-15,0	-22,6	—	—	9,9	—	30,7	—

*) Zu Heizgradtage siehe Fußnote S. 86

Tabelle 10b:

Meteorologische und klimatologische Werte von München und einigen anderen Städten zum Vergleich.

Zusammengestellt nach Angaben des Dt. Wetterdienstes.

Ort	Mittlerer Jahres- niederschlag mm	Relative Luft- feuchte %	Mittlere Wind- stärke m/s	Häufigkeit der Winde > 5 m/s	Sonnenschein- dauer (Stunden) x 365	Mittlere Zahl der Tage mit Nebel
Augsburg	764	76	2,4	—	4,9	43
Berlin-Dahlem	587	77	4,6	24,4	4,4	42
Bonn	669	75	2,1	—	4,3	73
Bremen	724	81	4,5	—	4,2	71
Dresden	667	74	3,6	—	4,2	—
Essen-Mühlheim	866	82	4,5	—	3,9	62
Erfurt	518	79	—	—	4,6	—
Frankfurt/M.	614	76	2,3	—	4,2	48
Halle	502	76	—	—	4,6	—
Hamburg	712	80	5,5	27,2	3,8	47
Hannover	607	81	3,4	—	4,3	66
Karlsruhe	745	78	2,8	—	4,5	51
Kiel	683	85	5,2	32,6	4,2	47
Köln-Leverkusen	696	80	1,9	—	4,6	40
Königsberg	707	80	—	—	4,4	—
München	959	74	1,8	12,8	4,7	52
Rostock	603	84	—	—	4,3	—
Nürnberg	662	76	1,2	—	3,5	55
Stuttgart	660	77	—	—	5,1	58
Wien	585	76	1,6	—	4,8	48

Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit

Die mittlere *Lufttemperatur* liegt — dem mehr rauhen als milden Klima entsprechend — im langjährigen Mittel bei 7,4° C bzw. 8,1° C. Der letztere Wert hängt mit der Verlegung der Station nach dem 2. Weltkriege von Bogenhausen zum Bavariaring zusammen. Trotz häufig hoher Sommerwerte erniedrigen die kalten Wintermonate den Jahresmittelwert unter die vergleichbaren Werte anderer Städte Deutschlands (vergl. Tab. 10 a, S. 85), was der Höhe über NN und der Lage zu den Alpen entspricht. Dies drückt sich auch sehr deutlich in der hohen Zahl der Tage mit Temperaturen unter 0° C und in den Heizgradtagen⁴²⁾ aus.

Der Temperaturverlauf innerhalb des Stadtgebietes deckt sich nach BÜDEL und WOLF (1931) gut mit der Bebauung; die 5° C-Isotherme verläuft fast genau mit dem dichtbebauten Stadtgebiet, wobei sich der Englische Garten und die Isaranlagen durch Einschnürungen gut widerspiegeln. Eine ähnliche Überein-

⁴²⁾ Heizgradtage = Produkt aus Zahl der Heiztage und der Differenz der mittleren Außen- und Innentemperatur.

stimmung ergibt auch der Verlauf der Flechtenwüste zur Kampfzone hin nach SCHMID (1957).

Bei der Betrachtung der Temperaturwerte ergibt sich wiederum nach KRATZER (1968), daß das Zentrum gegenüber dem Westrand (Nymphenburg) und dem Osten (Riem) der Stadt einen größeren Unterschied aufweist. Bei den Ablesungen zu den Klimaterminen (7, 14 und 21 Uhr) ist — mit wenigen Ausnahmen — die Stadt immer um einige Zehntel bis zu $2,3^{\circ}\text{C}$ wärmer als die Umgebung. In besonders kalten Wintern wurden an einzelnen Tagen bis zu 7°C Differenz festgestellt.

Beim täglichen Temperaturminimum ist im Jahresmittel die Umgebung um $1,7^{\circ}\text{C}$ (Nymphenburg) oder $1,0^{\circ}\text{C}$ (Riem) kälter als die Stadt. Nach HERZOG (1969) ist Riem im Winter kälter als alle anderen Stationen, wobei Nymphenburg den Temperaturverhältnissen von Riem sehr nahe kommt, Bogenhausen dagegen unterliegt, wie das Zentrum, dem wärmenden Stadteinfluß. Den geringsten Unterschied weisen im Sommer die Temperaturmaxima auf, was dem typischen Stadtklima entspricht und neben anderen auch EMONDS (1954) beim Stadtklima von Bonn festgestellt hatte.

Die aus zahlreichen Untersuchungen bekannte Tatsache, daß die Stadtluft trockner als die Luft der Umgebung ist, kommt auch in dem 10jährigen Zeitraum nach KRATZER (1968) für München wieder deutlich zum Ausdruck. Die Sommermonate sind trockener als die Wintermonate und dies deutlicher in der relativen *Feuchte* als im Dampfdruck. Vor allem sind es die nächtlichen Südwinde, die aus höher gelegenen Gebieten kommen, absinken und dadurch eine föhnartige Erwärmung erfahren, so daß sie als relativ trockene Winde die Stadt erreichen. Tabelle 11 zeigt den Gang des Unterschiedes an den drei Stationen.

Tabelle 11:
Monatswerte der relativen Luftfeuchte in München.

Monate	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	81	79	76	70	71	69	68	71	73	73	79	82
II	-4	-5	-5	-7	-6	-8	-8	-7	-7	-6	-5	-5
III	-2	-2	-2	-3	-4	-4	-3	-3	-2	-3	-3	-3

I = Station Bavariaring (Wetteramt, Stadtzentrum)

II = Differenz Bavariaring — Nymphenburg im W (Luvstation)

III = Differenz Bavariaring — Riem im E (Leestation)

Strahlung, Nebelhäufigkeit

Der süddeutsche Raum zwischen den Alpen und der Donau weist eine erhebliche Bevorzugung in der *Sonnenscheindauer* auf, wie z. B. aus Untersuchungen von LIESEGANG (1965) und VAN EIMERN (1969) hervorgeht. Insbesondere die Münchener Ebene zählt durch die südliche Lage mit häufigeren Anteilen am Subtropenhoch als Norddeutschland und den Föhneinflüssen zu

dem sonnenscheinreichsten Gebiet Deutschlands. Ähnliches gilt auch für die Globalstrahlung. Tabelle 10b zeigt dies auch deutlich im Vergleich mit anderen Städten. Als Beispiel sei der Januar 1971 angeführt, welcher als einer der sonnenscheinreichsten Monate überhaupt gilt. In Weißenstephan schien die Sonne 102, in Würzburg 62 und in Geisenheim nur 32 Stunden. In München wurden in der Stadtmitte (Bavariaring) 94, im W der Stadt (Nymphenburg) 89 und im Osten (München-Riem) 95 Stunden Sonnenschein registriert.⁴³⁾ Die Monatswerte der Sonnenscheindauer im Jahresdurchschnitt (1953/62) sind in Tabelle 9 und graphisch in Abb. 11 dargestellt.

Die *Nebelhäufigkeit*, eine auffällige klimatische Folge der orographischen und damit zusammenhängenden hydro- und vegetationsgeographischen Verhältnisse der tiefstgelegenen Teile der Schotterebene (Dachauer- und Erdinger Moor), nimmt zwar mit steigender Höhe nach dem Süden zu ab, macht sich aber in den nördlichen Stadtteilen (Freimann, Milbertshofen, Schwabing) noch deutlich bemerkbar. Nach SCHMAUSS (1914) hatte München-Harlaching (18. Stadtbezirk) im Süden der Stadt 23,2 und Bogenhausen (damalige Landeswetterwarte) im 29. Bezirk 58,5 Nebeltage im Jahr. Durch die Ausbildung eines lokalen Windsystems (Strahlungswetter) mit Winden aus N bis NE tagsüber werden die Nebel dann häufig bis in die Stadtmitte verbracht, wobei sie sich mit den Talnebeln der Isarauen vermischen. Auch an den Stationen sind Differenzen von West nach Ost vorhanden. Im zehnjährigen Mittel traten im Westen (Nymphenburg) 69,3 Nebeltage/Jahr, im Zentrum (Bavariaring) 39,2 und im Osten (Riem) 59,5 Nebeltage/Jahr auf (KRATZER, 1968). In Tabelle 3 (S. 30) wurde bereits auf die hohe Anzahl von Nebellagen in München, insbesondere im Winterhalbjahr, gegenüber einigen anderen deutschen Großstädten hingewiesen.

Inversionen

Außer den bisher betrachteten meteorologischen Einflußgrößen hängt die Konzentration von luftverunreinigenden Stoffen in der bodennahen Luftschicht (Immissionsangebot) sehr von der vertikalen und horizontalen Durchmischung der Luftmassen ab. Und gerade in dieser Hinsicht ist die Situation auf der Münchener Ebene wesentlich ungünstiger als in den übrigen Teilen Deutschlands, da die Untersuchungen von HOFFMANN und Mitarbeiter (1962), KEIL (1963), HERB (1964) und FELDMANN (1965) ergeben haben, daß in München an überdurchschnittlich vielen Tagen im Jahr besondere atmosphärische Zustände, sogenannte *Inversionen*⁴⁴⁾, herrschen.

HERB (1964) kam nach der Auswertung von mehrjährigen Radiosonden-Aufstiegen in Riem zu dem Ergebnis, daß zum Frühtermin (1 Uhr) im Mittel

⁴³⁾ Nach einer brieflichen Mitteilung von Herrn Regierungsdirektor, Prof. Dr. J. VAN EIMERN, Leiter des Wetteramtes München.

⁴⁴⁾ Siehe hierzu auch die Ausführungen auf S. 26 ff.

an 285 Tagen des Jahres, das sind 78,1⁰/₀ und zum Nachmittagstermin (13 Uhr) im Mittel an 137 Tagen des Jahres, das sind 37,6⁰/₀ Inversionen über München auftreten. An 124 Tagen oder bei 43,4⁰/₀ aller Inversionen blieben diese vom Früh- bis zum Nachmittagstermin erhalten. Die Jahresmittelwerte der Inversion-Untergrenzen lagen beim Frühtermin in 81⁰/₀ aller Fälle zwischen Erdboden und 50 m Höhe und in rund 86⁰/₀ aller Fälle zwischen Boden und 200 m Höhe. Beim Nachmittagstermin hatten sich durch Einstrahlung die Verhältnisse insoweit gebessert, als nur noch 14,9⁰/₀ aller Fälle unterhalb 50 m und 29,8⁰/₀ unterhalb 200 m Höhe lagen.

Bei ähnlichen Untersuchungen durch FELDMANN (1965) wurde die durchschnittliche Dauer der Bodeninversionen mit 8,2 Stunden errechnet, wobei 30⁰/₀ aller Bodeninversionen weniger als 6 Stunden; 59⁰/₀ zwischen 6 und 12 Stunden; 6,5⁰/₀ zwischen 12 und 18 Stunden und nur 4,5⁰/₀ länger als 18 Stunden dauerten. Inversionen von mehr als 2 Tagen gab es nur etwa 1⁰/₀. Tabelle 12 enthält die monatliche Verteilung der Tage mit Bodeninversionen in Riem von 1949—1953 (= 1809 Meßtage).

Tabelle 12:
Monatstage der Bodeninversionen in München-Riem

Monat:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Maximum	23	20	26	27	27	27	30	28	28	26	24	25
Mittel	19	19	22	23	22	22	27	25	24	25	19	20
Minimum	13	17	18	13	14	17	23	22	18	21	12	17

Registrierungen von Wind und Temperaturschichtung an einem 50 m hohen Turm beim Atomreaktor in Garching, nördlich von München durch HOFFMANN und Mitarbeitern (1962) ergaben in der Zeit von Juli bis Februar, daß in den bodennahen Luftschichten bis 50 m Höhe 44⁰/₀ der vorhandenen Inversionen eine Dauer von mehr als 10 Stunden besaßen. In den Monaten Juli bis August waren es 47⁰/₀, im September—Oktober 63⁰/₀, im November 31⁰/₀ und im Januar—Februar 34 Prozent. Im Januar/Februar hatten 15⁰/₀ der Inversionen eine längere Dauer als 18 Stunden. Die gleichzeitig durchgeführten Windmessungen ergaben ähnliche Zusammenhänge zwischen den Inversionen und der Windrichtung bzw. -stärke wie die schon auf S. 81 ff. dargelegten Verhältnisse. Bemerkenswert ist jedoch, daß die meisten Stunden mit starken Inversionen in allen Monaten bei Windgeschwindigkeiten zwischen 2,0 und 5,0 m/s, d. h. gerade bei schwachen Winden auftreten, wodurch der Austausch und die Durchmischung der bodennahen Luftschichten mit Verunreinigungen sehr gehemmt wird.

In Abb. 12 sind nach SCHWEGLER (1969) die mittlere monatliche Anzahl der Tage mit bodennahen Inversionen bis zu 500 m Untergrenze zum Frühtermin (1 Uhr) und Mittagstermin (13 Uhr) dargestellt. Man sieht deutlich, daß die Inversionen mit Obergrenze unter 100 und 200 m in den Monaten

April bis September zum Mittagstermin durch Auflösung fast verschwunden sind und, daß gerade in den emissionsreichen Wintermonaten diese bodennahen Inversionen sehr häufig vorkommen, wodurch am Boden eine Anreicherung der luftfremden Bestandteile eintritt und dementsprechend hohe Immissionskonzentrationen (SO_2) gemessen werden. Nach KOLAR (1969) wurden schon bis zu 15 Tagen andauernde Inversionswetterlagen beobachtet, so daß hierdurch für die Bevölkerung und die Vegetation gefährliche Verhältnisse entstehen, da die Einwirkungen von höheren Immissionskonzentrationen über einen längeren Zeitraum wesentlich kritischer sind als kurzzeitige Immissionsspitzenwerte.

Zusammenfassend muß daher festgestellt werden, daß die naturräumlichen Gegebenheiten im Münchner Raum durch die orographischen und meteorologisch-klimatischen Faktoren für die Verunreinigung der Luft in Erdbodennähe wesentlich ungünstiger sind, als man bisher immer angenommen hatte. Eine sichtbare Folge ist die sich häufig über dem Stadtgebiet ausbildende Dunstglocke, die selbst an Föhntagen zu beobachten ist. Die Abb. 13a und 13b zeigen dies sehr deutlich.

Diese Dunstglocke ist außerdem von so zähem Typ, daß die um die Stadt herum gelegenen Flugplätze noch so beeinflusst werden, daß der Flugbetrieb teilweise behindert wird (KREBS und DOEGE, 1952). Stärkere Winde oder Föhn können sie lediglich nach N oder NE des Stadtgebietes verschieben. Dies ist zusammen mit den häufigen SW-Winden die Ursache für das Hinausschieben der Kampfzone der Flechtenvegetation weit über das Stadtgebiet hinaus bis nach Garching und Ismaning. Diese bemerkenswerte Zähigkeit der Dunstglocke ist unter anderem durch die Ausbildung eines eigenen Stadtklimas bedingt, denn mit dem Wachstum der Stadt entsteht zwangsläufig eine Änderung der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse, der Luftfeuchte, Strahlung, Taufall und insbesondere ein eigenes Windsystem. Mit der Zunahme der bebauten Fläche nimmt die Windgeschwindigkeit ab, während andererseits die Emission aus den neu angesiedelten Betrieben und aus den Haushaltsfeuerungen der Wohngebiete — sofern sie nicht an eine Fernheizversorgung angeschlossen sind — erheblich zunimmt.

2. Wirtschaftsräumliche Gegebenheiten

Die Immissionsbelastung eines Gebietes hängt primär vom Ausmaß der Emissionen ab, die von den einzelnen Anlagen (Emittenten) in diesem Gebiet ausgehen. Die meteorologischen Einflüsse können die anfallenden Schadstoffe lediglich verteilen, verdünnen und verfrachten. Bei der Betrachtung der lufthygienischen Verhältnisse eines abgegrenzten Gebietes müssen daher die wirtschaftsräumlichen Faktoren, die zur Verunreinigung der Luft beitragen, untersucht werden und zwar besonders diejenigen, die eine Erhöhung und / oder eine Verringerung der Immissionen bewirken.

Entscheidend ist hierbei die *Nutzung* des Gebietes, d. h. Größe und Lage von Wohngebieten, von Grünflächen, Parks und Wäldern, sowie insbesondere die

Lage der industriellen und gewerblichen Betriebe mit ihren verschiedenartigen Produktionsverfahren, Verarbeitung von Rohstoffen usw. und die Größe dieser Betriebe, aus der sich wiederum ein gewisses Maß für die Höhe ihrer Emissionen ableiten läßt. In den einschlägigen Arbeiten sind hierzu jedoch meist nur allgemeine Angaben zu finden. Dies ist natürlich ein erheblicher Mangel, da erst durch die genaue Kenntnis der Standorte und Größe, sowie der Produktionsverfahren der Betriebe ein jeweiliger Emissions-/Immissionsbeitrag beurteilt werden kann. Das vorliegende Zahlenmaterial⁴⁵⁾ wurde deshalb entsprechend aufbereitet und danach die nachfolgenden Tabellen und Abbildungen erstellt.

In diesem Abschnitt soll daher einleitend ein Überblick über die Entwicklung der Stadt München zur Industrie- und Millionenstadt gegeben werden, um daran anschließend die heutige Nutzung des Stadtgebietes näher zu untersuchen.

Entwicklung zur Industrie- und Millionenstadt Stadtgebiet und Bevölkerung

Das Münchener Stadtgebiet hat sich in den letzten 100 Jahren annähernd verneunfacht. 1855 war es rund 3 400 ha groß, um 1900 bereits 8 700 ha, 1935 etwa 19 000 ha und 1950 wies es über 31 000 ha Fläche auf. Diesen letzten Wert hat das Stadtgebiet im wesentlichen bis heute beibehalten. In der Abb. 14 ist das Wachstum ab 1853 dargestellt und man sieht deutlich, wie sich die Stadt durch Eingemeindungen bis zu ihrem heutigen Umfang vergrößert hat. Die größte Ausdehnung beträgt in fast genau nord-südlicher Richtung 20,94 km (Feldmoching bis Solln) und in west-östlicher Richtung 26,45 km (Aubing bis Trudering), wobei etwa 71% des Stadtgebietes westlich und 29% östlich der Isar liegen.

Eine ähnlich rasche Entwicklung hat sich auch bei der Bevölkerung vollzogen. Gab es nach dem 1. Weltkriege in den Grenzen des alten Reiches noch 5 Städte, die mit München etwa vergleichbare Einwohnerzahlen (zwischen 600 000 und 700 000) aufwiesen: Köln, Leipzig, Essen, Dresden und Breslau, so ist München nach dem 2. Weltkrieg nach Hamburg zur zweitgrößten Stadt der Bundesrepublik geworden; Ende 1968 bestand nur ein Unterschied von 543 432 Einwohnern. In Tabelle 13 sind neben der Zunahme der Einwohner auch die Gebäude und Haushaltungen wiedergegeben, da die Gebäude mit den zahlreichen Einzelfeuerstellen und meist niedrigen Schornsteinen besonders ungünstige flächenhafte Emissionsquellen darstellen. Man erkennt, daß München eine ständige Bevölkerungszunahme zu verzeichnen hatte — bis auf die durch Kriegsereignisse bedingte Rezession 1946 — und in den letzten 10 Jahren um über 300 000 Personen zugenommen hat, d. h., daß München eine Großstadt von

⁴⁵⁾ Dem Amt für Statistik und Datenanalyse der Stadt München wird für die Überlassung gedankt.

mehr als der Einwohnerzahl von Karlsruhe zugewachsen ist (vergl. Tabellen 13 und 14). In der Reihe der Millionenstädte der Erde rangiert München zwar nur an 63., in Europa jedoch schon an 10. Stelle.

Tabelle 13:
Einwohner, Gebäude und Haushaltungen in München von 1580 bis 1971

Jahr	Einwohner	Gebäude	Haushaltungen
1580	20 000	1 265	—
1813	51 396	2 491	—
1843	91 290	—	17 821
1852	94 380	—	24 796
1858	121 234	6 083	—
1875	193 024	7 382	43 332
1880	230 023	8 747	53 457
1890	349 024	11 272	79 220
1900	499 932	14 088	115 227
1910	596 467	16 302	142 739
1925	680 704	21 153	190 048
1939	829 318	59 961	263 580
1946	751 967	51 718	229 974
1950	831 937	78 663	330 465
1956	962 860	73 973	390 746
1961	1 085 014	76 840	456 932
1965	1 214 603	87 732	510 547
1968	1 230 561	93 108	538 626
1969	1 274 390	95 100	547 482
1970	1 311 978	121 900	591 431
1971	1 338 432	123 300	612 124

Diese Bevölkerungszunahme erforderte den raschen Neubau von Wohnungen. Im Norden der Stadt entstanden die Großsiedlungen „Am Hasenberg!“ und „Lerchenauer See“; im Osten die Parkstadt Bogenhausen, der „Cosima-Park“ und die Siedlung Oberföhring. Am westlichen Stadtrand bei Pasing entstand die Siedlung „Am Westkreuz“ und im Süden zwischen Würm und Isar die SIEMENS-Siedlung in Obersendling, die Großsiedlung Fürstenried und die Parkstadt Solln. Im Südosten entsteht z. Zt. die Trabantenstadt Neu-Perlach, die für 75 000 Bewohner geplant ist. Aber auch in den übrigen äußeren Stadtbezirken, in denen Bauland noch reichlich zur Verfügung steht, ermöglichte eine rege Bautätigkeit beachtliche Bevölkerungszunahmen. So hatte Milbertshofen-Hardt im Norden der Stadt einen Zugang von fast 27 000 und Feldmoching von nahezu 28 000 Personen. Sehr stark gewachsen sind auch Thalkirchen - Obersendling - Forstenried, nämlich um rund 20 000 Einwohner; Neuhausen-Moosach um fast 16 000, Bogenhausen im Osten der Stadt um 12 000, Aubing im Westen ebenfalls 12 000 und Ramersdorf-Perlach um 11 000 Einwohner. Um etwa 10 000 Einwohner nahmen auch die Stadtviertel Hadern, Berg am Laim, das Waldfriedhofsviertel und Laim zu.

Hinzukommen noch größere Siedlungsprojekte im Umland von München, z. B. in Oberschleißheim, Garching, Karlsfeld, Germering, Planegg, Unterhaching, Neubiberg/Ottobrunn und Haar. Die lufthygienische Situation im Großraum München wird durch diese enorme Erweiterung der bebauten Fläche erfreulicherweise kaum verschlechtert, da diese neuen Siedlungsgebiete entweder durch eigene Heizkraftwerke oder durch Fernheizung versorgt werden. Veränderungen des Stadtklimas, insbesondere der Wind- und Temperaturverhältnisse und der hierauf sehr empfindlich reagierenden baumbesiedelnden Flechten dürften — wie im vorherigen Kapitel schon dargelegt — jedoch mit Sicherheit zu erwarten sein.

Industrie und Gewerbe

Tabelle 14 unterstreicht in einem Vergleich mit einigen anderen Großstädten der BRD nochmals die dominierende Rolle Münchens, die sich neben der Einwohnerzahl auch im Anteil des Industrieumsatzes und der Beschäftigtenzahlen ausdrückt, so daß München heute als die drittgrößte Industriestadt in Mitteleuropa angesehen werden kann. Betrug die Zahl der Arbeitsplätze 1950 etwa 430 000, so gingen 1970 insgesamt 600 000 Beschäftigte einer Erwerbstätigkeit im Stadtgebiet nach.

Tabelle 14:
München im Städtevergleich der Einwohner, Wohnungen, Wirtschaft und Beschäftigte (1968)

Stadt	Einwohner		Wohnungen	Industrieumsatz *)	Beschäftigte **)
	insgesamt	je ha			
Berlin (West)	2 141 441	54,1	972 786	14 489	254 635
Hamburg	1 822 837	24,5	682 266	18 111	201 917
München	1 279 405	40,1	476 653	11 927	179 272
Köln	855 886	34,0	304 577	9 083	129 900
Essen	704 948	37,6	255 938	3 710	—
Düsseldorf	676 500	43,1	252 181	7 600	117 468
Frankfurt	665 505	34,3	268 548	8 714	128 700
Stuttgart	616 025	29,6	216 368	10 647	148 328
Hannover	526 975	39,4	201 491	7 422	—
Nürnberg	470 778	34,6	183 432	4 204	—
Duisburg	462 572	32,6	170 150	6 523	—
Karlsruhe	256 627	24,4	96 442	3 315	—
Augsburg	211 627	24,4	79 255	2 206	—

*) In Millionen DM; **) Betriebe mit mehr als 10 Beschäftigte

Die industriellen Umsätze und die Zahl der Arbeitsplätze überhaupt sind für eine Stadt, ihre Entwicklung und für die innewohnende Wirtschaftskraft besonders dadurch bedeutsam, weil sich die Industrie stets als Motor für alle anderen Entwicklungsbereiche erwiesen hat. Das gilt vor allem für den tertiären Sektor (Handel, Dienstleistungen), der sich in seinen Dimensionen nach der

zentralörtlichen Bedeutung der Stadt und nach ihrem Industrialisierungsgrad richtet.

Tabelle 15 zeigt die Entwicklung der *Industrie-* und *Gewerbe-Betriebe* vom Jahr 1500 an auf.

Tabelle 15:
Anzahl der Gewerbebetriebe in München seit 1500

Jahr	1500	1825	1875	1895	1907	1933	1950	1960	1970
Betriebe	1 150	2 220	13 982	34 768	40 907	48 645	32 877	33 225	31 410

Bereits um die Jahrhundertwende kamen zu den Gewerbebetrieben, die noch überwiegend handwerklichen Charakter besaßen, einige größere Industriebetriebe aus der Gruppe Feinmechanik und Optik (RODENSTOCK, ARNOLD & RICHTER, STEINHELL, DECKEL, LINHOF, AGFA und PERUTZ) und schon einige kleinere Betriebe der sich rasch entwickelnden Elektrotechnik. Ferner einige Betriebe des Maschinen- und Fahrzeugbaues, z. B. die Lokomotivfabriken von MAFFEI und KRAUS, die bereits 1841 in der Hirschau am Englischen Garten ihre Fabriken errichteten und sich dann später zusammenschlossen. Als Ergänzung hierzu entstanden die Eisenbahnwaggonbauunternehmen MEILLER und RATHGEBER, die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG (MAN), HURTH und LINDE und die Bayerischen Motorenwerke (BMW), welche ursprünglich Flugzeuge und Motoren herstellten und sich dann ausschließlich dem Fahrzeugbau (Motorräder und Personenkraftwagen) widmeten. Als Zuliefererbetrieb entwickelte sich das „Handelshaus für Gummi, Guttapercha und gummielastische Waren“, die heutige METZELER AG mit den erforderlichen Fahrzeugbereifungen.

Die Gruppe der Nahrungsmittel- und Getränke-Herstellungsbetriebe umfaßte damals hauptsächlich die Bierbrauereien, deren es um 1800 bei nur rund 40 000 Einwohnern nicht weniger als 56 gegeben haben soll. Heute spielen die 8 Großbrauereien in Bezug auf den Umsatz und die Zahl der Arbeitnehmer nur eine untergeordnete Rolle. Für die Verunreinigung der Luft sind sie dagegen sehr bedeutsam, da sie sich überwiegend im Stadtzentrum befinden und zudem einen sehr großen Energiebedarf für die Erzeugung von Wasserdampf und Heißwasser aufweisen (vergl. Tabelle 18 S. 100). Um 1900 gab es ferner schon zahlreiche Druckereien und Verlage sowie Betriebe der Textil- und Lederherstellung und -verarbeitung.

Aus diesen, zumeist noch handwerklich geführten Betrieben entstanden auf dem Sektor der Produktivbetriebe (Herstellung und Verarbeitung) die heutigen 11 333 Industrie- und Handwerksbetriebe mit rund 286 000 Beschäftigten. Die Ausführungen auf S. 96 ff. und Tabelle 17 geben einen Überblick über die branchenmäßige Aufgliederung dieser Betriebe.

3. Nutzungsarten des Münchener Stadtgebietes mit ihren Auswirkungen auf Luftverunreinigung und Klima

Die lufthygienischen und klimatischen Verhältnisse werden weitgehend vom Umfang und der Art der Nutzung des Stadtgebietes beeinflusst. Tabelle 16 gibt hierzu einen Überblick.

Entsprechend der schon geschilderten großen Bevölkerungszunahme hat sich die bebaute Fläche ab 1946 um mehr als verdoppelt (1946 nur 4 679 ha = 15%). Die Zahl der Gebäude betrug 1946 (vergl. Tabelle 13) 51 718, Ende 1968 bereits 93 108; um 1900 jedoch nur 14 088. Ähnlich ist auch die Zahl der Haushaltungen gestiegen, so daß aus diesen, wenn auch kleinen Feuerungsanlagen — besonders durch die zunehmende Verwendung von Heizöl — eine großflächige Verunreinigung der Luft in Bodennähe eintritt, zumal die Schornstein- bzw. Quellhöhe dieser Emittenten die Gebäudehöhen nur wenig überragt und gerade durch die dichte Bebauung die Windstärke und die Austauschvorgänge sehr vermindert werden. Dies wirkt sich besonders bei den häufigen Inversionswetterlagen ungünstig aus (vergl. hierzu Tabelle 12, Abb. 12, 13 a und 13 b). Bei Sonneneinstrahlung und in der winterlichen Heizperiode hat die dicht bebaute Stadtregion allerdings einen tieferen Luftdruck, da durch die Erwärmung der Häuser ein Teil der Bodenluft zum Aufsteigen gezwungen wird und somit Luft aus der Umgebung angesaugt wird. Da das Umland Münchens ländlichen Charakter mit überwiegender land- und forstwirtschaftlicher Nutzung besitzt, wird auf diese Weise der Stadt reine Luft zugeführt.

Tabelle 16:
Flächennutzung des Münchener Stadtgebietes (Stand: 31. 12. 1971)

	v. H.	ha
Gesamte Fläche des Stadtgebietes	100	31 055
Bebaut mit Häusern, einschl. Höfe und Hausgärten	37,5	11 655
Verkehrsfläche (Straßen, Wege, Plätze, Eisenbahn- und Flugplatzgelände)	13,7	4 234
Öffentliche Parks und Grünanlagen	5,2	1 654
Sport- und Spielplätze	2,8	876
Friedhöfe (offene und geschlossene)	1,2	365
Schrebergärten, Grabeland	1,0	327
Landwirtschaftlich und erwerbsgärtnerisch genutzte Flächen (Acker, Wiesen, Gärtnereien)	32,0	10 265
Forstwirtschaftliche Flächen	3,4	1 047
Wasserflächen (Isar, Würm, Bäche, Teiche)	1,0	319
Sonstige Flächen (Kiesgruben, Ödland usw.)	2,1	640

Bebauungs- und Einwohnerdichte

In den Abb. 15 und 16 ist die Bebauungs- und Einwohnerdichte nach Stadtbezirken dargestellt. Einer hohen Bebauungsdichte im Stadtzentrum steht eine

verminderte Einwohnerdichte gegenüber, da die City mehr und mehr nur von Geschäfts- und Verwaltungsgebäuden (Banken, Versicherungen usw.) gebildet wird. Zahlreiche Wohnhäuser wurden abgebrochen und durch derartige Zweckbauten ersetzt. Weil die stärkste Bebauung in einem nordsüdlichen breiten Streifen verläuft, wird hierdurch die durch das Isartal vorgegebene natürliche Frischluftstraße in ihrer lufthygienischen Wirkung wieder eingeschränkt, obgleich die S- und SW-Winde am häufigsten sind. In der flächenmäßigen Verteilung der Luftverunreinigungen, insbesondere der Konzentration von SO_2 und Staub wirkt sich diese Frischluftbahn dennoch deutlich aus.

Durch die Errichtung zahlreicher Heizkraftwerke und den laufenden Ausbau der Leitungsnetze (ca. 220 km Länge) werden jedoch bereits heute große Teile des Stadtgebietes mit Fernwärme versorgt, so daß sich auch hierdurch die Immissionsverhältnisse verbessern.

Industrie- und Handwerks-Betriebe

Bei der Betrachtung der bebauten Fläche und ihrer lufthygienischen Bedeutung ist die Anzahl, Lage und Größe der Industrie- und Handwerks-Betriebe als Hauptmittengruppe von besonderem Interesse. Da in München — bedingt durch die naturräumlichen Gegebenheiten — Grundstoff- und Schwerindustrie fehlen, liegen hier jedoch wesentlich andere Voraussetzungen vor als etwa im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet oder im Rhein-Main-Dreieck. Die Lage der Stadt, fern von Kohle- und Eisenerzgruben und ohne schiffbare Wasserstraße verhinderte außerdem die Ansiedlung von Eisenhüttenwerken und den damit verbundenen Gießereien, Walz- und Hammerwerken usw. Chemische oder petrochemische Grundstoffindustrien konnten sich ebenfalls nicht zu einer Niederlassung in dem überwiegend landwirtschaftlich orientierten Südbayern entschließen.

Aus diesen Gründen ergibt sich, wie oben schon angedeutet, die besondere Struktur der Münchener Industrie, die wesentlich durch die Eigenart der ehemaligen Kunst- und Musenstadt geformt wurde, wobei besonders solche Industriezweige gefördert wurden, die neben einem gewissen Anteil von Herstellung und Erzeugung in hohem Maße mit der Zurichtung und Verarbeitung von Gütern bzw. Waren der verschiedensten Branchen beschäftigt sind. Dies hat unter anderem zur Folge, daß sich die lufthygienischen Verhältnisse erheblich von den oben genannten Industriegebieten unterscheiden, wenngleich auch — wie später bei der Betrachtung der Messungen von Luftverunreinigungen in München näher dargelegt — die Immissionswerte von Schwefeldioxid diesen Gebieten beim Vorliegen bestimmter Wetterlagen (Inversionen), recht nahe kommen können.

Tabelle 17 bringt eine Zusammenstellung der Industrie und ihrer Arbeitnehmer (AN) der herstellenden und verarbeitenden Betriebe nach Betriebsarten der Arbeitsstätten-systematik geordnet. Die wichtigsten hieraus seien angeführt:

Eisen- und Stahlindustrie, Maschinen- und Apparatebau mit dem Straßen- und Luftfahrzeugbau dominiert mit rund 68 000 Arbeitnehmern (39 871)⁴⁶⁾ bei 147 Betrieben. Es folgen die Betriebe der Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik mit 104 Betrieben und 73 774 AN (48 448), dann kommen die Druckereien und Papierverarbeitungsbetriebe mit 191 Betrieben und 16 135 AN (16 226) und das Textil- und Bekleidungs-gewerbe, in dem der handwerkliche Charakter noch überwiegt mit 147 Betrieben und 11 615 Arbeitnehmern (14 606). Einen beachtlichen Anteil weisen die Betriebe der Nahrungs- und Genußmittel mit 47 Betrieben und 6 366 AN auf, während in den 8 Brauereien lediglich 4 140 Arbeitnehmer beschäftigt werden, d. h. — wie oben schon betont — daß die Brauereien im Rahmen der Wirtschaft Münchens eine geringere Rolle spielen, als gemeinhin immer angenommen wird. Eine weitere bemerkenswerte Industrie-gruppe sind die Betriebsarten Chemie, Pharmazeutika, Kunststoffherstellung und -verarbeitung mit 81 Betrieben, welche rund 10 000 Arbeitnehmer beschäftigen. Von geringerer Bedeutung sind die Betriebe Glas, Keramik, Musikinstrumente, Spiel- und Schmuckwaren, Sportgeräte, Gummi- und Lederwaren sowie Holzbearbeitung mit 24 Betrieben und 4 307 Beschäftigten.

Zu diesen Industriebetrieben sind noch rund 12 000 Handwerksbetriebe mit ca. 110 000 Arbeitnehmern zu rechnen, welche sich wie folgt auf die einzelnen Gewerbegruppen (Branchen) verteilen: *Bau- und Ausbaugewerbe* (Maurer, Zimmerer, Maler, Straßen-, Beton-, Stahlbeton- und Heizungsbauer, Fliesenleger, Dachdecker, Betonsteinherstellung usw.) mit 1 904 Betrieben und 28 980 AN. *Metallgewerbe* (Schlosser, Elektro-, Fein- und KfZ-Mechaniker, Gas- und Wasserinstallateure, Gold- und Silberschmiede, Galvaniseure, Metallschleifer und -drücker usw.) mit 3 210 Betrieben und 31 928 AN. *Holzgewerbe* (Tischler, Schnitzer, Drechsler, Modellbauer usw.) mit 796 Betrieben und 4 648 AN. *Bekleidungs-, Textil- und Ledergewerbe* (Herren- und Damenschneider, Weber, Stricker, Kürschner, Schuhmacher, Raumausstatter usw.) mit 2 535 Betrieben und 8 811 AN. *Nahrungsmittelgewerbe* (Bäcker, Konditoren, Fleischer usw.) mit 1 236 Betrieben und 9 460 AN. *Gesundheits- und Körperpflege, Reinigungsgewerbe* (Optiker, Friseure, Färber, Chemischreiniger, Wäscher usw.) mit 1 528 Betrieben und 17 622 AN. *Glas-, Papier-, Druck-, Keramik und sonstige Gewerbe* (Glaser, Fotografen, Drucker, Schriftsetzer, Buchbinder, Vulkaniseure, Instrumentenmacher usw.) mit 850 Betrieben und 5 502 Arbeitnehmern.

In der Abb. 17 sind sämtliche Industrie- und Handwerks-Betriebe (Produktiv-gewerbe, Handels-, Gaststätten-, Verkehrs- und Dienstleistungsgewerbe), insgesamt ca. 25 000 Betriebe mit ihren zahlenmäßigen Anteilen auf die Fläche der einzelnen Stadtbezirke bezogen, dargestellt, so daß sich ein Bild der Dichte-vertei-lung (Betriebe/ha) ergibt. Im Stadtkern und in den angrenzenden Stadt-bezirken, mit Ausnahme des sich längs der Isar erstreckenden 13. Bezirks (Lehel), sind die meisten Betriebe ansässig. Die Dichte ist mit 6 bis 22 Betriebe/ha relativ hoch.

⁴⁶⁾ Eingeklammerte Zahlen bedeuten die Angaben nach BOUSTEDT (1961).

Eine derartige Dichteverteilung ermöglicht jedoch keine Aussage über Standort und Größe einzelner Betriebe. Aus dem vorliegendem Zahlenmaterial habe ich daher die Betriebe mit mehr als 200 Arbeitnehmern (nur Produktivbetriebe) ausgewählt und in der Abb. 18 dargestellt. Die Beschränkung auf diese Mittel- und Großbetriebe erschien mir aus zwei Gründen angezeigt: Einmal, um die Übersichtlichkeit der Karte zu erhalten und zum anderen, weil praktisch von diesen Betrieben die überwiegenden Anteile der Immissionen ausgehen. Diese Abbildung vermittelt nicht nur einen recht aufschlußreichen Überblick über die geographische Verteilung der Mittel- und Großbetriebe im Stadtgebiet, wobei sie deutlich zeigt, daß die Bezirke in ihrer branchenmäßigen Verteilung zwar über das gesamte Stadtgebiet streuen, sich aber dennoch einige Schwerpunkte abzeichnen. In Verbindung mit Tabelle 18, welche den Brennstoffverbrauch und die daraus errechnete SO₂-Emission einiger Industriegruppen für 1967 bis 1970 enthält, ermöglicht sie auch eine gewisse Abschätzung der Anteile der Immissionen aus deren Heizungs- und Energiegewinnungsanlagen.

Im Südwesten, Süden und Südosten des Stadtgebietes (Untersendling, Obersendling, Giesing, Ramersdorf) dominieren die Betriebe der Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik sowohl in der zahlenmäßigen Verteilung als insbesondere auch in den Betriebsgrößen. Es sind hier z. B. die erst in den letzten zwanzig Jahren entstandenen Betriebe der SIEMENS AG mit rund 20 000 Beschäftigten in Obersendling und mit rund 12 000 in Ramersdorf und unter anderen die AGFA-GAEVERT AG mit über 5 000 Beschäftigten ansässig. Dazwischen befinden sich jedoch auch noch andere Branchen, z. B. die Graphische Kunstanstalt THIEMIG mit rund 1 000 Arbeitnehmern und die PERUTZ-Photowerte mit ca. 2 000 Beschäftigten.

Tabelle 17:
Zusammengefaßte Industriegruppen mit Arbeitnehmern in München.

Industriegruppen	Betriebe	Arbeitnehmer
Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden	36	2 010
Energiewirtschaft einschl. Heiz-, E-, Gas- und Wasserwerke, Müllverbrennung	48	5 421
Maschinen-, Apparate-, Straßen- und Luftfahrzeugbau, Stahlbau, Eisen- und Stahlwaren, Gießereien, NE-Metallindustrie	147	67 669
Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	104	73 774
Chemische und Pharmazeutische Industrie, Mineralölverarbeitung, Kunststoffherstellung und -verarbeitung	81	9 850
Druckereien, Papierverarbeitung	191	16 135
Textil und Bekleidung	147	11 615
Nahrungs- und Genußmittel einschl. Tabakwaren	47	6 366
Brauereien	8	4 140
Sonstige (Holzbearbeitung, Glas, Keramik, Musikinstrumente, Spiel- und Schmuckwaren, Sportgeräte, Gummi- und Lederwaren)	24	4 307

(Quelle: DHEUS, Stat. Jahrbuch 1971)

Im Norden und Nordwesten (Milbertshofen, Freimann, Moosach, Allach) überwiegen die Betriebe des Maschinen- und Fahrzeugbaues, welche sich hier mit ihren weiträumigen Betriebsgeländen und Fertigungshallen angesiedelt haben. Es sind dies z. B. die Bayerischen Motorenwerke (BMW) mit über 12 000 Arbeitnehmern, die Süddeutsche Bremsen-AG mit rund 2 500 AN, die Waggonfabrik RATHGEBER mit etwa 2 500 AN, die KRAUSS-MAFFEI AG mit fast 5 000 AN und die MAN-Werke, die zusammen mit der Tochtergesellschaft MAN-Turbo-GmbH neuerdings MTU (Motoren- und Turbinen-Union) nahezu 15 000 Arbeitnehmer beschäftigen.

Im Stadtzentrum (Altstadt, Schwanthalerhöhe, Neuhausen) überwiegen Brauereien, Druckereien mit Papierverarbeitung, sowie die alteingesessene Fahrzeugfabrik MEILLER und die METZELER Gummiwerke, die beide zusammen über 5 000 AN beschäftigen und deren Werksanlagen heute vollkommen von kleineren Betrieben und Wohngebieten umschlossen sind, so daß eine Verlegung an den Stadtrand bzw. in das Umland erwünscht wäre. Feinmechanisch-optische sowie Textilbetriebe sind jedoch auch hier vorhanden. Metallverarbeitende Betriebe, meist unter 500 AN haben sich in Berg am Laim niedergelassen, wo sich auch die bekannten PFANNI-Werke (Nahrungsmittelherstellung) mit rund 1 200 AN befinden. Hier ist auch der Sitz der weltbekannten Meßgerätefabrik ROHDE & SCHWARZ mit nahezu 2 500 Arbeitnehmern. Weitere Einzelheiten sind der Abb. 18 zu entnehmen.

Entsprechend den unterschiedlichen Branchen und Produktionsverfahren sind die von diesen Betrieben ausgehenden Emissionen — Lärm und Erschütterungen bleiben hier unberücksichtigt — sehr mannigfaltig und können sowohl Gase, Dämpfe als auch Stäube aller Art umfassen. Zur Erhaltung optimaler Arbeitsbedingungen für die Beschäftigten in diesen Betrieben werden sowohl durch die natürliche Ent- und Belüftung der Arbeitsplätze durch Fenster, Türen usw. als auch durch die motorisch betriebenen Lüftungs- bzw. Absaugungsanlagen z. T. gewaltige, mit Fremdstoffen aller Art angereicherte Luftmengen meist direkt über den Dächern der Werkhallen bzw. Arbeitsräumen ins Freie abgegeben. Dies gilt besonders für die Betriebe der Chemie, chemisch-technischen Fertigung (Herstellung von Arzneien, Farben + Lacken, petrochemischen Produkten usw.), sowie für die Kunststoff- und Gummierstellung bzw. -verarbeitung. In bestimmten Arbeitsräumen und bei gewissen Arbeitsvorgängen, z. B. in Metallbeizereien, beim Reinigen und Entfetten von Metallen und produzierten Gegenständen aller Art, bei Spritzlackierarbeiten, bei Metallschweißungen usw. entstehen durch die Verwendung von Säuren, Kohlenwasserstoffen (Lösemittel) und zahllosen weiteren chemischen Produkten häufig gesundheitsschädliche und explosionsgefährliche Dämpfe und Stäube, die abgeführt werden müssen. Hierzu sind meist 10- bis 20-fache Luftwechsel/Stunde erforderlich, um die MAK-Werte einhalten zu können.

Dazu kommen vielfach noch Beeinträchtigungen der Umgebung durch mehr oder weniger angenehme *Gerüche* aus Oxydations-, Erhitzungs- und

Tabelle 18:
Brennstoffverbrauch und SO₂-Emission ausgewählter Industriegruppen in München 1967—1970

Betriebsart nach der Arbeitsstättensystematik (zusammengefaßt)	Brennstoff						SO ₂ -Emission aus **)			
	Kohle to SKE *)	Heizöl leicht to	Heizöl schwer to	Gas Stadtgas 1000 m ³	Gas Erdgas 1000 m ³	Strom 1000 kWh	Kohle to	Heizöl leicht to	Heizöl schwer to	Insgesamt to
1967	16 555	9 823	1 845	6 113	41 920	180 688	331	98		503
Maschinenbau 1968	12 259	8 922	922	6 536	53 811	205 348	245	89	74	371
Fahrzeugbau 1969	7 510	8 533	1 018	7 805	69 596	249 214	150	85	37	275
1970	7 074	11 002	3 821	6 371	75 163	278 769	141	110	40	384
Elektrotechnik	243	7 439	4 548	2 124	5 908	107 610	5	74	133	216
Feinmechanik	72	10 043	3 257	2 153	6 611	127 004	1	100	182	230
und Optik	415	9 211	3 451	2 216	7 413	153 495	8	92	130	238
	616	9 697	3 613	2 367	8 117	182 095	12	96	138	252
Chemie einschließl. Mineralölverarbeitung,	1 663	5 366	8 366	367	161	29 449	33	54	144	241
Kunststoffherstellung	1 362	6 493	10 163	364	142	31 659	27	65	334	498
und -verarbeitung	478	6 747	10 916	344	56	40 560	9	67	406	512
	521	7 727	10 646	391	67	34 839	10	77	436	513
Druckereien	478	3 305	173	740	—	35 826	9	33	426	45
	353	3 775	236	820	—	41 106	7	38	7	55
	203	4 340	164	1 012	552	48 159	4	43	9	54
	142	4 543	290	309	857		3	45	7	60
Textil und Bekleidung	2 304	3 173	1 291	66	—	14 204	26	32	12	110
	1 109	3 406	1 370	1 035	—	15 453	22	34	54	110
	282	3 669	1 352	1 423	133	17 198	5	37	54	69
	234	3 518	1 363	54	1 411	18 410	4	35	54	93
Brauereien	25 409	3 996	15 225	77	—	39 771	508	40	608	1 156
	18 578	2 697	15 980	56	2 290	41 931	372	27	638	1 037
	11 457	2 242	21 715	49	5 041	45 340	229	22	868	1 119
	5 946	1 041	14 742	90	18 810	46 983	120	10	579	709
Gesamte Industrie	78 436	52 198	59 496	16 367	52 298	545 098	1 570	522	2 380	4 471
	63 575	57 940	61 534	18 533	68 723	627 335	1 270	579	2 462	4 312
	50 803	58 521	78 568	21 393	88 161	748 590	1 016	585	3 142	4 743
	43 124	60 575	64 516	19 365	112 129	782 310	860	605	2 580	4 140

*) Steinkohleeinheiten;

**) Für Kohle wurde ein S-Gehalt von 1%, für Heizöl leicht 0,5% und für Heizöl schwer 2,0% zugrunde gelegt. SO₂-Werte abgerundet.

Trocknungsprozessen, z. B. aus den Betrieben der Gewürz-, Nahrungs- und Genußmittelherstellung.

Diese vielfältigen industriellen und gewerblichen Emissionen können je nach Konzentration, Entfernung, Windverhältnissen, Bebauung usw. in sehr unterschiedlicher Weise auf Menschen, Pflanzen und Tiere einwirken und reichen in ihrer Intensität von geringfügigen Belästigungen bis zu irreversiblen Schädigungen. Durch die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit bedingt, kann eine ins Detail gehende Erörterung der hier nur angedeuteten Probleme nicht erfolgen, so interessant und aufschlußreich eine derartige Analyse für die lufthygienische Bewertung des Münchener Großraumes auch sein dürfte. Auf die allgemeinen Ausführungen hierzu im I. Kapitel wird deshalb nochmals hingewiesen.

Brennstoffverbrauch der Industrie und Fernheizwerke mit ihren SO₂-Emissionen

In Tabelle 18 sind zu einem Überblick Art und Menge der Brennstoffe einiger ausgewählter Industriegruppen mit den aus ihrem Verbrauch errechneten SO₂-Emissionen angegeben. Diese Angaben müssen noch kurz betrachtet werden, da sie unter anderem interessante, bisher meist wenig beachtete, Unterschiede über die einzelnen Industrie-Anteile bei der Luftverunreinigung, aufzeigen. Hiernach wird die Münchener Luft besonders durch die Brauereien verunreinigt, da — wie bereits auf S. 94 betont — diese Betriebe einen sehr hohen Bedarf an Wasserdampf und Heißwasser haben. Hingegen tragen die sogenannten „sauberen Betriebe“, wie Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik und in gewisser Weise auch der Maschinen- und Fahrzeugbau trotz der 10- bis 12-fach größeren Beschäftigtenzahlen in erheblich geringerem Ausmaß zur Luftverunreinigung bei.⁴⁷⁾

Der gesamte SO₂-Auswurf der Industrie mit 4471, 4312 bzw. 4743 to/Jahr ist jedoch sehr beachtlich und erklärt z. T. auch die relativ hohen Immissionswerte im Stadtgebiet, zumal die emissionsintensiven Betriebe im Kerngebiet konzentriert sind und hier ohnehin durch Kraftfahrzeuge und Hausfeuerungen eine erhöhte Verschmutzung der Luft herbeigeführt wird. Die Tabelle 18 zeigt jedoch erfreulicherweise auch eine stetige Zunahme in der Verfeuerung von schwefel- und feststoffärmeren Brennstoffen (Heizöl mit 0,5—1,0% Schwefel und Stadt- bzw. Erdgas), wodurch eine verminderte SO₂-Immission und damit eine Verbesserung der Luftqualität erreicht wird.

Zu diesen industriell/gewerblichen Emissionen müssen auch die Emissionen aus den kommunalen Heizwerken (Fernheizversorgung und Stromerzeugung) gerechnet werden, die als Großemittenten insgesamt maximal nahezu 37 000 to

⁴⁷⁾ Zu einem Überblick sei angegeben, daß Brauereien 10 . . . 80 kg SO₂/h emittieren, Milchverwertungsbetriebe (Molkereien) etwa 2 . . . 10 und Industriebetriebe einschließlich Papierfabriken 20 . . . 40 kg SO₂/h in die Stadtluft abgeben.

SO₂/Jahr ausstoßen, und damit hauptsächlich für die Entstehung von kritischen SO₂-Konzentrationen im Stadtgebiet verantwortlich gemacht werden müssen, zumal die Schornsteinhöhen dieser Anlagen — bis auf das Heizkraftwerk Isartalstraße — weit unterhalb der Obergrenze der sehr häufigen Bodeninversionen liegen, d. h., die Schornsteinmündungen durchstoßen diese Sperrschicht nicht, was eine starke Anreicherung der Schadstoffe in dem darunter befindlichem Luftraum zur Folge hat. Tabelle 19 enthält die nach Angaben der Stadtwerke zusammengestellten Werte und zeigt, daß mit der wechselweisen Verwendung verschiedener Brennstoffe die jeweilige Immissionslage beeinflußt bzw. verbessert werden kann. Zur Verfeuerung gelangen auch hier in zunehmendem Maße die Brennstoffe Heizöl EL (extra leicht) und Erdgas. In Abb. 19 sind die Standorte der Werke mit ihren SO₂-Emissionswerten eingezeichnet. Es muß hier jedoch darauf hingewiesen werden, daß es sich hierbei um Maximalwerte handelt, die sich je nach Heizungs-, Energiebedarf und Brennstoffart bis zu 50% und mehr vermindern können und außerdem einige Heizkraftwerke nur bei extrem kalten und windigen Wetterlagen (Winterhalbjahr) in Betrieb sind.

Die SO₂-Emissionen aus den Feuerungsanlagen der Wohngebäude (Hausbrand) können mangels entsprechender Unterlagen nicht angegeben werden. Es kommen hier sehr unterschiedliche Brennstoffe und Öfen zur Verwendung, so daß u. a. die Ermittlung des Verbrauches kaum durchführbar ist. Die jetzt beginnende Überwachung der Ölfeuerungsheizungen durch die Kaminkehrer dürfte jedoch wertvolle Daten erbringen. Eine gewisse Abschätzung über den Anteil an der Luftverschmutzung erlaubt die Einwohner- und Bebauungsdichte, sowie die Zahl der Gebäude und Haushaltungen (vergl. Abb. 15 und 16 sowie Tabelle 13 auf S. 92).

Grünanlagen, Parks, Wälder

München weist einen Grünflächenanteil von 13,2% seiner Stadtgebietsfläche auf und kann daher trotz zunehmender Bebauung und Industrialisierung noch immer als eine „Grüne Stadt“ angesehen werden. Die nachfolgende Tabelle 20 läßt dies im Vergleich mit einigen Groß- bzw. Millionenstädten gut erkennen. In der Tabelle sind nur die Grünflächen im engeren Sinne aufgeführt, wie sie durch die Städtestatistik für einen interkommunalen Vergleich zur Verfügung standen. München hat hiernach den größten Grünflächenanteil unter den aufgeführten Städten; auf je 1000 Einwohner bezogen wird es jedoch von Bremen und Köln übertroffen, was z. T. mit den unverhältnismäßig großen Stadtgebieten dieser Städte zusammenhängt.

Tabelle 21 enthält die Aufgliederung bzw. Verteilung der einzelnen Grünflächen im Stadtgebiet, wobei die Reihenfolge vom Stadtzentrum ausgehend hinüberwechselt zu den Grünflächen, die nach der ersten Bebauungsphase mit der Entwicklung der Stadt nach und nach entstanden sind. Zur erleichterten Übersicht sind die Ziffern der Stadtbezirke, in denen die jeweiligen Grünflächen

Tabelle 19:
Brennstoffarten, SO₂-Emissionen u. Schornsteinhöhe der kommunalen Fernheizwerke in München

Bezeichnung der Anlage und Lage im Stadtgebiet	Brennstoffart				SO ₂ -Emission to/Jahr*) (kg/h)	Schornstein- höhe m
	Kohle	Heizöl	Erdgas	Stadtmüll		
EW-HKW-Nord Oberführung	X	X	X	X	13 000 (1 200)	80
EW-DKW-Isartalstraße Isartalstraße 48	X	—	X	—	6 000 (600)	103
EW-HKW-Müllerstraße Müllerstraße 7	X	—	X	—	6 000 (600)	60
EW-HKW-Süd Isartalstraße 48	—	X	X	X	5 000 (500)	175
EW-HKW-Theresienstr. Theresienstraße 34	X	—	X	—	4 000 (400)	60
EW-HKW-Sendling Drygalskyallee 45	—	X	X	—	2 000 (200)	80
EW-HW-Schwabinger Krankenhaus Isoldenstraße	X	X	—	—	700 (90)	64
EW-HW-Koppstraße Koppstraße 12	—	X	X	—	300 (40)	50
HW-Kobusstraße Kathi-Kobusstraße 3	—	X	X	—	200 (20)	50
EW-HW-Meiserstraße Meiserstraße 5	—	X	X	—	150 (15)	41

EW = Elektrizitätswerk, HW = Heizkraftwerk
 HKW = Heizkraftwerk, DKW = Dampfkraftwerk
 *) Werte auf- bzw. abgerundet

Tabelle 20:
München im Städtevergleich der Grünflächen

Stadt	Grünflächen	
	in % der Stadtfläche	Einwohner ha je 1000
Hamburg	3,6	1,5
München	8,1	2,0
Köln	7,6	2,2
Essen	4,1	1,1
Düsseldorf	5,5	1,3
Frankfurt/M.	6,6	1,9
Stuttgart	3,8	1,3
Bremen	4,6	2,5
Hannover	7,9	2,0

liegen, beigesetzt. Eine Darstellung ihrer geographischen Lage und ungefähren Größe ist in Abb. 20 erfolgt, die im Vergleich mit der Karte der Verteilung von Industriebetrieben (Abb. 18) in Bezug auf die verursachenden und verringern- den Faktoren der Luftverunreinigung und des Stadtklimas eine aufschlußreiche Gegenüberstellung ermöglicht.

Tabelle 21:
Grünflächen und Wälder im Münchener Stadtgebiet

Bezeichnung der Grünfläche	Lage im Stadtbezirk	Größe in ha
Englischer Garten	13, 22	360,00
Biedersteiner Park	13	6,65
Maximilians- und Gasteiganlagen	13	29,69
Isaranlagen	13	370,00
Flaucher	16	22,50
Tierpark Hellabrunn	16	70,00
Giesinger Park	18	1,50
Zentrallände (Floßlände) mit Campingplatz	18	4,00
Isarhang vom Kufsteiner Platz bis Oberföhring	29	15,94
Grünstreifen von Tivolibrücke mit Herzog-Albrecht- Platz und Wahnfriedallee	14, 29	11,12
Hofgarten mit Residenz und Finanzgarten	1, 5	6,28
Grünanlage am Maximiliansplatz	1	1,70
Alter Botanischer Garten	6	3,50
Anlagen beim Königsplatz	6	8,50
Theresienwiese	9	46,50
Bavariapark	20	6,65
Südpark (Sendlinger Wald)	24	60,00
Grünanlage Neuhofen (Schuttberg)	19	20,10
Hirschgarten	23	32,00
Hofgarten Nymphenburg (Park)	23	220,00
Botanischer Garten	23, 28	19,20
Kapuzinerhölzl	28	20,47
Hartmannhofener Wäldchen	28	29,83
Grünwaldpark	23	3,50
Blutenburg mit Durchblick	37	32,00
Pasinger Stadtpark	35	12,89
Schwabinger Schuttberg mit Luitpoldpark	27	32,66
Grünzug Bayernplatz-Harthof	27	5,51
Schuttberg Oberwiesenfeld mit Olympiagelände	21, 27	46,00
Grünzug in Harlaching	18	10,34
Grünzug in Ramersdorf	30	10,38
Echardinger Anger mit Piusplatz	30	11,36
Grünstreifen in Gartenstadt Trudering und Waldperlach	30, 32	2,84
Ostpark (in Planung)	30	60,00
Sportanlagen, Spielplätze, Grünflächen bei Schulen, Krankenhäusern, Altenheimen, Wohnsiedlungen usw.	—	469,51
Friedhöfe (Süd-, Ost-, Nord-, West-, Waldfriedhof und andere)	10, 17, 22 28, 34	348,00
Kleingärten	—	342,60
Sonstige Anlagen (Freibäder, Alleen u. ä.)	22, 30, 32	143,35
Wälder und Forsten	38, 39, 40	1047,50

Zu diesen Grünflächen sind noch die 67 600 Alleebäume auf etwa 600 km Straßenlänge zu rechnen, die neben der Schatten- und Kleinklimawirkung zur Bindung des aufgewirbelten Straßenstaubes und der Autoabgase von Bedeutung sind. Diese Bäume sind — gleichsam als Beweis für die ungünstigen klimatischen und lufthygienischen Bedingungen — im dichtbebauten Stadtgebiet ohne jeglichen Flechtenbewuchs (Flechtenwüste) und erst beim Übergang der äußeren Kampfzone zur Normalzone hin findet eine allmähliche Besiedlung mit Anflügen von Krusten- und Laubflechten statt, die dann allerdings, z. B. an der südlichen Ausfallstraße nach Wolfratshausen bereits in Pullach und Höllriegelskreuth, nur einige hundert Meter von der Kampfzone entfernt, einen üppigen und artenreichen Flechtenbewuchs aufweisen (*Hypogymnia physodes*, *H. sulcata*, *H. furfuracea*, *Usnea*- und *Ramalina*-Arten).

Von einer eingehenden Beschreibung der einzelnen Grünanlagen wird im Hinblick auf die Abb. 20 und Tabelle 21 abgesehen. Es sei lediglich noch auf den hohen Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen innerhalb des Stadtgebietes (32,0%), sowie auf die ausgedehnten Wälder im Umland hingewiesen, deren klimatische und lufthygienische Bedeutung bereits auf S. 33 ff. näher dargelegt wurde und durch die München noch jetzt mit kaum verunreinigter Frischluft versorgt wird.

IV.

MESSUNGEN DER LUFTVERUNREINIGUNG UND IHRE ERGEBNISSE IN MÜNCHEN

Abgesehen von einigen Einzeluntersuchungen, die die Erforschung des Stadtklimas und der meteorologischen Verhältnisse zum Ziele hatten, z. B. durch BÜDEL und WOLF (1933), ILZHÖFER und GIESE (1935), SCHNEIDER und SONNTAG (1936), REICHEL (1952), KRATZER (1956), SCHIRMER (1961), BAUMGARTNER (1962), HERB (1964), FELDMANN (1965), KRATZER (1968) und HERZOG (1969) wurden Messungen der Luftverunreinigung erst verhältnismäßig spät begonnen. Durch die rasche Zunahme der bebauten Flächen und der Industrie/Gewerbebetriebe häuften sich jedoch die Beschwerden über die zunehmende Luftverschmutzung, so daß sich insbesondere die Stadtverwaltung gezwungen sah, entsprechende Maßnahmen einzuleiten.

Zunächst waren es auch hier Einzeluntersuchungen mit meist kurzer Versuchsdauer, z. B. durch KELLER (1958), STRATMANN (1959), MERZ (1961) und KOLAR (1966, 1967, 1969). Vom Technischen Überwachungsverein Bayern e. V. (TÜV) wurden im Auftrage der Stadtverwaltung dann durch längere Meßreihen (Oktober 1961—Juli 1963 und November 1964—September 1967) die lufthygienischen Verhältnisse des gesamten Stadtgebietes einer genauen Analyse unterzogen.

Bei der Stadtverwaltung wurde ab 1964 durch die Errichtung einer eigenen Überwachungsstelle mit dem Aufbau eines Meßstellennetzes begonnen und seitdem werden an 8 Stationen und an 64 Meßpunkten, welche über das gesamte Stadtgebiet verteilt sind, durch Dauer- und Stichprobenmessungen verschiedene luftverunreinigende Stoffe, insbesondere Schwefeldioxid und Staub sowie die meteorologischen Daten ermittelt.⁴⁸⁾ Ab Jahresende 1968 werden auch an dem neu errichteten Fernsehturm (Olympiaturm) im Norden der Stadt in verschiedenen Höhen SO₂-, Temperatur- und Windwerte registriert. Neben diesen Bemühungen um die Erforschung der Immissionsverhältnisse werden ergänzend hierzu seit 1969 an einigen Großkesselanlagen (Industrie-, Fernheizwerke u. ä.) durch direkt in den Schornstein eingebaute Meßgeräte kontinuierliche Abgas-(Emissions-) Messungen durchgeführt. Erhebliche Belästigungen der Nachbarn und beginnende Vegetationsschädigungen zwangen einen am südöstlichen Stadtrand gelegenen Mineralöl- (Altöl) Raffineriebetrieb — nach entsprechender behördlicher Anweisung — zur Durchführung von SO₂-Dauermessungen an drei Stellen in seiner Umgebung. Die Messungen wurden vom TÜV überwacht und ausgewertet. Bei der Besprechung der Flechten-Expositionsversuche wird hierauf noch näher eingegangen.

⁴⁸⁾ Ab April 1972 wurde das Meßnetz vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz übernommen und um vier Stationen erweitert.

Die Ergebnisse der städtischen Messungen werden laufend in Monatsberichten ausgewertet und sind bisher in zwei Berichten, welche die Jahre 1963—1966 und 1967—1969 umfassen, zusammengefaßt. Durch HERBERICH (1968) wurde der Versuch unternommen, aus den vorliegenden Meßwerten (SO_2 -Werte) Beziehungen zur Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit herzuleiten.⁴⁹⁾

Nach einer kurzen Beschreibung der Meßmethoden und -geräte, sowie der geographischen Lage der Meßstationen bzw. -stellen im Stadtgebiet wird auf die Ergebnisse der bisherigen Messungen der gas- bzw. dampfförmigen und festen Luftverunreinigungen eingegangen, wobei zum Vergleich auch entsprechende Meßwerte aus anderen Großstädten angeführt werden. Außerdem wird in Gegenüberstellungen der Immissions-Belastung mit der Verbreitung der epixylen Flechten im Stadtgebiet der mögliche Einfluß von Luftverunreinigung bzw. Stadtklima auf diese Indikatorpflanzen erörtert, wobei auch der neuerdings von RUGE und FÖRSTER (1970) angegebene Staubfaktor berücksichtigt wird.

Nach einer Darlegung der räumlichen Immissions-Belastung des gesamten Stadtgebietes durch Schwefeldioxid und Staub, wird ferner, — jeweils gesondert — auf die Meßergebnisse an den Stationen näher eingegangen, an denen die Versuchsflechten (*Hypogymnia physodes*) exponiert waren, um somit die Grundlagen für die erstrebte Aussage über die gemessenen Immissions- (SO_2) Werte zum Grad der Flechtenschädigung bereitzustellen.

1. Meßmethoden und Meßgeräte

An den ortsfesten *Meßstationen* wird die SO_2 -Immission mit Gasspuren-Analysatoren gemessen.⁵⁰⁾ Hierbei reagieren ein konstanter angesaugter Luftstrom und eine Reaktionslösung miteinander. Entsprechend der Konzentration des zu ermittelnden SO_2 -Anteiles ändert sich die elektrische Leitfähigkeit der Reaktionslösung. Die Leitfähigkeit wird mit einer Vergleichsmeßzelle *vor* und mit einer zweiten Meßzelle *nach* der chemischen Reaktion bestimmt. Die Differenz der durch diese beiden Zellen fließenden elektrischen Ströme entspricht der Leitfähigkeitsänderung der Reaktionslösung und stellt dadurch ein Maß für die Höhe der SO_2 -Konzentration in der Außenluft dar. Die halbstündlichen Mittelwerte werden elektrisch verstärkt und in der Meßwert-erfassungs-Zentrale (Rathaus am Marienplatz) registriert, auf Lochstreifen gespeichert und monatlich in einer Datenverarbeitungsanlage ausgewertet.

Die Picoflux- bzw. Ultragas-Meßgeräte sind z. T. in Meßhütten untergebracht, wo auch gleichzeitig eine Fernregistrierung von Temperatur, Wind,

⁴⁹⁾ Dem ehemaligen Leiter des Referates für Immissions- und Nachbarschutz der Stadt München, Herrn Baudirektor H. SCHWEGLER, sei für die Überlassung von Berichten und Meßergebnissen sowie für die bereitwillige Erlaubnis zur Anbringung der Flechtentafeln an den Meßhütten bestens gedankt.

⁵⁰⁾ Gemäß VDI-Richtlinie 2451 (1968).

relativer Luftfeuchte und Regenmenge erfolgt. An einigen Dauermeßstationen wird außerdem der Staubbiederschlag mit dem bekannten BERGERHOFF-Gerät ermittelt.⁵¹⁾ Abb. 21 zeigt eine Meßhütte mit einem derartigen Gerät. Die Meßgläser werden monatlich ausgewechselt und der aufgefangene Staub gravimetrisch bestimmt.

An den *Meßstellen* (Stichprobenmessungen) werden durch entsprechend ausgerüstete Meßwagen die Anteile von SO₂, CO, Kohlenwasserstoffen, nitrosen Gasen und Staub in der bodennahen Luftschicht ermittelt. Das Kohlenmonoxid (CO) wird mittels Infrarotanalysen und zwar im ppm-Bereich bestimmt. Die Kohlenwasserstoffe können in ihrer Gesamtheit mit dem Flammenionisations-Detektor im untersten ppm-Bereich und die nitrosen Gase (Stickoxide, wie NO₂, N₂O₃) nach einer von SALTZMANN beschriebenen Reaktion mit einem Meßgerät ermittelt werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit muß von einer detaillierten Beschreibung der Meßmethoden und -geräte abgesehen werden.

Zu Messungen des *Staubbiederschlags* werden sowohl die bekannten DIEM-schen Haftfolien, welche auch von KOLAR (1966 und 1967) in verbesserter Weise (Regenschutz) in einigen Stadtteilen ausgelegt wurden, als auch ein Staubmonitor (FH 62A) verwendet. Dieses Gerät saugt einen konstanten Luftstrom (ca. 1,1 m³/h) an, welcher gegen ein weißes Filterband geblasen wird. Die niedergeschlagene Staubschicht absorbiert die Strahlung eines radioaktiven Präparates je nach der Schichtdicke bzw. Schwärzung mehr oder weniger stark, so daß vom Gerät der Staubgehalt der Luft im Bereich von 0,1 bis 11 mg/m³ angezeigt wird. Die Messung von Schwefeldioxid erfolgt wiederum mit Pico-flux- bzw. Ultragas-Geräten.

2. Lage der Meßstationen und Meßstellen im Stadtgebiet

Die ortsfesten Stationen für *Dauermessungen* sind in Tabelle 22 aufgeführt und zusammen mit den Punkten des Stichprobenmeßnetzes in der Abb. 22 dargestellt.

Tabelle 22:
Ortsfeste Meßstationen mit Beginn der Dauermessungen im Stadtgebiet Münchens

Nr.	Lage bzw. Ort	Stadtbezirk	in Betrieb seit	
I	Landshuter Allee 52	21	Februar	1966
II	Müllerstraße 7	1	September	1964
III	Krankenhaus Schwabing	27	Februar	1966
IV	Westendstraße 210	25	September	1963
V	Bayerstraße 64	9	Juni	1966
VI	Pflugstraße 4	1	April	1965
VII	Boschetsriederstraße 100	24	Februar	1966
	Fernsehturm (Olympiaturm)	27	November	1968
	Einsteinstraße	14	April	1970
	Bäckerstraße (Pasing)	35	Juni—September	1970

⁵¹⁾ Dieses Gerät ist hierzu durch die „Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (TA-Luft) amtlich vorgeschrieben.

Die Lage ist z. T. dadurch bedingt, daß die Meßhütten auf stadteigenen und abgeschlossenen bzw. bewachten Grundstücken aufgestellt wurden, um Beschädigungen oder ähnliches zu verhindern. Dies erwies sich auch als sehr vorteilhaft bei der Anbringung der Flechtentafeln an den Meßhütten (Stationen I bis IV).

Die Punkte der *Stichprobenmessungen* sind angenähert in einem rechtwinkligen Koordinatennetz festgelegt, da STRATMANN (1965) nachweisen konnte, daß eine Meßstellendichte von 1 Meßstelle auf 4 km² und 100 Einzelmessungen im Jahr ausreichen, um die SO₂-Belastung (Immission) mit ausreichender Genauigkeit angeben zu können. In den Außenbezirken der Stadt kommt 1 Meßstelle jedoch auf rund 9 km², da es sich hier ohnehin um nur schwach verunreinigte Gebiete handelt, abgesehen von der Umgebung einiger größerer Emittenten (Industriebetriebe). Zur Vermeidung von systematischen Fehlern wird die einzelne Meßfahrt jeweils so variiert, daß jeder Meßpunkt zu verschiedenen Uhrzeiten und in wechselnder Reihenfolge angefahren wird. Anderenfalls würden durch den tagesperiodischen Verlauf der Immissionen bedingt, gewisse Meßpunkte eine zu hohe, bzw. zu niedrige Konzentration der Schadstoffe aufweisen. Die genaue Lage der Meßstellen im Kompaß-Plan-Gitternetz ist in der Übersicht 1 angegeben.

Der *Staubniederschlag* wird seit Juli 1965 an 8 Meßstationen mit dem BERGERHOFF-Gerät ermittelt. Es sind dies außer einigen SO₂-Dauermeßstellen (I, II, III, VII) die Meßstellen beim Krankenhaus rechts der Isar in der Ismaninger Straße 22 (14. Stadtbezirk); beim Wetteramt am Bavariaring 10 (20. Stbzk.); beim Technischen Überwachungsverein an der Eichstätterstr. 5 (34. Stbzk.) und beim Städt. Gesundheitsamt in der Dachauer Straße 90 (6. Stbzk.) nördlich des Hauptbahnhofes. Ab September 1967 wird zu Vergleichszwecken auch beim Städtischen Sanatorium in Kempfenhausen am Starnberger See der Staubniederschlag erfaßt.

Im Stadtgebiet werden außerdem an 47 Meßpunkten — im wesentlichen auf öffentlichen Telefonzellen — DIEM'sche Haftfolien in 2—4maliger Wiederholung im Monat und für je 24- bzw. 48-stündige Expositionszeit, ausgelegt, sowie mit dem Staubmonitor des Meßwagens an den Stichprobenmeßstellen laufend die Staubsituation erfaßt.

3. Ergebnisse der Luftverunreinigungs-Messungen

Neben dem Schwefeldioxid als der wesentlichsten Komponente der großstädtischen Luftverunreinigung wird auch die Belastung durch feste Luftbeimengungen (Staub), sowie die Meßergebnisse von weiteren Schadstoffen, wie Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Fluor nachfolgend dargestellt, wobei zunächst die Meßergebnisse der gasförmigen Immissionen vorangestellt werden sollen, da ihren phytotoxischen Einwirkungen auf die Vegetation und speziell auf die exponierten Flechten eine besondere Bedeutung zukommt.

Meßergebnisse der gas- und dampfförmigen Immissionen

Aus den SO_2 -Mittelwerten der Stichproben-Meßpunkte wurden die Meßergebnisse durch HERBERICH (1968) und SCHWEGLER (1969) zusammengestellt. Die Abb. 23 gibt die Belastung durch Isolinien der SO_2 -Konzentration (Isosulfen) und Abb. 24 die Belastung nach dem Grad der Luftverunreinigung wieder. Die letztere Darstellung verzichtet daher auf die Angabe von Immissionswerten in $\text{mgSO}_2/\text{cm}^3$ Luft, da diesen Zahlenwerten durch die zeitliche Variabilität ohnehin nicht die Bedeutung absoluter Werte beigemessen werden kann. Oft sind die zeitlichen Schwankungen in der Immissionsbelastung so groß, daß sie ein vielfaches der Größenordnung darstellen, die man bei der Unterscheidung der einzelnen Gebiete zugrunde legt. Wichtig ist aber die relative Lagebeziehung von Gebieten besonders hoher bzw. niedriger Immissionsbelastungen, die in vier Abstufungen dargestellt wurde: sehr stark luftverunreinigt, stark luftverunreinigt, gering und schwach luftverunreinigt. In diese Abbildungen habe ich zusätzlich die Verbreitung der epixylen Flechtenvegetation nach SCHMID (1957) eingezeichnet (Flechtenwüste und Kampfzone) um einen direkten Vergleich der SO_2 -Immission mit der Ausdehnung der Flechtenwuchszonen zu ermöglichen.

Beide Abbildungen zeigen deutlich die ausgeprägten Unterschiede in der Flächennutzung des Münchener Stadtgebietes, die sich in der Lage und Ausdehnung der Immissionsbelastungs-Gebiete widerspiegelt. Dies gilt insbesondere für Standort, Größe und Art der Industrie- und Gewerbe-Betriebe, der Fernheizwerke als Großemittenten, bebauten Flächen, sowie für die Grün- und land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen (siehe hierzu Abb. 15 bis 20). Die als sehr stark und stark verunreinigt ausgewiesenen Gebiete decken sich mit den dicht bebauten und mit zahlreichen kleineren, mittleren und großen Emittenten ohne immissionsvermindernde Grün- oder Waldflächen genutzten Gebieten. Dies gilt vor allem für das Bahnhofsviertel, Altstadt, Schwanthalerhöf, mit Ausweitung über die Isar nach Haidhausen, Au und im Westen nach Pasing. Die Abb. 18 mit der Verteilung der Industriebetriebe mit mehr als 200 Arbeitnehmern weist hier überwiegend sehr immissionsreiche Industrien auf (Brauereien, Chemie, Metallverarbeitung). Hinzu kommen noch die nicht unerheblichen Anteile durch Hausfeuerungen und Fernheizwerke zur Versorgung der dicht bebauten Wohn- und Geschäftsviertel.

Bei kurzzeitigen Meßreihen hatten sich in diesen Gebieten nach dem TÜV München (1964) und KOLAR (1967) Tagesmittelwerte von 2,12; 2,5 und 3,36 mgSO_2/m^3 Luft ergeben. Für den Meßzeitraum November 1964—September 1967 ergab sich nach einem Bericht des TÜV (1968) die SO_2 -Grundbelastung in der Innenstadt jedoch nur zu 0,53 mg/m^3 und in den Außenbezirken zu 0,35 mg/m^3 , so daß der nach der TA-Luft zugelassene Immissionsgrenzwert für Dauereinwirkung von 0,4 mgSO_2/m^3 über- bzw. unterschritten wurde.

Die sich gürtelförmig an diese Gebiete anschließende geringere Immissionsbelastung weist stärkere Ausbuchtungen im N (Schwabing) NW (Nymphen-

burg mit Obermenzing) und SW (Unter/Obersendling) und im SE bzw. E (Giesing, Ramersdorf) auf und greift dann beim Kleinhesseloher See im Englischen Garten wieder auf das westliche Isarufer über. Die beachtliche Verschiebung nach NE (Schwabing und Milbertshofen) dürfte, — ähnlich der ost-westlichen Erstreckung der sehr stark und stark verunreinigten Zonen — mit den vorherrschenden Windrichtungen (SW und E) zusammenhängen. Dieser Effekt wird auch in der weit über das Stadtgebiet nach NE hinausgeschobenen Grenze der Kampfzone der epixylen Flechten deutlich. Selbst im S und SE ist trotz stärkster Industrialisierung die Belastung gering, weil es sich überwiegend um die sogenannten „sauberen Industrien“ (Elektrotechnik, Feinmechanik/Optik) handelt (siehe hierzu Abb. 18).

Der übrige Teil des Stadtgebietes bis hin zur Stadtgrenze kann als schwach luftverunreinigt angesehen werden, da eine dörfliche Besiedlung mit land- und forstwirtschaftlicher Nutzung überwiegt und die wenigen hier ansässigen Großbetriebe (Fahrzeug- und Maschinenbau) eine großflächige Luftverunreinigung nicht bewirken können. Hinzu kommt, daß diese Betriebe überwiegend im N bzw. NW liegen, also in dem Sektor, welcher nach den meteorologischen Verhältnissen (Wind) lufthygienisch am günstigsten ist.

Die ellipsenförmige Ausweitung der Belastungszonen nach dem Westen des Stadtgebietes (Pasing) hängt — wie oben schon angedeutet — mit den häufigen östlichen Winden, insbesondere während der winterlichen Heizperioden zusammen. Dies ist auch deutlich aus den Isosulfen der Abb. 23 zu ersehen, die außer einem Maximum von 20—25 mgSO₂/100 m³ Luft im Stadtzentrum ebenfalls eine ausgeprägte westliche Ausdehnung mit allerdings nur 5 mgSO₂/100 m³ Luft aufweisen. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß die Ausdehnung der Flechtenwüste sich angenähert mit den Zonen der sehr stark, stark und gering verunreinigten Gebieten deckt. Die mangelnde Übereinstimmung mit der Ausdehnung der Flechtenwüste im westlichen Teil dieser Immissions-Belastungszonen kann man wohl damit erklären, daß aus dem westlichen und südwestlichen Umland zumindest zeitweilig immissionsarme — praktisch reine Landluft — diesem Gebiet zugeführt wird. Dieses Umland ist frei von größeren Emittenten und Wohngebieten. Die Stadt Augsburg als größere flächenhafte Quelle von Luftverunreinigungen befindet sich ca. 60 km westlich von München und dürfte sicher ohne Einfluß sein. Ferner wird aus diesem Umland mit überwiegender land- und forstwirtschaftlicher Nutzung ständig feuchte und weitgehend staubfreie Luft diesem Stadtteil zugeführt und somit den Blattflechten noch ausreichende Lebensbedingungen geschaffen, wie unter anderem im Nymphenburger Park, der schon nahezu eine Normalzone darstellt im Gegensatz zum Englischen Garten, wo die Kampfzone zwar zungenförmig in die Flechtenwüste vorstößt, jedoch erst die nördlichen Ausläufer einen spärlichen Blattflechtenbewuchs aufweisen. Es wird schon hierdurch wahrscheinlich, daß das Wachstum der epixylen Flechten in der Großstadt nicht allein durch die Luftverunreinigung beeinflusst wird. Wenn dies der Fall wäre, müßte die Kampfzone mit den SO₂-Immissions-Belastungszonen auch in diesen Gebieten eine ange-

näherte Übereinstimmung aufweisen. Da dies jedoch ganz augenfällig nicht der Fall ist, müssen die meteorologisch-klimatischen Bedingungen, vielleicht eine ständig höhere Luftfeuchtigkeit, mit im Spiele sein. Wenn man die Ausdehnung der Flechtenwüste nach S, SW und SE betrachtet, erkennt man deutlich, daß die hier bis dicht an die Stadtgrenze heranreichenden größeren Waldungen (Kreuzlinger Forst, Forstenrieder Park, Perlacher Forst) durch ihre höhere Feuchtigkeit und saubere Luft auch die Flechtenwüste zurückdrängen, bzw. der Übergang von der Normalzone zur Flechtenwüste so schnell erfolgt, daß die Kampfzone bis auf einen schmalen Streifen zusammenschrumpft. Zweifellos spielt hierbei auch die ständige Anwehung von Thallus-Bruchstücken bzw. Diasporen durch die häufigen SW-Winde aus diesen flechtenreichen Wäldern, sowie die geringere Staubbelastung dieser Gebiete (vergl. Abb. 29) eine Rolle.

Der in Abb. 25 dargestellte Jahresgang der monatlichen SO₂-Immission an vier Meßstationen von Januar bzw. März 1966 bis Juni 1970 bestätigt unter anderem die auch aus anderen Städten bekannte Tatsache, daß die erheblich höheren SO₂-Immissionen im Winterhalbjahr aus Feuerungs- und Heizungsanlagen der Wohn- und Arbeitsstätten stammen. Den Minima im Juli und August stehen die etwa 4—8fach höheren Maxima im Dezember und Januar gegenüber. Nach GEORGII, DOMMERMUTH und WEBER (1968) ergab sich z. B. aus langjährigen SO₂-Registrierungen in Frankfurt/M., daß im Winter, im wesentlichen durch die Hausfeuerungen bedingt, die Industrie-Immissionen um den Faktor 3 übertroffen werden. Zur Verdeutlichung dieses Sachverhaltes sind dazu in Tabelle 23 die SO₂-Konzentrations-Mittelwerte aus den Heizperioden der kälteren Jahreszeit (September—April) sämtlicher Dauermeßstationen angegeben.

Die höchste SO₂-Konzentration ergab sich in der Bayerstraße beim Hauptbahnhof, deren Ursache neben den Hausfeuerungen in den zahlreichen Brauereien und einigen größeren Industriebetrieben liegt (vergl. Abb. 18). Es folgen dann das Stadtzentrum (Müllerstraße), Landshuter Allee, sowie die Westend- und Pflugstraße. Die letztere Station befindet sich unweit der Isar und wird noch durch die Frischluftströmung des breiten Flußbettes bzw. der Isarauen beeinflusst.

Tabelle 23:
SO₂-Konzentrations-Mittelwerte der Dauermeßstationen in den Heizperioden

Meßstation	SO ₂ -Immission in mg/m ³	Anzahl der Heizperioden
Landshuter Allee	0,136	3
Müllerstraße	0,139	5
Krankenhaus Schwabing	0,090	3
Westendstraße	0,124	6
Bayerstraße	0,143	3
Pflugstraße	0,123	4
Boschetsrieder Straße	0,082	3

Die fast am südlichen Stadtrand gelegene Station Boschetsrieder Straße besitzt — wie zu erwarten — die geringste Luftverunreinigung. Bemerkenswert ist auch der niedrige Wert ($0,09 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3$) der Station Krankenhaus Schwabing im NE des Stadtgebietes.

Darüber hinaus sind die winterlichen Maxima aber auch auf jahreszeitlich bedingte Austauschbedingungen der Atmosphäre zurückzuführen, wie eine Auszählung der SO_2 -Werte bei verschiedenen Großwetterlagen während der Heizperiode (September bis April) 1967/68 an der Dauermeßstation Bayerstraße ergab (SCHWEGLER 1968). Hiernach sind bei bestimmten Wetterlagen die Immissions-Mittelwerte besonders hoch. Da vornehmlich bei Hochdruckwetterlagen hohe SO_2 -Werte registriert wurden, liegt die Vermutung nahe, daß derartige Wetterlagen die Ausbildung einer Dunstglocke über dem Stadtgebiet begünstigen. Die stadtgeographischen Gegebenheiten können sich hierbei wohl am stärksten auswirken, so daß bei diesen Wetterlagen die Tendenz zur Ausbildung eines eigenen Stadtklimas größer ist, als bei zyklonalen Lagen.

Da ferner Hochdruckwetterlagen im Winterhalbjahr an 16% aller Tage auftreten, ist die Häufigkeit einer Dunstglocke in dieser Jahreszeit verständlich. Auch die besonders bei diesen Wetterlagen morgens und nachts zu beobachtende Nebelbildung wirkt in der kalten Jahreszeit in ähnlich ungünstiger Weise, obgleich diese Hochdrucktage häufig ein Maximum an Sonnenscheinstunden aufweisen und weitgehend frei von Regenniederschlag sind. Mit diesen Hochdrucklagen sind zudem stabile Temperaturschichtungen und geringe Windgeschwindigkeiten verbunden, die über der Bodenoberfläche die Ausbildung ganz- bzw. mehrtägiger Inversionen begünstigen. Die emittierten Luftverunreinigungen können dadurch nicht in die freie Atmosphäre entweichen und/oder verfrachtet werden, so daß sie sich in der Biosphäre über dem gesamten Stadtgebiet ansammeln können, wobei die dichte Bebauung nur eine geringe Luftzirkulation ermöglicht und in Verbindung mit dem überdies ebenfalls sehr geringen Luftmassenaustausch der Abtransport und die Verdünnung der luftfremden Bestandteile sehr gehemmt wird, bzw. überhaupt nicht stattfindet. Hinzukommt, daß diese Wetterlagen, die eine stabile Luftschichtung in der untersten Atmosphäre bewirken, meist andere Windverhältnisse als bei den in Westeuropa herrschenden Großwetterlagen hervorrufen. Hierbei überwiegen nämlich Winde aus östlichen Richtungen (siehe hierzu Abb. 9 und 10), die jedoch relativ schwach und mehr stetiger Natur sind, gegenüber den turbulenteren Westwinden und die sich außerdem durch ihre Häufigkeit windstillen Lagen auszeichnen, so daß die im Großraum München befindlichen Immissionen zwar verfrachtet werden, ohne sich aber hierbei wesentlich zu verdünnen. Damit hängt — wie oben schon gesagt — auch die beachtliche Ausbreitung der SO_2 -Immissionsbelastungszonen nach dem westlichen Stadtgebiet zusammen, obgleich sich in diesen Stadtteilen selbst wenig industriell/gewerbliche Emittenten befinden und eine aufgelockerte Bauweise, durchsetzt mit zahlreichen Grünflächen und Bäumen, das Stadtbild prägt.

Eine statistische Auswertung der Meßergebnisse an den Dauermeßstationen ergab ferner, daß in den Winterhalbjahren eine enge Korrelation zwischen den SO_2 -Konzentrationen und der *Windgeschwindigkeit* in Bodennähe besteht. Dieser Zusammenhang ist an Werktagen mit Inversionen vor allem im Stadtzentrum besonders groß. Offensichtlich ist hier die Windgeschwindigkeit am wenigsten mit der Temperaturschichtung der Luft gekoppelt. Auch ein gewisser Zusammenhang mit der *Lufttemperatur* ist feststellbar, was ganz offensichtlich von einer Zu- oder Abnahme der Gebäudeheizungen abhängt. Sinkende Temperaturen — insbesondere in der kälteren Jahreszeit und gelegentlich auch im Sommer — bedingen naturgemäß auch eine verstärkte Feuerungsleistung der Fern- bzw. Heizkraftwerke. Bei austauscharmen Wetterlagen tritt diese Temperaturabhängigkeit noch deutlicher zu Tage, wie schon BREUER und WINKLER (1965) und neuerdings JOST (1970) in Frankfurt/M. beobachten konnten.

Eine weitere Ursache für den *jahreszeitlichen* Gang der SO_2 -Immissionskonzentrationen liegt in der Stärke und Dauer der *Inversionen*, wobei zwar im Sommerhalbjahr die durch nächtliche Strahlungsabkühlung des Bodens und Windstille entstandenen morgentlichen Inversionen in den meisten Fällen sich im Laufe des Vormittags wieder auflösen. Im Winter hingegen kann die sehr verminderte oder gar nur gelegentliche Sonneneinstrahlung jedoch nur eine teilweise Auflösung bewirken, bzw. reicht die Sonneneinstrahlung gerade für eine Ablösung der Inversion vom Boden aus. Das bedeutet: Im Winter, wo die Emissionen durch die Hausfeuerungen und Heizungen für die übrigen Gebäude erheblich ansteigen, sind auch die Inversionen von besonderer Stärke und meist mehrtägiger Dauer (vergl. hierzu die Ausführungen auf S. 88 ff. und Abb. 12). Diese beiden Tatsachen zusammen bewirken schließlich die winterlichen SO_2 -Immissions-Maxima. KOLAR (1969) hat diese Zunahme der SO_2 -Immissionen bei langandauernden austauscharmen Wetterlagen näher untersucht und durch Messungen z. B. im Zeitraum vom 3.—8. 12. 1962 einen SO_2 -Tagesmittelwert von $3,36 \text{ mg/m}^3$ und einen Maximalwert von $5,9 \text{ mg/m}^3$ festgestellt. Der Technische Überwachungsverein München (1964) ermittelte in der Zeit vom 3. bis 7. 12. 1962 $2,12 \text{ mg/m}^3$ und $2,74 \text{ mg/m}^3$ als Maximalwert und von SCHWEGLER (1967) werden im 1. Meßbericht für die Zeit vom 16.—22. 1. 1964 Tagesmittelwerte von $2,5 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3$ und $4,2 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3$ als Maximalwerte angegeben. Ähnliche Werte wurden auch in London, Bochum und Gelsenkirchen gemessen. ZSCHAUBITZ (1964) gibt in seiner Dissertation für die Stadt Münster, die als reine Wohngrößstadt gilt und nur einige größere Industriebetriebe besitzt, bei Inversionswetterlagen Maximalwerte von $1,85$ und $1,59 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3$ Luft an.

Die SO_2 -Windrosen der Abb. 26, wo die 95%-Werte der relativen Summenhäufigkeit der SO_2 -Konzentration an den 4 Dauermeßstellen (Landshuter Allee, Müllerstraße, Krankenhaus Schwabing und Westendstraße) dargestellt sind, verdeutlichen noch einmal die enge Korrelation der Windverhältnisse mit der SO_2 -Immission und außerdem die sehr beachtlichen Konzentrationsunterschiede des Winterhalbjahres 1967/68 zum Sommer 1968. Das Fehlen

der nördlichen Windrichtungen, die im übrigen sehr mäßig sind, beruht auf einer Störung am 2-fach-Schreiber der Windregistrierung.

Die Stationen Müller- und Westendstraße mußten aus zeichnerischen Gründen ca. 1 km SE bzw. SW verschoben werden, um eine Überschneidung mit der SO₂-Windrose der Station Landshuter Allee zu vermeiden. Die Zentren der letztgenannten Station, sowie von der Station Krankenhaus Schwabing stellen den genauen Standort dieser Dauermeßstationen dar. Die Aufzeichnung auf die topographische Karte im Maßstab 1:100 000 erschien mir sinnvoll, um die Lage der Stationen im Stadtgebiet nochmals genau zu fixieren und um außerdem aus den ausgeprägten Spitzen der SO₂-Windrosen Hinweise auf größere Emittenten (Industriebetriebe, Fernheizwerke u. ä.) oder dichtbebaute Stadtteile zu erhalten, wie PETERS (1969) z. B. in Hamburg zeigen konnte.

In Abb. 27 sind die Jahresmittelwerte der SO₂-Immission von den Meßstationen Landshuter Allee, Müllerstraße, Krankenhaus Schwabing und Westendstraße von 1967—1970 graphisch dargestellt. Sie zeigt ebenfalls deutlich die Abnahme der SO₂-Immissionen in den letzten Jahren. Die höchsten Werte (0,059—0,07 mgSO₂/m³) erreicht das Stadtzentrum (Müllerstraße) gefolgt von der Landshuter Allee mit 0,045—0,085 mgSO₂/m³. Die im nord-östlichen Stadtgebiet gelegene Station Schwabinger Krankenhaus weist die geringste SO₂-Konzentration auf (0,03—0,078) dicht gefolgt von der Westendstraße im Südwesten mit 0,034—0,069 mgSO₂/m³ (vergl. hierzu auch Tabelle 23). In Tabelle 24 sind zu einem Vergleich die SO₂-Immissionswerte einiger Städte des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes aufgeführt. Wenn hiernach die SO₂-Belastung des Münchener Stadtgebietes noch verhältnismäßig gering erscheint, so liegen die SO₂-Werte der winterlichen Heizperioden (vergl. Tabelle 23, S. 112) jedoch durchaus in den gleichen Größenordnungen. Ergänzend hierzu wird auf die Zusammenfassung von Schwefeldioxid-Immissions-Messungen in zahlreichen Städten der Bundesrepublik Deutschland durch LAHMANN (1970) hingewiesen. Hiernach hängt der SO₂-Gehalt der Luft stark von der Ausdehnung städtischer Ballungsräume ab. Nach dem Ruhrgebiet mit den höchsten Immissionen folgen daher Berlin, Frankfurt, Mannheim, Karlsruhe usw. Hamburg macht hierbei — vermutlich durch die höhere mittlere Windgeschwindigkeit bedingt — (vergl. Tabelle 10b, S. 86) eine Ausnahme. Der sehr bemerkenswerte Rückgang in der SO₂-Konzentration der Münchener Luft im Laufe der letzten zehn Jahre wird verständlich, wenn man berücksichtigt, daß München bis dahin überwiegend mit oberbayerischer Pechkohle, welche mit 5,5% den höchsten Schwefelgehalt aller gängigen Brennstoffe aufweist,⁵³⁾ versorgt und diese sowohl im Haushalt als auch in Industriebetrieben und öffentlichen Institutionen in den Dampfkessel- bzw. Heizungsanlagen verfeuert wurde. Besonders die Brauereien, welche außerdem überwiegend in der Innenstadt ansässig sind (vergl. hierzu Abb. 18 und Tab. 18 S. 100) waren die Hauptver-

⁵³⁾ Der S-Gehalt von Stein-/Braunkohle und Koks beträgt 1—2, Heizöl EL 0,5—1,0 Gewichtsprozent; der Aschegehalt der festen Brennstoffe 7 . . . 12%.

Tabelle 24:
SO₂-Immissionen in einigen Städten des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes
von 1965—1968

Städte	I ₁ -Werte (mg SO ₂ /m ³ Luft)			I ₂ -Werte (mg SO ₂ /m ³ Luft)		
	1965/ 1966	1966/ 1967	1967/ 1968	1965/ 1966	1966/ 1967	1967/ 1968
Bochum	0,17	0,14	0,14	0,58	0,42	0,46
Bottrop	0,21	0,19	0,18	0,77	0,56	0,65
Dortmund	0,18	0,14	0,15	0,64	0,44	0,50
Duisburg	0,20	0,16	0,17	0,69	0,49	0,58
Düsseldorf	0,12	0,10	0,11	0,39	0,28	0,30
Essen	0,17	0,13	0,14	0,61	0,39	0,53
Gelsenkirchen	0,18	0,14	0,17	0,64	0,42	0,56
Hagen	0,12	0,11	0,12	0,41	0,32	0,40
Recklinghausen	0,18	0,17	0,17	0,58	0,49	0,57

(I₁ = Jahresmittelwert, I₂ = Jahresmaximalwert)

braucher dieser schwefel- und ballastreichen Kohle.⁵⁴⁾ Hierdurch erklärt sich zwanglos die stetige Vergrößerung der Flechtenwüste von der Jahrhundertwende (ARNOLD) bis 1957 (SCHMID) bzw. 1968 (JÜRGING) auf rund das 7-fache, so daß sie heute ca. 80 km² umfaßt; ähnliches gilt auch für die Ausweitung der Kampfzone. Erst die zunehmende Verwendung schwefelarmer bzw. -freier Brennstoffe (Heizöl und Erdgas) in Verbindung mit gewissen technischen Maßnahmen an den Großfeuerungsanlagen (Fern- und Heizkraftwerke u. ä.) wie Erhöhung der Schornsteine, ständige Emissions-Überwachung usw. hat die Senkung der SO₂-Immissionen bewirkt.⁵⁵⁾ Über einen ähnlichen Rückgang der Schwefeldioxid-Belastung berichten auch GUTHOF und DEIMEL (1970) nach

⁵⁴⁾ Ein mit oberbayer. Pechkohle befeuerter Dampfkessel mittlerer Größe (5 to Dampf/Stunde) emittiert in der Stunde ca. 63 kg SO₂ und etwa 20 kg Staub.

Die Förderung betrug nach dem Jahresbericht 1968 der Bergbehörden des Freistaates Bayern mit 384 000 to allerdings nur noch 53,4% der Förderung von 1950 und ist inzwischen durch weitere Bergwerkstillegungen erheblich abgesunken, weil ein Absatz der Kohle durch die verschärften gesetzlichen Bestimmungen zur Reinhaltung der Luft (§ 25 GewO und TA-Luft) mit der Forderung nach hohen Schornsteinen (etwa 2—3fach höher als bei der Verfeuerung von Heizöl) kaum noch möglich ist. Außerdem sind bei häufigen Inversionswetterlagen gem. Ziff. 2.216 TA-Luft an die Schornsteinhöhen-Berechnungen strengere Maßstäbe anzulegen, da in München eine höchstzulässige Gesamtkonzentration von nur 0,5 mgSO₂/m³ (nicht wie sonst 0,75) zugrunde gelegt werden dürfen. Bei einer Vorbelastung von 0,35 mgSO₂/m³ (Zentrum und Südteil der Stadt) oder 0,25 mgSO₂/m³ im Nord- und Westteil der Stadt wird daher eine Zusatzimmission von nur 0,15 bzw. 0,25 mgSO₂/m³ zugelassen, so daß entsprechend hohe Schornsteine zu errichten sind. Im gleichen Zeitraum erhöhte sich die Förderung von Erdöl, Erdgas und Erdölgas aus dem Alpenvorland beträchtlich und betrug 1968 beim Erdöl 328 593 to und beim Erd- bzw. Erdölgas in 1000 Nm³ 581 879 bzw. 258 692, was einer Gewinnungssteigerung von 46,6% bzw. 23,4% entspricht.

⁵⁵⁾ Die Fernwärmeversorgung und in Verbindung damit die Umstellung von Kohle- auf Heizöl- und Erdgasfeuerungen bei Fernheiz- bzw. Heizkraftwerken und größeren industriellen Dampfkesselanlagen hat nach einer überschlägigen Berechnung bisher eine SO₂-Emissionsverminderung von rund 30 000 to/Jahr erbracht.

mehrfährigen Messungen aus Köln. Die industriellen SO_2 -Immissionen liegen daher jetzt bei den Werten der Innenstadt . . . „Verständlich werden die hohen SO_2 -Werte der Innenstadt, wenn man sich vor Augen führt, daß beispielsweise ein einziges großes Verwaltungsgebäude täglich 13,4 kg SO_2 emittiert. Bei der Massierung derartiger Gebäude in der Innenstadt und den geringen Schornsteinhöhen muß es notwendigerweise zu erheblichen Konzentrationsanreicherungen kommen“ (S. 9).

Ergänzend zu der SO_2 -Immissions-Belastung des Stadtgebietes sind in der Übersicht 2 die Mittelwerte aus den Stichprobenmessungen der Jahre 1967 und 1968 für Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (C_nH_m), Stickoxide (NO_x) und Fluor (F) enthalten. Diese Übersicht zeigt, daß gegenüber einer Abnahme der SO_2 -Immission (vergl. Abb. 23, Abb. 25 und 27) diese vorgenannten Schadstoffe eine beachtliche Zunahme erfahren haben. Hierin drückt sich die starke Zunahme des Kraftverkehrs aus, die als eigentliche Quelle dieser luftfremden Stoffe anzusehen ist. In München waren 1952: 82 000, 1959: 160 000, 1970 bereits 350 000 und Anfang 1971 über 410 000 Kraftfahrzeuge zugelassen. Die lufthygienische Situation hat sich dadurch vom klassischen Schadgas SO_2 aus Verbrennungsvorgängen zur Wärme- und Elektrizitätsgewinnung mehr und mehr auf die Abgase der Kraftfahrzeuge verlagert. Eine direkte Schädigung der Vegetation (Kastanienbäume) durch Kohlenwasserstoffe (Benzin) bzw. den beigemischten Antiklopfmitteln (Bleitetraäthyl mit -methyl) und den Abgasen der Kraftfahrzeuge an einigen Stellen des Stadtgebietes konnte vom Verfasser (1970) nachgewiesen werden. Hierdurch mit verursachte Korrosionsschäden an Sachgütern (Bauwerken, Denkmälern) wurden schon auf Seite 42 erwähnt.

Die Fluor-Stichprobenmessungen wurden nur an wenigen Tagen (25. bis 28. 3. 1968) und an nur 12 Meßpunkten durchgeführt, so daß sie nicht erlauben, aus der Verteilung dieser äußerst schädlichen Luftverunreinigung, die überwiegend aus den Brennstoffen (Kohle, Koks und Erdöl) stammt, weitergehende Schlußfolgerungen zu ziehen. Sie zeigen jedoch deutlich, daß die Münchener Luft zwar nicht die Konzentrationen, wie z. B. in Duisburg (SCHNEIDER 1968) erreicht, daß sie jedoch eine 10—15 fach höhere Konzentration als die Luft im Bayerischen Wald aufweist. Von QUELLMALZ (1970) wurden in Karlsruhe die Fluor-Konzentrationen der Emissionen und Immissionen von einigen Industriebetrieben sowie vor allem der Stadteinfluß gemessen. Die Meßstellen waren hierzu am nördlichen Stadtrand ausgewählt worden, so daß sich im Umkreis von mehreren Kilometern keine fluoremitterende Industrie befand und somit ein Vergleich mit München gegeben ist, da auch hier Fluorbetriebe nicht vorhanden sind. Einige noch in Betrieb befindliche Ziegeleien befinden sich weit außerhalb des Stadtgebietes. Der Halbstundenmittelwert aus 177 Meßwerten ergab einen Fluorgehalt von $1,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ — der maximale Wert lag bei $5,87 \mu\text{gF}/\text{m}^3$ Luft — und ist mit den in der Übersicht 2 angegebenen Münchener Werten insbesondere dem Mittelwert von $1,05 \mu\text{gF}/\text{m}^3$ in etwa vergleichbar. Lufthygienische Untersuchungen im Raum Untermain im Frühjahr 1971 hatten nach

LAHMANN (1971) einen Mittelwert von $1,46 \mu\text{gF}/\text{m}^3$ (April) und $1,71 \mu\text{gF}/\text{m}^3$ (Mai) ergeben.

Abschließend sei noch über einige Meßergebnisse am Fernsehturm (Olympiaturm) in drei verschiedenen Niveaus (0, 50 und 200 m) eingegangen, da die SO_2 -Verteilung in Abhängigkeit von der Höhe im Zeitalter der Hochhäuser auch aus städtebaulichen Gründen sehr interessant ist. Der Höhen-Abhängigkeit der Schadstoffverteilung in der Luft kommt ferner eine besondere Bedeutung zu bei der Frage nach der Lage und Höhe von Frischluftansaugstellen für Klimaanlage von Arbeits- und Aufenthaltsräumen, U-Bahnschächten und dgl. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß die Frischluft der Klimaanlage für das mehrstöckige unterirdische Stachusbauwerk in München (U- und S-Bahn, Ladengeschäfte, Parkräume usw.) nicht etwa über Dach der umgebenden Gebäude, sondern mit einem Schacht von nur 12 m Höhe unweit des Karlsplatzes angesaugt wird. Ähnliche Untersuchungen werden nach BOURELLY (1968) am Eiffelturm in Paris in 57, 115 und 300 m über dem Erdboden durchgeführt. Schon LÖBNER (1935) hatte festgestellt, daß die vertikale Verteilung der Luftverunreinigung in einer Großstadt (Leipzig) ein Maximum im Niveau der Wohnhaus-Schornsteine aufwies.

Die SO_2 -Registrierungen in den vorgenannten Höhen im Monat November 1968 zeigen in Abb. 28, daß die Halbstunden-Maxima in 0 m Höhe (Erdboden) und 50 m Höhe etwa gleichsinnig verlaufen, daß jedoch die Tagesmittelwerte am Erdboden am niedrigsten sind. Diesen Verlauf zeigt auch der Tagesgang der SO_2 -Immission am 23. November 1968, welcher in der Abbildung unten dargestellt ist. Der Tagesgang am Erdboden und in 50 m Höhe zeigt deutlich, daß einem geringen SO_2 -Anteil in der Luft während der Nachtstunden ab 7 Uhr morgens ein rascher Anstieg folgt, der bis gegen 13 Uhr anhält, um dann nach einem Abfall gegen 17 Uhr wiederum einem Maximum zuzustreben. Bis gegen 23 Uhr folgen dann nochmals einige Maxima, die in 50 m Höhe bis gegen 21 Uhr etwa doppelt so hoch sind, wie am Erdboden und durch die abendlichen Haushaltsfeuerungen verursacht werden. Sowohl in diesem Tagesgang als auch in den Tagesmittelwerten des Monats November zeigt sich, daß in 50 m Höhe die SO_2 -Immission von den Schornstein-Emissionen der Wohn- und Geschäftsgebäude herrührend am stärksten ist und mit $0,6 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ den höchsten Wert erreichte und zweifellos auf die flächenhafte SO_2 -Quelle der Hausschornsteine hindeutet. Die Fünftagemittel lagen mit $0,17 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3$ in 50 m wesentlich höher als in 200 m Höhe ($0,06 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3$). Nach GRÄFE (1970) haben ähnliche Messungen in Hamburg ebenfalls ein Maximum in 50 m Höhe erbracht.

Eine eindeutige Antwort auf die Frage der Höhenabhängigkeit der SO_2 -Immissionen im Stadtgebiet Münchens kann hieraus allerdings noch nicht abgeleitet werden. Die von KOLAR (1966) in 3,5 und 21,5 m Höhe auf dem Gelände der Technischen Hochschule München durchgeführten SO_2 -Messungen hatten ebenfalls kein eindeutiges Ergebnis gebracht, da die meteorologischen bzw. stadtklimatischen Faktoren einen erheblichen Einfluß ausüben. Neuere Untersuchungen von GEORGI (1969) haben überdies ergeben, daß die Verweil-

zeit und die Konzentrationsverteilung von Schwefelverbindungen auch von deren chemischen Umsetzung abhängt.

Die ebenfalls mit dargestellten SO_2 -Windrosen aus den gleichen Höhen (0, 50 und 200 m) zeigen zwar sehr gut ausgeprägte Spitzen, hauptsächlich nach S, es ist aber nicht eindeutig feststellbar, ob die Ursachen hierfür nun bei den Hausfeuerungen oder bei höheren Industrie-Schornsteinen zu suchen sind. Hinzu kommt, daß die Windmessung rund 5 km südlich des Fernsehturmes auf dem Dach des Heizkraftwerkes Müllerstraße in 64 m Höhe erfolgt und es ist durchaus möglich, daß die dichte Bebauung des zwischen diesen beiden Stationen liegenden Stadtgebietes die Windverhältnisse nach Richtung und Stärke beeinflusst. Die SO_2 -Windrosen nach den Messungen vom Herbst und Winter 1969/1970 lassen jedoch deutliche Richtungsmaxima am Boden und in 50 m Höhe erkennen. Gegenüber den Monaten mit wärmerer Witterung . . . „fällt in den Wintermonaten eine starke Zunahme der SO_2 -Konzentration in allen Höhen und allen Richtungen auf“ (SCHWEGLER, 1970). Am Erdboden und in 50 m Höhe treten SO_2 -Spitzen aus NW (Allach, Moosach), NE (Milbertshofen) und SE (Schwabing) auf.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Exponierung von Flechtentafeln (Hypog. physodes) durch KLEE (1970) in Frankfurt/M. ab Oktober in Bodennähe, 2,5, 10 und 30 m Höhe. Als Ergebnis teilt er mit: „Zwischen den direkt am Boden und in 2,5 m Höhe exponierten Explantaten lies sich kein gesicherter Unterschied im Schädigungsgrad erkennen. Die Flechten in 10 m Höhe zeigten dagegen bis etwa zur zehnten Woche eine schwächere Reaktion, während diejenigen in 30 m Höhe schon nach etwa sechs Wochen vollständig tot waren“ (S. 256).

Meßergebnisse des Staubniederschlages

Unter Staubniederschlag im Sinne der VDI-Richtlinie 2305 (1965) ist der in einer bestimmten Zeit aus der Atmosphäre auf die horizontale Flächeneinheit ausgefallene Gesamtniederschlag in $\text{g/m}^2 \cdot \text{Zeit}$ zu verstehen. Er setzt sich zusammen aus dem wasserunlöslichen Teil und dem Abdampfrückstand. Die physikalischen, chemischen oder toxischen Eigenschaften bleiben unberücksichtigt. Bei toxischen Stäuben in der Atemluft sind freilich die MAK- bzw. MIK-Werte zu beachten.

Die Staub-Belastung des Münchener Stadtgebietes ist nach insgesamt 50 Meßreihen der Jahre 1967 und 1968 in der Abb. 29 dargestellt. Die Linien gleichen Staubniederschlages (Isokonien)⁵⁶⁾ mit 1,0; 1,5; 2,0 und 2,5 $\text{g/m}^2 \cdot \text{Tag}$ verlaufen ellipsenförmig vom Stadtzentrum zum westlichen Stadtgebiet, ähnlich den Isolinien der SO_2 -Konzentration (Isosulfen). Lediglich der Stadtteil Schwabing-Milbertshofen weist fast nordsüdlich verlaufende Isokonien mit 0,5 und

⁵⁶⁾ Linien gleicher Staubniederschlagsmengen je Flächen- und Zeiteinheit lt. VDI-Richtlinie 2104 — Begriffsbestimmungen Reinhaltung der Luft —.

2,0 g/m² · Tag auf. Zwei weitere ähnliche Inseln befinden sich südwestlich und südöstlich der Isar in den Stadtteilen Thalkirchen-, Unter-/Obersendling und Giesing-Ramersdorf-Berg-am-Laim mit einer Staubb Belastung von 0,5 bzw. 1,0 g/m² · Tag. Der frühere Vorort Pasing im W nimmt auch hier mit seinen nahezu kreisrunden Isokonien von 0,5; 1,0 und 1,5 g/m² · Tag eine Sonderstellung ein. Die Stadtrandgebiete sind — ähnlich der SO₂-Immission — durch eine geringe Staubb Belastung (0,5 g/m² · Tag) gekennzeichnet. Die zungenförmige Einbuchtung des Englischen Gartens zeigt deutlich die staubb Bindende Wirkung von größeren, mit Bäumen durchsetzten Grünanlagen und entspricht ferner dem 10- bzw. 5-Isosulfenverlauf der SO₂-Konzentration (vergl. Abb. 23). Die Stadtgebiete mit geringerer Industrie- und Siedlungsdichte weisen auch eine sehr verminderte Staub-Belastung auf, während in der City bis zu 2,5 g/m² · Tag ermittelt wurden. Die nach Ziff. 2.42 TA-Luft zugelassenen Immissionsgrenzwerte für nicht toxische Stäube mit 0,42 g/m² · Tag (Jahresmittelwert) bzw. 0,65 g/m² · Tag (Monatsmittelwert) werden in diesen Zonen also weit überschritten.⁵⁷⁾ Abb. 29 zeigt ferner deutlich, daß das Stadtgebiet mit einer Staubb Belastung von mehr als 0,5 g/m² · Tag sich ungefähr mit der Flechtenwüste deckt — abgesehen vom westlichen Stadtteil (Pasing) — und eine Fläche von ca. 80 km² einnimmt und somit auch eine gewisse Übereinstimmung mit den Verhältnissen in Hamburg nach RUGE und FÖRSTER (1970) besteht.

Die Monatsmittel aus der Gesamtmenge des Staubb Niederschlags in g/m² · Monat oder to/km² · Monat aus den Jahren 1966—1969 ergeben z. B. für die Dauermeßstationen Müllerstraße (Fernheizwerk) 9,7; Landshuter Allee 9,0; Krankenhaus Schwabing 6,8 und Westend- (Eichstätter-) Straße 4,8 g/m² · Monat. Der monatliche Mittelwert von sämtlichen (8) Meßstellen von 8,7 g/m² · Monat gilt daher im wesentlichen für den dicht bebauten Innenstadtbereich, welcher eine Ausdehnung von rund 100 km² besitzt, das bedeutet, daß sich in diesen Jahren durchschnittlich 870 to Staub im Monat auf diese Stadtd fläche abgesetzt haben.

Nach KOLAR (1966) wurde von 16 Meßstellen, die um die Technische Hochschule herum ausgewählt worden waren, für den Zeitraum Februar 1961 bis August 1962 ein Mittelwert für diesen Stadtteil von 7,7 g/m² · Monat ermittelt.

Zum Vergleich ist in Tabelle 25 die Staubb Belastung einiger Städte angegeben.

Die Staubb Menge, die aus der Atmosphäre auf die Städte sedimentiert, ist je nach dem Industrialisierungsgrad, der Bebauungsdichte usw. sehr stark wechselnd. In vielen Städten ist jedoch eine Abnahme des Staubb Niederschlages in den letzten Jahren zu beobachten, die sicher mit der zunehmenden Verfeuerung feststoffarmer Brennstoffe (Heizöl, Erdgas u. a.) zusammenhängt.⁵⁸⁾ So wurde z. B. in München in den Jahren 1955/1956 in der Nähe des Fernheizwerkes

⁵⁷⁾ Dieses Ergebnis ist etwas überraschend, wenn man die Werte nach KÖRNER (1968) aus hessischen Städten, die z. T. zu industriellen Ballungsräumen zu rechnen sind, betrachtet. Hiernach ergab sich für den Monatsmittelwert in g/m² · Tag: In Hanau 0,39; Frankfurt/M. 0,42; Wiesbaden-Innenstadt 0,53; Kassel-Innenstadt 0,60; Frankfurt/M.-West 0,78.

Tabelle 25:
Staubniederschlag einiger Großstädte

Stadt	Staubpegel in $\text{g/m}^2 \cdot \text{Monat}$
Essen (Industriegebiet)	50,0
Oberhausen (Industriegebiet)	44,0
Hamburg (Industriegebiet)	42,0
Dortmund (Industriegebiet)	30,0
London	30,0 (8,0)
New York	25,0
Berlin	15,0
Köln	13,0
Oberhausen (Wohnviertel)	12,0
München	8,7
Dortmund (Süden)	8,0—10
Stuttgart	5,5

Müllerstraße (Meßstation II) in einem Gebiet von etwa 3 km^2 noch ein Staubniederschlag von $16 \text{ g/m}^2 \cdot \text{Monat}$ gemessen, wobei die Meßwerte auf kürzeste Entfernung und in Abhängigkeit von der Bebauung sehr stark schwankten. Die Tabelle 25 zeigt ferner, daß die Staubbelastung in München gegenüber anderen Städten relativ gering ist. Dies ergibt sich auch bei einem Vergleich der vorgenannten Werte der Dauermeßstationen mit den zulässigen Werten nach der TA-Luft, welche einen allgemeinen Monatsmittelwert von $19,5 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ Tage}$ und für industrielle Ballungsgebiete $39,0 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ Tage}$ zuläßt.⁵⁹⁾ Die Jahresmittelwerte betragen $12,6$ bzw. $25,5 \text{ g/m}^2 \cdot 30 \text{ Tage}$. Die lufthygienische Situation im Atembereich der Münchener Bewohner ist ferner noch dadurch als günstig anzusehen, weil eine Korngrößenbestimmung des Staubes ergab, daß zwar die Teilchen mit einer Korngröße $< 5 \mu\text{m}$ (lungengängig) einen hohen Anteil (ca. 70%) aufweisen, die Gefahr einer Staublungenerkrankung (Silikose) dennoch sehr unwahrscheinlich ist, da mehr als 80% aus ungefährlichen Mineralien besteht, wie nachfolgende Analyse der Zusammensetzung des Staubes ergab: Quarz: 20%; Kalkspat und Dolomit: 30%; kohlige Bestandteile 25%; glasig-amorphe Schlacke: 23%; Eisenoxyd: 2%. Mehr als die Hälfte des aufgefangenen Staubniederschlags stammt demnach aus den Brennstoffen bzw. Rauchgasen der Heizungs- und Feuerungsanlagen.

Zur Untersuchung von häufigen Korrosionsschäden an Autolackierungen sind an einigen Stellen bzw. Straßen und Innenhöfen eingefettete Prüfstreifen ausgelegt und die Stäube aufgefangen worden. Eine Analyse ergab: SiO_2 : 21,2%; CaO : 23,3%; MgO : 5,7%; CaCO_3 : 41,7%; MgCO_3 : 5,8%. Aus dieser Analyse, dem Aussehen und der Konsistenz der Staubteilchen ergab sich ebenfalls, daß es sich überwiegend um Flugaschenbestandteile aus Feuerungsanlagen handelt. In einem Fall wurde eine Metallhärterei als Emittent von Cyanidsalz-

⁵⁸⁾ Allein durch die Fernwärmeversorgung ist für das Jahr 1969 in München eine Verminderung der Ruß-Emission von ca. 5 700 t eingetreten.

⁵⁹⁾ Das Münchener Stadtgebiet stellt kein industrielles Ballungsgebiet dar.

Partikel ermittelt. In derartigen Betrieben werden erwärmte Stanzwerkzeuge u. ä. aus Stahl (Eisen) in geschmolzenen Cyanidsalz-Bädern abgeschreckt, bzw. gehärtet. Über die Lüftungsanlagen der Arbeitsräume gelangten die Salzpartikel dann ins Freie (SCHWEGLER 1969).

Zum Vergleich sei die Zusammensetzung des Staubniederschlages aus dem Frankfurter Stadtgebiet nach STEUBING und KLEE (1970) angegeben: SiO_2 : 58,88⁰/₀; Al_2O_3 : 10,77⁰/₀; Fe_2O_3 : 10,54⁰/₀; CaO : 9,63⁰/₀; MgO : 4,35⁰/₀; K_2O : 1,69⁰/₀; Na_2O : 1,34⁰/₀; PbO : 0,1⁰/₀. Bemerkenswert ist hierbei der hohe Quarzgehalt des Staubes.⁶⁰)

⁶⁰) Aus 4000 Ruhrkohleproben ergab sich nach VON BOMHARD (1955) folgende Zusammensetzung der Flugasche: SiO_2 : 41,5⁰/₀; Al_2O_3 : 31,5⁰/₀; Fe_2O_3 : 18,4⁰/₀; CaO : 1,8⁰/₀; MgO : 1,2⁰/₀; MnO : 0,7⁰/₀; P_2O_3 : 0,5⁰/₀; SO_3 : 0,4⁰/₀.

UNTERSUCHUNGEN MIT TESTFLECHTEN UNTER DEM EINFLUSS VON STADTKLIMA UND LUFTVERUNREINIGUNG

1. Methode und Versuchsmaterial

Von BRODO (1961) wurde eine Technik der Transplantation von Flechten entwickelt, die im wesentlichen darin besteht, daß ungeschädigte Flechten (Blattflechten) aus einem immissionsfreien Gebiet kreisförmig ausgestanzt in ebensolche Vertiefungen an Bäumen des zu untersuchenden Gebietes eingesetzt werden. Durch laufende Beobachtungen bzw. photographische Aufnahmen der Flechtenlager (Thallus) werden eingetretene Veränderungen festgehalten und ausgewertet. Seine Versuche mit der Blattflechte *Hypogymnia physodes* ließen einen deutlichen Einfluß von New York City auf Long Island erkennen, der mit zunehmender Entfernung von der Stadt abnahm.

Diese Methode wurde 1964 von der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz in Essen aufgegriffen und im Rahmen der Immissions-Überwachungsmeßprogramme für Staub und Schwefeldioxid im Lande Nordrhein-Westfalen die vorgenannte Flechtenart an zahlreichen klimatisch unterschiedlichen Standorten exponiert. Hierzu wurde die Methode insoweit vereinfacht, indem die Flechten nicht mehr in lebende Eichenstämme eingesetzt werden, sondern lediglich Unterlagen aus Holz mit den entsprechenden Vertiefungen verwendet wurden. Die natürlichen ökologischen Bedingungen der Flechten-Entnahmestelle (Fundstelle) können für mindestens den Zeitraum der Exposition der Flechten vernachlässigt werden, was unter anderem sicherlich mit den geringen Ansprüchen dieser Flechte hinsichtlich der Unterlage zusammenhängt. In den Jahresberichten der Landesanstalt wurden ab 1965 die Ergebnisse fortlaufend veröffentlicht und durch SCHÖNBECK (1969) zusammengefaßt.

Bei meinen Versuchen wurde diese Methode — die nachfolgend noch eingehend beschrieben wird — in einigen Punkten abgeändert, bzw. verbessert. Als Testflechten wurde ausschließlich *Hypogymnia physodes* (L) Nyl., syn. *Parmelia physodes* (L) Ach. verwendet. Mit anderen Flechtenarten wurde absichtlich nicht gearbeitet, da *Hypogymnia physodes* sich bisher als der geeignetste biologische Indikator für Luftverunreinigungen erwiesen hat und sie daher bei den vorliegenden Versuchen gleichsam als biologisches „Meßinstrument“ verwendet wurde. Ein Versuch mit Moosen (*Hypnum cupressiforme* L. ap. Hedw.), welche in der unteren Reihe der großen Flechtentafeln eingesetzt waren, mußte wieder aufgegeben werden, da die Moose bald eintrockneten und abstarben.

2. Versuchsdurchführung

Gewinnung der Testflechten

Die Flechtenproben wurden an der Fundstelle im Forstenrieder Wald (Park) südwestlich München mit einem handelsüblichen Locheisen aus stehenden bzw. liegenden (gefällten) Buchen (*Fagus silvatica*) herausgestanzt. Das hierzu verwendete Locheisen besitzt an der unteren Schneidfläche einen inneren Durchmesser von 30 mm, wobei es sich in diesem ca. 20 mm langen Teil von etwa 35 mm ϕ auf etwa 60 mm ϕ konisch erweitert. An dieses Unterteil schließt sich ein Handgriff an. Der untere Teil besitzt ferner eine Öffnung von ca. 35 mm Länge und Breite, durch welche die Entnahme der ausgestanzten Flechtenproben sehr leicht und vor allem ohne Beschädigung des Flechtenkörpers möglich ist. Die beim Ausstanzen zunächst in der unteren Schneide des Locheisens befindliche Probe mit der etwa 5—8 mm starken Buchenrinde bzw. -holzschiicht wird dazu mit einem leichten Fingerdruck in die sich nach oben konisch vergrößernde Öffnung hineingedrückt, ohne die Flechten nennenswert zu beschädigen.

Abb. 30 zeigt die Entnahme der Flechtenproben im Gelände.

Die Entnahme der Flechtenproben mit diesem einfachen Gerät hat sich als sehr vorteilhaft im Gelände erwiesen, gegenüber Versuchen mit einer Bohrmaschine mit Rundsägeblatt. Hier stört z. B. unter anderem der Zentrierstift, welcher das Flechtenlager erheblich beschädigt; ohne eine derartige Zentrierung rutscht das Sägeblatt wiederum leicht von der Rinde ab und führt ebenfalls zu erheblichen Beschädigungen der Flechtenthalli und somit zu keiner einwandfreien Gewinnung von Flechtenproben. Es genügt also lediglich dieses einfache Locheisen, ein Hammer und ein kleiner Behälter (Zigarrenkistchen), in die man die so gewonnenen Flechtenproben vorsichtig einlegt. Sämtliche Flechtenproben der 1. Versuchsreihe (große Flechtentafeln) wurden in der geschilderten Weise von einigen liegenden Buchenstämmen entnommen, die kurz vorher als etwa 130—150 Jahre alte Überhälter aus einer größeren Fichtenschonung geschlagen worden waren. Für die 2. Versuchsreihe (kleine Flechtentafeln) mußten die Proben von noch stehenden Buchen entnommen werden, da die liegenden Stämme inzwischen abgefahren waren. Die Entnahme von der gleichen Fundstelle für derartige Versuchsreihen erscheint mir doch sehr wichtig, obwohl die Testflechte (*Hypogymnia physodes*) bei der Wahl der Unterlage (Substrates) und des Standortes nicht sehr wählerisch ist, um doch gewisse standortbedingte ökologische Unterschiede auszuscheiden. Bekanntlich wechselt diese Flechte sowohl im Habitus der Flechtenthalli als auch besonders in der Farbe zwischen grau und grün je nach Standort und Unterlage.

Insgesamt wurden 9 x 12 und 8 x 6 Flechtenproben gewonnen. Zusätzlich wurde bei der Durchführung der 3. Versuchsreihe — wie schon früher bei Expositionsversuchen um Industriebetriebe (Ziegelei, Chemische Fabrik) — an den Flechtentafeln kleine, mit *Hypogymnia physodes* besiedelte Zweige

mit angebracht, um evtl. Einflüsse der Entnahme aus dem natürlichen Flechtenrasen mit Sicherheit auszuschließen. Die hierzu benötigten Versuchsflechten konnten wiederum ganz in der Nähe der vorgenannten Entnahmestellen an abgestorbenen (dürren) Fichtenästen gewonnen werden.

Verpflanzung und Exposition der Testflechten

Da mit dem geschilderten Entnahme-Verfahren relativ schnell und ohne größeren Aufwand zahlreiche Flechtenproben gewonnen werden können, wurde vor dem Einsetzen in die Tafeln aus sehr vielen Proben diejenigen ausgewählt, deren Thalli nicht beschädigt waren, bzw. deren Haftpunkte sich möglichst in der Mitte der ausgestanzten Rindenscheibe befanden. Es wurden dabei auch diejenigen Proben ausgesondert, deren Thalli sehr locker auflagen, um von vornherein zu vermeiden, daß bei der anschließenden Exposition diese nur lose anhaftenden Thalli vorzeitig durch Wind, Regen usw. entfernt würden. Diese Vorsichtsmaßnahme hat sich dann auch gut bewährt, da fast sämtliche Flechtenproben während der z. T. mehr als zwei Jahre andauernden Exposition nur sehr geringfügige Ablätterungen bzw. Thallusverluste erlitten, die ganz offensichtlich keine Folge einer Schädigung durch die städtische Umwelt waren. Wenn im Laufe der Versuchszeit derartige Veränderungen dennoch auftraten, waren dies bereits die Auswirkungen einer erfolgten Schädigung.

Die Verpflanzung der Flechtenproben erfolgte in die schon mehrfach erwähnten Holztafeln von 24 cm Länge, 16 cm Breite und ca. 3 cm Stärke, in welche mit einer elektrischen Bohrmaschine die erforderlichen Aussparungen von 30 mm ϕ und ca. 7 mm Tiefe herausgearbeitet wurden. Es konnten somit auf diese Tafelgröße 12 und auf die kleinen Tafeln 6 Flechtenproben untergebracht werden. Die kleinen wurden hierzu durch Halbierung der großen Tafeln hergestellt und sind daher ca. 16 x 12 cm groß.

Abb. 31 zeigt diese Tafeln mit eingesetzten Flechtenproben bzw. Flechtenzweigen.

Obgleich der Einfluß des Materials der Unterlage (Holz) sicher nicht groß ist, wurde dennoch, um jedwede Einwirkung auszuschließen, nur altes, abgelagertes Holz verwendet. Auf der Suche hiernach boten sich die unweit der Entnahmestelle herumliegenden Bretter eines alten, umgestürzten Jagdhochstandes an, die z. T. schon von *Hypogymnia physodes* besiedelt und bereits mehr als 15 Jahre im Wald der Witterung ausgesetzt waren. Die Bretter wurden in den vorgenannten Maßen zugeschnitten und lediglich auf der Vorderseite abgehobelt, um eine ebene und glatte Oberfläche zu erhalten, so daß die natürliche Farbe des Fichtenholzes wieder deutlich zum Vorschein kam. Diese Maßnahme hat sich dann ebenfalls als sehr zweckmäßig erwiesen, da bereits aus dem Grad der Verwitterung der Flechtentafeln am jeweiligen Expositionsort gewisse Aussagen über die Einwirkung von Luftverunreinigungen (Ruß, Staub usw.) und Witterungseinflüssen (Regen, Schnee) möglich ist und sich diese Unter-

schiede auch im Grad der Flechtenschädigung widerspiegeln. So zeigt z. B. die Flechtentafel am Versuchsort Romanstraße, die aus verschiedenen Gründen nur an der Innenseite eines wettergeschützten Balkons angebracht werden konnte, nach mehr als 2¹/₂-jähriger Versuchsdauer noch die frische Holzmaserung, d. h., daß diese Flechtentafel den Umwelteinflüssen (Wetter, Staub) kaum ausgesetzt war und somit auch den Flechten fast kein Regen oder Schnee zugeführt werden konnte. Dies führte dann auch zu einem vorzeitigem und rascheren Absterben der Flechtenproben, mit jedoch auffallend anderen Schadsymptomen. Der Mangel an Feuchtigkeit führte nämlich zu einer gelblich-weißen Verfärbung der Flechtenthalli, während an den anderen Versuchsstellen die Flechten durch Schwefeldioxid, Staub und Regen (Schnee) grau-braune bis schwarze, z. T. wie verbrannt aussehende Veränderungen erfuhren (vergl. hierzu die Farbfotos in Bildtafel 1, 2 und 3).

Um weitere Fehlerquellen (Beeinflussungsquellen) auszuschließen wurde insbesondere zur Befestigung bzw. Einbettung der Flechtenproben in die Holztafeln weder Baumwachs noch eine andere pastöse Kunststoffmasse verwendet. Durch die Exposition unterliegt die Rindenunterlage naturgemäß einer gewissen Schrumpfung und Eintrocknung, so daß eine Befestigung der Proben erforderlich wird. Bei Verwendung derartiger Einbettungsmedien, vor allem bei Kunststoffen, besteht jedoch die große Gefahr, daß gewisse chemische Inhaltsstoffe über die Rindenunterlagen schädigend auf die Flechten einwirken können. Außerdem hat die Verwendung solcher Stoffe noch den erheblichen Nachteil, daß nach SCHÖNBECK (1969) die Flechtentafeln mit ihrer vorderen Breitseite, also mit den Flechtenproben, nur nach Norden exponiert werden konnten, um zu verhindern, daß durch Sonneneinstrahlung der Einbettungsstoff erweicht, und die Flechten wieder herausfallen würden. Dies bedeutet aber eine wesentliche Veränderung der natürlichen ökologischen Standortbedingungen, da die Versuchsflechten hierdurch dem notwendigen Regen mehr oder weniger entzogen werden und außerdem die lichtliebende *Hypogymnia physodes* gerade die SW- und W-Seite der Bäume bevorzugt. Eine ausschließliche Nordorientierung der Flechtentafeln (aus Kunststoff) wurde leider auch bei der Untersuchung des Stadtgebietes von Frankfurt/M. durch KIRSCHBAUM, KLEE und STEUBING (1971) vorgenommen.

Ohne bei Versuchsbeginn (Juli 1968) die von der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz (LIB) in Essen verwendete Befestigungsart mit pastösen Kunststoffmassen zu kennen — die entsprechenden Veröffentlichungen lagen noch nicht vor — habe ich von vornherein auf ein Einbettungsmedium verzichtet und lediglich haushaltsübliche Reißzwecken mit festem weißem Kunststoffüberzug verwendet, um die Flechtenproben gegen ein Herausfallen aus den Holztafeln zu sichern. Die Anbringung von zwei oder drei Reißzwecken erwies sich außerdem bei den fotografischen Aufnahmen als sehr nützlich, weil sie dabei gleichzeitig einen Abbildungsmaßstab darstellen und die Flechtenproben dadurch charakteristisch gekennzeichnet sind, was sich unter

anderem bei der Auswertung der zahlreichen Farbbilder als sehr arbeitssparend erwies. Die Durchmesser der weißen Köpfe sind praktisch gleich groß.⁶¹⁾

Die Befestigung der *Zweig*-Flechtenproben erfolgte durch selbstgefertigte Schellen aus dünnem Aluminiumblech, mit zwei kleinen verchromten Schrauben auf der Flechtentafel. An der hierzu vorgesehenen Stelle war vorher eine kleine Längsrille eingefräst worden, so daß die Zweige fest anlagen (vergl. Abb. 31). Die Zweigproben haben dadurch an allen Stationen die Versuchsdauer unverehrt überstanden, bis auf zwei, die durch mechanische Einwirkung (Hagel, Schnee) beschädigt bzw. abgeknickt waren.

Auf die beachtlichen Unterschiede im Grad der Schädigung zwischen den runden, ausgestanzten Flechtenproben und diesen Flechtenzweigen wird später noch eingehend hingewiesen, da sich ausnahmslos gezeigt hat, daß die Testflechten an diesen Zweigen eine wesentlich stärkere Schädigung erfahren haben und auch das Schadbild andersartig ist. Dies dürfte sicher unter anderem damit zusammenhängen, daß hierbei das schädigende Agens (SO₂, Ruß, Staub) von allen Seiten an die Flechtenthalli herangetragen wird bzw. einwirken kann, während bei den runden Flechtenproben eine Beeinflussung im wesentlichen doch nur von vorn möglich ist, da die Flechtenthalli blattförmig dicht auf der Rindenscheibe aufliegen. Es dürfte hier vor allem der Flugaschenstaub eine Rolle spielen, der sich sowohl auf der Vorderseite als auch auf der Rückseite der Thalli anlagert.

Daß die Entnahme und Verpflanzung der Flechtenproben — wie vorstehend erläutert — auf die Flechtenproben selbst völlig ohne Einfluß geblieben ist, zeigt sich sehr deutlich in den Proben, welche im Forstenrieder Wald, unweit der Entnahmestelle exponiert waren. Die Flechtentafel war hier direkt an einem mit *Hypogymnia physodes* dicht besiedelten Buchenstamm angebracht. Die seit Juli 1968 so exponierten Flechtenproben zeigen, daß ihr Wachstum in keiner Weise beeinträchtigt war, sondern, daß im Gegenteil, bis November 1970 die Flechtenthalli regelrecht auf dem Holzbrettchen Fuß gefaßt und 5—8 mm über den ursprünglich ausgestanzten Bereich von 30 mm \varnothing hinausgewachsen sind und überdies die natürliche grau-grüne Farbe der am Stamm wachsenden *Hypogymnia physodes* sowie den frischen, gesunden Wuchs, aufweisen. Außerdem ist bereits das gesamte Brettchen von unzähligen, ca. 1—2 mm großen Flechtenkörpern neu besiedelt worden. Die langzeitige Exposition an dieser Freilandstation beweist eindeutig, daß Entnahme und Verpflanzung sowie die Befestigungsart in keiner Weise das natürliche Gedeihen der Versuchsflechten beeinflusst, sondern daß diese Flechtenart unter gleichen ökologischen Bedingungen einen völlig normalen Wachstumsverlauf zeigt (vergl. hierzu die Farbaufnahmen auf Bildtafel 3).

Die Veränderungen, welche die im Stadtbereich exponierten Flechten erfahren haben, sind daher eindeutig den anders gearteten Umweltbedingungen (Luftverunreinigung und Stadtklima) zuzuschreiben.

⁶¹⁾ Nach einer persönlichen Mitteilung von Herrn Prof. Dr. H. SCHÖNBECK werden nunmehr auch in der LIB nur noch Reißzwecken zur Befestigung verwendet.

Zum Befestigen bzw. Aufhängen der Flechtentafeln an den Meßhütten, die in ihrem oberen Teil Lüftungsschlitze aufweisen, (vergl. Abb. 21) wurden auf der Rückseite der Tafeln mit verchromten Schraubchen, 30 mm breite, weiß lackierte Metallbügel angebracht, welche in die Lüftungsschlitze eingehakt werden konnten. Hierdurch lagen die Tafeln fest an und konnten durch Wind oder ähnlichem nicht bewegt werden. Außerdem ermöglichte diese Befestigungsart ein schnelles und vorsichtiges Abnehmen der Flechtentafeln bei den photographischen Aufnahmen. Dies erscheint mir sehr wichtig bei derartigen Versuchen, da andernfalls Sturm, Regen usw. zu mechanischen Beschädigungen der Flechtenproben führen können. Ferner wurde hierdurch sichergestellt, daß sich sämtliche Flechtentafeln in gleicher Höhe (ca. 2,0 m) befanden.

Bei der *Exposition* der Flechtentafeln an den Meßhütten wurde ferner darauf geachtet, daß sie möglichst in der SW-Richtung exponiert waren, da — wie schon mehrfach betont — an den Bäumen des ungestörten Freilandes dies die vorherrschende Besiedlungsrichtung dieser Blattflechte ist.

Bei der 2. Versuchsreihe wurde dann noch, um eventuelle Abhängigkeiten der *Exposition* mit herauszufinden auch die übrigen drei Seiten der Meßhütten mit Flechtentafeln zu je 6 Flechtenproben bestückt.⁶²⁾ Um einen direkten Vergleich dieser Versuchsreihe mit den bereits seit Juli 1968 exponierten großen Flechtentafeln zu ermöglichen, wurden aus diesen Tafeln die in der untersten Reihe befindlichen, abgestorbenen 4 Moosproben entfernt und mit neuen Flechtenproben besetzt, so daß nunmehr an allen 4 Seiten der Meßhütten ungeschädigte (frische) Flechtenproben zum Einsatz kamen.

Die geographische Lage der Flechten-Versuchsstellen ist aus der Abb. 32 ersichtlich (vergl. hierzu auch die Abb. 22). Abgesehen von der Station Müllerstraße (II) in der Stadtmitte befinden sich die Stationen Krankenhaus Schwabing (III), Landshuter Allee (I) und Westendstraße (IV) bereits in der Nähe der Grenze von der Flechtenwüste zur Kampfzone (nach SCHMID 1957) hin, wobei allerdings zu beachten ist, daß durch die inzwischen erfolgte intensive Bebauung diese Grenze heute sicher weiter in die Kampfzone hinausgeschoben wurde, wie JÜRGING (1968) betont und auch RUGE und FÖRSTER (1970) in Hamburg beobachten konnten.

Die Versuchsstellen im NW der Stadt (Allach) und im SE (Trudering) lagen in kleineren hauseigenen Obstgärten und bereits im Übergangsbereich zur Normalzone (Freiland). In der Nähe befindliche Bäume weisen daher einen Bewuchs von *Hypogymnia physodes* auf. Dies gilt insbesondere für Trudering, wo Eichenstämme nahezu den Flechtenbewuchs des unbeeinflussten, kaum luftverunreinigten Freilandes aufweisen, wozu unter anderem sicher die sich anschließenden Wälder und Felder beitragen (vergl. Abb. 22). Ähnliches gilt auch für die Station Ottobrunn, wo im Rahmen der Immissions-Überwachung eines Altöl-Raffineriebetriebes — wie auf S. 106 bereits erwähnt — mehrjährige SO₂-Registrierungen durchgeführt wurden. In der Umgebung des seit

⁶²⁾ Nach einer Anregung von Herrn Prof. Dr. M. STEINER.

1935 ansässigen Betriebes konnte ich jedoch nur einen dürrtigen Flechtenbewuchs feststellen, obwohl land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen der Landschaft das Gepräge geben und erst in den letzten Jahren eine lichte Bebauung erfolgt ist. Wenn auch chemisch-technologisch gesehen, zwischen diesem Betrieb und dem Schieferölwerk dessen Umgebung SKYE (1958) lichenologisch untersucht hat, gewisse Unterschiede bestehen, so ist die Flechtenarmut in der Umgebung dieser Betriebe doch bemerkenswert.

Die Versuchsstelle Romanstraße unweit des Nymphenburger Parkes und ca. 2 km westlich der Station Landshuter Allee nimmt, wie ebenfalls schon betont, eine Sonderstellung ein, da hier die Flechtentafel wettergeschützt aufgestellt war und sich dies im Aussehen und Grad der Flechtenveränderungen widerspiegelt. Bei der Erörterung der 2. Versuchsreihe wird auf diese Schädigungsart durch Mangel an Feuchtigkeit (Niederschlag) nochmals hingewiesen.

Die Flechtentafel im Forstenrieder Wald befand sich etwa 6 km von der Stadtgrenze im SW entfernt in einem sehr lichten Buchenaltbestand (Überhälter) direkt an einem üppig mit *Hypogymnia physodes* bewachsenen Stamm in ca. 1 m Höhe. Die hier herrschenden kleinklimatischen Bedingungen (Wald- und Stammraumklima) ermöglichten den Flechtenproben einen ungestörten Weiterwuchs, wie auf S. 127 bereits erwähnt (siehe auch Bildtafel 3).

3. Ermittlung und Auswertung der Veränderungen (Schädigungen) an den Testflechten

Die Veränderungen der Testflechten wurden durch laufende farbfotographische Aufnahmen festgehalten. Dies erfolgte zunächst im 8-wöchigem Turnus, der dann auf 3 Monate bzw. Winter- und Sommerhalbjahr ausgedehnt wurde, da sich, abgesehen von der Station Müllerstraße (Stadtzentrum) gezeigt hatte, daß die Absterbequote der Flechtenthalli doch nicht so rasch erfolgte, wie zunächst vermutet wurde. Unter Berücksichtigung dieser fortlaufenden Veränderungen (Schädigungen) wurde dann bei Versuchsende (Oktober 1970) die gesamte geschädigte Thallusfläche ermittelt. Der Schädigungsgrad wurde nach der folgenden vierstufigen Skala geschätzt; wobei der abgestorbene Thallusanteil auf die Ausgangsfläche zu Versuchsbeginn (= 100%) bezogen wurde.

Schädigungsgrad 1 = gering, 0—25% der Thallusfläche abgestorben

Schädigungsgrad 2 = mittel, 25—50% der Thallusfläche abgestorben

Schädigungsgrad 3 = stark, 50—75% der Thallusfläche abgestorben

Schädigungsgrad 4 = sehr stark, 75—100% der Thallusfläche abgestorben

Als Schädigungsmerkmal wurde die Veränderung bzw. Verfärbung der Teile des Flechtenlagers bonitiert, welche nicht mehr die natürliche grau-grüne Farbe besaßen. Es wurde schon betont, daß die Verfärbung von gelblich-weiß bis braunschwarz variieren kann. Die Bildtafeln 1—3 zeigen dies sehr deutlich. Dieser rein subjektiv ermittelte Schädigungsgrad kann nach den eingehenden

Versuchen der LIB in Essen für die Blattflechte *Hypogymnia physodes* als biologischer Indikator für Luftverunreinigungen als ausreichend gesichert angesehen werden.⁶³⁾ Da ferner die Flechtenproben, einschließlich der Flechtenzweige in 9- bzw. 7facher Wiederholung in jeder Flechtentafel angebracht war, konnte daraus ein Mittelwert des Absterbegrades gefunden werden.

Begasungsversuche der LIB in Essen haben zudem ergeben, daß Flechten durch Schwefeldioxid und Fluorwasserstoff bei niedrigen aber langanhaltenden Konzentrationen eher geschädigt werden als höhere Pflanzen. Zwischen Immissionshöhe und der Absterberate der Flechten bestehen deutliche Beziehungen, wobei aber zu beachten ist, daß quantitative Erhebungen an biologischen Objekten nicht im Sinne einer exakten (physikalischen) Messung aufgefaßt werden können. Nach SCHÖNBECK und Mitarbeitern (1970) betrug die Absterberate nach 20-tägiger Versuchsdauer (Freilandversuch um Eisenerzröstanlage) bei einem SO_2 -Mittelwert von $0,23 \text{ mg/m}^3 = 70\%$, bei $0,15 \text{ mgSO}_2/\text{m}^3 = 47\%$ und bei einer SO_2 -Konzentration von nur $0,09 \text{ mg/m}^3 = 24\%$. Bei letzterem SO_2 -Wert war nach 60 Tagen nahezu die Hälfte der Thallusfläche abgestorben.

4. Diskussion der Versuchsergebnisse, insbesondere mit den SO_2 - und Staub-Immissionswerten

1. Versuchsreihe:

Große Tafeln mit je 8 Flechtenproben
Versuchsdauer: Juli 1968—Oktober 1970

In Abb. 32 sind die Anteile der Flechtenschädigungen zusammen mit den SO_2 -Immissions-Konzentrationen der Versuchsstellen graphisch dargestellt. Zur Erläuterung wurden die Grenzen der natürlichen Flechtenverbreitung nach SCHMID (1957) wieder mit eingezeichnet. Die aufgetragenen Jahresmittelwerte der SO_2 -Immission zeigen — wie aus den Abb. 25 und 27 schon ersichtlich — eine stetige Abnahme in den letzten Jahren während der Versuchsdurchführung und können als verhältnismäßig niedrig angesehen werden, wobei jedoch zu beachten ist, daß in den Heizperioden (Winterhalbjahren) recht hohe Werte erreicht werden, welche den Konzentrationen von Rheinisch-Westfälischen Industriestädten recht nahe kommen (vergl. hierzu Tabelle 23 und 24 auf S. 112 und 116) und dies außerdem die Periode häufiger (ständiger) Durchfeuchtung der Flechten ist. Die Winterhalbjahre schädigten die Flechten dadurch am stärksten. Dies war sehr deutlich in dem ungewöhnlich langen Winter 1969/1970 zu beobachten, wo bei abwechselndem Frost- und Tauwetter übermäßige Nieder-

⁶³⁾ Zur Ausbildung einer Standardmethode wird neuerdings in der LIB zur fotografischen Aufnahme der sog. Falschfarbentafeln verwendet, welcher die noch lebenden Thallusanteile rötlich und die abgestorbenen Teile gelblich wiedergibt, so daß die Auswertung sehr vereinfacht wird. Eigene Versuche mit dem Kodak Ektachrome Infrared AERO Film Type 8443 (IE 135-20) führten bei der verwendeten Kamera (Exakta Varex) zu keinem Erfolg, da beim Transport des spröderen Films ständig die Perforation ausriß.

schläge (163% des Normalwertes) fielen. Nach BRODO (1971) soll allerdings das Absterben der Flechten stärker mit dem SO₂-Gehalt der Luft korrelieren als mit der Feuchtigkeit.

Bei den Begasungsversuchen von KLEE (1970) war die Schädigung der Blattflechte *Hypogymnia physodes* umso stärker, je feuchter sie gehalten wurde. Man muß hierbei allerdings beachten, daß mit einer SO₂-Konzentration von 8,5 mg/m³ gearbeitet wurde, eine derartig hohe Konzentration praktisch im Stadtbereich nicht vorkommt und eine solche massive Einwirkung von Schwefeldioxid auch höhere Pflanzen (Fichten, Kiefern usw.) in kurzer Zeit zum Absterben bringt. Eine Immissionsbelastung von 0,11 mg SO₂/m³ bewirkt in Frankfurt/Main bereits ein flechtenfreies Gebiet.

Den Schädigungsgrad 4, d. h. ein völliges Absterben der Flechtenlager erreichte — wie zu erwarten — die Station *Müllerstraße* im Stadtzentrum, wo sich die Meßhütte mit der Flechtentafel direkt beim Heizkraftwerk und inmitten der Flechtenwüste befand. Die Veränderungen der Flechtenproben zeigen ein schwarzbraunes, wie verbranntes Aussehen (vergl. Bildtafel 2), so daß hier neben der SO₂-Immission (0,059—0,077 mgSO₂/m³) sicher noch andere Luftverunreinigungen, insbesondere Asche- bzw. Rußteilchen aus den flächenhaften Hausfeuerungen mit zu diesem besonderem Schadbild beigetragen haben. Der Staubniederschlag (Monatsmittelwert) liegt mit 9,7 g/m² · Monat am höchsten von allen Stationen. Das Heizwerk selbst emittiert durch den hohen Abscheidegrad (95%) der Filteranlagen kaum feste Stoffe.

Eine ebenfalls sehr beachtliche Schädigung (fast 75%) trat an der Station *Westendstraße auf*, obgleich die SO₂- und die Staub-Konzentrationen niedriger sind als in der Landshuter Allee, die wiederum einen geringeren Schädigungsgrad (50—60%) aufweist und beide Stationen am Rande der Flechtenwüste zur Kampfzone hin liegen. Zu den SO₂-Immissionen (0,035—0,062 mg/m³) kommen hier noch die Luftverunreinigungen aus dem Industriegebiet von Mitter- und Obersendling (vergl. Abb. 18) und die Abgase der unmittelbar daneben befindlichen Kraftfahrzeugprüf- und Zulassungsstelle des TÜV München, welche täglich von sehr vielen Fahrzeugen angefahren wird, sowie der Einfluß der in den letzten Jahren erfolgten starken Bebauung. Außerdem kommt auch hier die wettergeschützte Exposition (NE) der Flechtentafel (vergl. Abb. 33) zur Auswirkung. Die beiden Stationen Krankenhaus Schwabing im N des Stadtgebietes und die Station Westendstraße im Süden sind daher, trotz nahezu gleicher SO₂-Belastung nicht direkt vergleichbar. Zu Beginn der 1. Versuchsreihe war nicht abzusehen, daß die Himmelsrichtung einen so bedeutenden Einfluß ausüben würde. Dies ist jedoch kein Nachteil, sondern es unterstreicht nochmals deutlich die Abhängigkeit der Flechtenschädigung von der jeweiligen Exposition. An der Station *Landshuter Allee* kann, trotz der verhältnismäßig hohen SO₂-Jahresmittelwerte (0,045, 0,069 und 0,085 mgSO₂/m³ Luft) und Staubbelastung (9,0 g/m² · Monat) die überwiegend durch die häufigen Winde aus östlichen Richtungen (vergl. Abb. 9 und 10) bedingt sind, die Flechtenschädigung als mittelstark bezeichnet werden.

Die in der nördlichen Ausbuchtung der Flechtenwüste gelegene Station *Krankenhaus Schwabing* weist von den Stadtstationen die geringste Schädigung auf und liegt mit ca. 30% zwischen einer geringen/mittleren Schädigung. Die SO₂-Immission kommt mit 0,031—0,061 mg/m³ jedoch der Westendstraße sehr nahe, auch die Staub-Immission liegt mit 6,8 g/m² · Monat nur wenig über der der Westendstraße (4,8 g/m² · Monat). Der auffällige Unterschied im Grad der Flechtenschädigung ist hier eindeutig auf die stadtklimatischen Einflüsse zurückzuführen, die sich hauptsächlich durch eine erhöhte Nebelbildung auszeichnet (vergl. hierzu die Ausführungen über Wetter und Klima auf S. 80 ff.). In der Nähe befindliche Bäume weisen durch diese erhöhte Feuchtigkeit einen ausgeprägten Grünalgenbewuchs auf der W-NW-Seite (Wetterseite) der Baumstämme auf, wie er sonst im gesamten Stadtgebiet nicht wieder anzutreffen ist. Außerdem sind am Stammfuß einiger Obstbäume bei der Station Anflüge von *Hypogymnia physodes* zu beobachten. Eine besondere Rolle spielt hierbei zweifellos die sehr lockere Bebauung des nördlichen Stadtgebietes.

Die Flechtentafeln in *Allach* und *Trudering* können als nahezu ungeschädigt bezeichnet werden, obwohl sie den üppigen Wuchs des Freilandes (Forstenrieder Wald) nicht ganz erreichen. Eine ebenfalls sehr geringe Schädigung erlitten die Flechtenproben in *Ottobrunn* (Altöl-Raffinerie), die aber ebenfalls einen kümmerlichen Wuchs zeigten. Es wurde schon erwähnt, daß auch in der Umgebung dieses Betriebes nur spärliche Anflüge von *Hypogymnia physodes* zu finden waren. Da hier jedoch andere SO₂-Quellen, von einigen weitständigen Wohnhäusern abgesehen, nicht vorhanden sind, schädigen nur die SO₂-Immissionen, welche mit Monatsmittelwerten von 0,02—0,04 mg/m³ mit kurzzeitigen Spitzenwerten von 0,5—0,8 mg/m³ allerdings äußerst niedrig liegen. Ohne die gemessenen SO₂-Konzentrationen zu kennen, konnte hier bereits aus der auffallend geringeren Veränderung der Testflechten gegenüber den Stadtstationen auf eine entsprechend niedrige SO₂-Belastung geschlossen werden.⁶⁴⁾ Es wurde hier auch der Flechtenzweig kaum geschädigt, was neben der mäßigen SO₂-Immission sicher mit der erheblich verminderten Staub- und Rußbelastung zusammenhängt.

2. Versuchsreihe: (Expositions-Abhängigkeit)

Kleine Tafeln mit je 6 Flechtenproben
Versuchsdauer: Mai 1969—Oktober 1970

Das Ergebnis dieser Versuchsreihe, welche Aufschluß über die Abhängigkeit des Grades der Flechtenschädigung von der Himmelsrichtung (Exposition) erbringen sollte, ist in der Abb. 33 von den Stationen Landshuter Allee, Krankenhaus Schwabing und Westendstraße graphisch dargestellt.

⁶⁴⁾ Die vorgenannten Werte wurden mir erst nach Abschluß der Flechtenversuche in freundlicher Weise vom Technischen Überwachungs-Verein München mitgeteilt.

Insgesamt gesehen zeigt sich auch hier, wie bereits bei den Ergebnissen der 1. Versuchsreihe dargelegt, daß der Schädigungsgrad im wesentlichen abhängig ist von der Höhe der Immissionen. Die Landshuter Allee weist danach jetzt die stärkste Schädigung auf, gefolgt von der Westendstraße und mit dem niedrigsten Schädigungsgrad wiederum die Station Krankenhaus Schwabing. Im Hinblick auf den unterschiedlichen Grad der Schädigung ist besonders auffallend, daß die Flechtentafeln an den NE-, E- und SE-Seiten der Meßhütten, also relativ wettergeschützt exponiert, den höchsten Schädigungsgrad aufweisen. Dies ist besonders deutlich ausgeprägt an der Station Landshuter Allee bei den Tafeln Nr. 2 und Nr. 3, aber auch an der Station Krankenhaus Schwabing, Tafel Nr. 3, bzw. an der Westendstraße, Tafel Nr. 2. Es sei hier aber nochmals betont, daß die Flechtenthalli wegen Mangel an Feuchtigkeit (Regen) gelblich-weiß verfärbt waren und dadurch erheblich von den Veränderungen durch die Einwirkung der Luftverunreinigungen abweichen. Die Bilder von den Flechtenproben Westendstraße 2.6⁶⁵⁾ und Romanstraße 1.3 und 1.7 der Farbtafel 2, sowie Bild Romanstraße 1.9 der Farbtafel 3 zeigen dies sehr deutlich. Bei einem Vergleich der drei letztgenannten Farbfotos zeigt sich noch interessanterweise, daß die Flechtenprobe 1.3, welche sich in der ersten oberen Reihe der Flechtentafel befand, weniger abgestorben ist, als die Flechtenprobe 1.7, weil eben dieser Flechtenprobe am oberen Rand der Tafel noch ein gewisses Maß an Feuchtigkeit zugeführt wurde. Die Versuchsdauer war bei beiden gleich (Juli 1968—Oktober 1970). Die Flechtenprobe 1.9 am unteren Rand der Tafel eingesetzt, weist — da hier die Versuchsdauer kürzer ist (Mai 1969—Oktober 1970) — noch nicht die völlige weiß-gelbe Verfärbung auf. Die Flechtenprobe 2.6 der Westendstraße (Bildtafel 2) mit der gleichen Versuchsdauer zeigt jedoch eine fortgeschrittenere Schädigung. Die wettergeschützte Aufhängung dieser Tafeln zeigt sich ferner wiederum in dem noch nahezu naturfarbenen, d. h. unverwitterten Zustand der Holztafeln.

Die geringsten Veränderungen (Schädigungen) weisen somit die Flechtentafeln bzw. -proben auf, welche nach NW, W und SW orientiert waren. Die an diesen Wetterseiten der Meßhütten angebrachten Flechten werden also häufiger durchfeuchtet und ihr Wachstum somit günstiger beeinflusst. Dies dürfte vor allem in den Sommermonaten von großer Bedeutung sein, wo die SO₂-Immissionen sehr niedrig und andererseits die Regenmengen sehr beachtlich sind (vergl. hierzu Tabelle 8). Auf die Untersuchungen über die Abhängigkeit des Flechtenwachstums von der Höhe der Niederschläge durch BESCHEL und BUTIN war schon hingewiesen worden (S. 56). Bereits in den älteren lichenologischen Mitteilungen wird ja immer wieder erwähnt, daß viele Flechtenarten, namentlich die Blatt-, Strauch- und Bartflechten überwiegend die Wetterseiten der Bäume besiedeln und deren regengeschützten Flanken meiden. Es läßt sich hieraus eindeutig der Schluß ziehen, daß die Schädigung der Flechten im Großstadtbereich nicht nur

⁶⁵⁾ Die erste Zahl bedeutet die Flechtentafel an der betreffenden Station und die zweite die Reihenfolge der Flechtenprobe an dieser Tafel.

von der Höhe der Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid und Staub abhängt, sondern auch von der Durchfeuchtung mit Regenniederschlag beeinflusst wird.

Das vorliegende Ergebnis über die Expositions-Abhängigkeit der Testflechte *Hypogymnia physodes* steht auch in guter Übereinstimmung mit den Untersuchungen von STEINER/SCHULZE-HORN (1955) über die Rindenepiphyten von Bonn und DOMRÖS (1966) über die Rindenflechten in einigen Stadtteilen Bochums, wo ebenfalls die stärkste Besiedlung auf den Wetterseiten (W, WSW, SW) der Bäume beobachtet wurde. EHRENDORFER und Mitarbeiter (1971) bestätigen ebenfalls diesen Sachverhalt aus Graz und folgern daraus, daß „Abgas-Empfindlichkeit und Wasserhaushalt der Rindenflechten kausal miteinander verknüpft sind“ (S. 182).

3. Versuchsreihe:

Flechtenzweige auf den Tafeln Versuchsdauer: Mai 1969—Oktober 1970

Die Bildtafel 3 zeigt in der unteren Reihe die Farbfotos der Flechtenzweige von den Stationen Krankenhaus Schwabing (Flechtentafel 4), Landshuter Allee (Flechtentafel 3) und Westendstraße (Flechtentafel 1). An diesen drei Tafeln entspricht der Schädigungsgrad der Flechtenzweige dem Grad der Schädigung an den Flechtenproben, nur mit dem Unterschied, daß die Zweige im ganzen betrachtet noch stärker geschädigt sind und auch das Schadbild etwas anders aussieht. So entspricht z. B. der Flechtenzweig der Tafel 3 von der Station Landshuter Allee sehr schön den Flechtenproben (Bild 3.1 und 3.6) der gleichen Flechtentafel. Desgleichen der Zweig der Tafel 4 (Krankenhaus Schwabing) mit einem mittleren Schädigungsgrad und der Flechtenprobe 4.6 derselben Flechtentafel, welche mit ihren weißen Thalli-Enden eine Besonderheit darstellt. Einen weiteren Vergleich ermöglicht der Zweig der Flechtentafel 1 von der Westendstraße, die — wie schon mehrfach betont — etwas wettergeschützt angebracht war und durch Schwefeldioxid und verminderte Durchfeuchtung stark geschädigt ist, mit der Flechtenprobe 1.10 (Bildtafel 1).

Aus diesen, hier nur beispielhaft dargelegten Vergleichen ist deutlich zu erkennen, daß die Flechten an den Zweigen ein anders geartetes Schadbild aufweisen, welches zweifellos mit der erhöhten Einwirkung der wachstumshemmenden, bzw. -zerstörenden Luftverunreinigungen in Zusammenhang steht. Die gas- bzw. staubförmigen Anteile der Luft (SO_2 , Ruß, Asche) können hier sowohl an der Ober- als auch an der Unterseite der Flechtenthalli zur Einwirkung kommen und somit im gleichen Zeitraum und bei vergleichbaren Bedingungen zu einer erheblich stärkeren Schädigung führen. Im einzelnen wird hierzu nochmals auf die Farbaufnahmen der Bildtafeln hingewiesen.

5. Die Bedeutung der Flechten-Indikatormethode zur Beurteilung der lufthygienischen Situation einer Großstadt

Die bisherigen Untersuchungen der natürlichen Flechtenvegetation in Großstädten und industriellen Ballungsgebieten, sowie um einzelne Industriewerke haben zwar durch die Festlegung von Wuchszonen (Flechtenwüste, Kampfzone, Normalzone) einen guten Überblick in die jeweils herrschenden wachstumshemmenden bzw. -zerstörenden Eigenschaften der Biosphäre vermittelt, sie erlauben jedoch keinen direkten Rückschluß auf den Grad der Immissionsbelastung in dem jeweils betrachteten Raum. Selbst die großräumige Kartierung der natürlichen Flechtenvegetation durch DOMRÖS (1966) im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet vermochte dies nicht, so daß er bemerkt (S. 106): . . . „Nicht möglich ist es, mittels der Flechtenmethode die absolute Höhe des Luftverunreinigungspegels zu bestimmen“, weil das weitmaschige Meßstellennetz der chemisch-physikalischen SO_2 - und Staubmessungen nicht ausreicht, um genaue Aussagen über die am untersuchten Flechtenfundort über einen längeren Zeitraum hinweg einwirkenden Luftverunreinigungen beurteilen und somit zum Grad der Flechtenschädigung in Beziehung setzen zu können. Schon durch die örtliche und zeitliche Variation der klimatisch-meteorologischen Bedingungen und der Immissionshöhe kann eine derartige Aussage nicht getroffen werden.

Erst die vorliegenden Versuche mit der Testflechte *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. ermöglichen einen direkten Vergleich bzw. eine Aussage über die Abhängigkeit der Flechtenschädigung von der Höhe der exakt ermittelten SO_2 -Konzentrationen, da beide Faktoren gleichzeitig am selben Versuchspunkt ermittelt wurden.

Als Ergebnis der Flechten-Indikatormethode ergibt sich dadurch unter anderem:

1. Der Schädigungsgrad ist abhängig von der Höhe und der zeitlichen Einwirkung von Luftverunreinigungen (Schwefeldioxid und Staub).
2. Bei gleicher Immissionsdauer führen SO_2 -Konzentrationen (Jahresmittelwerte) von 0,059—0,077 mg/m^3 Luft zu einem völligen Absterben und Verschwinden der Testflechte (Flechtenwüste). Konzentrationen von 0,045 bis 0,059 mgSO_2/m^3 Luft verursachen noch eine starke Schädigung bzw. Verminderung des Wuchses der Thalli, welche aber bereits auf einen Übergang zur Kampfzone hindeuten. Erst bei Jahresmittelwerten um 0,02 mgSO_2/m^3 Luft kann sich die Blattflechte *Hypogymnia physodes* nahezu ungeschädigt entwickeln, so daß sie mit dem Wachstum in der immissionsfreien, d. h. unbeeinflussten Normalzone vergleichbar wird.
3. Wettergeschützte Exposition der Testflechte mit verminderter Wasseraufnahme (Durchfeuchtung) wirkt sich verstärkt wachstumsschädigend aus und erzeugt außerdem ein andersgeartetes typisches Schadbild.

Beim Fehlen dieser Blattflechtenart in einem Siedlungsraum (Großstadt) kann hiernach gefolgert werden, daß bereits eine solche Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid und Staub vorhanden ist, die zwar noch erheblich unter den zugelassenen Grenzwerten der TA-Luft bzw. VDI-Richtlinien liegt und dadurch nach den derzeitigen medizin-biologischen Erkenntnissen wohl kaum zu einer Gefährdung der menschlichen Gesundheit ausreicht, daß sie aber auf Grund der kumulativen Wirkung lufthygienisch bereits als bedenklich angesehen werden muß.

Für den Großraum München ergibt sich daraus bei Berücksichtigung der vorhandenen Luftverunreinigungs-Quellen und den Ausbreitungsbedingungen, namentlich der Windverhältnisse, für gas- und staubförmige Immissionen (vergl. hierzu die Ausführungen auf S. 80 ff.), daß die Gebiete im SW (Großhadern mit dem neuen Großklinikum und Fürstenried), im SE (Trudering, Neu-Perlach) aber auch im E bzw. NE (Bogenhausen, Oberföhring) oberhalb der Isarterrassen sich lufthygienisch bevorzugt als Siedlungsräume eignen, zumal hier noch ausreichend Bauland zur Verfügung steht.

Für die Ansiedlung von emissionsreichen Industriebetrieben käme — wie schon z. T. geschehen (vergl. hierzu Abb. 18) — das norwestliche Stadtgebiet in Betracht, da Winde aus diesen Richtungen sehr selten sind und somit von diesen Emittenten die Stadtluft kaum zusätzlich verunreinigt würde.

Zur Ausweisung lufthygienisch optimaler Räume, z. B. für die Abgrenzung wohnklimatisch bzw. -hygienisch günstiger bzw. ungünstiger Gebiete innerhalb eines Stadtgebietes, zur Planung von Siedlungen, Kur- und Erholungsgebieten, Industriestandorten und ähnlichem kann daher die Flechten-Indikatormethode eine wertvolle Hilfe sein; namentlich deswegen, weil sie mit relativ einfachen Mitteln und geringem Aufwand eindeutige Aussagen über die vorliegende Immissionsbelastung erlaubt. Vor allem für eine erste orientierende Beurteilung eines Raumes wird man sich dieser Methode bedienen und so u. U. die überaus kostspielige Überwachung mit chemisch-physikalischen Meßmethoden als nicht für notwendig erkennen.

Es soll hier allerdings nicht verschwiegen werden, daß diese Methode der biologischen Erfassung von Luftverunreinigungen die Wirkung einer bereits stattgefundenen langzeitigen Immission anzeigt, nicht jedoch die gegenwärtige Immissions-Situation erfaßt, welche z. B. für einen Warnungs- oder Alarmplan erforderlich ist und wozu die Maximalwerte vorliegen müssen. Dies ist jedoch kein Nachteil, da sie — ähnlich den für Dauerbelastung festgelegten Immissionswerten — nicht auf kurzzeitige Spitzenwerte reagiert, sondern den langjährigen Mittelwert sowohl der Luftverunreinigung als auch der stadtklimatischen Faktoren repräsentiert.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Großraum München wurde der Versuch unternommen, die meteorologisch-klimatologischen Daten, die Verbreitung der natürlichen Flechtenvegetation aus einer früheren Aufnahme (SCHMID, 1957) und die mit physikalisch-chemischen Methoden gemessenen Luftverunreinigungen, insbesondere Schwefeldioxid und Staub, zum Grad der Schädigung der Testflechte *Hypogymnia physodes* (L) Nyl., syn. *Parmelia physodes* (L) Ach. an mehreren, im Stadtgebiet verteilten Stationen, in Beziehung zu setzen. Hierzu wurde eine von BRODO (1961) angegebene Methode zur Transplantation von Flechten in einigen Punkten verbessert bzw. ergänzt und die Testflechte in 8- bzw. 6-facher Wiederholung in Form von ausgestanzten runden Flechtenproben in hierfür vorbereitete Holztafeln verpflanzt und exponiert. An der immissionsfreien Entnahmestelle der Flechten in einem größeren Waldgebiet südlich von München lief zur Kontrolle ein Freilandversuch. Außerdem wurden kleine, mit der Testflechte besiedelte Zweige an den Tafeln angebracht.

Das Ergebnis der Versuchsreihen von 28 bzw. 17 Monaten Dauer wurde graphisch dargestellt und ergibt einen eindeutigen Zusammenhang bzw. Abhängigkeit des Schädigungsgrades von der Höhe der Schwefeldioxid- und Staub-Immission. SO_2 -Konzentrationen um $0,06\text{--}0,08\text{ mg/m}^3$ führen zu einem völligen Absterben der Flechten. Erst bei Konzentrationen um $0,02\text{ mgSO}_2/\text{m}^3$ Luft kann sich eine nahezu ungestörte, dem Freiland fast vergleichbare Flechtenvegetation entwickeln. Der Frage der Expositions-Abhängigkeit diente eine eigene Versuchsreihe mit Flechtentafeln an allen vier Seiten der Meßhütten. Wettergeschützte Aufstellung, d. h. verminderte Durchfeuchtung, führte zu einem besonderen Schädigungstyp, welcher beweist, daß das Wachstum der epixylen Flechten in einer Großstadt außer der Luftverunreinigung auch von diesem Faktor abhängt. Zahlreiche Farbaufnahmen aus den vorgenannten Versuchsreihen veranschaulichen diesen Sachverhalt. Die Ergebnisse zeigen ferner, daß die verwendete Flechten-Indikatormethode durchaus geeignet ist — anstelle kostspieliger und aufwendiger Immissionsmessungen — zuverlässige Aussagen über die lufthygienische Situation eines Raumes zu machen. Sie kann daher unter anderem nutzbringend bei der Planung von Siedlungen, zur Festlegung von Industriestandorten oder zur Ausweisung von wohnklimatisch optimalen Flächen eingesetzt werden.

Zum besseren Verständnis dieser Untersuchung wurden in einer Einführung über Luftverunreinigung und Stadtklima sowohl die Komponenten und Herkunft der gasförmigen und festen Verunreinigungen der Stadtluft als auch ihre Beeinflussung durch natürliche und anthropogene Faktoren sowie ihre Wirkung auf die Umwelt (Mensch, Tier, Pflanze, Sachgüter) dargelegt und die Stellung der Luftverunreinigung im Komplex des Stadtklimas aufgezeigt.

Im lichenologischen Teil der Arbeit wurden neben einem kurzen Überblick zu den heute vielfach als Bio-Indikatoren zur Erforschung von Immissionswirkungen verwendeten Pflanzen die Heranziehung von Flechten erläutert, wobei gemäß der Aufgabenstellung auf die epixylen Flechten als besonders geeignete Indikatoren für verunreinigte Luft und stadtklimatische Einflüsse näher eingegangen wird. Hierzu waren einige Ausführungen sowohl zur Biologie und Ökologie der Flechten als auch zu denjenigen Einflüssen erforderlich, welchen vor allem die baumbesiedelnden Flechtenarten in zunehmendem Maße an ihren Wuchsorten — auch außerhalb von Großstädten — ausgesetzt sind. In diesem Zusammenhang war ein Überblick zu den bisherigen Untersuchungen der Flechtenvegetation in Städten und in der Umgebung von Industriebetrieben ebenso erforderlich, wie eine kritische Betrachtung der hierbei entstandenen unterschiedlichen Auffassungen über die Ursachen der Schädigung bzw. dem völligen Fehlen, der sogenannten Poleophobie der Rindenflechten in Großstädten.

Ein besonderes Kapitel ist dem Untersuchungsgebiet gewidmet, da namentlich für Luftverunreinigung und Stadtklima die Struktur des betrachteten Gebietes eine wesentliche Rolle spielt. Bei den naturräumlichen Gegebenheiten, welche sowohl die Topographie als auch die Vegetation umfassen, war vor allem Wetter und Klima eingehender darzulegen, da hiervon die Verteilung und Verdünnung der anfallenden Emissionen und damit letztlich die Höhe der Immissionen abhängt. Hierbei waren die im Münchener Raum herrschenden meteorologischen Bedingungen, nämlich die Windverhältnisse und die Inversionswetterlagen aufzuzeigen, weil hierdurch die lufthygienische Situation weitgehend beeinflußt und gesteuert wird. Da ferner die Höhe der Emissionen von der Anzahl und dem Brennstoffverbrauch der Emittenten (Industrie- und Gewerbe-Betriebe — Hausfeuerungen — Kraftverkehr) sowie von der speziellen Art der Produktions- und Fertigungsverfahren und ihrem Standort abhängt, wurden die wirtschaftsräumlichen Gegebenheiten ausführlicher erläutert, wobei auch auf die Entwicklung Münchens zur Industrie- und Millionenstadt hingewiesen wird. Hierzu wurden unter anderem in kartenmäßiger Darstellung die Einwohner-, Bebauungs- und Industriedichte sowie die geographische Lage und Art der Betriebe mit mehr als 200 Arbeitnehmern (Großbetriebe) und die Standorte der kommunalen Heizkraftwerke mit ihren SO_2 -Emissionen beigegeben. Diesen letzteren zwei Emittentengruppen kommt wegen ihres beachtlichen Brennstoffverbrauches für die Verunreinigung der Biosphäre im Stadtbereich eine besondere Bedeutung zu. Einige Tabellen erläutern bzw. unterstreichen dies. Bei den Nutzungsarten des Stadtgebietes waren auch diejenigen Flächen mit zu erwähnen, welche emissionsarm sind bzw. immissionsvermindernd wirken, also die Grünanlagen sowie die land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen.

Für die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus exakten Messungen der Luftverunreinigung, namentlich Schwefeldioxid und Staub mit dem Grad der Schädigung der exponierten Testflechten werden die Meßergebnisse dieser Schadkomponenten aus dem Versuchszeitraum, z. T. auch länger, angegeben. Hierbei

wird auch auf die Zusammenhänge zwischen den Flechtenwuchszonen (Flechtenwüste, Kampfzone, Normalzone) mit den Immissionsbelastungszonen durch SO_2 und Staub eingegangen, bzw. kartenmäßig erläutert. Wenn sich die lufthygienische Situation in den letzten Jahren durch die zunehmende Verwendung bzw. Verfeuerung von schwefelarmen bzw. -freien Brennstoffen (Heizöl EL, Erdgas) auch erheblich verbessert hat, so erreichen die SO_2 -Konzentrationen in den Winterhalbjahren dennoch etwa die Werte von Nordrhein-Westfälischen Industriestädten. Auch die Staub-Immission zeigt eine ähnliche Abnahme und Übereinstimmung.

... (faint, illegible text) ...

1911	1910	1909	1908	1907	1906	1905	1904	1903	1902	1901	1900	1899	1898	1897	1896	1895	1894	1893	1892	1891	1890	1889	1888	1887	1886	1885	1884	1883	1882	1881	1880	1879	1878	1877	1876	1875	1874	1873	1872	1871	1870	1869	1868	1867	1866	1865	1864	1863	1862	1861	1860	1859	1858	1857	1856	1855	1854	1853	1852	1851	1850	1849	1848	1847	1846	1845	1844	1843	1842	1841	1840	1839	1838	1837	1836	1835	1834	1833	1832	1831	1830	1829	1828	1827	1826	1825	1824	1823	1822	1821	1820	1819	1818	1817	1816	1815	1814	1813	1812	1811	1810	1809	1808	1807	1806	1805	1804	1803	1802	1801	1800	1799	1798	1797	1796	1795	1794	1793	1792	1791	1790	1789	1788	1787	1786	1785	1784	1783	1782	1781	1780	1779	1778	1777	1776	1775	1774	1773	1772	1771	1770	1769	1768	1767	1766	1765	1764	1763	1762	1761	1760	1759	1758	1757	1756	1755	1754	1753	1752	1751	1750	1749	1748	1747	1746	1745	1744	1743	1742	1741	1740	1739	1738	1737	1736	1735	1734	1733	1732	1731	1730	1729	1728	1727	1726	1725	1724	1723	1722	1721	1720	1719	1718	1717	1716	1715	1714	1713	1712	1711	1710	1709	1708	1707	1706	1705	1704	1703	1702	1701	1700	1699	1698	1697	1696	1695	1694	1693	1692	1691	1690	1689	1688	1687	1686	1685	1684	1683	1682	1681	1680	1679	1678	1677	1676	1675	1674	1673	1672	1671	1670	1669	1668	1667	1666	1665	1664	1663	1662	1661	1660	1659	1658	1657	1656	1655	1654	1653	1652	1651	1650	1649	1648	1647	1646	1645	1644	1643	1642	1641	1640	1639	1638	1637	1636	1635	1634	1633	1632	1631	1630	1629	1628	1627	1626	1625	1624	1623	1622	1621	1620	1619	1618	1617	1616	1615	1614	1613	1612	1611	1610	1609	1608	1607	1606	1605	1604	1603	1602	1601	1600	1599	1598	1597	1596	1595	1594	1593	1592	1591	1590	1589	1588	1587	1586	1585	1584	1583	1582	1581	1580	1579	1578	1577	1576	1575	1574	1573	1572	1571	1570	1569	1568	1567	1566	1565	1564	1563	1562	1561	1560	1559	1558	1557	1556	1555	1554	1553	1552	1551	1550	1549	1548	1547	1546	1545	1544	1543	1542	1541	1540	1539	1538	1537	1536	1535	1534	1533	1532	1531	1530	1529	1528	1527	1526	1525	1524	1523	1522	1521	1520	1519	1518	1517	1516	1515	1514	1513	1512	1511	1510	1509	1508	1507	1506	1505	1504	1503	1502	1501	1500	1499	1498	1497	1496	1495	1494	1493	1492	1491	1490	1489	1488	1487	1486	1485	1484	1483	1482	1481	1480	1479	1478	1477	1476	1475	1474	1473	1472	1471	1470	1469	1468	1467	1466	1465	1464	1463	1462	1461	1460	1459	1458	1457	1456	1455	1454	1453	1452	1451	1450	1449	1448	1447	1446	1445	1444	1443	1442	1441	1440	1439	1438	1437	1436	1435	1434	1433	1432	1431	1430	1429	1428	1427	1426	1425	1424	1423	1422	1421	1420	1419	1418	1417	1416	1415	1414	1413	1412	1411	1410	1409	1408	1407	1406	1405	1404	1403	1402	1401	1400	1399	1398	1397	1396	1395	1394	1393	1392	1391	1390	1389	1388	1387	1386	1385	1384	1383	1382	1381	1380	1379	1378	1377	1376	1375	1374	1373	1372	1371	1370	1369	1368	1367	1366	1365	1364	1363	1362	1361	1360	1359	1358	1357	1356	1355	1354	1353	1352	1351	1350	1349	1348	1347	1346	1345	1344	1343	1342	1341	1340	1339	1338	1337	1336	1335	1334	1333	1332	1331	1330	1329	1328	1327	1326	1325	1324	1323	1322	1321	1320	1319	1318	1317	1316	1315	1314	1313	1312	1311	1310	1309	1308	1307	1306	1305	1304	1303	1302	1301	1300	1299	1298	1297	1296	1295	1294	1293	1292	1291	1290	1289	1288	1287	1286	1285	1284	1283	1282	1281	1280	1279	1278	1277	1276	1275	1274	1273	1272	1271	1270	1269	1268	1267	1266	1265	1264	1263	1262	1261	1260	1259	1258	1257	1256	1255	1254	1253	1252	1251	1250	1249	1248	1247	1246	1245	1244	1243	1242	1241	1240	1239	1238	1237	1236	1235	1234	1233	1232	1231	1230	1229	1228	1227	1226	1225	1224	1223	1222	1221	1220	1219	1218	1217	1216	1215	1214	1213	1212	1211	1210	1209	1208	1207	1206	1205	1204	1203	1202	1201	1200	1199	1198	1197	1196	1195	1194	1193	1192	1191	1190	1189	1188	1187	1186	1185	1184	1183	1182	1181	1180	1179	1178	1177	1176	1175	1174	1173	1172	1171	1170	1169	1168	1167	1166	1165	1164	1163	1162	1161	1160	1159	1158	1157	1156	1155	1154	1153	1152	1151	1150	1149	1148	1147	1146	1145	1144	1143	1142	1141	1140	1139	1138	1137	1136	1135	1134	1133	1132	1131	1130	1129	1128	1127	1126	1125	1124	1123	1122	1121	1120	1119	1118	1117	1116	1115	1114	1113	1112	1111	1110	1109	1108	1107	1106	1105	1104	1103	1102	1101	1100	1099	1098	1097	1096	1095	1094	1093	1092	1091	1090	1089	1088	1087	1086	1085	1084	1083	1082	1081	1080	1079	1078	1077	1076	1075	1074	1073	1072	1071	1070	1069	1068	1067	1066	1065	1064	1063	1062	1061	1060	1059	1058	1057	1056	1055	1054	1053	1052	1051	1050	1049	1048	1047	1046	1045	1044	1043	1042	1041	1040	1039	1038	1037	1036	1035	1034	1033	1032	1031	1030	1029	1028	1027	1026	1025	1024	1023	1022	1021	1020	1019	1018	1017	1016	1015	1014	1013	1012	1011	1010	1009	1008	1007	1006	1005	1004	1003	1002	1001	1000	999	998	997	996	995	994	993	992	991	990	989	988	987	986	985	984	983	982	981	980	979	978	977	976	975	974	973	972	971	970	969	968	967	966	965	964	963	962	961	960	959	958	957	956	955	954	953	952	951	950	949	948	947	946	945	944	943	942	941	940	939	938	937	936	935	934	933	932	931	930	929	928	927	926	925	924	923	922	921	920	919	918	917	916	915	914	913	912	911	910	909	908	907	906	905	904	903	902	901	900	899	898	897	896	895	894	893	892	891	890	889	888	887	886	885	884	883	882	881	880	879	878	877	876	875	874	873	872	871	870	869	868	867	866	865	864	863	862	861	860	859	858	857	856	855	854	853	852	851	850	849	848	847	846	845	844	843	842	841	840	839	838	837	836	835	834	833	832	831	830	829	828	827	826	825	824	823	822	821	820	819	818	817	816	815	814	813	812	811	810	809	808	807	806	805	804	803	802	801	800	799	798	797	796	795	794	793	792	791	790	789	788	787	786	785	784	783	782	781	780	779	778	777	776	775	774	773	772	771	770	769	768	767	766	765	764	763	762	761	760	759	758	757	756	755	754	753	752	751	750	749	748	747	746	745	744	743	742	741	740	739	738	737	736	735	734	733	732	731	730	729	728	727	726	725	724	723	722	721	720	719	718	717	716	715	714	713	712	711	710	709	708	707	706	705	704	703	702	701	700	699	698	697	696	695	694	693	692	691	690	689	688	687	686	685	684	683	682	681	680	679	678	677	676	675	674	673	672	671	670	669	668	667	666	665	664	663	662	661	660	659	658	657	656	655	654	653	652	651	65
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

Übersicht 1:
Verzeichnis der Stichproben-Meßstellen im Münchener Stadtgebiet (Stand: 1970)

Nr.	Straße bzw. Ort der Messung	Koordinaten im Stadtplan-Gitternetz	
0508	Lochhausener Straße	D/E	6/7
0511	Wiesentfelserstraße (Neuaubing)	D/E	9/10
0805	Eversbusch-/Pasteurstraße	G/H	3/4
0808	Schurichstraße (Obermenzing)	G/H	6/7
0811	Pasing, Marienplatz	G/H	9/10
1105	Am Blütenanger (nach Dachauer Str.)	K/L	3/4
1108	Allacher-/Lauterbachstraße	K/L	6/7
1111	Zuccalistr. (vor Laimer Unterf.)	K/L	9/10
1114	Toemlinger-/Neufriedenheimer Str.	K/L	12/13
1117	Drygalski-Allee (Sendlinger HKW)	K/L	15/16
1310	Winthir-/Lachnerstraße	M/N	8/9
1311	Schäringer-/Arnulfstraße	M/N	9/10
1312	Westend-/Barthstraße	M/N	10/11
1314	Partnachplatz	M/N	12/13
1315	Heckenstaller-/Jean-Paul-Richter-Straße	M/N	13/14
1316	Boschetsrieder-/Hofmannstraße	M/N	14/15
1405	Lerchenauer Straße (vor Bahnüberführung)	N/O	3/4
1408	Oberwiesenfeld		
1410	Leonrodstraße (vor Bayer. Staatsarchiv)	N/O	8/9
1411	Maillinger-/Mercystraße	N/O	9/10
1412	Schwanthaler-/Ligsalzstraße	N/O	10/11
1413	Theresienhöhe West	N/O	11/12
1414	Kidler-/Oberländerstraße	N/O	12/13
1415	Brudermühlstraße West	N/O	13/14
1417	Zentrallände (Campingplatz)	N/O	15/16
1510	Heß-/Lothstraße	O/P	8/9
1511	Sand-/Karlstraße	O/P	9/10
1512	Bavariaring/Hermann-Lingg-Straße	O/P	10/11
1513	Lindwurm-/Kapuzinerstraße	O/P	11/12
1514	Isartalbahnhof	O/P	12/13
1610	Daimler-/Neureutherstraße	P/Q	8/9
1611	Gabelsberger-/Barerstraße	P/Q	9/10
1612	Karlsplatz (Stachus)	P/Q	10/11
1613	Westermühl-/Klenzestraße	P/Q	11/12
1614	Sachsen-/Claude-Lorrain-Straße	P/Q	12/13
1615	Candidplatz	P/Q	13/14
1705	Dohlenweg	Q/R	3/4
1708	Wartburgplatz (Krankenhaus Schwabing)	Q/R	6/7
1710	Leopold-/Giselastraße	Q/R	8/9
1711	Königin-/Schönfeldstraße	Q/R	9/10
1712	Hildegard-/Kanalstraße	Q/R	10/11
1713	Zeppelinstraße	Q/R	11/12
1714	Ostfriedhof	Q/R	12/13
1715	Untersberg-/Firstalmstraße (AGFA)	Q/R	13/14
1716	Mangfallplatz	Q/R	13/14
1812	Krankenhaus rechts der Isar (Parkplatz)	R/S	10/11
1813	Weißbürger Platz	R/S	11/12
1814	Germesheimer-/Martinstraße	R/S	12/13
1815	Giesinger Bahnhof	R/S	13/14

Nr.	Straße bzw. Ort der Messung	Koordinaten im	
		Stadtplan-Gitternetz	
1913	Mühdorfer-/Trausnitzstraße	S/T	11/12
2005	Kleinlappen	T/U	3/4
2008	Grüntal (Mittl. Isarkanal)	T/U	6/7
2011	Vollmann-/Denninger Straße	T/U	9/10
2014	Krumbad-/Haldenseestraße	T/U	12/13
2017	Unterhachinger Straße (nach Bahnüberführung)	T/U	15/16
2311	Auf dem Hüllgraben (Daglfing)	W/X	9/10
2314	Hans-Pfann-Straße (Trudering)	W/X	12/13
2317	Waldperlach (Fußballplatz)	W/X	15/16
2916	Feldherrnhalle		
3015	Hauptbahnhof		
3016	Marienplatz		
3115	Sendlinger-Tor-Platz		
3116	Isartorplatz/Pflugstraße		

(aus SCHWEGLER, 3. Ber. 1969)

Übersicht 2:

Mittelwerte aus Stichprobenmessungen einiger Schadstoffe in München für die Jahre 1967 und 1968.

Straße bzw. Ort der Messung	CO ppm		C _n H _m pphm		NO _x pphm		F μ/m ³ 1968
	1967	1968	1967	1968	1967	1968	
Schäringer-/Arnulfstraße	5	8	38	83	6	10	
Westend-/Barthstraße	5	5	30	70	—	10	
Partnachplatz	5	7	79		4	14	
Heckenstaller-/Jean-Paul-Richter-Str.	4	3	57	34	18	8	0.66
Boschetsrieder-/Hofmannstraße	6	6	52	86	8	12	
Leonrodstraße	6	9	42	120	10	14	
Maillinger-/Mercystraße	6	7	74	82	8	10	1.94
Schwanthaler-/Ligsalzstraße	7	9	99	80	4	16	0.78
Theresienhöhe W	6	7	89	86	4	12	
Kidler-/Oberländerstraße	4	6	54	77	2	14	
Brudermühlstraße W	5	11	56	141	6	16	
Heß-/Lothstraße	5	7	46	92	4	12	
Sand-/Karlstraße	9	10	64	97	8	14	
Lindwurm-/Kapuzinerstraße	8	10	70	135	6	14	
Isartalbahnhof	3	5	44	61	—	12	
Daimler-/Neureutherstraße	4		76	64	4	8	
Gabelsberger-/Barerstraße	8	11	98	161	8	16	
Karlsplatz (Stachus)	11		90	104	—	14	0.75
Westermühl-/Klenzestraße	6	6	49	83	4	12	
Candidplatz	6	8	69	86	6	12	
Leopold-/Giselastraße	8	7	178	79	4	12	1.06
Königin-/Schönfeldstraße	9	9	88	143	2	12	0.84
Hildegard-/Kanalstraße	6	8	64	112	6	12	1.41
Zeppelinstraße	4	6	67	73	8	8	
Mangfallplatz	5	5	51	79	6	12	
Krankenhaus rechts der Isar	7	7	63	85	6	10	1.03
Weißener Platz	5	5	77	70	8	10	0.84
Germersheimer-/Martinstraße	6	5	44	89	8	10	
Giesinger Bahnhof	3	5	43	58		8	
Mühdorfer-/Trausnitzstraße	5	5	76	60	6	10	1.22
Feldherrnhalle	10	13	102	169	8	12	1.22
Hauptbahnhof	7	8	49	77	—	10	
Marienplatz	12	7	124	103	4	12	
Sendlinger-Tor-Platz	8	9	48	118	—	12	
Mittelwert:	6.2	7.3	69	92	6.2		1.05

(aus SCHWEGLER, 3. Ber. 1969)

L I T E R A T U R

- ADAM, R.: Erfolge im Kampf Londons gegen den Nebel. — Schweiz. Naturschutz 36 (1970) Nr. 1, S. 7.
- ALBRECHT, F.: Untersuchungen der vertikalen Luftzirkulation in der Großstadt. — Met. Z. 50 (1933) S. 93—98.
- ALISSOW, B. P., DROSDOW, O. A. und RUBINSTEIN, E. S.: Lehrbuch der Klimatologie. — Berlin 1956.
- ALMBORN, A. O.: Lavfloran i Botaniska trädgården i Lund. — Botaniska Notiser (1943) Heft 2, S. 167—177.
- ALTVATER, W.: Ergebnisse der Untersuchungen von Luftverunreinigungen in Duisburg. — Luftverunreinigung, Düsseldorf 1962, S. 12—18.
- ALTVATER, W. und GROMZIG, H.: Über Maßnahmen zur Luftreinhaltung auf kommunaler Ebene. — Luftverunreinigung, Düsseldorf 1961, S. 9—12.
- ANDERS, J.: Die Strauch- und Laubflechten Mitteleuropas. — Jena 1928.
- ARNOLD, F.: Zur Lichenenflora von München. — Ber. d. Bayer. Bot. Ges. Bd. I (1891) S. 1—147; Bd. II (1892) S. 1—76; Bd. V (1897) S. 1—45; Bd. VI (1898) S. 1—82; Bd. VII (1900) S. 1—100; Bd. VIII (1901) S. 1—24.
- ANONYM: Aufgaben der Industrie zur Reinhaltung der Luft Teil I und II. — Wasser-Luft-Betrieb 9 (1965) Heft 6 und 7, S. 394—397 und 433—439.
- BACH, W.: Luftverunreinigung — Schäden, Kosten, Maßnahmen. — Geogr. Rundschau 20 (1968) Heft 4, S. 134—142.
- BACHL, H.: Ohne Feuerstellen und Kamine — Die Stadtfernheizung mit Dampf oder Warmwasser. — Südd. Zeitg., Beil. „Der Mensch und die Technik“ vom 10. 4. 1964.
- BACHL, H.: Bedeutung der Fernwärmeversorgung, Abfallverwertung und der elektrischen Nachtspeicherheizung für die Reinhaltung der Luft am Beispiel der Stadt München. Vortrag auf der Tagung „Schwerpunkte der Emissionsbekämpfung“ vom 24.—26. 10. 67 in München. Hrsg.: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf 1967.
- BACHMAIER, W.: Das Gesetz zur Reinhaltung der Luft und seine Anwendung auf den Betrieb von Dampfkesselanlagen. — Der Weihenstephaner 31 (1963) Nr. 5, S. 261—278.
- BÄUMLER, J. und MÜLLER, TH.: Stadtluftuntersuchungen in Basel. — Z. f. Präventivmed. 4 (1959) Heft 8, S. 257—276.
- BALKE, S.: Umweltbedingungen als Lebensgrundlage. — Städtehygiene 21 (1970) Heft 1, S. 1—2.
- BANGERT, A.: Untersuchungen zur Luftchemie von Wien. — Diss. Univ. Wien 1958.
- BARKMAN, J. J.: On the ecology of cryptogamic epiphytes with special reference to the Netherlands. — Diss. Univ. Leiden 1958.
- BARKMAN, J. J.: Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. — 2. Aufl. Assen (Netherlands) 1969.
- BARKMAN, J. J.: De verarming van de cryptogamenflora in ons Land gedurende de laatste honderd jaar. — Natura 58 (1961).
- BARKMAN, J. J.: Menschlicher Einfluß auf die Epiphytenvegetation West-Europas. — In: Tüxen: Anthropogene Vegetation, Den Haag (1966) S. 8—18.
- BAHRDT, H.: Die Moderne Großstadt. — Hamburg 1969.

Z = Zeitschrift, Met. = Meteorologie, Zbl. = Zentralblatt

- BARTH, H.: Kontinuierliche Staubmessungen im Stadtgebiet von Dortmund. — Staub 22 (1962) Nr. 2, S. 51—54.
- BAUM, F.: Staubbiederschlagsmessungen — ihre Bedeutung für die Erfassung von Staubimmissionen. — Beitr. z. Problem d. Luftreinhaltung auf d. Tagung der Fraunhofer-Ges. am 10. 11. 1965 in Essen, Essen 1966.
- BAUM, F.: Vergleichsmessungen mit verschiedenen Staubmeßverfahren bei unterschiedlichem Staubpegel. — Gesundh.-Ing. 87 (1966) Heft 12, S. 357—359.
- BAUM, F. und BROCKE, W.: Praktische Erfahrungen bei der Kontrolle von Ölfuerungen zur Verminderung des Rußauswurfs und der Geruchsentwicklung. — Staub-Reinh. Luft 30 (1970) Nr. 8, S. 328—333.
- BAUMANN, R., KADAN, E., SCHEDLING, J. A. und WAGNER, G.: Über einige Messungen der Konzentration fester und gasförmiger Luftverunreinigungen im Raum von Wien. — Radex-Rundschau (1966) Heft 4, S. 240—257.
- BAUMGARTNER, A.: Globalstrahlung in München 1962. — Sonderdr. des Met. Inst. der Univ. München, 1962.
- BEHR, O.: Zur Flechtenvegetation des Odenwaldes. — Nachr. d. Naturw. Mus. d. Stadt Aschaffenburg (1954) Nr. 44, S. 1—40.
- BEINE, H.: Über den Gehalt an 3,4-Benzpyren in den Abgasen von Hausbrandöfen mit festen Brennstoffen. — Staub-Reinh. Luft 30 (1970) Nr. 8, S. 334—336.
- BERENYI, D.: Mikroklimatologie-Mikroklima der bodennahen Atmosphäre. — Stuttgart 1967.
- BERG, H.: Das Stadtklima. — In: Vogler-Kühn: Medizin und Städtebau, Bd. 2 (1957) S. 101 bis 118, München 1957.
- BERGE, H.: Phytotoxische Immissionen (Gas-, Rauch- und Staubschäden). — Berlin und Hamburg 1963.
- BERGE, H.: Gutachten über Luftverunreinigungen im Raume der Stadt Köln. — Luftverunreinigung, Düsseldorf 1963, S. 14—18.
- BERNATZKY, A.: Grünflächen und Stadtklima. — Städtehygiene 21 (1970) Heft 6, S. 131—135.
- BERNERT, J.: Neuere Erkenntnisse bei der Untersuchung von Emissionen industrieller Anlagen. — Chimia 21 (1967) Nr. 7, S. 285—296. (Zürich).
- BERTSCH, K.: Flechtenflora von Südwestdeutschland. — 2. Aufl. Stuttgart 1964.
- BERTSCH, A.: Über den CO₂-Gaswechsel einiger Flechten nach Wasserdampfaufnahme. — Planta 68 (1966) S. 157—166.
- BESCHEL, R.: Stadtflechten und ihr Wachstum. — Diss. Univ. Innsbruck 1950.
- BESCHEL, R.: Flechten und Moose im St.-Peters-Friedhof in Salzburg. — Mitt. Naturw. Arbeitsgem. am Hause d. Natur in Salzburg, Bot. Arbeitsgr. 2 (1951) S. 44—51, Salzburg 1952.
- BESCHEL, R.: Eine Flechte als Niederschlagsmesser. — Wetter und Leben 6 (1954) Heft 3/4, S. 56—60.
- BESCHEL, R.: Flechtenvereine der Städte, Stadtflechten und ihr Wachstum. — Ber. d. Naturw.-Med. Ver. Innsbruck 52 (1957/58) Innsbruck 1958.
- BETHGE, H.: Außenlufthygiene. — Stuttgart 1957/58.
- BICHLMAIER, F.: Voraussetzungen für die Beurteilung des Waldes als Element der Raumordnung. — Forstw. Centralblatt 86 (1967) Heft 1, S. 60—65.
- Biologische Indikatoren für Luftverunreinigung. — In: Schriftenreihe d. Landesanstalt f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) Essen, (1966) Heft 4, S. 26—28; (1967) Heft 7, S. 26; (1968) Heft 12, S. 33—34; (1969) Heft 14, S. 34—37.
- Bitumendämpfe verdarben Pflanzen. — Urt. d. Bundesgerichtshofes, Az.: V ZR 22464 in: Südd. Zeitg. v. 12. 9. 1968.

- BLADE, E. and FERRAND, E. F.: Sulfur dioxide air pollution in New York: statical analysis of twelve years (Die statistische Analyse einer zwölfjährigen Beobachtungsreihe von Schwefeldioxid-Immissionen in New York). — J. Air Pollution Contr. Assoc. 19 (1969) Nr. 11, S. 873—876.
- BLÜTHGEN, J.: Allgemeine Klimageographie, Bd. II des Lehrbuches der Allgemeinen Geographie von E. Obst, 2. Aufl. Berlin 1966.
- BOBROV, R. A.: Use of plants biological indicators of smog in the air of Los Angeles county. — Science 121 (1955) S. 510—511.
- BÖDDRICH, J.: Der Strukturwandel in München-Schwabing seit 1800. — Diss. Universität München 1959.
- BÖNIG, H.: Die Luftverschmutzung durch den Hausbrand. — Stahl und Eisen 86 (1966) Nr. 7, S. 425—426.
- BOER, W.: Technische Meteorologie. — Leipzig 1964.
- BOER, W.: Die Anwendung meteorologischer Unterlagen bei der Stadtplanung in Hinsicht auf Probleme der Luftverunreinigung. — Proc. Int. Clean Air Congr. Part. I London 1966, Paper III/14, S. 79—81.
- BOMHARD, H. G. VON: Der Einfluß von Steinkohlenflugasche auf Boden und Pflanze. — Diss. TH München 1955.
- BOHNE, H.: Immissionsschäden durch Krankenhaus-Müllverbrennungsanlagen. — Staub-Reinh. Luft 27 (1967) Nr. 10, S. 451—453.
- BOHNE, H.: Zur Problematik des Nachweises der Einwirkungen gasförmiger chlorhaltiger Immissionen auf Pflanzen. — Staub-Reinh. Luft 29 (1969) Nr. 9, S. 379—381.
- BOHNE, H.: Chlorwasserstoff-Emissionen durch Verbrennungsanlagen von Krankenhäusern. — Staub-Reinh. Luft 30 (1970) Nr. 8, S. 337—339.
- BOLLMANN, T.: Die biologische Wirkung von nitrosen Gasen, Schwefeldioxyd und Schwefelsäure auf Tiere und Menschen. — Diss. Med. Akad. Düsseldorf, 1963.
- BORCHERT, Chr.: Wandlungen im Siedlungsbild südwestlich von München. — Mitt. d. Geogr. Ges. München 38 (1953) S. 137—145.
- BORTENSCHLAGER, S.: Flechtenverbreitung und Luftverunreinigung in Wels. — Naturkundliches Jahrb. d. Stadt Linz (1969) S. 207—212.
- BORTENSCHLAGER, S. und SCHMIDT, H.: Luftverunreinigung und Flechtenverbreitung in Linz. — Ber. des Naturw.-Med. Ver. Innsbruck 53 (1959/63) S. 23—27, Innsbruck 1963.
- BORTENSCHLAGER, S. und SCHMIDT, H.: Untersuchung über die epixyle Flechtenvegetation im Großraum Linz. — Naturkundl. Jahrb. d. Stadt Linz 1963.
- BOULY DE LESDAIN, M.: Ecologie (Phanérogames, Mousses et Lichens) de quelque sites de Paris. Encyclop. biogéogr. et écol. IV, Paris 1948.
- BOURELLY, Th.: Etude de la pollution atmosphérique aux quatre niveaux de la Tour Eiffel (Unters. der Luftverunreinigung in vier Höhenebenen des Eiffelturmes) Poll. atm. 10 (1968) Nr. 40, S. 227—233. Ref. in Staub-Reinh. Luft 29 (1969) Nr. 5, S. 211.
- BOUSTEDT, O.: Großstadt und Ballung. Methoden, Ergebnisse und Aufgaben der Agglomerationsforschung. — In: Raumforsch. 25 J. i. Deutsh., Bremen 1960, S. 249—266.
- BOUSTEDT, O.: (unter Mitarbeit von SCHMIDT, MAIER und GILL). Die Wachstumskräfte einer Millionenstadt — dargestellt am Beispiel Münchens. — München 1961.
- BRACHT, G.: Staubbiederschlagsmessungen in Berlin. — Techn. Überwach. 1 (1960) Nr. 2, S. 80 bis 84.
- BRANDT, C. ST.: Luftqualitätskriterien für Fluorwasserstoff und Fluoride. — Vortrag auf dem Fluor-Colloquium am 3./4. September 1970 in Düsseldorf, VDI-Bericht Nr. 164 (1971).
- BRANTNER, H. und FISCHER, G.: Lufthygienische Probleme bei der Errichtung eines thermischen Kraftwerkes. — Staub-Reinh. Luft 28 (1968) Nr. 4, S. 146—148.

- BRAUER, J.: Verunreinigung der Luft — Reinhaltung der Luft. — In: Wetterkarte des Dt. Wetterdienstes, Amtsblatt des Wetteramtes München vom 1. 3. und 22. 3. 1963.
- BRAUN-BLANQUET, J.: Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde. — Wien 1964.
- BREUER, W. und WINKLER, K.: Schwefeldioxid-Immissionen bei austauscharmen Wetterlagen. — Staub-Reinh. Luft 25 (1965) Nr. 3, S. 98—101.
- BREZINA, E. und SCHMIDT, W.: Das künstliche Klima in der Umgebung des Menschen. — Stuttgart 1937.
- BRIGHTMAN, F. H.: Some Factors influencing Lichens Growth in Towns. — *The Lichenologist* 1 (1959) Heft 3, S. 104—108.
- BRITZELMAYR, M.: Die Lichenen der Flora von Augsburg. — *Ber. d. Naturw. Ver. Augsburg* 23 (1875) S. 32—64.
- BROCKE, W.: Synthetische raucharme feste Brennstoffe — ein Weg zur Verminderung der Luftverunreinigung durch den Hausbrand. — In: Luftverunreinigung, Düsseldorf 1968, S. 32—39.
- BROCKHAUS, A., SCHLIPKÖTER, H. W. und DOLGNER, R.: Vergleichende Untersuchungen über den Staubgehalt der Luft in Düsseldorf und Bochum in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren. — *Arbeit und Leistung* 17 (1963) Heft 6, S. 77—83.
- BRODO, I. M.: A study of lichen ecology in central New York. — Unpublished master's thesis. Cornell Univ. 1959.
- BRODO, I. M.: A Study of Lichen Ecology in Central Long Island, New York. — *The American Midland Naturalist*, 65 (1961) Heft 2, S. 290—310.
- BRODO, I. M.: Transplant Experiments with corticolous Lichens using new Technique. — *Ecology* 42 (1961) S. 838—841.
- BRODO, I. M.: Field studies of the effect of ionizing radiations on lichens. — *The Bryologist* 67 (1964).
- BRODO, I. M.: Lichen growth and cities: A Study on Long Island, New York. — *The Bryologist* 69 (1966) S. 427—449.
- BRODO, I. M.: Lichens and air pollution. — *Bull. of the Conservations Council of Ontario* 18 (1971) Nr. 4, S. 4—6.
- BRÜNGER, W.: Einführung in die Siedlungsgeographie. — Heidelberg 1961.
- BRUNS, G. und HELFRICH, P.: Monographien dt. Wirtschaftsgebiete (München), Bd. 23. — Oldenburg 1960.
- BUCHWALD, K. und ENGELHARDT, W.: Handbuch für Landschaftspflege und Naturschutz, Bd. 3: Pflege der besiedelten Landschaft — Schutz der Landschaft. — München 1970.
- BUCK, M.: Die Bedeutung des Immissionsschutzes für die Vegetation. — *Staub-Reinh. Luft* 30 (1970) Nr. 1, S. 26—31.
- BÜCHI, M. J.: Industrieimmissionen in der Orts-, Regional- und Landesplanung. — Hrsg. vom Inst. f. Orts-, Regional- und Landesplanung an der ETH Zürich 1968.
- BÜDEL, H. und WOLF, J.: Münchner stadtklimatische Studien. — *Das Wetter, Z. f. angew. Met.* 49 (1933), S. 4—10.
- BURACHOWITSCH, M. S.: Die Verunreinigung der atmosphärischen Luft durch Emissionen chemischer Werke. — *Gigijena i Sanitarij (Hyg. u. Sanitätswes.) Moskau* 31 (1966) Nr. 9, S. 72—74. Ref. *Staub-Reinh. Luft* 28 (1968) Nr. 6, S. 257.
- BURCKHARDT, L.: Der Mensch und seine Umwelt in der wachsenden Stadt. — *Südd. Zeitg., Beil. „Der Mensch und die Technik“* vom 28. 6. 1966.
- BUREMA, L., BIERSTEKKER, K. und DE GRAAF, H.: Luchtverontreiniging en volksgesondheit in Rotterdam. — *Commissie Bodem, Water en Lucht, Rotterdam* 1964, Ref. in *Air Poll. Control Ass., Abstract* Nr. 6125.

- BUTIN, H.: Physiologisch-Ökologische Untersuchungen über den Wasserhaushalt und die Photosynthese bei Flechten. — Diss. Univ. Bonn 1954, und *Biolog. Zentralbl.* 73 (1954) Heft 9/10 S. 459—502.
- CANDAU, G.: Verunreinigung und Reinhaltung der Luft. Ein weltweites Problem. — *Südd. Zeitg., Beil. „Der Mensch und die Technik“* vom 4. 4. 1966, München.
- CHANDLER, T. J.: Londons urban climate. — *Geogr. Journal* 120 (1962) S. 279—298.
- CHARPIN, J., AUBERT, J., GUEHO, E., LAURIOL, M. et CHARPIN, H.: La pollution atmosphérique par les allergènes d'origine végétale. — *Poll. atm.* 8 (1966) Nr. 30, S. 153—163.
- CHOLLET, R., JACCARD, G. et PILET, P. E.: Contribution à l'analyse de la pollution atmosphérique. Etudes réalisées à Lausanne. — *Poll. atmosph.* 9 (1967) Nr. 36, S. 217—224.
- COHRS, P.: Schädliche Einwirkung der verunreinigten Luft auf Tiere. — In: *Nationalber. d. BRD zur Europ. Konferenz über Luftverunreinigung 1964 in Straßburg*. Hrsg.: Bundesminister. f. Gesundheitsw. und VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf 1965, S. 16—29.
- COKER, P. D.: The effects of sulphur dioxide pollution on bark epiphytes. — *Transaction of the Brit. Bryological Soc.* Vol. 5, Part 2 (1967) S. 341—347.
- COMMINS, B. T. and WALLER, R. E.: Observations from a ten-year-study of pollution at a site in the city of London. — *Atm. Environment* 1 (1967) Nr. 1, S. 49—86.
- COUSINS, R. J.: Luftreinhaltung in England. 1100 Prüfstellen in 450 Städten. — *VDI-Nachr.* 19 (1965) Nr. 14, S. 14.
- DAMMANN und ANDERE: Umweltbedingungen — klimatische, geographische und allgemeinhygienische Verhältnisse. — *Das Gesundheitswesen der BRD* 3 (1968) S. 23—97.
- DÄSSLER, H.-G. und RANFT, H.: Das Verhalten von Flechten und Moosen unter dem Einfluß einer Schwefeldioxidbegasung. — *Flora, Abt. B*, 158 (1969) S. 454—461.
- DECKER, W.: Die Bedeutung von Emissionen, Exhalationen und Platzgerüchen für das Zustandekommen von Geruchsplagen. — *Städtehygiene* 11 (1960) Heft 4, S. 69—70.
- DETRIE, J. P.: La pollution de l'air dans les grandes villes. — *Charbon et Chauffage* 13 (1965) Nr. 43, S. 8—9.
- DETRIE, J. P. et JARRAULT, P.: La pollution atmosphérique. Les industries, leurs productions, leurs nuisances. — Paris 1968. (Ref. in *Staub-Reinh. Luft* 29 (1969) Nr. 5, S. 201).
- DEUBER, A., GILGEN, A. und GRANDJEAN, E.: Staubbiederschlag in Zürich. — *Städtehygiene* 18 (1967) Heft 12, S. 277—283.
- DHEUS, E.: München — Strukturbild einer Großstadt. — Stuttgart 1969.
- DHEUS, E.: Statistisches Jahrbuch München. Berichtsjahr 1968 bis 1971. — Hrsg. Amt f. Statistik u. Datenanalyse d. Landeshauptstadt München.
- DIRMHIRN, I.: Ergebnisse von CO-Messungen im Wiener Stadtbereich. — *Z. f. Angew. Met.* 4 (1963) Nr. 8/10, S. 314—315.
- DIRMHIRN, I. und SAUBERER, F.: Der Einfluß der Luftverunreinigung auf die Strahlungsverhältnisse. — In: *Klima und Bioklima von Wien III. Teil*. Hrsg. Österr. Ges. f. Meteorologie, Wien 1959.
- DIRSCHMID, F.: Probleme der Luftreinhaltung in der Stadt. — *Städtereinigung* 1 (1964) Nr. 1, S. 25—27.
- DOLGNER, R.: Fragen der biologischen Luftverunreinigung. — *Luftverunreinigung*, Düsseldorf 1965, S. 3—6.
- DOMRÖS, M.: Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den Flechtenbewuchs der Bäume. — Diss. Univ. Bonn 1966 und *Arb. z. Rhein. Landeskunde* (1966) Heft 23, S. 5—133, Bonn.
- DOMRÖS, M.: Flechten als Indikator von Luftverunreinigung und Stadtklima. — *Städtehygiene* 18 (1967) Heft 2, S. 33—39.

- DONAU, M.: Hygienische Untersuchungen über die klimatischen Faktoren und den Ruß- und Staubgehalt der Luft in verschiedenen Stadtteilen Groß-Dresdens. Diss. TH Dresden 1931.
- DONAUBAUER, E.: Forstschäden durch Industrieabgase. — *Natur und Land* 54 (1968) Heft 2, S. 66—69, (Wien).
- DRATWA, H.: Die Reinhaltung der Luft von Schwefeloxiden — Problematik und Möglichkeiten. — *Techn. Überw.* 8 (1967) Nr. 5, S. 153—157.
- DREYHAUPT, F.-J.: Einige Aspekte zum Thema „Reinhaltung der Luft“ Ergebnisse einer Studienreise in USA. — *Arbeitsschutz* (1968) Nr. 9, S. 249—257.
- DREYHAUPT, F.-J.: Luftreinhaltung als Faktor der Stadt- und Regionalplanung. — Bd. 1 d. Buchreihe „Umweltschutz“ des Techn. Überwachungs-Vereins Rheinland e. V., Köln 1971.
- DÜMMLER, F.: Die Technischen Überwachungsvereine im Dienste des Immissionssschutzes. — *Techn. Überwach.* 10 (1969) Nr. 10, S. 341—343.
- DÜRK, K. P.: Die hygienischen Funktionen des Waldes und ihre soziologischen, ökonomischen und forstpolitischen Auswirkungen mit besonderer Berücksichtigung der Bedeutung des Waldes in Erholungsgebieten. — Diss. Univ. Freiburg 1965.
- Duisburger Lufthygiene-Gutachten 1965. — Hrsg. Stadtverwaltung Duisburg 1965.
- ECKEL, C., SAUBERER, F. und STEINHAUSER, F.: Klima und Bioklima von Wien. — *Wetter und Leben, Sonderhefte* 3, 5 und 7 (1955), (1957), (1959).
- EFFENBERGER, E. und LINDER, A.: Statistische Untersuchungen über den Wochengang des Staubgehaltes der Luft in einer Großstadt. — *Ann. Met.* 8 (1957/58), S. 235—255.
- EFFENBERGER, E.: Staubniederschlag in der Umgebung eines Großbetriebes. — *Staub* 22 (1962) Nr. 1, S. 8—14.
- EFFENBERGER, E.: Luftverunreinigung und Städtebau. — *Z. Präventivmedizin* 11 (1966) Nr. 11/12, S. 601—621.
- EGNER, H.: Die Bedeutung der Schwefelverbindungen in der Luft für die Bodenfruchtbarkeit. — *Agrochimica* 9 (1965) Nr. 2, S. 133—143.
- EHRENDORFER, F., MAURER, W., KARL, R. und E.: Rindenflechten und Luftverunreinigung im Stadtgebiet von Graz. — *Mitt. naturwiss. Verein Steiermark* 100 (1971) S. 151—189.
- EICHER, F.: Statistisches Handbuch der Landeshauptstadt München, (1964). — Hrsg.: Statistisches Amt der Stadt München.
- EIMERN, J. VAN: Die Bedeutung von Energieströmen für das Klima und die agrarischen Standortbedingungen. — *Erdkunde* XXIII (1969) Lfg. 1, S. 10—19.
- EINBRODT, J. und LIFFERS, R.: Vergleichende Bleioxidbestimmungen im Schwebestaub westdeutscher Großstädte. — *Städtehygiene* 18 (1967) Heft 8, S. 179—182.
- EKHART, E.: Die Inversionen in den Alpen. — *Met. Rundschau* 2 (1949) Heft 5/6, S. 153—159.
- ELBERT, C.T.: Pestizide in städtischen Atmosphären. — *J. air poll. contr. assoc.* 15 (1965) Nr. 9, S. 415—418. Ref. in *Staub-Reinh. Luft* 26 (1966) Nr. 8, S. 352.
- ELLENBERG, H.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Bd. 4 Teil 2 der Einf. in die Phytologie von H. Walter. — Stuttgart 1963.
- EMMERICH, R.: Über Staub- und Stadtnebel. — *Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt* 1897, S. 339—343.
- EMONDS, H.: Das Bonner Stadtklima. — Diss. Univ. Bonn 1953 und *Arb. z. Rhein. Landeskunde* (1954) Heft 7, S. 1—64, Bonn.
- EMONDS, H.: Stadtklima-Untersuchungen am Beispiel Bonn. — In: *Vogler-Kühn: Medizin und Städtebau*, Bd. 2 (1957) S. 132—154, München 1957.
- ENGRABER, A.: Über den Einfluß der Austrocknung auf die Assimilation und Atmung von Moosen und Flechten. — Diss. TH Darmstadt 1952, und *Flora* 141 (1954), S. 432—475.

- ERICHSEN, C. F. E.: Beiträge zur Flechtenflora der Umgebung von Hamburg und Holstein. — Verh. Naturwiss. Ver. Hamburg 13 (1905) S. 44—104.
- ERICHSEN, C. F. E.: Die Flechten des Moränengebietes von Ostschleswig. — Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg 70 (1928) S. 1—129.
- ERICHSEN, C. F. E.: Flechtenflora von Nordwestdeutschland. — Stuttgart 1957.
- ERIKSEN, W.: Das Stadtklima, seine Stellung in der Klimatologie und Beiträge zu einer witterungsklimatologischen Betrachtungsweise. — Erdkunde 18 (1964) Heft 4, S. 257—266.
- ERIKSEN, W.: Zur Niederschlagsmodifikation im Bereich von Großstädten. — Städtehygiene 23 (1972) Heft 7, S. 164—166.
- ERNST, M.: Der Einfluß der Stadt auf die Flechtenvegetation. — Univ. Göttingen 1948 (unveröffentl. Staatsexamensarbeit).
- ERTL, L.: Über die Lichtverhältnisse in Laubflechten. — Planta 39 (1951), Heft 3, S. 245—270.
- Europa-Symposium über Immissionswirkungen in Wageningen/Holl. April 1969. Referat von F. K. Wentzel in Staub-Reinh. Luft 28 (1968) Nr. 8, S. 332—333.
- FELDMANN, G.: Bodeninversionen über München-Riem, ihre Häufigkeit und Entwicklung im Tagesgang. — Met. Rundschau 18 (1965) S. 3—14.
- FELFÖLDY, L.: A varosi levegő hatása az epiphyton-zuzmovegetacióra Debrecenben. (Über den Einfluß der Stadtluft auf die Flechtenvegetation der Bäume in Debrecen). — Acta Geobot. Hungaria 4 (1942) S. 332—349.
- FELS, E.: Stadtklima. — In: Der wirtschaftende Mensch als Gestalter der Erde. Erde und Weltwirtschaft: Hrsg. von R. Blüthgen, Bd. 5 (1955) S. 125.
- FENTON, A. F.: Lichens as indicators of atmospheric pollution. — The Irish Natural. Journ. XIII (1960) Nr. 7, S. 153—159.
- FENTON, A. F.: Atmospheric pollution of Belfast and its Relationship to the Lichen Flora. — The Irish Natural. Journ. XIV (1964) Nr. 10, S. 237—246.
- FETT, W.: Der Atmosphärische Staub. — Berlin 1958.
- FETT, W.: Jahres-, Tages- und Wochengang des Staubgehaltes in Berlin-Dahlem im Jahre 1964. Berliner Wetterk. (1965) Beil. Nr. 24; Zit. Nr. 751 in Zug. Bibl. Dt. Wetterd. 17 (1965) Nr. 3.
- FETT, W. und GÖRNER, S.: Außergewöhnliche Dunst- und Schmutzwolke über Berlin. — Berliner Wetterkarte (1964) Beil. Nr. 33; Zit. Nr. 603 in Zug. Bibl. Dt. Wetterd. 16 (1964) Nr. 3.
- FEULNER, M.: Terrassenuntersuchungen auf der Münchener Niederterrasse. — Diss. Univ. München 1956.
- FINGERLE, A.: München — Heimat und Weltstadt. — München 1966.
- FISCHER, G. und BRANTNER, H.: Studien über die Bedeutung von Luftverunreinigungen für den Raum Graz. I. Mitteilung: Die Zusammenhänge zwischen Luftverunreinigung, geographischen bzw. klimatologischen Verhältnissen. II. Mitteilung: Die Bedeutung der Luftverunreinigung für land- und forstwirtschaftliche Kulturen. — Arch. f. Hygien. und Bakt. 152 (1968) Heft 5 und Heft 6, S. 385—392 und S. 393—399.
- FLACH, E. und WÜRFEL, H.: Zur Kenntnis der lufthygienischen Eigenschaften Berlins und seiner Randgebiete. — Z. f. Angew. Met. 1 (1952) S. 161—169.
- Flechten gegen Luftverunreinigungen. — Wasser-Luft-Betrieb 12 (1968) Nr. 9, S. 534
- FLOHN, H.: Die Tätigkeit des Menschen als Klimafaktor. — Z. f. Erdkunde (1941), S. 13—22.
- FLOHN, H.: Vom Regenmacher zum Wettersatelliten. Klima und Wetter. — München 1968.
- FLOTTAU, H.: Vergiftete Luft — vergiftetes Wasser. Amerika entdeckt Amerikas Zerstörung. — Südd. Zeit. Nr. 12 vom 14. 1. 1970, S. 7.
- FLURY, F. und ZERNIK, F.: Schädliche Gase, Dämpfe, Nebel, Rauch- und Staubarten. — Berlin—Heidelberg 1969.

- FOLLMANN, G.: Flechten (Lichenes). — Stuttgart 1960.
- FORTAK, H.: Rechnerische Ermittlung der SO₂-Grundbelastung aus Emissionsdaten Anwendung auf die Verhältnisse des Stadtgebietes von Bremen. — Zit. Nr. 1349 in Zug. Bibl. Dt. Wetterdienst 18 (1966) Nr. 5.
- Forstliche Rauchschäden in Österreich (Symposium) 9.—11. Nov. 1965 in Wien. — Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn (1966) Nr. 73.
- FRANKE, G.: Probleme der Luftreinhaltung. — Brauwelt 105 (1965) Nr. 33, Ausg. A, S. 593—601.
- FRANKE, R.: Untersuchungen über die Luftverunreinigung der Stadt Münster. — Diss. Univ. Münster 1962.
- FRANZ, H.: Zur Horizontal- und Vertikalausbreitung von Rauchfahnen durch turbulente Diffusion. — Inst. f. Met. der TH Darmstadt, Nr. 4, S. 123—125.
- FREY, E.: Die anthropogenen Einflüsse auf die Flechtenflora und -vegetation in verschiedenen Gebieten der Schweiz. Ein Beitrag zum Problem der Ausbreitung und Wanderung der Flechten. — Veröff. d. Geob. Inst. Rübel i. Zürich (1959) Heft 33, S. 91—107.
- FREY, E.: Flechten — unbekannte Pflanzenwelt. — Hallwag-Taschenbücher Bd. 89, Bern 1969.
- FRORIEP, G.: Im Industriegebiet sind Grünflächen lebensnotwendig. — VDI-Nachrichten Nr. 22 v. 29. 5. 1963, S. 27.
- FÜNFSTÜCK, M. und ZAHLBRUCKNER, A.: Lichenes (Flechten). In: Engler-Prantl: Die natürlichen Pflanzenfamilien. — 2. Auflage, Leipzig 1926.
- GÄSSLER, W.: Was fordert man in Westeuropa im Interesse der Reinerhaltung von Wasser und Luft von der Industrie?. — Wasser-Luft-Betrieb 13 (1969) Nr. 3, S. 96—100.
- GAMS, H.: Rindenflechten der Alpen. — Vegetationsbilder, 25. Reihe, Heft 1, Jena 1936.
- GAMS, H.: Kleine Kryptogamenflora, Bd. III Flechten (Lichenes). — Stuttgart 1967.
- GANSER, K.: Stadtgeographische Fragestellungen und Flächennutzungsplan am Beispiel München. — Sonderdr. aus Nürnberger Wirtschafts- und Sozialgeographischen Arbeiten, Bd. 5, Angew. Geographie, Nürnberg 1966.
- GARBER, K.: Immissionschäden an Pflanzen. — Techn. Überwach. 6 (1965) Nr. 4, S. 125—126.
- GARBER, K.: Die Luftverunreinigung im Hamburger Industriegebiet und ihre Auswirkungen auf die Vegetation. — Sonderdr. aus Jahresber. 83. bis 84. Jg. für die Jahre 1965/66 des Staatsinstituts für Angew. Bot. Hamburg.
- GARBER, K.: Die Beeinflussung der Pflanzenwelt durch fluorhaltige Immissionen. — Angew. Bot. XI (1966) Heft 1/2, S. 12—21.
- GARBER, K.: Die Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. — Berlin 1967.
- GASIOROWSKI, K.: Energieerzeugung aus flüssigen Brennstoffen. — Gesundh.-Ing. 86 (1965) Heft 4, S. 116—122.
- GASIOROWSKI, K.: Abgasführung und Reinhaltung der Luft bei Ölfeuerungen. — Energietechnik (1966) Heft 5, Sonderdr.
- GEIGER, R.: Über die Entwicklung von Luftkörperwetterlagen und über Luftkörperfolgen in München. — Das Wetter 49 (1932) Heft 12, S. 359—370.
- GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht — ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. — Die Wissenschaft Bd. 78, 4. Aufl. Braunschweig 1961.
- GEORGII, H.-W.: Erste Ergebnisse fortlaufender Registrierungen des Kohlenoxydgehaltes der Luft im Zentrum einer Großstadt (Frankfurt). — Städtehygiene 11 (1960) Heft 4, S. 71—74.
- GEORGII, H.-W.: Die Belastung der Großstadtluft mit gasförmigen Luftverunreinigungen. — Umschau in Wiss. u. Technik 63 (1963) Nr. 24, S. 757—762.
- GEORGII, H.-W.: Über die Einwirkung meteorologischer Parameter auf die Immissionskonzentration luftverunreinigter Komponenten. — Arch. techn. Messen (1968) Lfg. 395, Dezember, S. 257—302.

- GEORGII, H.-W.: The effects of air pollution on urban climates. — Bull. Org. mondial Santé 40 (1969), S. 624—635.
- GEORGII, H.-W.: Beitrag zum Schwefelhaushalt aufgrund von SO₂- und Sulfatmessungen in der freien Atmosphäre. — Ann. Met. (1969) Nr. 4, S. 117—121.
- GEORGII, H.-W. und HOFFMANN, L.: Beurteilung von SO₂-Anreicherungen in Abhängigkeit von meteorologischen Einflußgrößen. — Staub 26 (1966) Nr. 12, S. 511—513.
- GEORGII, H.-W., DOMMERMUTH, H. und WEBER, E.: Untersuchung der SO₂-Konzentrationsverteilung einer Großstadt in Abhängigkeit von meteorologischen Einflußgrößen. — Ber. d. Inst. f. Met. und Geophys. d. Univ. Frankfurt/M. (1968) Nr. 14.
- GERTH, G.: Begriffsbestimmungen und Maßeinheiten zur Reinhaltung der Luft. — In: Nationalber. d. BRD zur Europ. Konferenz über Luftverunreinigung 1964 in Straßburg. Hrsg. Bundesmin. f. Gesundheitsw. und VDI-Kommission Reinhaltung d. Luft, Düsseldorf 1965, S. 56—66.
- GERWIEN, I.: Lufthygienische Untersuchungen in der CSSR. — Die Heilberufe 12 (1960) S. 341.
- GILBERT, O. L.: Lichens ad indicator of air pollution in the Tyne Valley. — In: Ecology and industrial society (Brit. Ecol. Soc.) Symposium Nr. Five, Hrsg. Goddman, G. T., Oxford 1965, S. 35—47.
- GINNER, R. und HESS, V. Fr.: Studie über die Verteilung der Aerosole in der Luft von Innsbruck und Umgebung. — Gerl. Beitr. z. Geophysik 50 (1937) S. 22—43.
- GINZBERGER, A.: Pflanzengeographisches Hilfsbuch. — Wien 1939.
- GLEICHMANN, P.: Sozialhygienische Aspekte der Grünplanung in der Großstadt. — Diss. TH Hannover, 1962.
- GLEISSNER, F.: Gefährlicher Konzentrations- und Ballungsprozeß in München und Umgebung. — München 1963.
- GMÜND, W.: Die Beurteilung der Intensität der Rauch- und Rußplage unserer Städte mittels des Aitkenschen Staubzählers. — Gesundh.-Ing. 30 (1907) Nr. 2, S. 21—27.
- GMÜND, W.: Beiträge zur Kenntnis der großstädtischen Luftverunreinigung und des Großstadtklimas auf Grund von Untersuchungen mittels des Aitkenschen Staubzählers. — Dt. Vierteljahrschr. f. öff. Gesundheitspflege 40 (1908) S. 401—409.
- GOEBEL, VON K.: Die Wasseraufnahme der Flechten. — Ber. d. Dt. Bot. Ges. 44 (1926) S. 158 bis 161.
- GOLDMERSTEIN, J. und STODIEK, K.: Wie atmet die Stadt? Neue Feststellungen über die Bedeutung der Parkanlagen für die Lufterneuerung in den Großstädten. — Berlin 1931.
- GOTTBERG, L.: Die Bedeutung der Luftverunreinigung aus ärztlicher Sicht in der Bundesrepublik. — In: „Schmutzige Luft — reine Luft“. Hrsg. vom Bundesm. f. Gesundheitswesen, Bonn 1963.
- GRÄFE, K.: Lufthygienische Probleme in Pennsylvania, New Jersey und New York. — Städtehygiene 19 (1968) Nr. 4, S. 69—73.
- GRÄFE, K.: Methoden der Luftüberwachung und der Wirkungsbestimmung von atmosphärischen Schadstoffen (Ber. über Tagung v. 21.—23. 1. 1970 im Institut f. Wasser-, Boden- und Lufthyg. in Berlin). — Städtehyg. 21 (1970) Heft 8, S. 190—192.
- GRÄFE, K., HETTICHE, H. O. und PETERS, K. H.: SO₂-Gehalt der Stadtluft in Beziehung zur Gesundheit und zum Wetter. — Gesundh.-Ing. 81 (1960) Heft 10, S. 302—308.
- GRÄFE, K. und SCHLUNK, C.: Globalstrahlungsmessungen als Beitrag zu lufthygienischen Problemen. — Gesundh.-Ing. 86 (1965) Nr. 2, S. 54—60.
- GRÄFE, K. und SCHÜTZE, W.: Staubbiederschlagsuntersuchungen mit 230 Bergerhoff-Geräten in Hamburg. — Städtehygiene 17 (1966) Heft 8, S. 170—177.
- GRÄFE, K. und SCHÜTZE, W.: Untersuchungen über die Säurestufen des Niederschlags im Hamburger Stadtgebiet. — Städtehygiene 18 (1967) Heft 8, S. 175—179.

- GRAJETZKY, H.: Überwachung der Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid im Raffineriezentrum Ingolstadt. — Staub 24 (1964) Nr. 10, S. 390—395.
- GRAJETZKY, H.: Reinhaltung der Luft im Interesse der Volksgesundheit. — technik + münchen, (1966) Nr. 6, S. 107—113.
- GREINER, H.: Staubbiederschlagsmessungen in Stuttgart. — Techn. Überwach. 3 (1962) Nr. 9, S. 349—352.
- GRIMM, W.: Reinhaltung der Luft bei der Verbrennung von Heizöl. — Öl- und Gasfeuerung 9 (1964) Nr. 3, S. 288—298.
- GROSS, P.: Die Beziehungen zwischen chronischen Lungenerkrankungen und der Luftverunreinigung in Großstädten. — Ref. in Staub-Reinh. Luft 26 (1966) Nr. 1, S. 41.
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. und STIX, E.: Kontinuierliche Bestimmung des Pollen- und Sporengehaltes der Luft. — Ber. Dt. Bot. Ges. 81 (1968) Heft 11, S. 528—538.
- GRÜN, W.: Verunreinigte Großstadtluft und ihre Wirkung auf Bauwerke. — Luftverunreinigung Düsseldorf 1965, S. 6—11.
- Grünflächen in der Großstadtregion. — Hrsg. von der Dt. Akademie für Städtebau und Landesplanung Landesgruppe Niedersachsen/Bremen, 1967.
- GRÜNWARD, P.: Streiflichter aus Münchner Brauereien. — münchen + technik 5/1966, S. 76—78.
- GRUNDE, G.: Die Bedeutung des Klimas für den industriellen Standort. — Diss. Univ. Jena 1953 und Gotha 1966, 2. Aufl.
- GRUNOW, J.: Der Luftaustausch in der Großstadt. — Z. des Ver. Dt. Ing. (VDI) 80 (1936) Nr. 3, S. 70—72.
- GRUPINSKI, L.: Erfahrungen bei Emissionsmessungen zur Bestimmung von Lösemitteldämpfen und Kohlenwasserstoffen. — Wasser-Luft-Betrieb 10 (1966) Heft 2, S. 77—80.
- GUDERIAN, R.: Reaktionen von Pflanzengemeinschaften des Feldfutterbaues auf Schwefeldioxidwirkungen. — In: Schriftenr. d. Landesanst. f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Essen 1966, Heft 4, S. 80—100.
- GUDERIAN, R. und STRATMANN, H.: Freilandversuche zur Ermittlung von Schwefeldioxidwirkungen auf die Vegetation. III. Teil — Grenzwerte schädlicher SO₂-Immissionen für Obst- u. Forstkulturen, sowie für landwirtschaftliche und gärtnerische Pflanzenarten. — Forschungsber. des Landes NRW Nr. 1920 (1968).
- GUDERIAN, R., VAN HAUT, H. und STRATMANN, H.: Experimentelle Untersuchungen über pflanzenschädigende Fluorwasserstoff-Konzentrationen. — Forschungsber. d. Landes NRW Nr. 2017 (1969).
- GUDERIAN, R. und VAN HAUT, H.: Nachweis von Schwefeldioxid-Wirkungen an Pflanzen. — Staub-Reinh. Luft 30 (1970) Nr. 1, S. 17—26.
- GUTHOF, O. und DEIMEL, M.: Die Schwefeldioxid-Belastung des Kölner Stadtgebietes in den Jahren 1964—1968. — Staub-Reinh. Luft 30 (1970) Nr. 1, S. 7—10.
- HAAR, U. DE.: Saure Regen durch unreine Luft. — Technik und Forschung 22 (1969) Nr. 135, S. 641.
- HAASE, P.: Die Schädigung von Nadelhölzern durch Abgase und Stadtklima. — Städtehygiene 11 (1960) Heft 4, S. 67—68.
- HADER, F.: Der Nebel in Wien als Erscheinung des Stadtklimas. — Bioklimat. Beibl. z. Met. Z. 4 (1937), S. 116—121.
- HADER, F.: Klima und Wohnen — Stadt- und Geländeklimatologie. — Heraklit-Rundschau, Radenstein/Kärnten, Nr. 73 (1965).
- HAJDUK, J.: Kvantitativne a kvalitatívne zmeny fytooenoz spôsobené tovarenskými exhalacsplođinami (Quantitative und qualitative Änderungen der Phytozönosen, verursacht durch Exhalationsprodukte von Fabriken). — Biologia 16 (1961) S. 404—419 (Bratislava).

- HAEFNER, H.: Los Angeles — Entwicklung und Probleme einer Metropole. — *Geographica helvetica* 25 (1970) Nr. 2, S. 67—77.
- HAMM, H.: Münchens moderne Fernwärmeversorgung. — *technik + münchen* (1967) Nr. 10, S. 155—157.
- HAMMJE, K.: Messungen der Staubsedimentation in Halle/S. und in umliegenden Industriegebieten. — *Z. f. Angew. Met.* 4 (1963) Nr. 8/10, S. 239—246.
- HANEL, J.: Untersuchungen an Pflanzen im Umkreis eines chemischen Werkes. — *Natur und Heimat* 28 (1968) Heft 3, S. 115—119.
- HANSCH, W.: Auswurfmessungen an Abfallverbrennungsanlagen. — *Techn. Überwach.* 6 (1965) Nr. 11, S. 397—399.
- HANSTEDT, W.: Luftverunreinigung — ein Problem der Stadt- und Landesplanung. — *Luftverunreinigung, Düsseldorf* 1960, S. 54—57.
- HAPKE, H.-J.: Veränderungen der Umwelt der Haus- und Wildtiere durch Gifte. — *Umschau in Wiss. und Technik* 70 (1970), Heft 1 S. 12.
- HARRIS, D. N., HUFFMAN, J. R. und WEILAND, J. H.: Das Problem der Luftverunreinigung in der Stadt New York in anderer Sicht. — *J. Air Poll. Contr. Ass.* 18 (1968) Nr. 6, S. 406 bis 410. Ref. in *Staub-Reinh. Luft* 29 (1969) Nr. 4, S. 168—169.
- HARTKAMP, H. und STRATMANN, H.: Untersuchungen über Stickstoffdioxid-Immissionen in einigen ausgewählten Bezirken des Landes Nordrhein-Westfalen. — *Schriftenr. d. Landesanst. f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Essen* 1969, Heft 14, S. 70—78.
- HASCH, R.: Die großstädtische Entwicklung Münchens, eine stadtgeographische Untersuchung. — *Diss. TH München* 1949.
- HASELHOFF, E.: Grundzüge der Rauchschenkunde. — Berlin 1932.
- HASELHOFF, E. und LINDAU, G.: Beschädigung der Vegetation durch Rauch — *Handbuch zur Erkennung und Beurteilung von Rauchsäden.* — Leipzig 1903.
- HASELHOFF, E., BREDEMANN, G. und HASELHOFF, W.: Entstehung, Erkennung und Beurteilung von Rauchsäden. — Berlin 1932.
- HAUGSJA, P. K.: Über den Einfluß der Stadt Oslo auf die Flechtenvegetation der Bäume. — *Nyt. Mag. f. Naturvidensk.* 68 (1930) S. 1—116.
- HAUT, H. VAN: Nachweis mehrerer Luftverunreinigungskomponenten mit Hilfe von Blätterkohl (*Brassica oleracea acephala*) als Indikatorpflanze. — *Staub-Reinh. Luft* 32 (1972) Nr. 3, S. 109—111.
- HAUT, H. VAN und STRATMANN, H.: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Stickstoffdioxid auf Pflanzen. — *Schriftenr. d. Landesanst. f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Essen* 1967, Heft 7, S. 50—70.
- HAUT, H. VAN und STRATMANN, H.: Farbratfelatlas über Schwefeldioxid-Wirkungen an Pflanzen. — Hrsg. Landesanst. f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Essen 1969.
- HECK, W. W. and HEAGLE, A. S.: Measurement of photochemical air pollution with a sensitive monitoring plant. — *J. Air Poll. Control Ass.* 20 (1970) Nr. 2, S. 97—99. (Ref. in *Staub-Reinh. Luft* 30 (1970) Nr. 9, S. 395).
- HEIGL, F.: Die speziellen Klimaverhältnisse städtischer Anlagen. — *Dt. Bauzeitschr. (DBZ)* 17 (1970) Heft 4, S. 671—686.
- HEIMSOETH, W.: Was ist Smog? Gefährlichkeit kritischer Wetterlagen mit mangelndem Luftwechsel. — *VDI-Nachr.* 19 (1965) Nr. 8, S. 1 und 7.
- HELLER, A. und KETTNER, H.: Forschungsarbeiten über Blei in der Luft und im Staubbiederschlag. — *Schriftenr. d. Ver. f. Wasser-, Boden- und Lufthyg.* (1969) Nr. 29, S. 3—61.
- HENNEBO, D.: Staubfilterung durch Grünanlagen. — *Wiss. Ber., Folge II: Bauwesen* (1955) Heft 19.

- HENTSCHEL, G.: Lufthygienische Gesichtspunkte für die Anlage von Industrien und Wohnbezirken. — *Energietechnik* 8 (1958) S. 491—494.
- HENTSCHEL, G.: Bioklimatische Fragen unter Berücksichtigung von Luftverunreinigungen. — *Z. F. Angew. Met.* 4 (1963) Nr. 8/10, S. 310—312.
- HERB, H.: Inversionen, ein Problem für die Luftreinhaltung. — *Staub* 24 (1964) Nr. 5, S. 182 bis 186.
- HERB, H.: Statistische Untersuchung über die Häufigkeit von Inversionen, Nebel und Hochnebel über München. — Hrsg. Oberste Baubehörde München 1964.
- HERBERICH, E.: Luftverunreinigung im Stadtgebiet von München. — Unveröff. Diplomarbeit Univ. Gießen, 1968.
- HERBST, W.: Immissionsschutz durch Bäume und Sträucher. Der Beitrag von Grünanlagen zur Reinhaltung der Luft. — *VDI-Nachr.* 22 (1968) Nr. 8, S. 1 und 2.
- HERRMANN, H.: Allgemeine kritische Betrachtungen zur Frage der Luftverunreinigung aus industriehygienischer Sicht. — *Zentralbl. f. Arbeitsmed. und Arbeitsschutz* 14 (1964) Nr. 5, S. 101—105.
- HERMANN, P. und RAPP, I.: Emission von Fluorverbindungen aus Industrieanlagen. — *Techn. Überw.* 8 (1967) Nr. 7, S. 235—237.
- HERZOG, J.: Kältesummen von München. — *Met. Rundschau* 33 (1969) Nr. 6, S. 113—114.
- HESS, W.: Wie stark sind die Feuerungsabgase an der Luftverunreinigung in unseren Städten beteiligt? — *Schweiz. Bl. f. Heizung und Lüftung* 31 (1964) Nr. 4, S. 1—6.
- HESS, W.: Übersicht über die Luftuntersuchungen in der Stadt Zürich von 1961—1965. — *Z. Präventivmed.* 11 (1966) Nr. 2, S. 25—43.
- HESS-BECK: Forstschutz. — Bd. 2, 5. Aufl., Neudamm 1930.
- HESS, P. und BREZOWSKY, H.: Katalog der Großwetterlagen Europas. — *Ber. Dt. Wetterd.* Nr. 113 (1969).
- HESSE, W.: Neue städteklimatologische Untersuchungen in Leipzig. — *Ann. d. Met.* (1951) Heft 1—6, S. 62—64.
- HETTICHE, H. O.: Pflanzenschäden durch Kraftfahrzeugabgase. — *Städtehygiene II* (1960) Heft 12, S. 238—239.
- HETTICHE, H. O.: Gesundheit und Großstadtluft. — *Staub* 21 (1961) Nr. 2, S. 48—50.
- HETTICHE, H. O.: Vergleichende Betrachtung zur Belastung der Luft durch Ruß und Kohlenwasserstoffe in der BRD und anderen Ländern. — *Staub* 23 (1963) Nr. 3, S. 136—140.
- HETTICHE, H. O.: Luftverunreinigung und Gesundheit. — In: *Nationalber. d. BRD zur Europ. Konferenz über Luftverunreinigung 1964 in Straßburg*. Hrsg. Bundesminist. f. Gesundheitsw. und VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf 1965, S. 3—15.
- HETTICHE, H. O.: Zur Situation in London und Los Angeles. — *Südd. Zeit., Beil. „Der Mensch und die Technik“* vom 4. 4. 1966.
- HETTICHE, H. O.: Luftverunreinigung. — In: *Gärtner-Replöh, Lehrbuch der Hygiene*, 2. Aufl., Stuttgart 1969, S. 211—221.
- HEYER, M.: Witterung und Klima. Eine allgemeine Klimatologie. — Leipzig 1963.
- HILL, A. C.: Vegetation a sink for atmospheric pollutants. — *J. Air Pollution Control Assoc.* 21 (1971) Nr. 6, S. 341—346; ref. in *Staub-Reinh. Luft* 32 (1972) Nr. 3, S. 123.
- HINDAWI, I. J.: Injury by sulfur dioxide, hydrogen fluoride, and chlorine as observed and reflected on vegetation in the field. (Unters. in New York) *J. Air Poll. Control Ass.* 18 (1968) Nr. 5, S. 307—312, Ref. in *Staub-Reinh. Luft* 29 (1969) Nr. 1, S. 40—41.
- HOEG, O. A.: Zur Flechtenflora von Stockholm. — *Nyt. Mag. f. Naturvidensk.* 75 (1936) S. 129—136.
- HÖFLER, A.: Abgase gefährden Botanischen Garten in München. — *Südd. Zeit.* 26 (1970) Nr. 260 v. 30. 10. 1970, S. 15.

- HÖGENAUER, G.: Erdgas setzt neue Maßstäbe im Großraum München. — Z. Gasverwendung 18 (1967) Nr. 76, S. 238—242.
- HÖLLERER, I. und WIMMER, H.: Münchens Stadtwald und seine Erholungseinrichtungen. — Allgem. Forstz. 22 (1967) Nr. 35, S. 592—594.
- HÖSCHELE, K.: Ergebnisse von Messungen des Schwefeldioxidgehaltes der Luft in Karlsruhe und ihre statistische Bearbeitung. — Staub 25 (1965) Nr. 3, S. 102.
- HOFMANN, G.: Die Thermodynamik der Taubildung. — Ber. d. Dt. Wetterd. 3 (1955) Nr. 18.
- HOFMANN, G., KRAUS, H. und MANIER, G.: Ergebnisse der Messungen von Temperatur- und Windsichtung der meteorologischen Station b. Forschungsreaktor München-Garching. — Wiss. Mitt. d. Met. Inst. Univ. München, Nr. 8, Nov. 1962.
- HOPPE, E.: Aktion Saubermann machte Londons Nebel wieder rein. — Münchner Abendztg. vom 31. 8. 1970.
- HORN, A. von: Wildtierverluste durch Gift. — Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzdienst 19 (1967) Heft 2, S. 17—21 (Braunschweig).
- HORN, K.-W.: Einige Bemerkungen zur Frage der Festlegung sog. „Hygienischer Schutzzonen“ für Zwecke der Stadt- und Gebietsplanung. — Z. f. Angew. Met. 4 (1963) Nr. 8/10, S. 260—262.
- HORN, K.-W.: Zur Frage der hygienisch zulässigen Grenzkonzentrationen für Luftverunreinigungen. — Z. f. Angew. Met. 5 (1965), Sonderheft, S. 39—43.
- HORN, K.-W.: Über die Auswirkung der Luftverunreinigung auf die Bevölkerung. — Gesundh.-Hyg. 14 (1968) S. 410.
- HORNIG, E.: Gedanken zur Mitarbeit von Medizinern und Hygienikern bei der städtebaulichen Planung. — Städtehygiene 14 (1963) Nr. 7, S. 121—128.
- HORNSMANN, E.: Allen hilft der Wald. — München 1958.
- HORNSMANN, E.: Wie Münchner Bürger sich ihren Wald wünschen. — Allgem. Forstz. 22 (1967) Nr. 35, S. 598—599.
- HORST, K. und BÜHNERMANN, G.: Immissionsschutz und Bauleitplanung. — Luftverunreinigung, Düsseldorf 1966, S. 42—45.
- House Martins and lichens in London. — Smokeless Air 39 (1968) Nr. 145, S. 167—168.
- HUCH, R.: Geruchsbekämpfung bei der Erzeugung und Herstellung von Nahrungs- und Genußmitteln. — In: Luftverunreinigung, Düsseldorf 1969, S. 20—26.
- HUMBOLDT, A. von: Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse. — Tübingen 1806. Hrsg. v. M. Dittrich, Nr. 247, Ostwalds Klassiker der exakten Wissensch., Leipzig 1959.
- ILZHÖFER, H. und GIESE, H. J.: Straßenluftuntersuchungen in München. — Archiv. f. Hygiene 119 (1935), S. 195.
- IWANOW, I. M., KOITSCHEW, G., KURTSCHATOW, G., PETROW, G. und GRIGORIJEV, D.: Untersuchungen über Luftverunreinigungen in Sofia. — Angew. Met. 4 (1963) Nr. 8/10, S. 304—305.
- JAHN, E.: Raumordnung und Gesundheit. — Bundesgesundheitsbl. 8 (1965) Nr. 4, S. 49—55.
- JAHN, E.: Die Bäume in unseren Städten im sozialhygienischen Aspekt. — Städtehygiene 17 (1966) Heft 10, S. 223—225.
- Jahresberichte der Gewerbeaufsichtsbehörden Bayerns 1965—1971. Hrsg. Bayer. Staatsministerium f. Arbeit und Sozialordnung München.
- JAROSCH, K.: Die städtehygienische Situation im Raume Linz. — Städtehygiene 18 (1967) Heft 2, S. 25—28.
- JÖRG, F.: Die Luftverunreinigung und ihr Einfluß auf die Vegetation — eine mikroskopische Studie am Beispiel der Karlsruher Waldstadt. — Garten u. Landschaft 78 (1968) Heft 12, S. 417—420.
- JONES, W.: Some observations on the Lichen flora of tree boles with special reference to the effects of smoke. — Rev. Bryologique et Lichénologique 21 (1952) S. 96—115.

- JOST, D.: Eine austauscharme Wetterlage im Gebiet von Frankfurt/M. — Staub-Reinh. Luft 30 (1970) Nr. 7, S. 296—298.
- JÜRGING, P.: Kartierung von epiphytischen Flechtenwuchszonen in München. — Unveröff. Diplomarbeit TH München, 1968.
- JUNG, H.: Luftverunreinigung und industrielle Staubbekämpfung. — 2. Aufl. Berlin 1968.
- JUNGE, Ch.: Atmosphärische Spurenstoffe und ihre Bedeutung für den Menschen. — Sympos. v. 18.—19. 6. 1966 i. der Klimaphysiol. Station St. Moritz-Bad (Engadin). *Experientia* suppl. 13, Basel und Stuttgart 1967.
- KÄHLER, K. und BRANDTNER, G.: Messungen des Staubgehaltes der Luft in Bad Tölz. — *Bio-klimat. Beibl.* 5 (1938) S. 58—62.
- KÄMPFER, M.: Rauchsäden am Walde. Filterwirkung, Luftverunreinigung, Luftreinhaltung. — *Bibliogr.* Nr. 1 (1966) S. 2—27. Hrsg. Bundesanst. f. Vegetationsk., Naturschutz und Landschaftspflege, Bad Godesberg.
- KÄMPFER, M.: Bedeutung des Grüns für Gesundheit und Erholung der Stadtbevölkerung. — *Bibliogr.* Nr. 13 (1968) S. 3—35. Hrsg. Bundesanst. f. Vegetationsk., Naturschutz und Landschaftspflege, Bad Godesberg.
- KAHL, H., MUTSCHLER, W., PAUN, D. und VOLLBRECHT, F.: Lufthygienische Untersuchungen in der Hauptstadt der DDR. — *Z. f. Angew. Met.* 4 (1963) Nr. 8/10, S. 318—319.
- KAMPF, W.-D. und SCHMIDT, W.: Bestimmung des Staubbiederschlages durch transparente Haftfolien in Berlin. — *Staub-Reinh. Luft* 27 (1967) Nr. 9, S. 395—399.
- KATZ, M.: Die physikalische und chemische Natur der Luftverunreinigung. — In: *Die Verunreinigung der Luft-Ursachen, Wirkungen, Gegenmaßnahmen.* Hrsg. World Health Organization, Weinheim 1964, S. 91—151.
- KAUNZNER, W.: Untersuchungen über die Luftverunreinigung der Stadt Erfurt und ihrer Umgebung durch Schwefeldioxyd (SO₂). — *Diss. Med. Akademie Erfurt* 1963.
- KEIL, K.: Inversionen und ihre Bedeutung für die Luftverschmutzung. — *Umschau in Wiss. u. Technik* 63 (1963) Heft 23, S. 730—733.
- KEIL, K.: Auf- und Abbau von Bodeninversionen. — *Met. Rundschau* 17 (1964) Nr. 2, S. 60—61.
- KELLER, H.: Beiträge zur Erfassung der durch schweflige Säure hervorgerufenen Rauchsäden an Nadelhölzern. — *Forstwiss. Forschungen* (1958) Heft 10, S. 5—63.
- KELLER, Th.: Industrielle Immissionen und Forstwirtschaft. — *Schweiz. Z. f. Forstwes.* 115 (1964) Heft 4, S. 228—255.
- KERSHAW, K. A.: Flechtenkunde. — *Endeavour* (dt. Ausg.) 22 (1963) Nr. 86, S. 65—69.
- KETTNER, H.: Der Staub der atmosphärischen Luft als Umweltfaktor. — In: *Schriftenr. Ver. Wasser-, Boden- u. Lufthyg.* (1964) Nr. 22, S. 18—40.
- KETTNER, H.: Über den Einfluß der Witterungsbedingungen auf die Schwebstaubkonzentration in der Außenluft. — *Städtehygiene* (1966) S. 125—128.
- KETTNER, H.: Maximale Immissions-Konzentrationen und Immissionsgrenzwerte. — *Staub-Reinh. Luft* 30 (1970) Nr. 9, S. 376—377.
- KIKUTH, W.: Die biologische Wirkung von Staub und gasförmigen Immissionen. — Köln 1963.
- KIRSCHBAUM, U.: Auswirkung stadteigener Faktoren auf die Verbreitung von Flechten und Algen im Raum Frankfurt/M. — Unveröff. Staatsexamensarbeit Univ. Gießen 1969.
- KIRSCHBAUM, U. und KLEE, R.: Flechtenexplantate und natürliche Flechtenvorkommen. — In: *Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain*, 2. Arbeitsbericht 1971 S. 64—66. Hrsg. Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, Frankfurt a. Main.
- KIRSCHBAUM, U., KLEE, R. und STEUBING, L.: Flechten als Indikatoren für die Immissionsbelastung im Stadtgebiet von Frankfurt/M. — *Staub-Reinh. Luft* 31 (1971) Nr. 1, S. 21—24.

- KISSER, J. und HALBWACHS, G.: Raumplanung im Hinblick auf Schädigung der Vegetation durch Luftverunreinigungen. — Ber. Raumforschung und -planung Wien (ÖGRR) 12 (1968) Heft 2, S. 3—9.
- KLEE, R.: Die Wirkung von gas- und staubförmigen Immissionen auf Respiration und Inhaltsstoffe bei *Parmelia physodes*. — *Angew. Bot.* 44 (1970) Heft 5/6, S. 253—261.
- KLEMENT, O.: Zur Flechtenvegetation der Oberpfalz. — *Ber. d. Bayer. Bot. Ges.* 28 (1950) S. 1—26.
- KLEMENT, O.: Der ökologische Zeigerwert der Flechten in der Forstwirtschaft. — *Forstarchiv* 22 (1951) Heft 9/10, S. 138—140.
- KLEMENT, O.: Zur Flechtenflora Schwabens. — *Ber. der Naturf. Ges. Augsburg* 1952, Nr. 5, S. 45—91.
- KLEMENT, O.: Zur Flechtenvegetation Unterfrankens. — *Nachr. des Naturw. Mus. d. Stadt Aschaffenburg* (1953) Nr. 41, S. 1—24.
- KLEMENT, O.: *Prodomus der mitteleuropäischen Flechtengesellschaften*. — *Feddes Repert., Beih.* 135 (1955) S. 5—194.
- KLEMENT, O.: Zur Flechtenflora des Kölner Domes. — *Decheniana* 109 (1956) Heft 1, S. 87 bis 90.
- KLEMENT, O.: Die Flechtenvegetation der Stadt Hannover. — *Beitr. z. Naturk. Niedersachsens* 11 (1958) S. 56—60.
- KLEMENT, O.: Vom Flechtensterben im nördlichen Deutschland. — *Ber. Naturhist. Ges. Hannover* 110 (1966) S. 55—68.
- KLUG, W.: Ausbreitung und Anreicherung von emittierten Schadgasen in der Atmosphäre. — *IWL-Forum* 65, Köln 1966, S. 375—380.
- KNABE, W.: Kiefernwaldverbreitung und Schwefeldioxid-Immissionen im Ruhrgebiet. — *Staub-Reinh. Luft* 30 (1970) Nr. 1, S. 32—35.
- KNAUER, A.: SO₂-Messungen im Stadtgebiet von Halle. — *Z. f. Angew. Met.* 4 (1963) Nr. 8/10, S. 305—310.
- KNETSCH, G.: Geologie am Kölner Dom. — *Geol. Rundschau* 40 (1952) Heft 1, S. 57—73.
- KNOP, W.: Altölregenerierung und Luftreinhaltung. — *Wasser-Luft-Betrieb* 10 (1966) Heft 2, S. 83—87.
- KNOP, W., TESKE, W. und KÖRNER, H.-J.: *Technik der Luftreinhaltung*. — Mainz 1965.
- KOCH, H.: *Industriemeteorologie*. — Berlin 1969.
- KÖRNER, H.-J.: Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Hessen. Aus der Meß- und Prüfstelle für die Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen. — *Wasser-Luft-Betrieb* 10 (1966) Heft 7, S. 479—481.
- KÖRNER, H.-J.: Zur SO₂-Immissionsbelastung im Stadtgebiet von Frankfurt/M. — *Wasser-Luft-Betrieb* 10 (1966) Heft 10, S. 694—696.
- KÖRNER, H.-J.: Untersuchung über die zeitliche Veränderung des Staubpegels in einem Frankfurter Stadtbezirk. — *Wasser-Luft-Betrieb* 11 (1967) Heft 5, S. 286—288.
- KÖRNER, H.-J.: Staubbelastung einzelner Teilgebiete des Landes Hessen. — *Gesundh.-Ing.* 89 (1968) Heft 3, S. 81—83.
- KÖRNER, H.-J.: Staubniederschlagsmessungen im Gebiet von Kassel. — *Gesundh.-Ing.* 91 (1970) Heft 12, S. 351—353.
- KOFLER, L., JACQUARD und MARTIN, J.-F.: Influence de fumées d'usines sur la germination des spores de certain Lichens. — *Bull. Soc. Bot. France* 116 (1969) S. 217—230.
- KOGLIN, W.: *Beth-Handbuch Staubtechnik*. — Hrsg. Maschinenfabr. Beth GmbH, Lübeck 1964.
- KOLAR, J.: Der Einfluß der meteorologischen Größen auf die Schwefeldioxid-Immissionen in Städten. — *Wärme* 72 (1966) Heft 3, S. 72—78.

- KOLAR, J.: Die Verschmutzung der Luft durch Staub und Schwefeldioxid in einem Stadtteil von München, Teil I. — *Wärme* 72 (1966) Heft 4, S. 140—144.
- KOLAR, J.: Beitrag zur Frage der Höhenabhängigkeit der Staub- und Schwefeldioxid-Immission in Stadtgebieten (München). — *Wärme* 72 (1966) Heft 3, S. 92—98.
- KOLAR, J.: Fehler bei der Staubniederschlagsmessung mit der verbesserten Haftfolienmethode. — *Techn. Überwach.* 8 (1967) Nr. 5, S. 162—166.
- KOLAR, J.: Die Verschmutzung der Luft durch Staub und Schwefeldioxid in einem Stadtteil von München, Teil II. — *Wärme* 73 (1967) Heft 1, S. 14—18.
- KOLAR, J.: Die Zunahme der Schwefeldioxid-Immission bei langandauernden, austauscharmen Wetterlagen. — *Staub-Reinh.-Luft* 29 (1969) Nr. 12, S. 508—510.
- KOLAR, J.: Untersuchungen über die Ausbreitung von Schwefeldioxid in dicht bebauten Stadtgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Emission aus niedrigen Quellhöhen. — Diss. TH München 1969.
- KOLBIG, J.: Zum Problem der Reinhaltung der Luft. — *Z. f. den Erdkundeunterricht* 21 (1969) Heft 4, S. 121—127.
- KORTE, F., KLEIN, W. und DREFAHL, B.: Technische Umweltchemikalien, Vorkommen, Abbau und Konsequenzen. — *Naturwiss. Rundschau* 23 (1970) Heft 11, S. 445—457.
- KRÄMER, J.: Schäden und Wirkungsgrenzen der Luftverunreinigung. — In: RKW-Berichtsreihe Auslandsdienst Nr. A 26 „Die Reinhaltung der Luft“, Ber. über eine Studienreise dt. Fachleute in USA. Frankfurt/M. 1963, S. 29—45.
- KRAMM, E.: Flechten. — Neue Brehmbücherei, Leipzig 1953.
- KRATZER, P. A.: Das Stadtklima. — 2. Aufl. Braunschweig 1956.
- KRATZER, P. A.: Beiträge zum Münchner Stadtklima. — *Wetter und Leben* 20 (1968) Heft 5/6, S. 110—116.
- KREBS, H. D. und DOEGE, W.: Extreme Fälle der Sichtverschlechterung in Neubiberg durch Stadtdunst von München. — *Met. Rundschau* 5 (1952) Nr. 1 S. 12—14.
- KREMPELHUBER, A. VON: Die Lichenen-Flora von Bayern. — *Denkschr. der K. bayer. bot. Ges. zu Regensburg* (1861) IV. Bd., S. 1—277.
- KRUPPE, H.: Internationaler Kongress „Reinhaltung der Luft“ in London. — *Techn. Überwach.* 8 (1967) Nr. 2, S. 70—71.
- KRUSENSTJERNA, E. VON: Bladmossvegetation och Bladmossflora i Uppsala-trakten. — *Acta Phytogeogr. Suec.* 19 (1945) Uppsala.
- KÜHL, U. und WAGNER, H.-M.: Untersuchungen über die Wirkung von Photooxidantien auf *Petunia Hybrida*. — *Staub-Reinh.-Luft* 30 (1970) Nr. 9, S. 382—383.
- KÜHN, E.: Stadtplanung und Reinhaltung der Luft. — *Staub* 23 (1963) Nr. 3, S. 214—217.
- KÜHN, E.: Luftverunreinigung und Stadtplanung. — In: Nationalber. d. BRD zur Europ. Konferenz über Luftverunreinigung 1964 in Straßburg. Hrsg.: Bundesminist. f. Gesundheitsw. u. VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf 1965, S. 205—212.
- KÜHN, E.: Stadtplanung und Reinhaltung der Luft. — In: *Lehrgangshandb. „Reinh. der Luft“* Beitrag BW 650, Essen 1966.
- KÜPPERS, H.: Das Recht der Luftverunreinigung. — Diss. Univ. Köln 1962.
- KUTSCHER, W. und TOMINGAS, R.: Untersuchungen von Rußen und Luftstäuben im Mannheimer Raum. — *Staub-Reinh. Luft* 26 (1966) Nr. 6, S. 230—237.
- LAHMANN, E.: Ozon in städtischer Luft. — *Umschau in Wiss. u. Technik* 69 (1969) Heft 21, S. 693—694.
- LAHMANN, E. und HÄNTZSCH, S.: Luftverunreinigung durch Kohlenwasserstoffe. — *Städtehygiene* 20 (1969) Heft 10, S. 242—246.

- LAHMANN, E.: Luftverunreinigung durch Schwefeldioxid in Städten der Bundesrepublik Deutschland — Ergebnisse von 1968 bis 1969. — Bundesgesundheitsbl. (1970) Nr. 26 S. 375—378.
- LAHMANN, E.: Bericht über spezielle luftchemische Untersuchungen im Raum Untermain in der Zeit von April bis Juni 1971. — In: Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain, 2. Arbeitsbericht 1971, S. 36—39. Hrsg. Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, Frankfurt a. Main.
- LAHMANN, E. und JANDER, K.: Formaldehyd-Bestimmungen in Straßenluft. — *Gesundh.-Ing.* 89 (1968) Heft 1, S. 18—21.
- LAHMANN, E. und MÖLLER, M.: Luftverunreinigung in Städten durch bleihaltige Stäube. *Bundesgesundheitsbl.* 10 (1967), Heft 17, S. 261—264.
- LAHMANN, E., MORGENSTERN, W. und GRUPINSKI, L., Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. — *Schriftenreihe. Ver. f. Wasser-, Boden- u. Lufthyg.* (1967) Nr. 25, Stuttgart.
- LAMP, R.: Die jährlichen Schwankungen der Nebelhäufigkeit an Deutschen Verkehrsflughäfen. *Met. Rundschau* 22 (1969) Heft 6, S. 177—179.
- LAMP, R.: Zur Wiederholung von Nebellagen. — *Met. Rundschau* 23 (1970) Heft 5, S. 141—144.
- LAMPADIUS, F.: Die lufthygienische Bedeutung des Waldes in ihrer Abhängigkeit von schädlichen Raucheinwirkungen auf den Wald. — *Z. f. Angew. Met.* 4 (1963) Heft 8/10, S. 248—249.
- LAMPADIUS, F.: Untersuchungen über die filternde Wirkung des Waldes gegenüber Luftverunreinigungen durch feste und gasförmige Stoffe. — *Soz. Forstwirtschaft* 15 (1965) Nr. 9, S. 285.
- LAMPADIUS, F.: Die Bedeutung der SO₂-Filterung des Waldes im Blickfeld der forstlichen Rauchschadentherapie. — *Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden* 17 (1968) Nr. 2, S. 503—511.
- Landesstraf- und Verordnungsgesetz 3. Abschnitt „Schutz vor schädlichen Einwirkungen“ vom 25. 10. 1966 i. d. F. vom 30. Januar 1967. — *Bayer. Gesetz- und Ordnungsblatt* (1967) Nr. 6, S. 243. Neufassung durch Bayer. Immissionsschutzgesetz (Entwurf 1974).
- Landwirtschaft in der Millionenstadt. — *Münchner Stadtanzeiger* (1967) Nr. 2, S. 3 und (1971) Nr. 13, S. 1.
- LANG, C.: Das Klima von München nach 67jährigen Beobachtungen. — München 1883.
- LANGE, O. L.: Hitze- und Trockenresistenz der Flechten in Beziehung zu ihrer Verbreitung. — *Diss. Univ. Göttingen* 1952 und *Flora* 140 (1953) S. 39—97.
- LANGE, O. L.: Einige Messungen zum Wärmehaushalt poikilohydrer Flechten und Moose. — *Arch. f. Met. Geophysik und Biokl. (B)*, 5 (1953) S. 182—190.
- LANGE, O. L.: Die funktionelle Anpassung der Flechten an die ökologischen Bedingungen arider Gebiete. — *Ber. Dt. Bot. Ges.* 82 (1969) Heft 1/2, S. 3—22.
- LANGMANN, R. und KETTNER, H.: Schwebstaubgehalt der Luft in Mülheim/Ruhr. — *Gesundh.-Ing.* 84 (1965) Nr. 8, S. 247—250.
- LAUNDON, J. R.: A Study of the Lichen Flora of London. — *The Lichenologist* Vol. 3 (1965 bis 1967) S. 277—327.
- LE BLANC, F.: Influence de l'atmosphère polluée des grandes agglomérations urbaines sur les épiphytes Corticoles. — *Rev. canad. Biol.* 20 (1961) Ottawa.
- LE BLANC, F.: Epiphyten und Luftverunreinigung. — Vortrag auf dem Europ. Symposium über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Pflanzen und Tiere, April 1968 in Wageningen/Holland.
- LE BLANC, F. and RAO, D. N.: Réactions de quelques lichens et mousses épiphytiques à l'anhydride sulfureux dans la région Sudburg, Ontario. — *The Bryologist* 69 (1966).
- Lebt man in München länger? — *Münchner Stadtanzeiger* 23 (1967) Nr. 7, S. 1 u. 2.

- LETTAU, H.: Die Wirksamkeit einer Großstadt als Quelle von Luftverschmutzung. — Gerl. Beitr. f. Geophysik 31 (1931) S. 387—397.
- LETTAU, H.: Atmosphärische Turbulenz. — Leipzig 1939.
- LEIGHTON, F. A.: Geographical aspects of air pollution. — Geogr. Rev. 56 (1966) Nr. 2, S. 131—174.
- LEITHE, W.: Die Analyse der Luft und ihrer Verunreinigungen in der freien Atmosphäre und am Arbeitsplatz. — Stuttgart 1968.
- LIESE, W.: Gesundheitstechnisches Taschenbuch. — 2. Aufl., München 1969.
- LIESEGANG, F.: Der natürliche Standort für den Anbau von Körner- und Silomais in Westdeutschland. — Diss. TH München 1965.
- LINDAU, G.: Die Flechten (Kryptogamenflora für Anfänger, Bd. 3). — 2. Aufl., Berlin 1923.
- LINKE, F.: Das Klima der Großstadt. — In: de Rudder, B. und Linke, F. Biologie der Großstadt, S. 75—90. Dresden und Leipzig 1940.
- LÖBNER, A.: Horizontale und vertikale Staubverteilung in einer Großstadt. — Diss. Leipzig 1935 und veröff. Geophys. Instit. Leipzig (1935) Heft 2, S. 55—100.
- LÖBNER, A.: Ergebnisse von Staubniederschlagsmengen an verschiedenen Orten Deutschlands in den Jahren 1953—1959. — Schriftenr. d. Ver. f. Wasser-, Boden- und Lufthyg. — (1960) Nr. 15, S. 1—8.
- Londons Rauch verpeffert alles. Ein geschichtlicher Überblick über den Kampf gegen die Luftverunreinigung. — VDI-Nachrichten Nr. 14 vom 7. 4. 1965.
- LUCKAT, S.: Die Wirkungen von Luftverunreinigungen beim Steinerfall. — Staub-Reinh. Luft 33 (1973) Nr. 7, S. 283—285.
- LÜBKE, M.: Gerät zur kontinuierlichen Ozonmessung. — Staub-Reinh. Luft 30 (1970) Nr. 3, S. 121—123.
- Luftverunreinigung: Berichte von der ersten europäischen Tagung über den Einfluß der Luftverunreinigung auf Pflanzen und Tiere. Wageningen 1968. — Hrsg.: Centre for Agricult. Publ. and Document. Wageningen/Niederl. 1969.
- LUNDSTRÖM, H.: Luftförorenings inverkam pa epiphytfloran hos barrträd i Stockholmsområdet (The effect of air pollution on the epiphytic flora of conifers in the Stockholm region). — Studia forest. Suecica (1968) Nr. 56.
- LUTZ, F.: Land um die Großstadt, Bd. 1. Von der Naturlandschaft zum modernen Wirtschaftsraum. — München 1962.
- MÄGDEFRAU, K.: Flechtenvegetation und Stadtklima. — Naturw. Rundschau, 13 (1960) Heft 6, S. 210—214.
- MÄGDEFRAU, K.: Lichenes, Flechten. — In: Strasburger: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, 29. Aufl. Stuttgart 1967, S. 473—476.
- MAIER-BODE, H.: Verteilung des DDT und anderer Insektizide in unserer Umwelt. — Umschau in Wiss. u. Technik 69 (1969) Heft 23, S. 768.
- Wetterradarbeobachtungen in Berlin.— Wetter u. Leben 16 (1964) Heft 7/8, S. 147—153.
- MALKOWSKI, G.: Analyse des Stadteinflusses auf die Niederschlagstätigkeit nach mehrjährigen
- MANSCHINGER, H.: Quellen der Luftverunreinigung und allgemeine Begriffsbestimmungen. — Mitt. Forst. Bundes-Versuchsanst. Mariabrunn, 1966, Nr. 73, S. 49—55.
- MARTIN, J.-F. et JACQUARD, F.: Influence des fumées d'usines sur la distribution des lichens dans la vallée de la Romanche (Isère). — Poll. atmosph. 10 (1968) Nr. 38, S. 95—99.
- MATTICK, F.: die Veränderungen der Flechtenflora von Dresden seit 1799. — Feddes repert. spec. novarum regni vegetabilis, Beih. 91 (1937) S. 11—26.
- MATTICK, F.: Alte und neue Probleme der Lichenologie. — Ber. Dt. Bot. Ges. 64 (1951) S. 93—107.
- MATTICK, F.: Wuchs- und Lebensformen, Bestand und Gesellschaftsbildung der Flechten. — Bot. Jahrb. 75 (1952) S. 378—424.

- MATTICK, F.: Lichenologische Notizen. — Ber. Dt. Bot. Ges. 66 (1953) S. 263—276.
- MATTICK, F.: Lichenes. — In: Engler, A.: Syllabus der Pflanzenfamilien, I. Bd., 12. Aufl., S. 204—218, Berlin 1954.
- MAURER, W., KARL, R., LACKNER, L. und EHRENDORFER, F.: Rindenflechten und Luftverunreinigung im Stadtgebiet von Graz. — In: Reinhaltung der Luft, Beitr. über Graz, Heft 1 (1969) S. 23—48. Hrsg. Magistrat der Stadt Graz, Baupolizeiamt.
- MAYER, G. O.: Das Umland Münchens. — Diss. TH München 1965.
- MAYER, L.: Reichweite von Industriestäuben. — Wasser—Luft—Betrieb 10 (1966) Heft 9, S. 231—231.
- MCCORMICK, R. A.: Meteorology and urban air pollution. — WMO-Bull. Genf 18 (1969) Nr. 3, S. 155—165.
- MCKEE, C. und BIEBERSDORF, F. W.: Vegetationssymptome als Maß für Luftverunreinigung. Ölfuehrung 6 (1961) Nr. 7, S. 555—557.
- MELDAU, R.: Besondere lufttechnische Aufgaben der Städte. — Der Städtetag 10 (1957) S. 549—554.
- MELDAU, R.: Handbuch der Staubtechnik. — Bd. I und II, Berlin 1958.
- MEMETRIER, L. und PELLETIER, J.: Die Luftverunreinigung im Pariser Gebiet und seine Auswirkungen auf die Gesundheit. — Poll. atmosph. 7 (1965) Nr. 28, S. 530—565.
- MERZ, O.: Verunreinigung von Luft und Wasser bei Herstellung und Verarbeitung von Lacken aller Art. — Farbe und Lack 71 (1965) Nr. 10, S. 822—830.
- MERZ, W.: Jonoflux-Registrierungen des SO₂-Gehaltes der Luft München-Perlacher Forst, Forstbotan. Institut München und Buttermelcherstraße in München 1961. — Sonderdr. des Met. Inst. d. Univ. München 1962.
- MIDDLETON, J. T.: Luftgüte-Kriterien für Kohlenmonoxid. — Hrsg. U. S. Min. f. Gesundheit, Erziehung und Wohlfahrt-Bundesamt für Luftreinhaltung, — Washington 1970. Übers. i. A. des Bundesmin. des Innern, Bonn 1971.
- MIECK, I.: Luftverunreinigung und Immissionsschutz in Preußen bis zur Gewerbeordnung. — Technikgesch. 34 (1967) Nr. 1, S. 36—37.
- MIELKE, U.: Epixyle Flechten in der Stadt Magdeburg. — Hercynia N. F. 8 (1971) Nr. 2, S. 172—177.
- MOBERG, R.: Luftföroreningars inverkan pa epifytiska lavar i Köpmanholmen. — Svensk. Bot. Tidskr., 62 (1968) Nr. 1, S. 169—196.
- MORIK, J.: Probleme der Verhütung von Luftverunreinigungen in Ungarn. — Z. f. Angew. Met. 4 (1963) Nr. 8/10, S. 274—279.
- MROSE, H.: Die Verbreitung baumbewohnender Flechten in Abhängigkeit vom Sulfatgehalt der Niederschlagswässer. — Bioklimat. Beibl. d. Met. Z. 8 (1941) S. 58—61.
- MÜLLER, E.: Kleinwetterlagen in München 1959—1964, Teil 1 u. 2. — Hrsg. Dt. Wetterdienst 1965/67.
- MÜLLER, E.: Versuch einer Abschätzung der Verteilung der Luftverunreinigung in Deutschland aus Sichtweitenbeobachtungen. — Met. Abhandl. des Instituts f. Meteorologie und Geophysik der Freien Univ. Berlin 89 (1970) Heft 2, S. 1—68.
- München — Landeshauptstadt Bayerns eine Millionenstadt. — Hrsg. vom Städt. stat. Amt München 1958.
- München und seine Wirtschaft. — Presse- und Informationsamt München 1961.
- Münchener Statistik (1966) Heft 2, 3 und 6, (1967) Heft 2 und 5, (1968) Heft 2, 4 und 6, (1969) Heft 2. — Hrsg.: Amt f. Statistik und Datenanalyse der Landeshauptstadt München.
- Münchens Wirtschaft als Arbeitgeber. — Sonderbeil. d. Abendzeit. Nr. 293 v. 17.12.1969, München.

- München — begehrter Arbeitsplatz für Hunderttausende. — Beil. d. Südd. Zeit. v. 10. 12. 1970, S. IX—XX.
- MÜRMAN, H.: Absaugung von aggressiven Gasen und Dämpfen in der metallverarbeitenden Industrie. — Wasser—Luft—Betrieb 10 (1966) Heft 5, S. 301—305.
- NATHO, G.: Die Verbreitung der epixylen Flechten und Algen im Demokratischen Berlin. — Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Nat. Reihe., XIII (1964) Nr. 1, S. 53—75.
- NATHO, G.: Zur Verbreitung rindenbewohnender Flechten in Kleinstädten — Ostseebad Kühlungsborn. — Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Nat. Reihe., XIII (1964) Nr. 4, S. 639—643.
- NATHO, G.: Flechtenentwicklung in Städten. — *Drudea* 4 (1966) Heft 1, S. 33—44 (Jena).
- NEUBAUER, H. F.: Zur Ökologie von in Buchenkronen epiphytisch lebenden Flechten. — *Beitr. Biol. Pfl.* 25 (1938) S. 273—289.
- Neue Erkenntnisse zum Thema Reinhaltung der Luft bei Ölfeuerung. — Hrsg. Esso AG, Hamburg 1964.
- NEUMANN, W.: Unbedenklichkeitsgrenzen luftverunreiniger Stoffe. — In: *Nationalber. d. BRD, Düsseldorf* 1965, S. 42—52.
- NEUMANN, W.: Die Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch die Industrie- und Großstadtluft. — *Südd. Zeit.*, Beil. „Der Mensch und die Technik“ vom 4. 4. 1966, München.
- NEUWIRTH, R.: Das Bioklima einer Stadt. — *Stadtbauwelt* (1967) Heft 12/13, S. 996—1000.
- New York: Die schmutzigste Luft der Welt. — *Wasser—Luft—Betrieb* 11 (1967) Nr. 4, S. 226.
- NIEMEIER, G.: Siedlungsgeographie. — *Das Geograph. Seminar* 1967.
- NIENBURG, W.: Studien zur Biologie der Flechten. — *Z. f. Botanik* 11 (1919) S. 1—38.
- NIENBURG, W.: Pilze und Flechten. — *Aus Natur und Geisteswelt* 675, Leipzig und Berlin 1921.
- NIGGEMEYER, H.: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch mit besonderer Berücksichtigung des rheinisch-westfälischen Industriegebietes. — *Diss. Univ. Münster*, 1915.
- NIKLFIELD, H.: Pflanzensoziologische Beobachtungen im Rauchschaadensgebiet eines Aluminiumwerkes. — *Centralbl. Ges. Forstwesen* 84 (1967) Nr. 2/6, S. 318—329.
- NOLL, W.: Luftuntersuchungen in Aschaffenburg im Jahre 1965. — *Gesundh.-Ing.* 87 (1966) Nr. 12, S. 354—356.
- NYLANDER, M. W.: Les lichens du jardin du Luxembourg. — *Bull. de la Soc. Bot. de France* 13 (1866) S. 364—371.
- OCHS, H.-J.: Die Problematik der Erfassung verschiedener Industriestäube. — *Wasser—Luft—Betrieb* 9 (1965) Heft 12, S. 821—824.
- OCHS, H.-J.: Charakteristiken von Industriestäuben. — *Wasser—Luft—Betrieb* 11 (1967) Heft 2, S. 71—74.
- OCHS, H.-J.: Staub- und gasförmige Emissionen von Kraftwerken. — *Wasser—Luft—Betrieb* 12 (1968) Nr. 5, S. 284—288.
- OCHSNER, F.: Studien über die Epiphytenvegetation der Schweiz. — *Diss. St. Gallen* 1927 und *Jahrb. St. Gall. Nat. Ges.* 63 (1927).
- OCHSNER, F.: Ökologische Untersuchungen an Epiphytenstandorten. — *Ber. Geobot. Inst. Rübel f. d. Jahr* 1934, Zürich 1935, S. 69—80.
- Öl und die Reinhaltung von Luft und Wasser. — *Studie Nr. 4*, Hrsg. von der ESSO AG, Hamburg, 1969.
- OEHMICHEN, F.: Klima- und Grünplanung am Beispiel Stuttgart. — *Städtehygiene* 13 (1962) Heft 7, S. 138—139.
- OELSCHLÄGER, W.: Die Verunreinigung der Atmosphäre durch Fluor. — *Staub* 25 (1965) Nr. 12, S. 528—532.
- OFFE, H.: Städtehygiene und Mikroklima. — *Gesundh.-Ing.* 65 (1943) S. 248—251.

- OLIVIER, H.: Die Verunreinigung der Luft. Ein Situationsbericht. — Luftverunreinigung, Düsseldorf 1960, S. 2—4.
- OLSCHOWY, G.: Zur Belastung der Biophäre. — Natur u. Landschaft 44 (1969) Heft 1, S. 3—7.
- ORIEUX, A. et POUGET, E.: La pollution atmosphérique à Marseille. Influence des vent dominante. — Poll. Atmosf. 8 (1966) Nr. 32, S. 411—437.
- OTREMBIA, E.: Allgem. Agrar- und Industriegeographie. — Stuttgart 1960.
- OW, LEO v.: München: Großstädter und Wald. — Allg. Forstz. 14 (1959) Nr. 14, S. 286—287 und 291.
- PAILER, M., BEGUTTER, H., BAUMANN, R. und SCHEDLING, J. A.: Benzo(a)-pyrengehalt von Staubproben aus dem Wiener Stadtgebiet. — Ref. in Staub-Reinh. Luft 27 (1967) Nr. 3, S. 159.
- PAMMER, H. und Mitarbeiter: Reinhaltung der Luft. Beiträge über Graz, Heft 2 (1971). Hrsg. Magistrat d. Stadt Graz, Stadtbauamt.
- PANZRAM, H.: Das Klima der Großstädte. — Südd. Zeit. Nr. 68 v. 18. 3. 1970, S.
- PAVLIK, A.: Beiträge zur Resistenzzüchtung der Fichte und Kiefer gegenüber verunreinigter Luft. — Diss. Univ. München 1965.
- PEARSON, L. and SKYE, E.: Air pollution Affects Pattern of Photosynthesis in *Parmelia sulcata* a Corticolous Lichen. — Science, 148 (1965) Nr. 3677, S. 1600—1602.
- PECZELY, G.: Die Luftverunreinigung in Budapest. — Z. f. Met. 13 (1959) S. 67—68.
- PETERS, K.-H.: Der Aussagewert richtungsabhängiger SO₂-Konzentrationen. — Städtehygiene 20 (1969) Heft 10, S. 241—243.
- Pflanzenschutzgesetz vom 10. 5. 1968. Flechten und Moose als Schadorganismen. — BGBl. I., (1968) S. 352.
- PHILIPPI, E.: Über den Blütenstaub in der Luft von Frankfurt. — Diss. Univ. Frankfurt 1961.
- PISTOR, R.: Emissionen in der chemischen Industrie. — Staub 21 (1961) Nr. 2, S. 84—87.
- PISUT, I.: Bemerkungen zur Wirkung der Exhalationsprodukte auf die Flechtenvegetation in der Umgebung von Rudnany (Nordostslowakei). — Biologia XVII (1962) Heft 7, S. 481—494. (Bratislava).
- POELT, J.: Systematik der Flechten. — Fortschr. d. Bot. 30 (1968) S. 276—290.
- POELT, J.: Bestimmungsschlüssel Europäischer Flechten. — Weinheim 1969.
- POTHMANN, E.-J.: Beitrag zur Untersuchung der Frage Wirkung von Luftverunreinigung auf die menschliche Gesundheit. — Diss. Med. Akademie Düsseldorf, 1962.
- PORTMANN, A. und FREYER, H.: Mensch und Landschaft im technischen Zeitalter. — München 1966.
- PRELL, H.: Die Schädigung der Tierwelt durch Fernwirkungen von Industrieabgasen. — Archiv f. Gewerbepathol. u. Gewerbehyg. 7 (1937) S. 656—670.
- PRINZ, B. und STRATMANN, H.: Vorschläge zu Begriffsbestimmungen auf dem Gebiete der Luftreinhaltung. — Staub-Reinh. Luft 29 (1969) Nr. 9, S. 354—356.
- PRÜSSMANN, A.: Über die Extinktion von Licht durch Rußpartikel. — Diss. TH Aachen 1965.
- RAAB, L.: Reinhalten der Großstadtluft, Stand der Dinge in München. — Münchner Stadtanzeiger 2/1967, S. 3.
- RABEL, G.: Fortschritte in der chemischen und erdölverarbeitenden Industrie, Luftfilter für hohe Ansprüche an die Luftreinhaltung. — Chemie 67 (1966) Nr. 11, S. 57—60.
- RAINER, R.: Vegetation als Lebenselement unserer Städte. — Hrsg. Kulturref. d. Steiermark. Landesregierung Graz, 1966.
- RAO, D. N. and LE BLANC, F.: Effects of sulfur dioxide on the lichen algae with special reference to chlorophyll. — The Bryologist 69 (1966) Nr. 1, S. 69—79 (Alabama).

- RATZKI, E.: Immissionsschutzforum 1966. — Tagung des Arbeits- und Sozialministeriums des Landes Nordrhein-Westfalen am 9. 3. 1966 in Essen. Techn. Überwach. 7 (1966) Nr. 6, S. 211—212.
- Raumordnungsplan München-Nord. — Hrsg. Reg. v. Oberbayern (Bezirksplanungsstelle) 1963.
- RECKNAGEL-SPRENGER: Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik. — 55. Aufl. München—Wien, 1968.
- REICHEL, E.: Die Niederschlagshöhe in München. — Witterungskurzbericht f. Bayern, April 1952.
- REICHEL, E.: Häufigkeit und Verbreitung von Extremfällen des Niederschlages und des Neuschnees im Stauraum des Alpenvorlandes. — Wetter u. Leben 17 (1965) Heft 1/2, S. 14—26.
- REIDAT, R.: Hafen- und Industriedunst in Hamburg. — Städtehygiene 7 (1956) Heft 2, S. 27—30.
- REIDAT, R.: Einflüsse der modernen Großstadt auf das Klima. — Städtehygiene 20 (1969) Heft 8, S. 183—185.
- REIDAT, R. und BOHNSACK, G.: Auf- und Abbau von Bodeninversionen. — Mitt. d. Vereinig. d. Großkesselbes., Hamburg (1963) Heft 87, S. 1—8.
- REIFFERSCHIED, R.: Ein Beitrag zur Kennzeichnung der Bodeninversionen im Rahmen der Reinhaltung der Luft. — Staub-Reinh. Luft 27 (1967) Nr. 10, S. 438—442.
- REINDERS, H.: Mensch und Klima. Klima — Klimaphysiologie — Klimatechnik. — Düsseldorf 1969.
- Reinhaltung der Luft. Bericht über eine Studienreise deutscher Fachleute in USA. — RKW-Berichtsr. Auslandsd. Nr. A 26, Frankfurt/M. 1963.
- Reinhaltung der Luft im Mainzer Raum. — Eine Denkschrift der Stadtverwaltung Mainz, 1964.
- Reinhaltung der Luft in Nordrhein-Westfalen. Bericht zum Kongreß Reinhaltung der Luft in Düsseldorf vom 13. bis 17. Oktober 1969. — Hrsg.: Arbeits- und Sozialminister d. Landes NRW, 1969.
- Reinhaltung der Luft. Tagung Düsseldorf 1969. — VDI-Ber. Nr. 147, Düsseldorf 1970.
- REITER, R.: Untersuchungen im Hochgebirge über vertikalen Luftmassenaustausch mit Anwendung auf Probleme der Luftreinhaltung. — Beitr. z. Problem d. Luftreinh. auf d. Tagung der Fraunhofer-Ges. am 10. 11. 1965 in Essen, Vortragsveröff. Haus d. Technik Heft 68, Essen, 1966.
- REUTER, H.: Die Ausbreitungsbedingungen von Luftverunreinigungen in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern. — Arch. f. Met., Geophys. u. Biokl. (A) 19 (1970) Heft 2, S. 173—186.
- RIED, A.: Thallusaufbau und Assimilationshaushalt von Laub- u. Krustenflechten. — Biolog. Zentralbl. 79 (1960) S. 657—678.
- RIEDERER, J.: Steinschäden auch ohne Rauchgase. — Umwelt (1974) Nr. 1, S. 42—43.
- RIEMENSCHNEIDER, M.: Vergleichende Vegetationsstudien über die Heidewiesen im Isarbereich. Ber. Bayer. Bot. Ges. 31 (1956) S. 75—120.
- ROČNIK, K.: Wetter und Klima in Bayern. — Nürnberg 1961.
- ROEMER, L.: Die Landschaft des Münchener Raumes in Vergangenheit und Zukunft. — Unser Wald (1959) Heft 10, S. 260—261.
- ROHDE, G.: Flugasche und Pflanzenwachstum. — Z. ges. Hyg. Grenzgebiete 8 (1962) Nr. 5, S. 333—339.
- ROHMEDER, E. und WEBER, E.: Vergiftung von Fichten durch Flugzeugabgase. — Forstwiss. Cbl. 89 (1970) Heft 6, S. 335—339.
- ROSCHINSKI, H. P.: Flechten fliehen die Stadt. — VDI-Nachrichten 22 (1968) Nr. 20 vom 15. 5. 1968, S. 1—2.

- ROSENBERGER, G.: Immissionswirkungen auf Tiere. — Staub 23 (1963) Nr. 3, S. 151—155.
- ROZKOVA, E. und KMOCH, H.: Abgrenzung der rauchverseuchten Teile Pilsens mit Hilfe von Flechten. — Ziva ca sopsis pro biologickou praci IV Jg. (XLII), (1956) Nr. 1. Ref. in Allgem. Forstz. 13 (1957) Nr. 42, S. 3.
- RUCKER, A.: Satelitenkranz und Grüngürtel um München, eine Studie. — München 1959.
- RUGE, U.: Die Gefährdung der Straßenbäume in Großstädten. — Gartenwelt 68 (1968) Nr. 13, S. 284—286.
- RUGE, U. und FÖRSTER, D.: Versuch zur Beurteilung des Stadtklimas von Hamburg auf Grund der Verbreitung epiphytischer Flechten. — Städtehygiene 21 (1970) Heft 2, S. 30—32.
- RYDZAK, J.: Rozmieszczenie i ekologia porostow miasta Lublina. (Disklokation und Ökologie von Flechten der Stadt Lublin). — Ann. Univ. Mariae Curie-Sklodowska Lublin, Polonia, Vol. VIII, 9 Sectio C, (1953), S. 233—356.
- RYDZAK, J.: Influcnc of Small Towns on the Lichen Vegetation. Part. VII. Discussion and General conclusions. — Ann. Univ. Mariae Curie-Sklodowska Lublin, Polonia, Vol. XIII, 16, Sectio C (1958), S. 275—323.
- RYDZAK, J.: Lichens as Indicators of the Ecological Conditions of the Habitat. — Ann. Univ. Mariae Curie-Sklodowska Lublin, Polonia, Vol. XXIII, 10, Sectio C (1968), S. 131—154.
- RYDZAK, J. und KRYSIAK, K.: Flora porostow Tomaszowa Mazowieckiego. (Die Flora der Flechten von Tomaszow Mazowiecki). — Ann. Univ. Mariae Curie-Sklodowska Lublin, Polonia, Vol. XXII, 16, Sectio C (1968), S. 172—191.
- SÄNDIG, R.: Über einige Messungen der Luftverunreinigungen im Stadtgebiet von Zwickau/Sachsen. — Z. f. Angew. Met. 4 (1963) Nr. 8/10, S. 314—315.
- SANDSTEDTE, H.: Brotersatz in Hungerszeiten. — In: „Des Bäckers kleiner Ratgeber“, (1930), Nr. 36 (Kulmbach).
- SANDSTEDTE, H.: Veränderungen in der Flora unserer Heimat. — Oldenburg. Jahrb. (1950) S. 304—311.
- SARRING, G.: Münchens Luft ist ungesund. — Münchner Stadtanzeiger 26 (1970) Nr. 61 vom 31. 7. 1970, S. 1 und 3.
- SARRING, G.: Münchner Luft zerstört Kunstwerke. — Münchner Stadtanzeiger 27 (1971) Nr. 5, S. 3.
- SAUBERER, F.: Die heutige Bioklimatologie des Menschen. — Wetter und Leben 3 (1951) Heft 11/12, S. 241—247.
- SAUBERER, A.: Die Verteilung rindenbewohnender Flechten in Wien, ein bioklimatisches Großstadtproblem. — Wetter und Leben 3 (1951) Heft 5—7, S. 116—121.
- SAUBERER, A.: Der Baum in der Großstadt. — Wetter und Leben 7 (1955) S. 77—78.
- SAUBERER, A.: Die Verbreitung der rindenbewohnenden Flechten in Wien als Indikator der Wirkung des Stadtklimas. — In: Klima und Bioklima von Wien, Sonderheft VII d. Z. Wetter und Leben 11 (1959) S. 118—120.
- SAUNDERS, P. J. W.: Air pollution in relation to Lichens and Fungi. — The Lichenologist Vol. 4 (1970) S. 337—349.
- SAXEN, W.: Flechten und Klima im Lande Schleswig. — Die Heimat 60 (1953) Heft 6, S. 173—175.
- SCHADE, A.: Schneckenfraß an Flechten. — Decheniana 108 (1956) Nr. 2, S. 243—246.
- SCHADE, A.: Über das Wesen der Flechten und ihre Bedeutung im Haushalt der Natur. — Wiss. Z. der Techn. Univ. Dresden 16 (1967) Heft 1, S. 35—40.
- SCHAEDE, R.: Die pflanzlichen Symbiosen. — 3. Aufl., Stuttgart 1962.
- SCHAFFNIT, E.: Beiträge zur Kenntnis von Rauch-, Flugstaub- und Bergschäden. — In: Erlebtes, Erstrebtes und Erreichtes, Bonn 1957, S. 160—202.

- SCHAUER, TH.: Ozeanische Flechten im Nordalpenraum. — Diss. Univ. München 1965 und Portugal. Acta Biol. (B) Vol. VIII (1965) S. 17—229.
- SCHEDLING, J. A. und BAUMANN, R.: Über das Auftreten von Extremwerten der Staubkonzentration in der Großstadtluft in Abhängigkeit von Niederschlag, Wind- und Inversionslage. — Wien. klin. Wochenschr. 79 (1967) S. 498—500.
- SCHINZEL, A.: Flechten und Moose als biologische Indikatoren der Luftverunreinigung. — Städtehygiene 11 (1960) Heft 4, S. 64—66.
- SCHIRMER, H.: Die Abhängigkeit der Höhenwindverteilung über München von den Großwetterlagen und von den Alpen. — Wetter und Leben 13 (1961) Heft 9, S. 63—77.
- SCHLEICHOWSKI, G. W.: Verunreinigung der Luft in den Städten durch Rauch. — Die Technik 8 (1953) S. 26—30.
- SCHLERETH, M.: Die Parkstadt München-Solln — Beispiel einer modernen Wohnanlage. — Südd. Zeit. Beil. „Der Mensch und die Technik“ vom 28. 6. 1966.
- SCHLIPKÖTER, H. W.: Gefahren der Großstadtluft. — Luftverunreinigung, Düsseldorf 1965, S. 1—3.
- SCHMEIDEL, H.: Oberflächentemperaturen in Hochmooren. — Wetter und Leben 17 (1965) Heft 5/6, S. 87—96.
- SCHMID, A. B.: Die epixyle Flechtenvegetation von München. — Diss. Univ. München 1957.
- SCHMIDT, G.: Zur Nutzbarmachung staubklimatischer Untersuchungen für die städtebauliche Praxis. — Ber. d. Dt. Wetterd. in der US-Zone, Nr. 38 (Weickmannhaft) (1952) S. 201—205.
- SCHMIDT, G. und OTTO, G.: Die winterliche Staubverteilung im Bereich der Stadt Rostock. Beitrag zur Lufthygiene und zum Bioklima der Großstadt. — Wiss. Z. d. Univ. Rostock 13 (1964) Mathem.-Naturw. Reihe, Heft 1, S. 193—197.
- SCHMITHÜSEN, J.: Allgemeine Vegetationsgeographie. — 3. Aufl., Berlin 1967.
- Schmutzige Luft — Reine Luft. — Vier Beiträge zur Luftreinhaltung. Hrsg.: Bundesministerium f. Gesundheitswesen, Bonn 1963.
- SCHNEIDER, H. W.: Einflüsse der Luftverunreinigung — Fachleute diskutieren Wirkung auf Pflanzen und Tiere. — VDI-Nachrichten 22 (1968) Nr. 42, S. 18.
- SCHNEIDER, K. und SONNTAG, K.: Die meteorologischen Verhältnisse von München und Umgebung in ihrer Bedeutung für das Flugwesen. — Veröff. d. Wetterdienstes München 1936.
- SCHNEIDER, W.: Luftverunreinigungen in einer Industriegroßstadt. — Chemie-Ing.-Technik 36 (1964) Nr. 8, S. 875—876.
- SCHNEIDER, W.: Ist der Nachweis einer Fluorschädigung von Pflanzen aus Pflanzenaschenanalysen möglich? — Staub-Reinh. Luft 26 (1966) Nr. 12, S. 534—536.
- SCHNEIDER, W.: Daueruntersuchungen zum Fluorproblem in einem industriellen Ballungsgebiet (Duisburg). — Staub-Reinh. Luft 28 (1968) Nr. 1, S. 13—18.
- SCHÖLLER, P.: Allgemeine Stadtgeographie (Wege der Forschung Bd. 181). — Darmstadt, 1969.
- SCHÖNBECK, H.: Beispiel für Untersuchungen von Raueinwirkungen im Freiland durch Anwendung einer Modifikation eines Fangpflanzenverfahrens. — Raueinwirkung im Gartenbau. Forschung und Beratung R. C 5 (1963) Hiltrup.
- SCHÖNBECK, H.: Einfluß von Luftverunreinigungen (SO₂) auf transplantierte Flechten. — Naturwiss. 55 (1968) Nr. 9, S. 451—452.
- SCHÖNBECK, H.: Eine Methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten. — Staub-Reinh. Luft 29 (1969) Nr. 1, S. 14—18.

- SCHÖNBECK, H.: Biologische Meßverfahren für Luftverunreinigung. — Vortrag auf dem Kongreß „Reinhaltung der Luft“ 1969 in Düsseldorf. In: Vortragskurzauszüge. Hrsg. vom VDI, Kommission Reinhaltung der Luft, S. 28—29, Düsseldorf 1969.
- SCHÖNBECK, H., BUCK, M., VAN HAUT, H. und SCHOLL, G.: Biologische Meßverfahren für Luftverunreinigungen. — VDI-Berichte Nr. 149 (1970) Reinhaltung der Luft, S. 225 bis 234, Düsseldorf 1970.
- SCHOENER, R.: Probleme im Umland der Großstadt, dargestellt am Versuch eines Ordnungsbildes für den Raum München. — Ber. z. Landesforschung und -planung (Wien) 6 (1962) Heft 4, S. 335—353.
- SCHOOF, H.: Idealstätte und Stadtmodelle als theoretische Planungskonzepte. — Diss. TH Karlsruhe 1965.
- SCHRÖDER, J.: von und REUSS, C.: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. — Berlin 1883.
- SCHÜTZ, H.: Aufbau moderner Meßstationen zur Luftreinhaltung. — Einzelbericht L 3378 (1969) der Firma Hartmann & Braun.
- SCHÜTZ, O.: Das Grün im Regionalplan München. — Ber. d. Bundes der Diplombgärtner (BDG) (1960) Nr. 7, S. 27—28.
- SCHUBERT, R. und FRITSCHKE, W.: Beitrag zur Einwirkung von Luftverunreinigungen auf xerische Flechten. — Arch. f. Naturschutz u. Landschaftspflege 5 (1965) Heft 2, S. 107 bis 110.
- SCHULZ-KORTH, K.: Die Flechtenvegetation der Mark Brandenburg (Berlin) Feddes Repert. Spec. novarum regni vegetabilis Beiheft 67 (1931).
- SCHWALB, K.: Stadtklima und Luftverunreinigung in Stuttgart. — Industrie- und Handelsblatt Heft 20 vom 15. 10. 1960.
- SCHWARZ, K.: Probleme der Luftverunreinigung in den USA, Grundfragen. — In: RKW-Berichtsr. Auslandsd. Nr. A 26, „Reinhaltung der Luft“, Ber. ü. eine Studienreise deutscher Fachleute in USA, Frankfurt/M. 1963, S. 5—26.
- SCHWARZ, K.: Der Hausbrand und die Reinhaltung der Luft. — In: Ber. v. XVIII. Kongreß f. Heizung, Lüftung u. Klimatechnik, München 1964, S. 301—324, Düsseldorf 1964.
- SCHWARZ, K.: Einzelfeuerstätten und die Reinhaltung der Luft. — Südd. Zeit. Beil. „Der Mensch und die Technik“ vom 10. 4. 1964.
- SCHWARZ, K.: Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft bei Müllverbrennungsanlagen. — Techn. Überw. 6 (1965) Nr. 11, S. 385—390.
- SCHWARZ, K.: Die Emission aus Dampfkesselanlagen der Industrie und der öffentlichen Kraftwerke, ihre Größenordnung, Maßnahmen zu ihrer Herabsetzung. — Fachz. Öl-, Gas- u. Energiewirtschaft 3 (1965) Nr. 7, S. 460—465.
- SCHWEGLER, H.: Das Problem der Luftverunreinigung. Eine Zusammenstellung aus Literatur und Praxis, bezogen auf die Besonderheiten des Münchner Raumes. — Hrsg. Landeshauptstadt München — Stadtverwaltung (1963).
- SCHWEGLER, H.: Luftreinhaltung München. 2. Bericht, Meßergebnisse 1963—1966. — Hrsg. Landeshauptstadt München — Stadtverwaltung (1967).
- SCHWEGLER, H.: Luftreinhaltung in München. — Staub-Reinh. Luft 27 (1967) Nr. 10, S. 429 bis 433.
- SCHWEGLER, H.: Die meteorologische Lage Münchens im Hinblick auf die Verunreinigung der Atemluft. — Met. Rundschau 20 (1967) Heft 6, S. 166—168.
- SCHWEGLER, H.: Auswertung der Schadstoff-Immissionsmessungen im Stadtgebiet von München. (Monatsberichte laufend ab 1967). — Hrsg. Landeshauptstadt München — Stadtverwaltung.

- SCHWEGLER, H.: Luftreinhaltung und Bauplanung in München. — In: München und das Problem der Luftreinhaltung, Sonderdr. aus technik + münchen, Heft 3 und 5 (1968) München.
- SCHWEGLER, H.: Erfahrungsbericht über die Meßeinrichtungen für die Luftreinhaltung in der Landeshauptstadt München. — Hrsg. Landeshauptstadt München — Stadtverwaltung, (1968).
- SCHWEGLER, H.: Luftreinhaltung und Lärmbekämpfung in München 3. Bericht 1969. — Hrsg. Landeshauptstadt München — Stadtverwaltung (1969).
- SCHWEGLER, H.: Bericht über Ergebnisse von Probemessungen für das Forschungsvorhaben am Fernsehturm München vom 2. 12. 1970. — Hrsg. Landeshauptstadt München — Stadtverwaltung (1970).
- SCHWERTFEGGER, F.: Handbuch für Waldkrankheiten. — Berlin 1944.
- SEELINGER, F.: Raumordnung und Stadtentwicklung im Lichte umwelthygienischer Fragestellungen. — Mitt. d. Österr. Sanitätsverw. 69 (1968) Nr. 6, S.
- SEIBERT, P.: Vegetation und Landschaft in Bayern. — Erdkunde XXII (1968) Heft 4, S. 294—313.
- SEILER, H. R.: Über die optische Feststellung der Größenverteilung von Aerosolen. — Diss. Univ. München 1967 und Ber. Nr. 682 d. Dt. Versuchsanst. f. Luft- u. Raumfahrt.
- SERNANDER, R.: Stockholms natur. — Uppsala u. Stockholm 1926.
- SIEBERT, A.: Landschaft und Großstadt, I. Teil: Allgemeines. — Umschaudienst d. Forschungsausschusses „Landschaftspflege und Landschaftsgestaltung“ der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Heft 1/2, Hannover 1958.
- SIEBERT, A.: Landschaft und Großstadt, II. Teil: Spezielles. — Umschaudienst d. Forschungsausschusses „Landschaftspflege und Landschaftsgestaltung“ der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Heft 3/4, Hannover 1958.
- SIEBERT, A.: Städter leben gefährlich. — Über einen Bericht des Stat. Landesamtes bzgl. Sterbefälle in München. Südd. Zeit. Nr. 22 vom 26. 1 1967.
- SKYE, E.: Luftföroreningars inverkam pa busk- och bladlavfloran kring skifferoljeverket i Närkes Kvarntop (The influenc of air pollution on the fruticulous and foliaceous lichen flora around the shal-oil works at Kvarntop in the province of Närke). — Svensk. Bot. Tidskr. 52 (1958) Heft 1, S. 133—190.
- SKYE, E.: Epiphytfloran och luftföroreningarna (The Epiphyte Flora and Air Pollution). — Svensk. Naturvet. (1964) S. 327—332.
- SKYE, E.: Botanical Indications of Air Pollution. — Acta Phytogeogr. Suec. 50 (1965) S. 285 bis 287.
- SKYE, E.: Lichens and Air Pollution. A Study of cryptogamic epiphytes and evironment in the Stockholm region. — Diss. Univ. Uppsala 1968 und Acta Phytogeogr. Suec. 52 (1968).
- SKYE, E.: Användandet av lavar som indikatorer och testorganismer pa luftföroreningar (Die Anwendung von Flechten als Indikatoren und Testorganismen bei der Luftverunreinigung. — Nord. hyg. Tidskr. (1969) Nr. 3, S. 115—134.
- SLOOVER, J. de: Végéteaux épiphytes et pollution de l'air. — Revue des Questions scientif., Octobre 1964, S. 531—561.
- SORAUER, P.: Beitrag zur anatomischen Analyse rauchgeschädigter Pflanzen. — Landwirtschaftl. Jahrbuch 33 (1904) S. 585—664.
- SORAUER, P.: Handbuch der Pflanzenkrankheiten. — Bd. 1, 5. Aufl., Berlin 1924.
- SPENGLER, G.: Die Schwefeloxycide in Rauchgasen und in der Atmosphäre. — Ein Problem der Luftreinhaltung. — II. Aufl., Düsseldorf 1965.

- SPERK, M.: Das Klima der Stadt Nürnberg im Gegensatz zum Klima ihrer näheren Umgebung. Diss. Univ. Erlangen 1943.
- SPIERINGS, F.: Bladtopbeschädigung von gladiolen door luchtverontreiniging met fluorwaterstof. — Netherl. J. Plant Path. 69, S. 150. Ref. in Z. Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpath.) Pflanzenschutz 71 (1964) Heft 8, S. 481.
- SROULL, W. T.: Air pollution and its control. — Hrsg. Exposition Press, Inc. New York, 1970.
- STALFELT, M. G.: Flechten und Moose. — In: Ruhland: Handb. d. Pflanzenphysiologie Bd. V, 2 (1960) S. 64—370.
- STEINER, M.: Zur Expositionsabhängigkeit epixyler Flechtengesellschaften. — Ber. d. Dt. Bot. Ges. 65 (1952) S. 255—262.
- STEINER, M.: Rindenepiphyten als Indikatoren des Stadtklimas. — In: Vogler-Kühn: Medizin und Städtebau, Bd. 2, (1957) S. 119—124, München 1957.
- STEINER, M.: Wachstums- und Entwicklungsphysiologie der Flechten. — In: Ruhland: Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. XI, 1 (1965) S. 758—801. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1965.
- STEINER, M. und SCHULZE-HORN, D.: Über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn. — Decheniana 108 (1955) Heft 1, S. 1—16.
- STEINHAUSER, F.: Ergebnisse und Aufgaben stadtklimatischer Untersuchungen in Wien. — Wetter u. Leben 3 (1951) Heft 5/6, S. 86—95.
- STEINHAUSER, F.: Die Staubablagerungen im Stadtgebiet von Graz. — Wetter u. Leben 18 (1966) Heft 5/6, S. 99—104.
- STEINHAUSER, F.: Über die Änderungen der SO₂-Ablagerungen aus der Luft in Wien von 1958—1966. — Wetter u. Leben 19 (1967) Heft 3/4, S. 47—56.
- STEINHAUSER, F. und CHALUPA, K.: Die SO₂-Ablagerungen aus der Luft im Stadtgebiet von Graz. — Wetter u. Leben 17 (1965) Heft 3/4, S. 45—66.
- STEINHAUSER, F. und CHALUPA, K.: Ergebnisse von Messungen der Staubablagerungen in Österreich. — Wetter u. Leben 18 (1966) Heft 9/10, S. 177—185.
- STEINHAUSER, F., ECKEL, O. und SAUBERER, F.: Klima und Bioklima von Wien. Eine Übersicht mit besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse der Stadtplanung und des Bauwesens. III. Teil. — Wetter u. Leben, Sonderheft VII, Wien 1959.
- STEINHERR, L.: Industriestandort München. — technik und münchen (1966) Nr. 11, S. 174—179.
- STEINMÜLLER, G.: Der Münchener Stadtkern. — Mitt. der Geogr. Ges. München 43/1959, S. 19.
- STERN, A. C.: Air Pollution, Vol. I—III. — Hrsg.: Academic Press, New York 1968.
- STUEBING, L.: Untersuchungen zu Immissionskomplexwirkungen im Untermaingebiet im Pflanzentest. — In: Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain, Arbeitsbericht 1970, S. 34—37. Hrsg. Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, Frankfurt a. Main.
- STUEBING, L. und KLEE, R.: Vergleichende Untersuchungen zur Staubfilterwirkung von Laub- und Nadelgehölzen. — Angew. Bot. XLIV (1970) Heft 1/2, S. 73—85.
- STIX, E.: Schwankungen des Pollen- und Sporengehaltes der Luft. — Umschau Wiss. u. Techn. 69 (1969) Heft 19, S. 620—621.
- STOCKER, O.: Physiologische und ökologische Untersuchungen an Laub- und Strauchflechten. — Flora 121 (1927) S. 334—415.
- STOKLASA, J.: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen. — Berlin—Wien 1923.
- STRATMANN, H.: Schwefeldioxid-Immissionen eines Heizkraftwerkes in München. — Staub 19 (1959) Nr. 10, S. 352—360.

- STRATMANN, H., BUCK, M., HÖLZEL, U. und ROSIN, D.: Untersuchungen über die SO₂-Immission im Stadtgebiet von Duisburg. — In: Schriftenr. d. Landesanst. f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Essen (1965) Heft 1, S. 25—43.
- STRATMANN, H., BUCK, M. und PRINZ, B.: Maßstäbe für die Begrenzung der Luftverunreinigung und ihre Begrenzung. — Schriftenr. d. Landesanst. f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Essen (1968) Heft 12, S. 62—80.
- STRATMANN, H. und IXFELD, H.: Schwefeldioxid-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen. — Schriftenr. der Landesanst. f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW, Essen (1968) Heft 13.
- STÜTZLE, H.: Unsere Münchner Luft. — Münchner Stadtanzeiger 23 (1967) Nr. 2, S. 1 und 2.
- SUMMER, W.: Geruchlosmachung von Luft und Wasser. — München—Wien 1970.
- TALLIS, J. H.: Lichens and Atmospheric Pollution. — Adv. of Science, Sept. 1964, S. 250—252.
- Techn. Geschäftsbericht der Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine für die Jahre 1966 und 1967 — Reinhaltung der Luft. — Techn. Überwach. 9 (1968) Nr. 5/6 (Sonderdruck).
- Technischer Überwachungsverein Bayern, e. V.: Bericht über die in der Zeit vom 20. 10. 1961 bis 19. 7. 1963 durchgeführte Untersuchung des SO₂-Gehaltes in der Atemluft der Landeshauptstadt München. — München 1964.
- Technischer Überwachungsverein Bayern, e. V.: Bericht über die Ermittlung der Schwefeldioxid-Grundbelastung im Stadtgebiet von München in der Zeit vom November 1964 bis September 1967. — München 1968.
- TESKE, W.: Die Rolle der Schwefel-Verbindungen in der Luftreinhaltung. — Chemie-Ing.-Techn. 41 (1969) Nr. 10, S. 599—600.
- TEUBNER, J.: Lufthygienische Untersuchungen über Beziehungen zwischen SO₂-Immissionen, Kernzahl, Keimzahl und meteorologische Faktoren. — Diss. Univ. Berlin 1964.
- TIEWORTE, W.: Einsatz von fluorhaltigen Materialien in der BRD. — Vortrag auf dem Fluor-Colloquium am 3./4. September 1970 in Düsseldorf, VDI-Bericht Nr. 164 (1971).
- THIELE, A.: Industrieabgase bedrohen unsere freilebende Tierwelt. — Mitteilungsbl. d. Schutzgemeinschaft. Dt. Wild, I/II/1956, S. 1—3, München.
- THIELE, A.: Blattschädigungen durch Benzindämpfe einer Großstadt-Tankstelle. — Städtehygiene 21 (1970) Heft 2, S. 33—34.
- THIEMANN, H.: Untersuchungen über die Häufigkeit bestimmter Erkrankungen der Münchner Stadtbevölkerung. — Diss. Univ. München 1960.
- TIETZSCH, K. H.: Auswirkung der industriellen und technischen Entwicklung in Ballungsgebieten und die Konsequenzen für die Landesplanung. — Staub 23 (1963) Nr. 3, S. 210—213.
- TIETZSCH, K. H.: Luftverunreinigung und Regionalplanung. — In: Nationalber. d. BRD zur Europ. Konferenz über Luftverunreinigung 1964 in Straßburg. Hrsg. Bundesmin. f. Gesundheitsw. und VDI-Kommission Reinhaltung d. Luft, Düsseldorf 1965, S. 213—223.
- TOBLER, V.: Die Flechten. Eine Einführung in ihre allgemeine Kenntnis. — Jena 1934.
- TOBLER, V.: Über Flechtengemeinschaften. — Ber. der Dt. Bot. Ges., 66 (1953) S. 119—123.
- TOPITZ, A.: Über den Wandel der Luftverunreinigung in Wien in der Zeit von 1900 bis 1950. — Wetter u. Leben 4 (1952) Heft 5/7, S. 95—101.
- TRASS, H.: Samblikud — ohu saastatuse indikaatorid. (Lichens ad indicators of air pollution). — Eesti Loodus 11 (1968) Nr. 2, S. 80—83.
- TRASS, H.: Indeks samblikurühmituste kasutamiseks ohu saastatuse määramisel. (An index for the utilization of lichen groups to determine air pollution). — Eesti Loodus 11 (1968) Nr. 10, S. 628.
- TROLL, C.: Das Inn- und Chiemsee-Vorland. Ein landeskundlicher Führer. — In: Landeskundl. Forsch. Hrsg. von d. Geogr. Ges. München (1924) Heft 26, S. 1—31.

- TROLL, C.: Die jungglazialen Schotterfluren im Umkreis der deutschen Alpen, ihre Oberflächen-
gestalt, ihre Vegetation und ihr Landschaftscharakter. — In: Forsch. z. dt. Landes- u.
Volkskunde 24 (1926) Heft 4, S. 158—250.
- TROLL, C.: Das Wasser als pflanzengeographischer Faktor. — In: Ruhland: Handbuch der
Pflanzenphysiologie Bd. III (1956) S. 750—786, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1956
und in: Ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochgebirgsforschung. —
Erdkundliches Wissen, Heft 11 (Festband), S. 296—327, Wiesbaden 1966.
- TROLL, W.: Die natürlichen Wälder im Gebiet des Isarvorlandgletschers — Der Pflanzen-
geographische Typus einer Nordalpinen Glaziallandschaft. — In: Landeskundl. Forsch.,
hrsg. von d. Geogr. Ges. München (1926) Heft 27, S. 1—129.
- UBISCH, H. VON und NILSSON, T.: Luftförelingsundersökningarna i Stockholm 1963/1964 und
1964/65. — Nordisk. Hyg. Tidskr. 48 (1967) Nr. 1, S. 13—16.
- Überwachung der Luftreinhaltung im Raffinerieraum Ingolstadt a. d. Donau. — Hrsg. Bayer.
Staatsmin. d. Innern München, 1966.
- UHTHOFF, K.: Das Industriegelände und seine Bebauung aus hygienischer Sicht. — Städte-
hygiene 18 (1967) Heft 9, S. 197—200.
- ULLRICH, E.: Wirkungen verunreinigter Luft auf Pflanzen. — In: Nationalber. d. BRD zur
Europ. Konferenz über Luftverunreinigung 1964 in Straßburg. Hrsg. Bundesmin. f.
Gesundheitsw. und VDI-Kommission Reinhaltung d. Luft Düsseldorf 1965, S. 30—37.
- Umweltschutz-Bericht 1970. Bericht der Arbeitsgruppe III des Staatsministeriums des Innern,
Natur- und Umweltschutz. — Hrsg. Bayer. Staatsmin. d. Innern, München, 1970.
- URBAN, M.: Die Pest der Luftverschmutzung und die Qual des Großstadtlärms. — Münchner
Stadtanzeiger 26 (1970) Nr. 71 vom 4. 9. 1970, S. 1 und 3.
- VAARNA, V. V.: Helsingin kaupungin puiden ja pensaiden jäkäläkasvisto (Über die epiphytische
Flechtenflora der Stadt Helsinki). — Ann. Bot. Soc. Zool.-Bot. Fennicae, Vanamo,
Tom. 5, (1934) Nr. 6, S. 1—32.
- VARESCHI, V.: Kontinentalität, Meereshöhe und Epixylenverbreitung. — Ber. Geobot. For-
schungsinstitut Rübel 1933, Zürich 1934, S. 65—72.
- VARESCHI, V.: Die Epiphytenvegetation von Zürich (Epixylenstudien II). — Ber. Schweiz. Bot.
Ges., Festbd. Rübel 46 (1936) S. 445—448.
- VARESCHI, V.: La Influencia de los bosques y Parques sobre el Aire de la ciudad a Caracas. —
Acta Cientificia Venezolana, 4 (1953) Nr. 3, S. 89—95.
- VASU, L.: Straßenluftuntersuchungen in Dresden. — Diss. TH Dresden 1928.
- VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft. — Hrsg. Verein Dt. Ing., Düsseldorf 1966.
- VDI-Richtlinie 2306: Maximale Immissions-Konzentration (MIK) Organische Verbindungen.
In: VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Düsseldorf 1966.
- VDI-Kommission Reinhaltung der Luft. — Vorträge auf dem Kongreß Reinhaltung der
Luft vom 14.—16. 10. 1969 in Düsseldorf, VDI-Bericht Nr. 149, Düsseldorf 1970.
- VETTER, H.: Auswirkungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) auf
neue Kraftwerke. — Energie 17 (1965) Nr. 3, S. 81—87.
- Verunreinigung der Luft — Ursachen, Wirkungen, Gegenmaßnahmen. — Hrsg. von der World
Health Organization, dt. Übersetzung Weinheim 1964.
- VILLWOCK, I.: Ökologisch-physiologische Untersuchungen zur Frage von Großstadteinflüssen
auf die Verbreitung epiphytischer Flechten. — Diss. Univ. Hamburg 1959.
- VILLWOCK, I.: Der Stadteinfluß Hamburgs auf die Verbreitung epiphytischer Flechten. — Abh.
u. Verhandl. des Naturw. Vereins Hamburg, N. F. Bd. VI (1961) Hamburg 1962,
S. 147—166.
- VOGEL, H.-J.: Zur Lage der Stadt (München). — Münchner Stadtanzeiger 26 (1970) Nr. 85
vom 23. 10. 1970, S. 1.

- VOGEL, H.-J.: Die Münchner Luft. — Münchner Stadtanzeiger, 27 (1971) Nr. 5, S. 1.
- WÄCHTER, H.: Die „social costs“ der Luftverunreinigung in Los Angeles. — Wasser-Luft-Betrieb 11 (1967) Nr. 1, S. 20—24.
- WAGNER, L.: München. Eine Großstadtuntersuchung auf geographischer Grundlage. — Diss. Univ. München 1931.
- WEGMANN, R.: Die hygienische Bedeutung des Grüns in der Großstadt. — Deubau (1969) Nr. 4, Schriftenr. d. Vereins Deutsches Bauzentrum.
- WEINECK, H.: Fragen der Luftverunreinigung in den USA. — Stahl und Eisen 85 (1965) Nr. 12, S. 828.
- WEINLÄNDER, A.: Großstadt und Klima. — Z. f. angew. Met. 59 (1942), S. 390—393.
- WEISS, E. und FRENZEL, J. W.: Untersuchungen von Luftverunreinigungen durch Rauch- und Industriegase im Raume von Linz. — Wetter u. Leben 8 (1956) Heft 5/6, S. 131—147.
- WEISS, E. und FRENZEL, J. W.: Witterung und Klima von Linz. — Wetter u. Leben 10 (1958) Sonderheft VI.
- WEISS, E. und FRENZEL, J. W.: Windströmungen im Linzer Becken u. ihre Bedeutung für luftchemische Probleme des Stadtklimas. — Wetter u. Leben 13 (1961) Heft 9/10, S. 215 bis 220.
- WEISSER: Der Wald als natürlicher Schutzdamm gegen die Luftverunreinigungen in den Ballungsräumen von Industrie und Siedlung. — Wasser-Luft-Betrieb 5 (1961) Nr. 3, S. 96—98.
- WENTZEL, K. F.: Walddrauchsäden. — Sonder-Nr. der Allgem. Forstzeit. 13 (1958) Nr. 42.
- WENTZEL, K. F.: Walddrauchsäden im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet. — Ber. über die Int. Arbeitstagung forstlicher Rauchsadensachverständiger vom 6.—8. 10. 1959, Bochum 1960.
- WENTZEL, K. F.: Konkrete Schadwirkungen der Luftverunreinigung in der Ruhrgebietslandschaft. — Natur u. Landschaft 37 (1962) S. 118—124.
- WENTZEL, K. F.: Waldbauliche Maßnahmen gegen Immissionen. — Allgem. Forstz. 18 (1963) Nr. 7, S. 101—106.
- WENTZEL, K. F.: Immissionsschäden und Erholungswert des Waldes in der Industrielandschaft. Forst- und Holzwirt 20 (1965) Heft 17, S. 377—381.
- WENTZEL, K. F.: Erfahrungen bei der Bearbeitung forstlicher Immissionsschäden in Deutschland. — Mitt. Forstl. Bundes- Versuchsanst. Mariabrunn (1966) Nr. 73, S. 237—247.
- WENTZEL, K. F.: Landschaftsschutz gegen Immissionen. — Angew. Bot. 40 (1966) Nr. 1/2, S. 1—11.
- WENTZEL, K. F.: Bedeutung, Aussichten und Grenzen der Züchtung relativ rauchharter Baumarten im Lichte immissionsökologischer Erfahrungen in Mitteleuropa. — In: XIV. IUFRO-Kongreß, Bd. 5, Sekt. 24, München 1967, S. 536—555.
- WENTZEL, K. F.: Europa-Symposium über Immissionswirkungen, April 1968 in Wageningen/Holl. — Wasser-Luft-Betrieb 12 (1968) Nr. 9, S. 562 und Staub-Reinh. Luft 28 (1968) Nr. 8, S. 332—333.
- WENTZEL, K. F.: Empfindlichkeit und Resistenzunterschiede der Pflanzen gegenüber Luftverunreinigung. — Forstarchiv 39 (1968) Heft 9, S. 189—194.
- WENTZEL, F. K.: Habitus-Änderung der Waldbäume durch Luftverunreinigung. — Forstarchiv 41 (1971) Nr. 8/9, S. 165—172.
- WERNER, F.: Die Niederschlagsverteilung über Leipzig. — Diss. Univ. Leipzig 1934.
- WETZEL, H.: Lufthygienische Überwachung im Raume Rostock. — Z. f. Angew. Met. 4 (1963) Heft 8/10, S. 312—313.
- WEXLER, H.: Einfluß der Meteorologie. — In: Die Verunreinigung der Luft; hrsg. von der World Health Organization Weinheim 1964, S. 41—54.

- WIEGAND, A. und ZINKE, W.: Reinhaltung der Luft und Abwehr von Betriebslärm in Frankfurt/M. — 3. Arbeitsber. des Gewerbe- und Ordnungsamtes der Stadt Frankfurt/M., Mai 1961.
- WIELER, A.: Untersuchungen über die Einwirkung schwefeliger Säure auf die Pflanzen. — Berlin 1905.
- WIETHAUP, H.: Die Luftverunreinigung in historischer Sicht. — Zbl. f. Arbeitsmed. u. Arbeitsschutz 15 (1965) Nr. 7, S. 159—161.
- WIETHAUP, H.: Nicht nur die Industrie ist der Sündenbock. Welchen Anteil hat der Hausbrand an der Luftverschmutzung? — Wasser-Luft-Betrieb 9 (1965) Nr. 10, S. 676—683.
- WIETHAUP, H.: Schutz vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und Erschütterungen. — Herne 1970.
- WILMERS, F.: Klima und Wetter. — Landschaft und Stadt 1 (1969) Heft 2, S. 79—86.
- WIMMER, H.: Münchens Stadtwald und seine Erholungseinrichtungen. — Allgem. Forstz. 22 (1967), Heft 35, S. 592—594.
- WIPPERMANN, F.: Die Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre. — Vorles. aus dem Inst. f. Met. d. TH Darmstadt WS 1967/68.
- Wirtschaftliche und demographische Wachstumskräfte ausgewählter Stadtregionen in der BRD. Spez. Teil: München. — Vorgel. von der PROGNOSE, Basel 1962.
- WISLICENUS, H.: Sammlung von Abhandlungen über Abgase und Rauchschäden. — Berlin 1908 bis 1916, Heft 1—11.
- WISLICENUS, H.: Zur Klärung einiger Grundlagen der Beurteilung von Abgasschäden an der Vegetation. — Feuerungstechnik 25 (1937) S. 437 ff.
- WITT, E.: Abgase töten Wasserfauna. — Zbl. f. Arbeitsmed. u. Arbeitsschutz 19 (1969) Heft 9, S. 264—265.
- WITTMANN, J.: Beitrag zum Problem der Nebelvorhersage am Flughafen München-Riem. — Met. Rundschau 15 (1962) Heft 6, S. 169—173.
- WITZMANN, K. H.: Zum Problem der Errichtung einer „Neuen Stadt“ im Raume München. — In: Inf. d. Inst. f. Raumforsch. 9 (1959) Heft 1, S. 12—18.
- WITZMANN, K. H.: Die Industrie in Oberbayern. — In: Inf. d. Inst. f. Raumforschung 14 (1964) Heft 3/4, S. 101—113.
- WITZMANN, K. H.: Maßnahmen zur Erhaltung der Erholungsgebiete im Großraum München. — In: Inf. d. Inst. f. Raumforschung 14 (1965) Heft 22, S. 785—801.
- WOELFLE, M.: Waldbau und Forstmeteorologie. — 2. Aufl., München 1950.
- WOLFF, L.: Über die gesetzliche Überwachung der Luftgüte und die noch ungelösten Fragen gesundheitlich bedeutsamer luftverunreinigender Stoffe. — Wasser-Luft-Betrieb 13 (1969) Nr. 10, S. 367—368.
- ZAHN, R.: Über Schwefeldioxid-Wirkungsgrenzen für Pflanzen. — Staub-Reinh. Luft 29 (1969) Nr. 9, S. 375—376.
- ZAMETZER: München. Ohne Grün keine gesunde Stadt. — Unser Wald (1959) Heft 10, S. 257 bis 259.
- ZANGERL, A. und STEINHAUSER, F.: Die Verteilung des SO₂-Gehaltes der Luft im Stadtgebiet von Wien. — Arch. f. Met. Geophys. u. Biokl., (B) 10 (1960) S. 132—153.
- ZIEGLER, H.: Die Beschäftigten — Einzugsbereiche der Großbetriebe Münchens. — Diss. TH München 1963 und Münchner Geogr. Hefte, Heft 25, 1964.
- ZIMMER, W.: München und seine Wälder — einige Fakten und Zahlen. — Allgem. Forstz. 22 (1967) Heft 35, S. 586.
- ZSCHAUBITZ, K.-J.: Zusammenstellung der Meßergebnisse über orientierende Untersuchungen der SO₂-Konzentration im Gebiet der Stadt Münster. — Diss. Univ. Münster 1964.

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

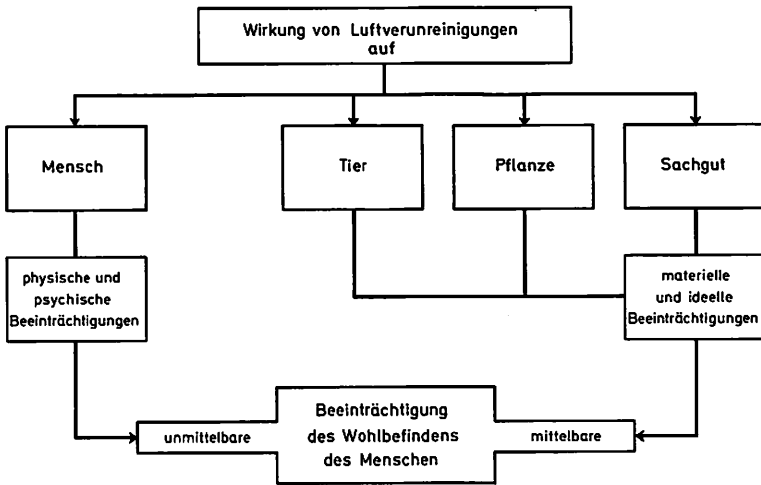


Abbildung 1:
Schematische Darstellung der Wirkungswege der Luftverunreinigungen (nach STRATMANN, BUCK und PRINZ, 1968).

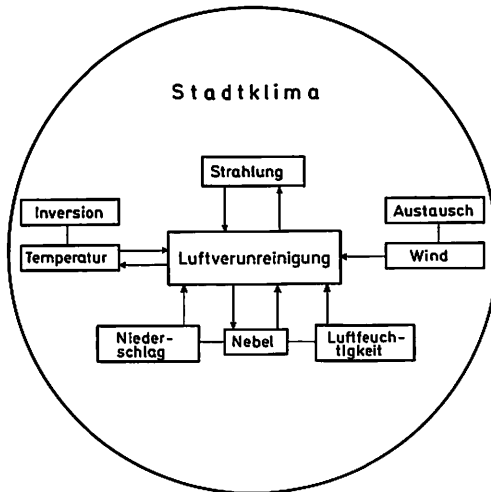


Abbildung 2:
Schematische Darstellung der Wechselwirkung von Luftverunreinigung und meteorologischen Faktoren im Komplex Stadtklima.

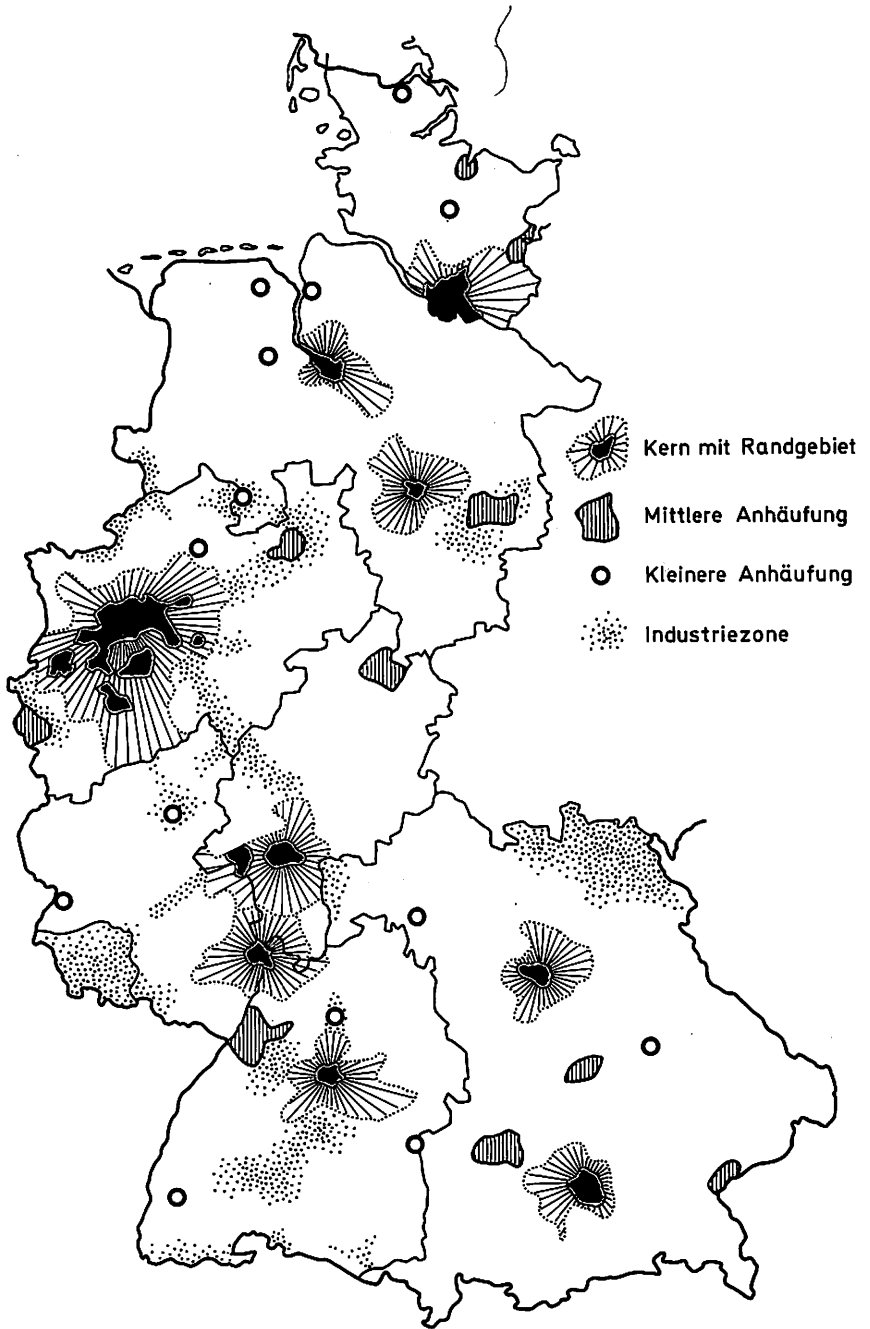


Abbildung 3:
 Industriezentren und Ballungsräume in der Bundesrepublik Deutschland
 (nach LIESE, 1969, ergänzt).

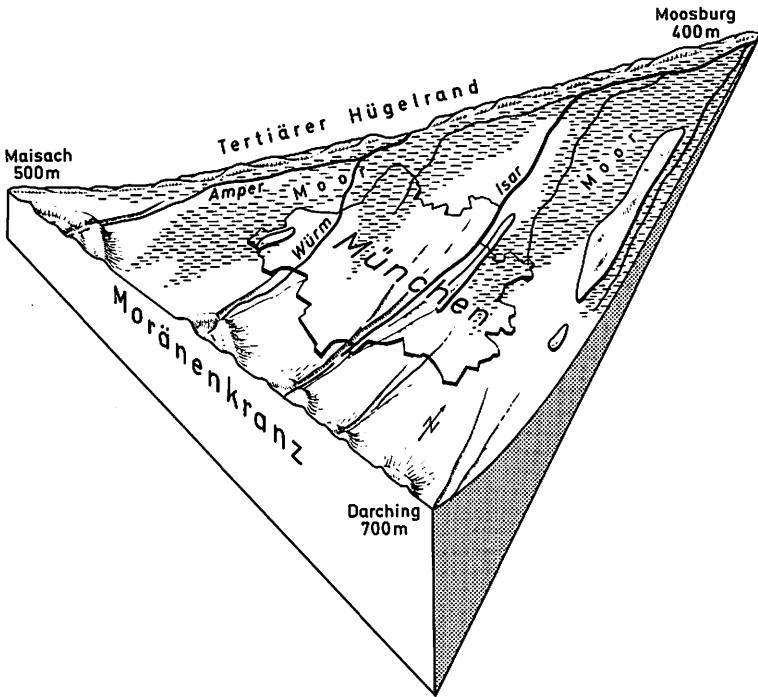


Abbildung 4:
 Blockdiagramm der Münchener Ebene (nach TROLL, 1926).

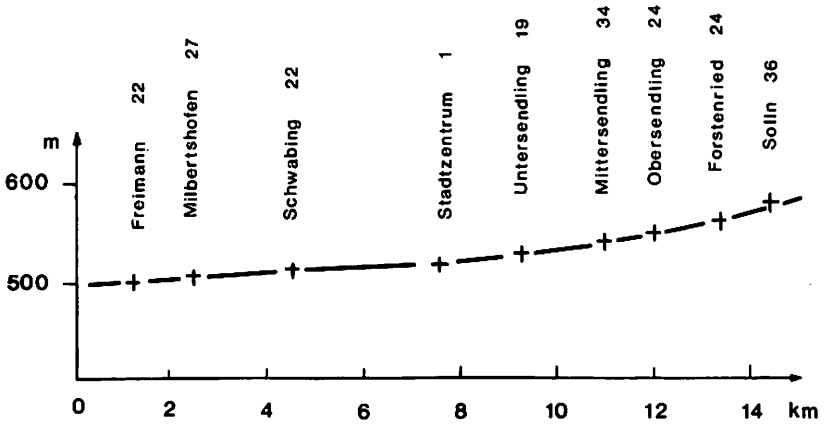


Abb. 5a: Profil von NNE nach SSW

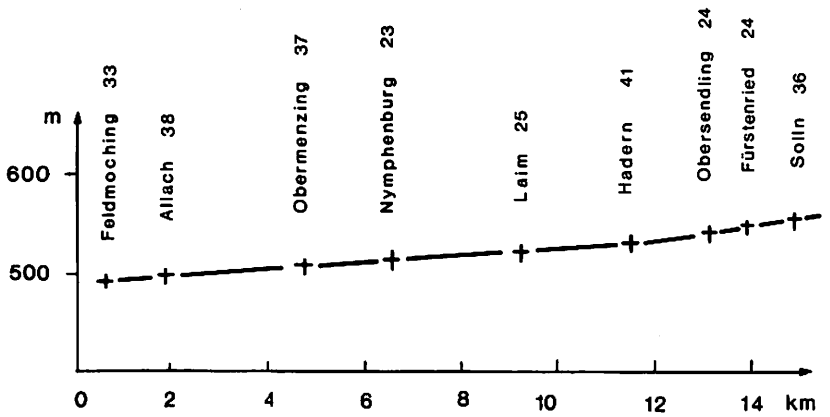
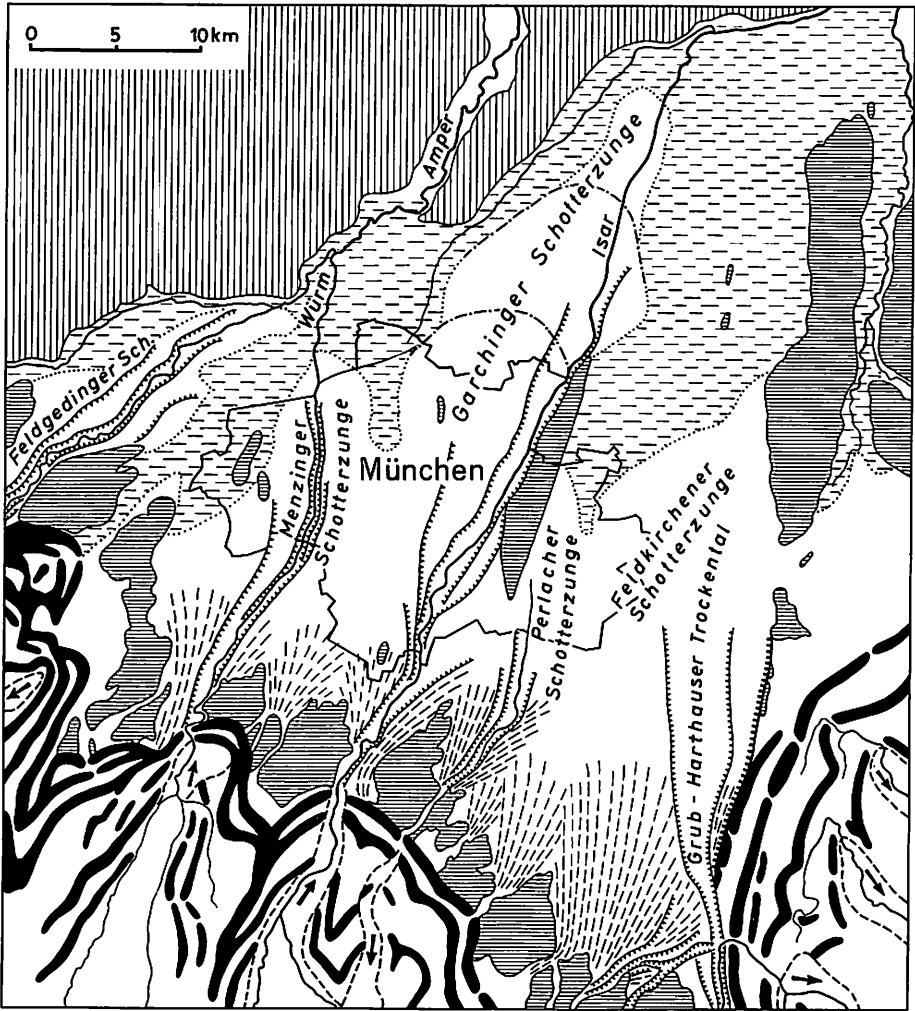


Abb. 5b: Profil von N nach S

Abbildung 5a, 5b:
Profile durch das Stadtgebiet von München.












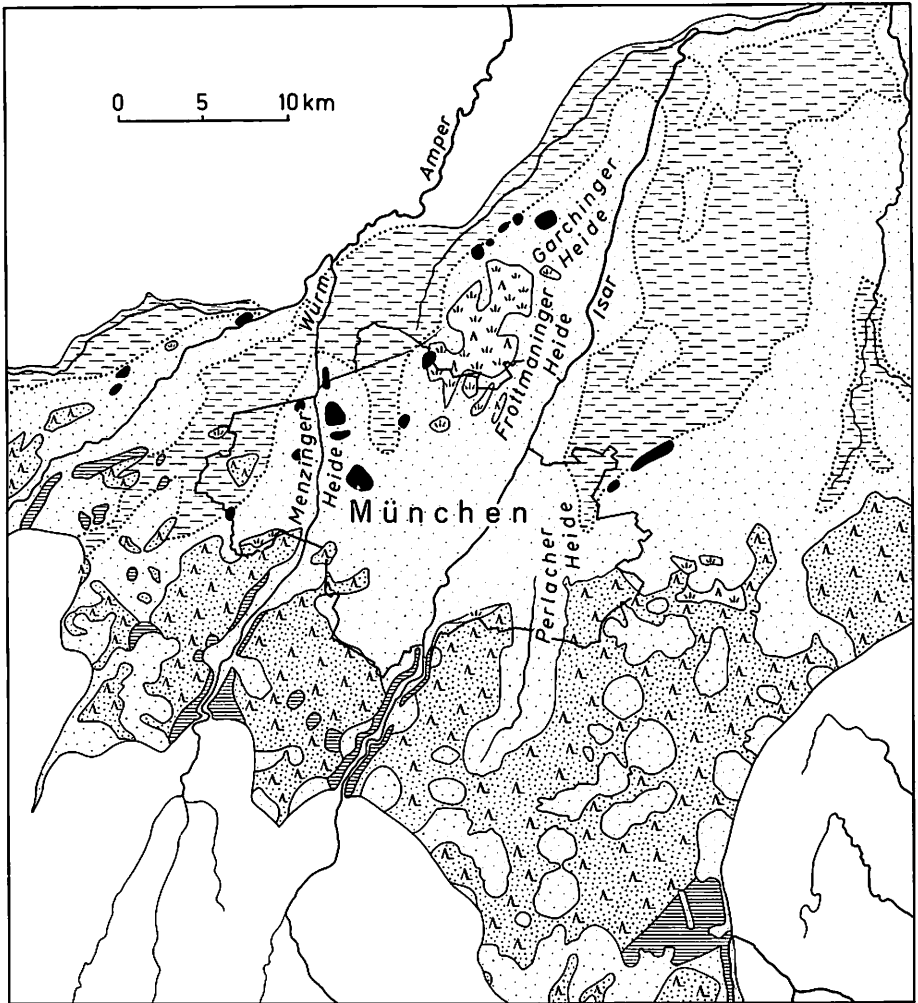






- | | |
|--|--|
|  Tertiäres Hügelland |  Wurzelkegel der Niederterrasse |
|  Altmoränen und Hochterrassen |  östl. Randterrasse der Münchener Ebene |
|  Jungendmoränen |  Talterrassen |
|  Zweigfurchen und Entwässerungsrichtung in ihnen |  Rand der trockenen Schwemmkegel gegen das Moor |
|  Abgrenzung der drei Teilkegel der Münchener Schotterzunge | |

Abbildung 6:
Morphologie der Münchener Ebene (nach TROLL, 1926).



- | | |
|--|---|
|  Moor |  Fichtenwald (<i>Picea excelsa</i>), von Natur xerophytischer Laubwald |
|  Heidewald (<i>Pinetum silvestris graminosum</i>) |  Mischwald aus Fichte und Rotbuche |
|  Mesophytischer Laubwald (vorn. <i>Quercus</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Carpinus</i>), 'Lohwald' |  offenes Heide- und Ackerland |

(C. TROLL 1926)

Abbildung 7:
Vegetation der Münchener Ebene (nach TROLL, 1926).

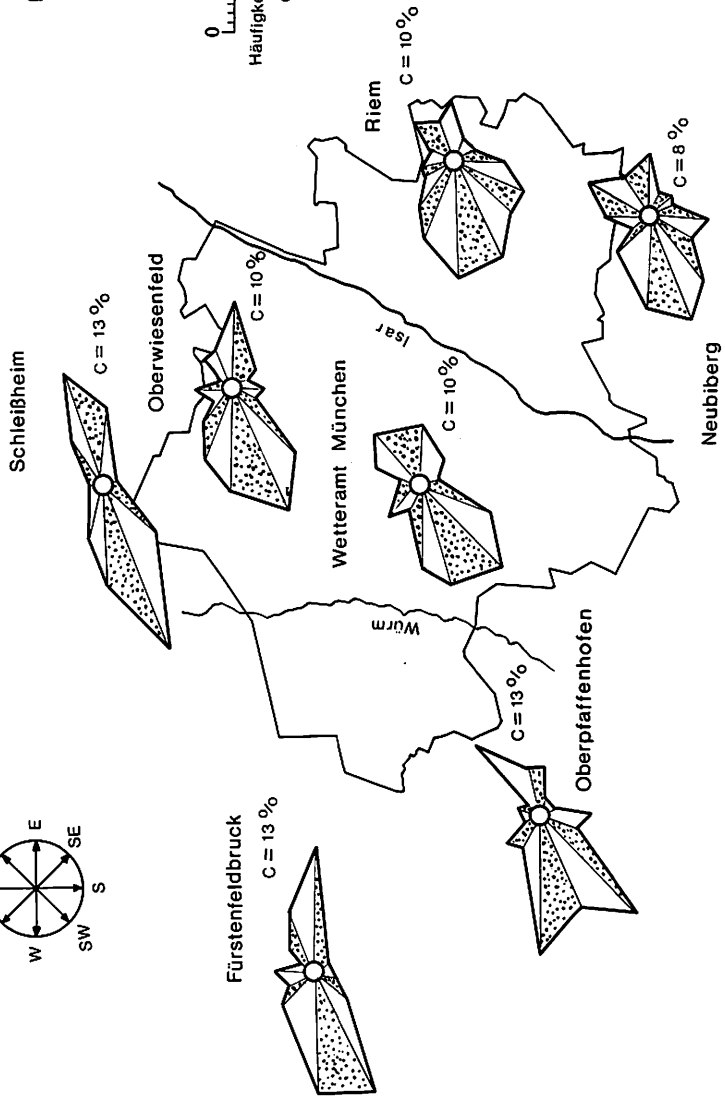
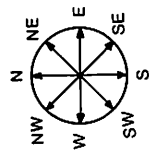
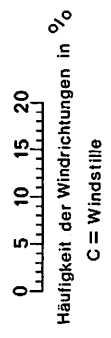
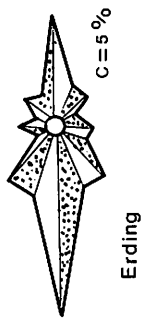


Abbildung 8:
Windverteilung im Raum München (nach SCHWIEGLER, 1963, ergänzt).

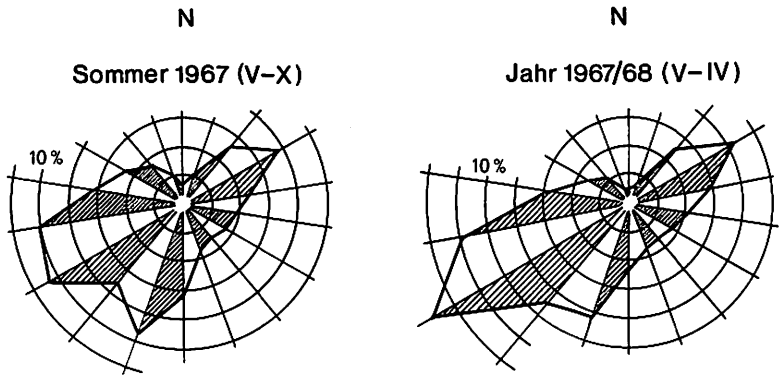


Abbildung 9:
Windverteilung in München, Sommer 1967 und Jahr 1967/68 (aus SCHWEGLER, 3. Ber. 1969).

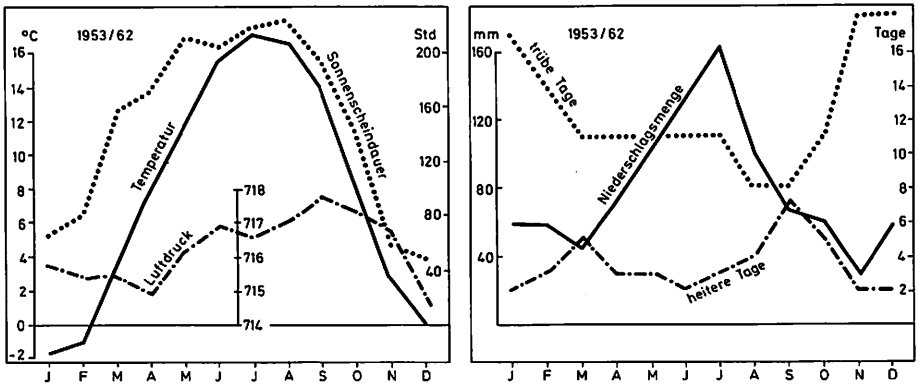


Abbildung 11:
Graphische Darstellung der Hauptwetterungs- und Klimadaten 1953—1962 von München (nach EICHER, 1964).

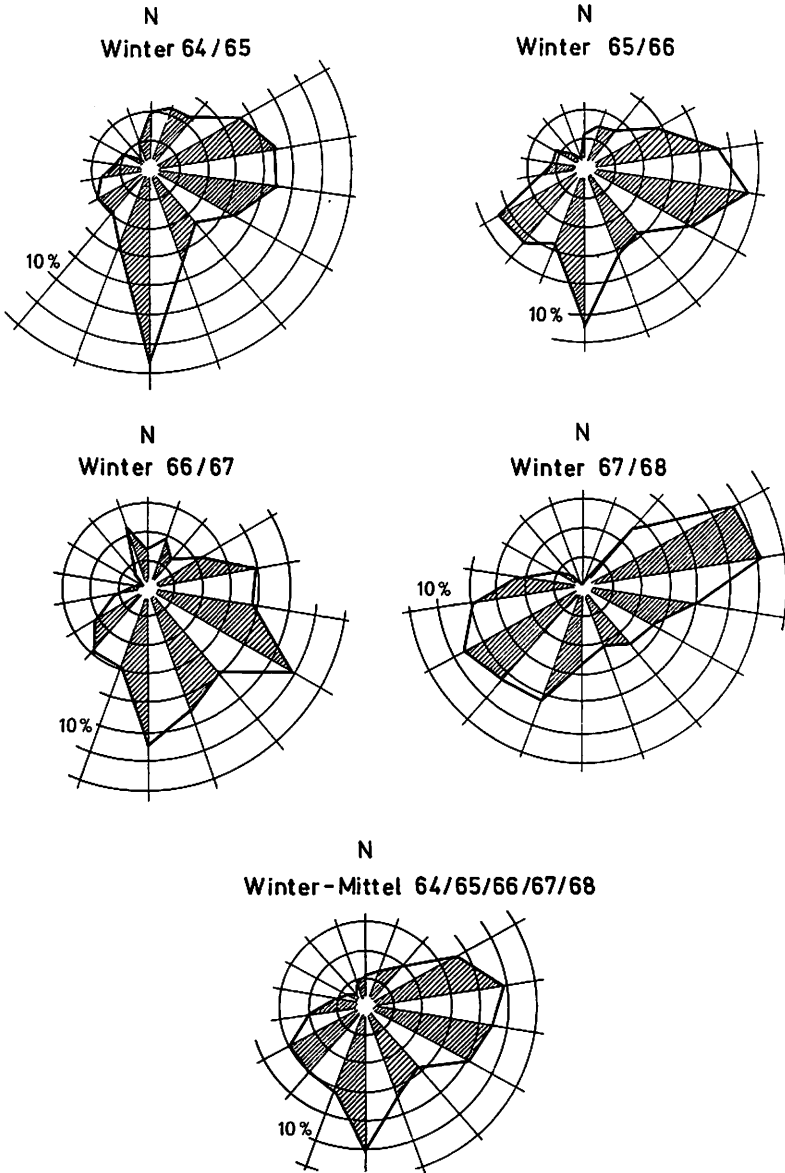


Abbildung 10:
 Windverteilung bei Inversionslagen ≥ 24 Std. in München (aus SCHWEGLER, 3. Ber. 1969).

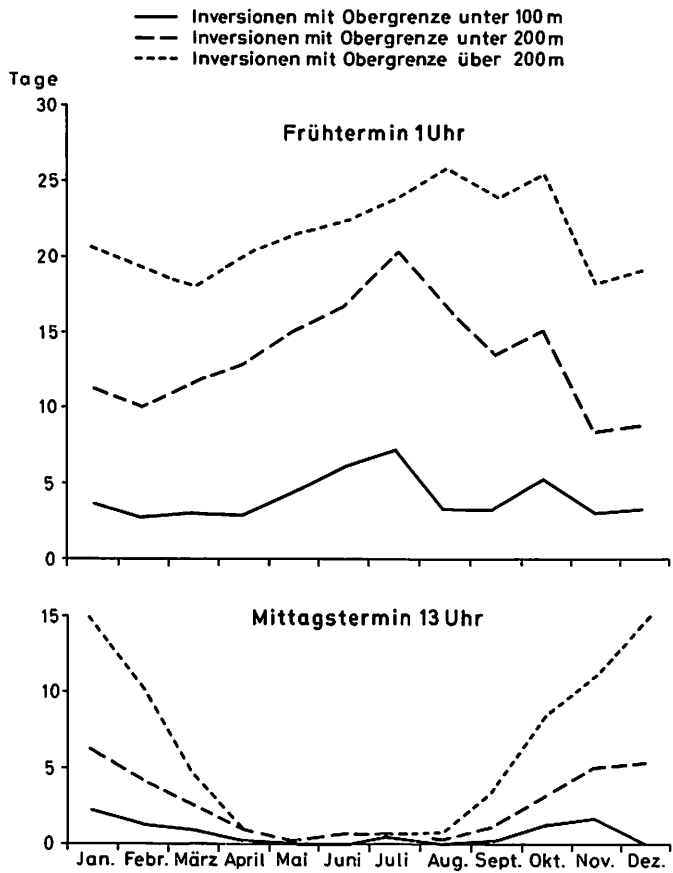


Abbildung 12:
 Mittlere monatliche Anzahl der Tage mit bodennahen Inversionen bis 500 m Untergrenze in München, Zeitraum Oktober 1962 bis März 1968 (nach SCHWEGLER, 3. Ber. 1969).



Abbildung 13 a:
Stadtansicht bei labiler Luftschichtung, d. h. guter Durchmischung, 10. 11. 1966, 8 Uhr.



Abbildung 13 b:
Stadtansicht bei stabiler Luftschichtung, d. h. bei austauscharmer Wetterlage, 8. 11. 1966, 9.30 Uhr
(aus SCHWEGLER, Met. Rundschau 1967).

Abbildung 14:
Entwicklung des Münchener Stadtgebietes von 1853—1970.

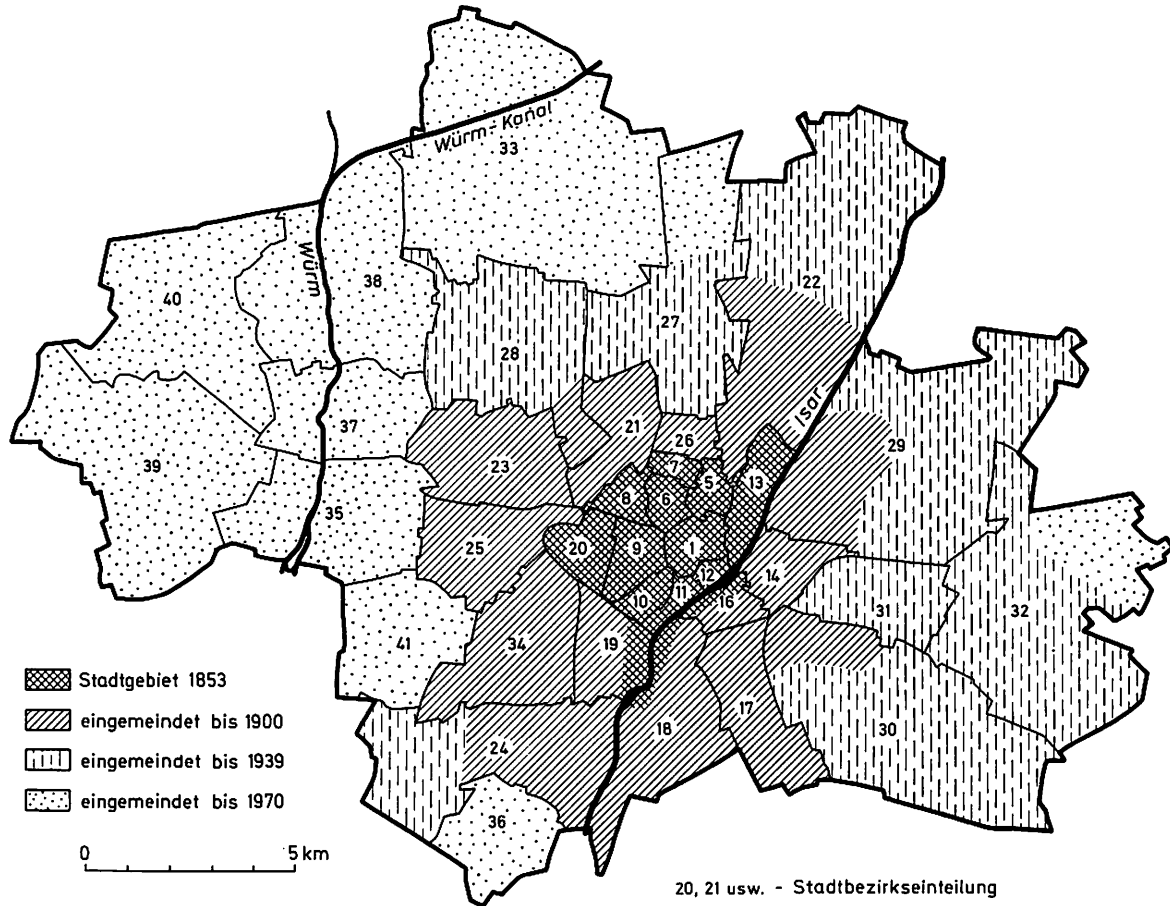
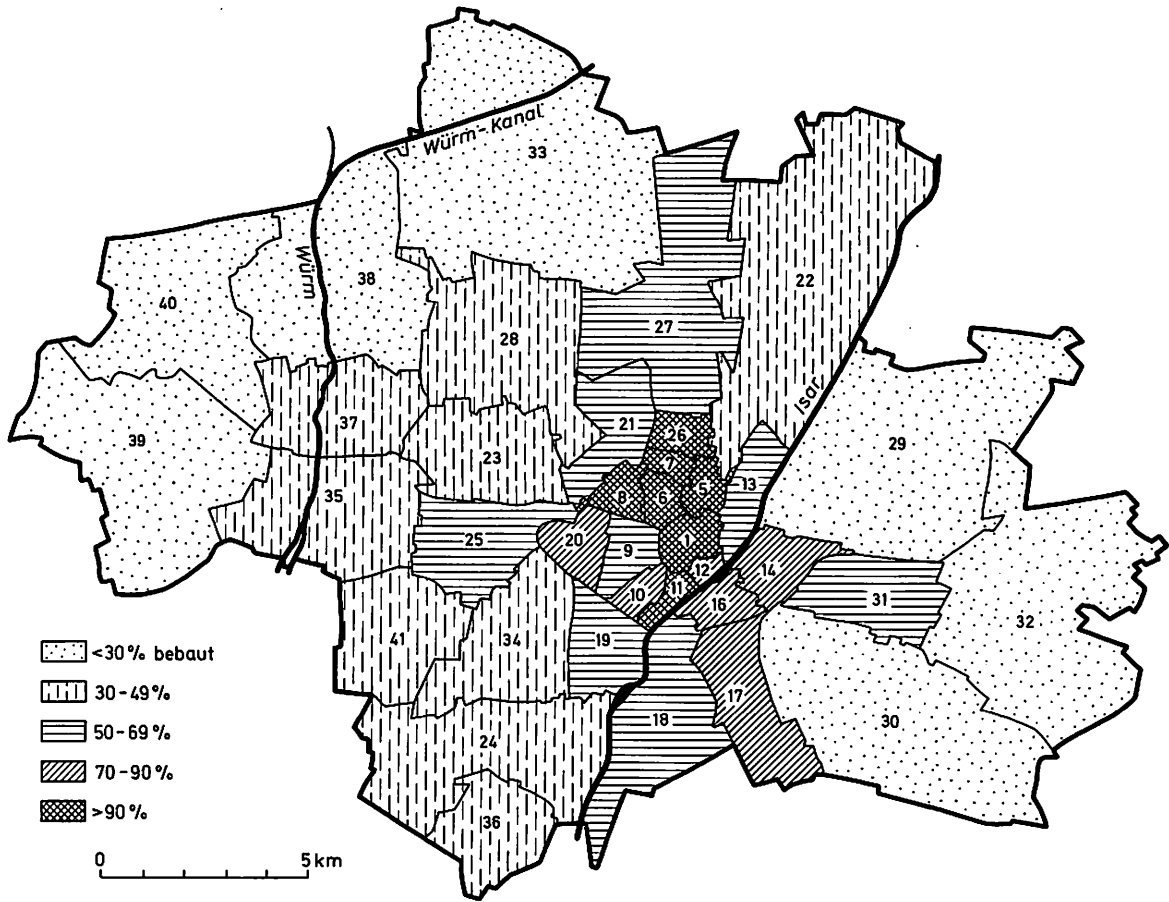


Abbildung 15:
Bebauungsdichte in München nach Stadtbezirken (Stand 1965).



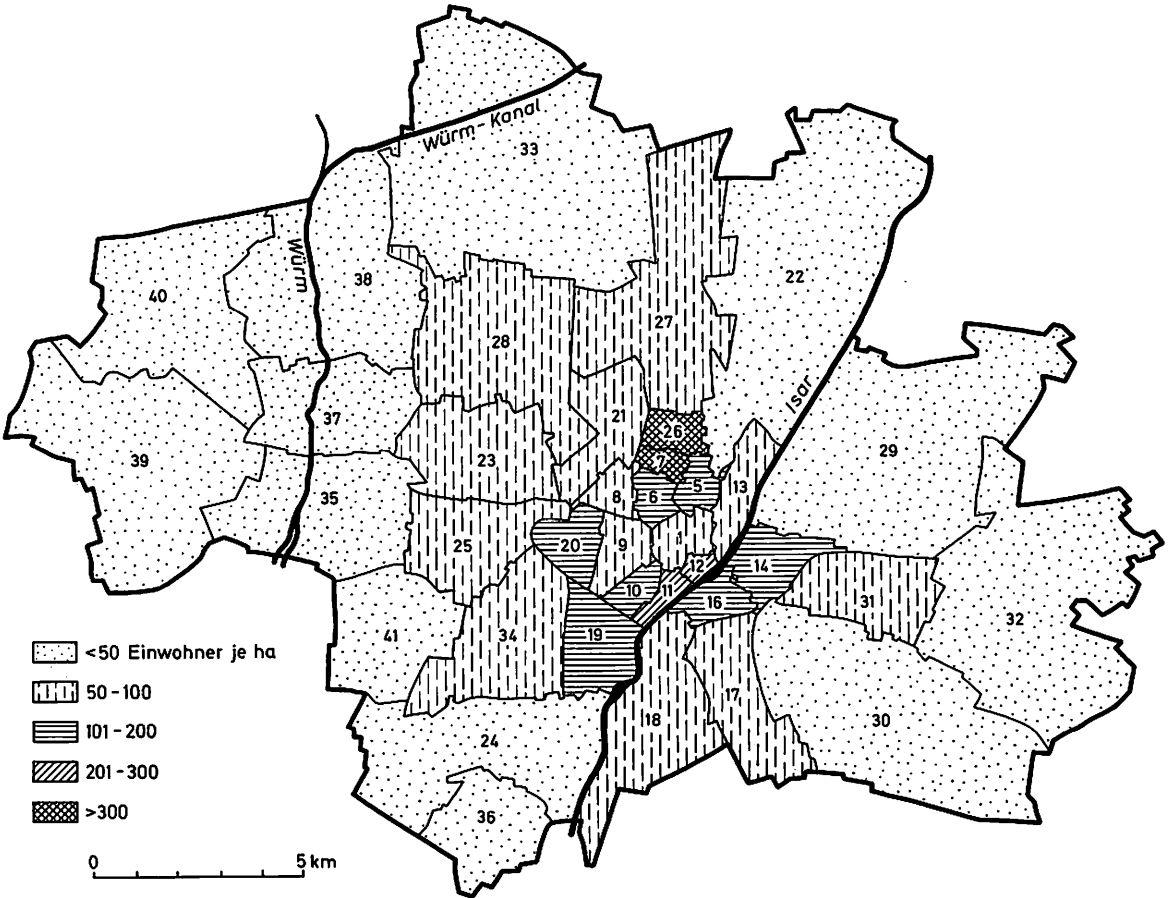


Abbildung 16:
 Einwohnerdichte in München nach Stadtbezirken (Stand 1969).

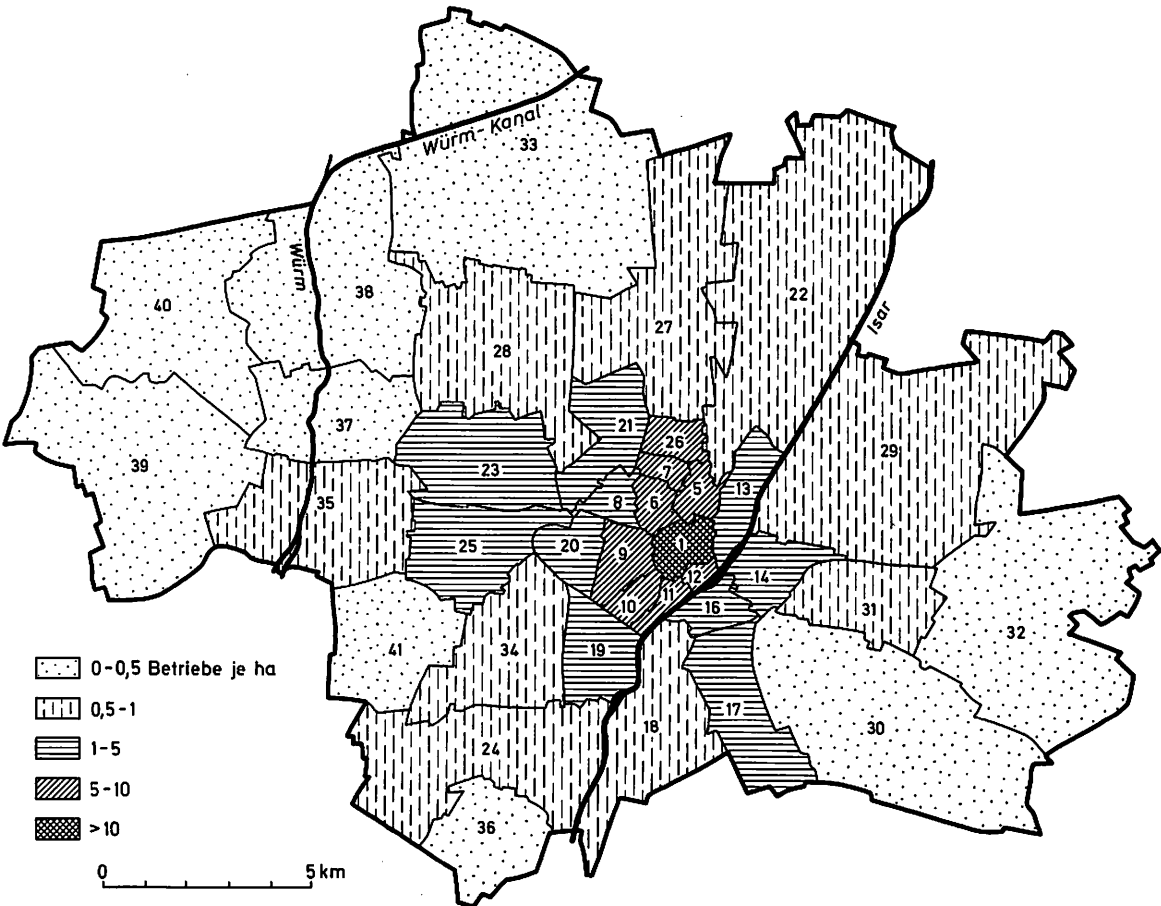


Abbildung 17:
 Dichte der Industrie- und Gewerbebetriebe in München nach Stadtbezirken (Stand 1969).

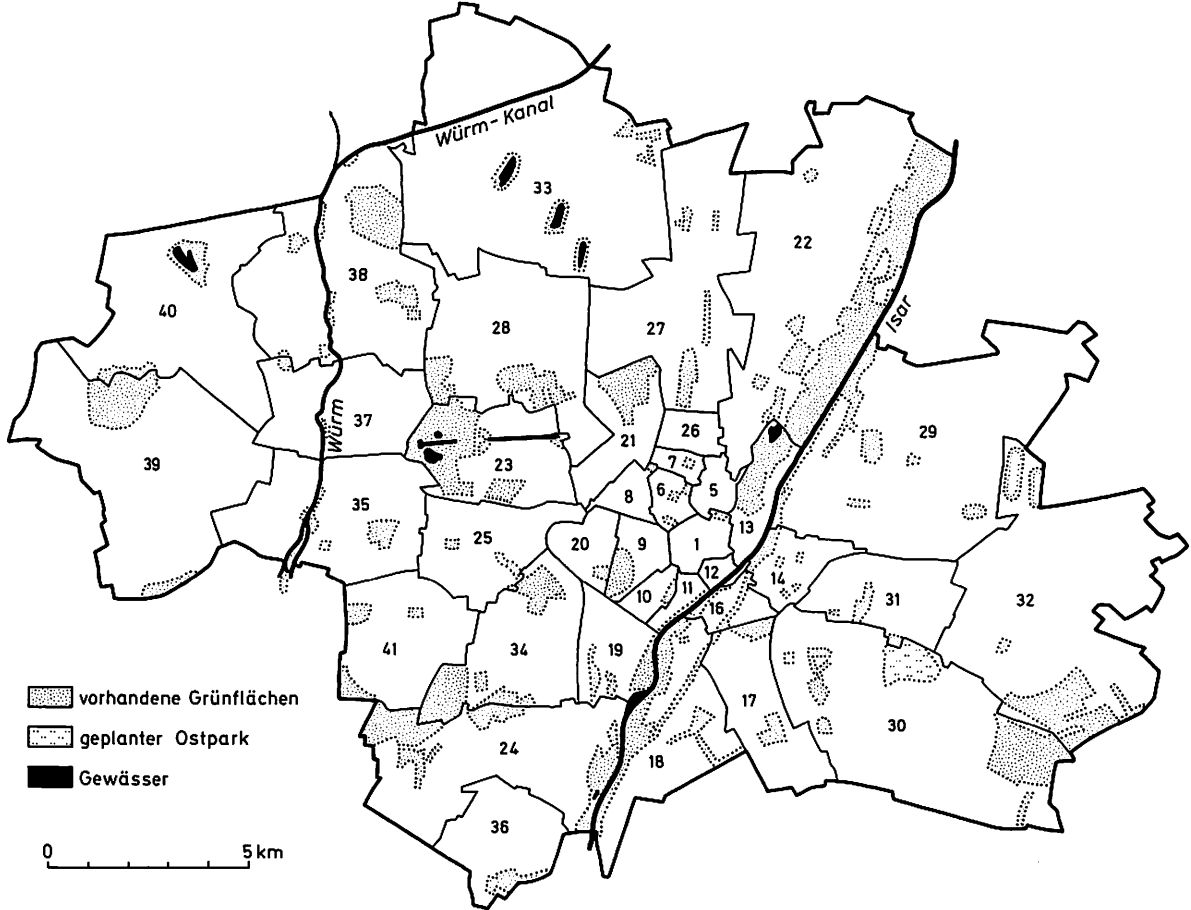


Abbildung 20:
Grünflächen in München (Stand 1968).

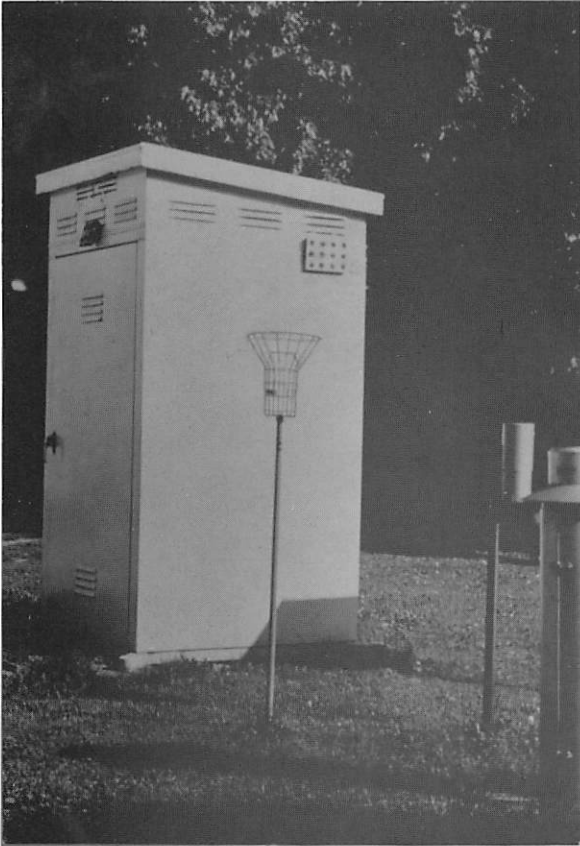


Abbildung 21:
Dauermeßstation mit Meßhütte, Staub- und Regenniederschlagssammlern, sowie Flechtentafeln.

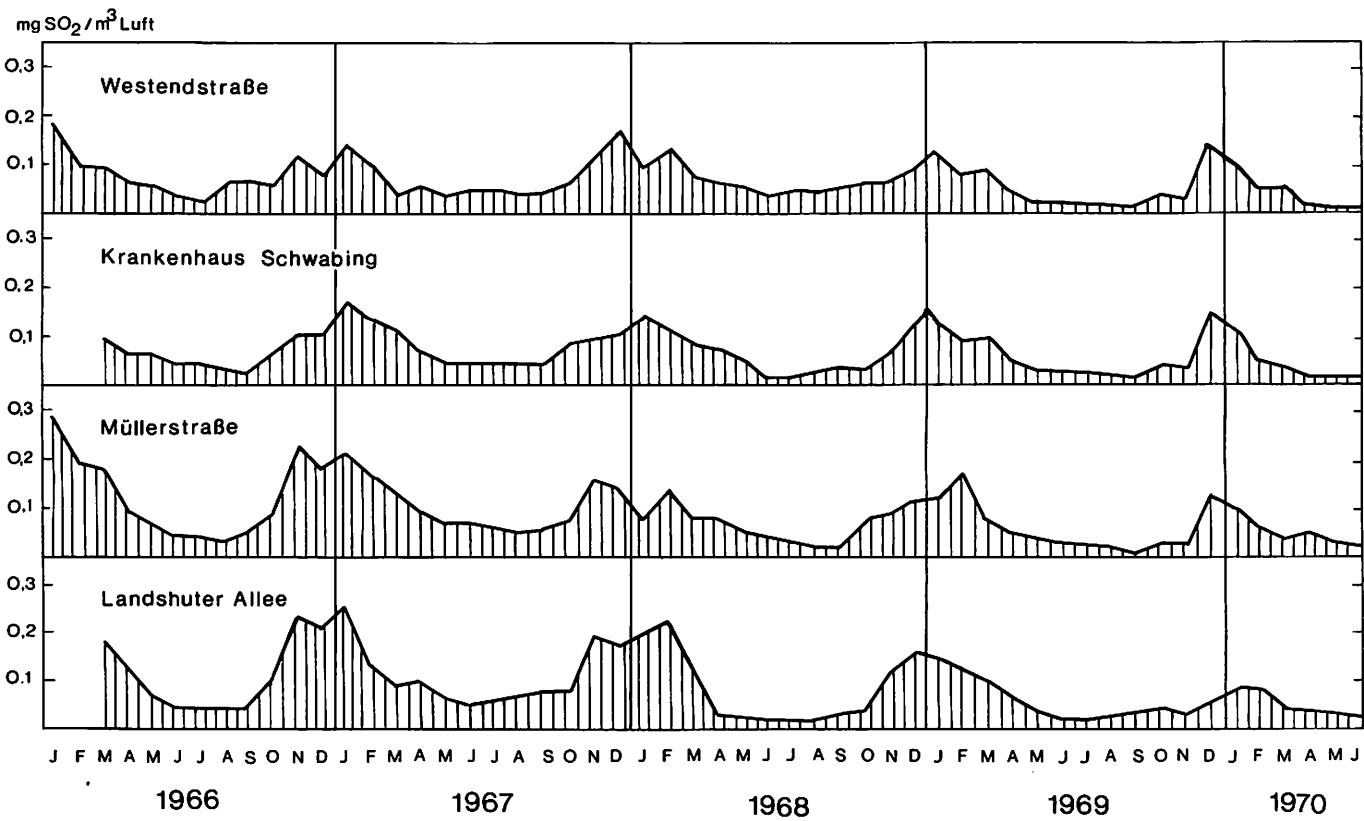


Abbildung 25:
 Jahresgang der SO₂-Immission aus den Monatsmitteln von 1966—1970 an 4 Dauermeßstationen in München
 (nach SCHWEGLER, 3. Bcr. 1969, ergänzt).

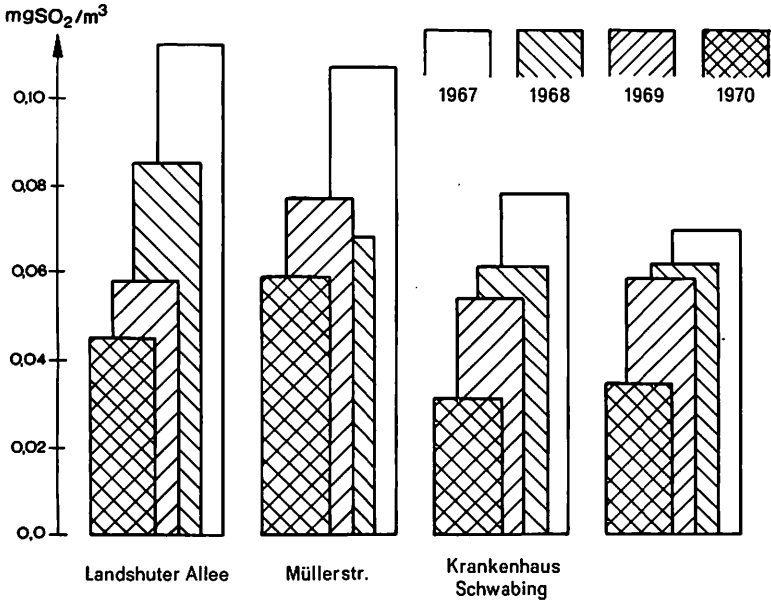


Abbildung 27:
 Jahresmittelwerte der SO₂-Immission von 1967—1970 an 4 Dauermeßstationen in München
 (nach SCHWEGLER, 3. Ber. 1969, ergänzt).

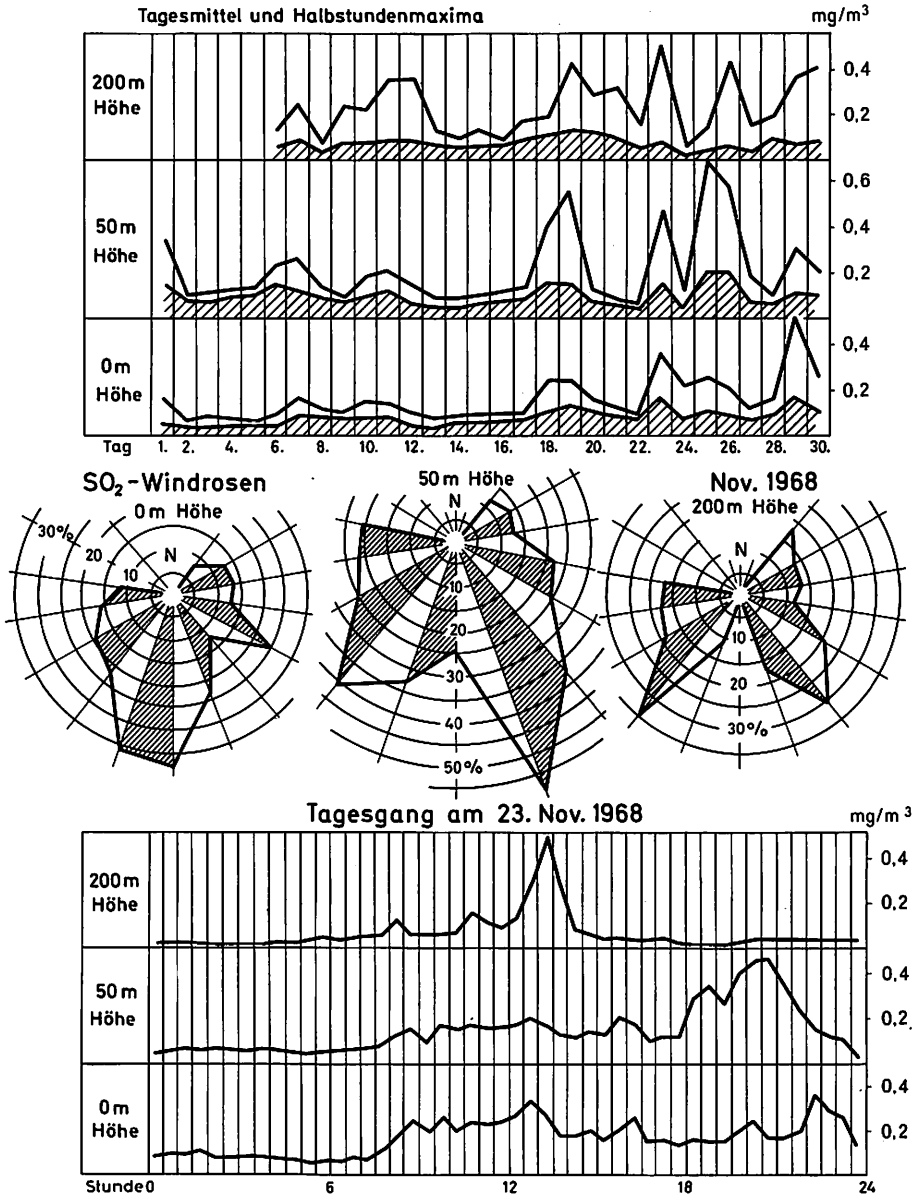


Abbildung 28:
SO₂-Immission am Fernsehturm in 3 verschiedenen Niveaus (aus SCHWEGLER, 3. Ber. 1969).



Abbildung 30:
Entnahme der Flechtenproben mit dem Lochseisen an einer stehenden Buche.

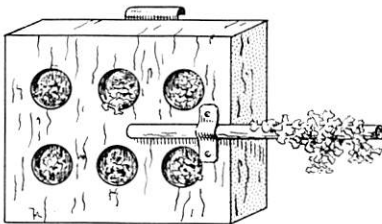
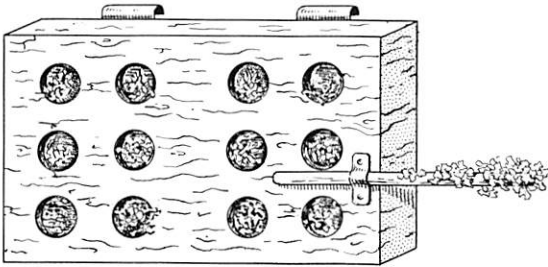
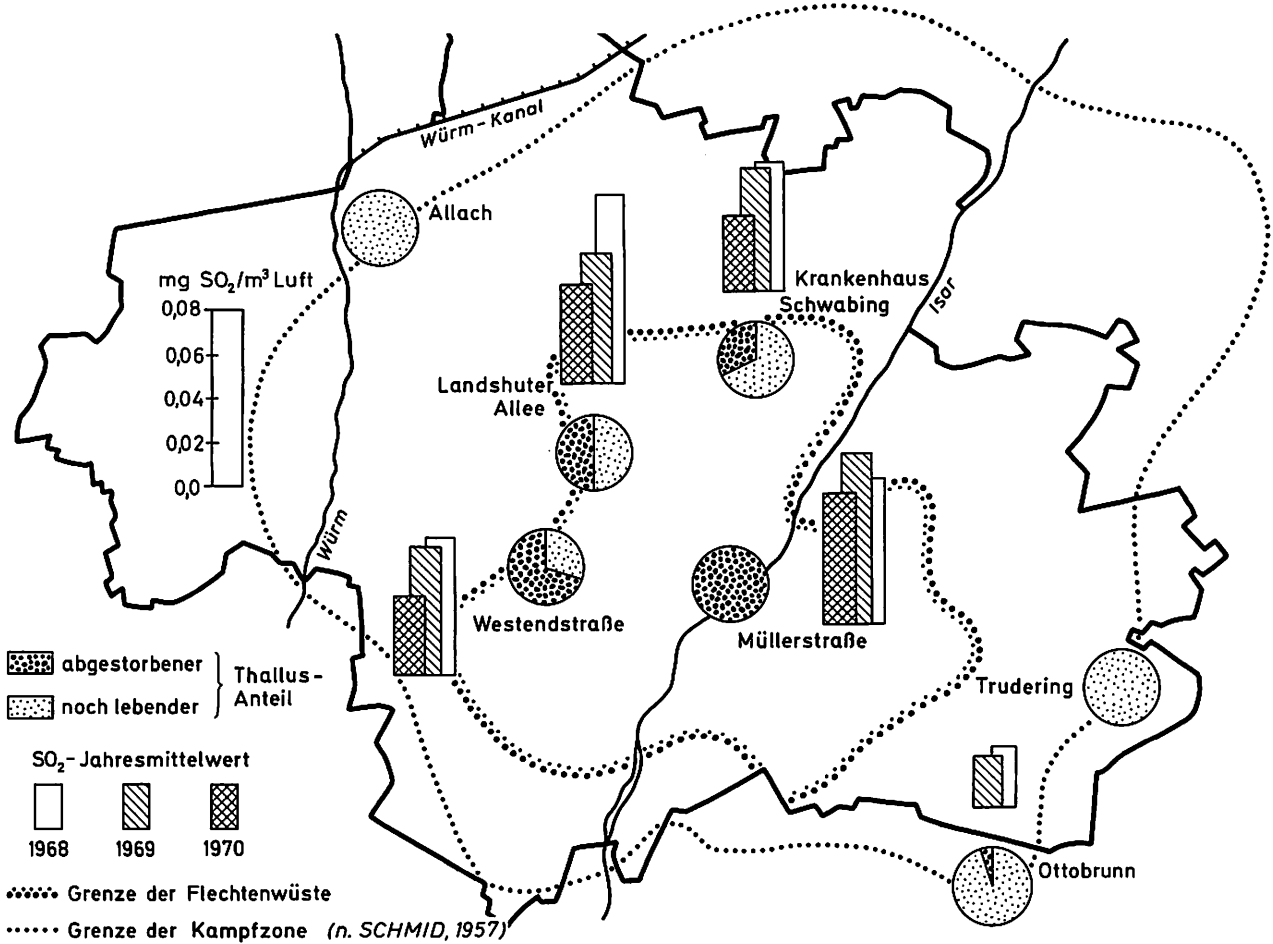


Abbildung 31:
Flechtentafeln mit *Hypogymnia physodes* (L) Nyl. zur Exposition vorbereitet.

Abbildung 32:
Flechtenschädigung und SO₂-Immission von Juli 1968—Oktober 1970 im Raum München.



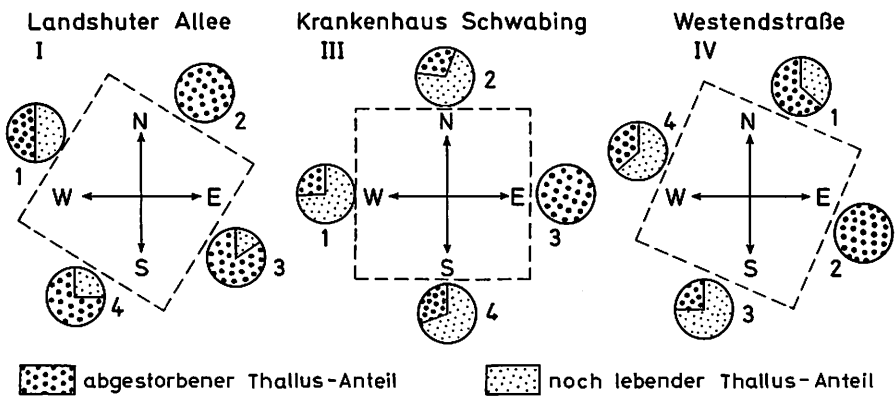
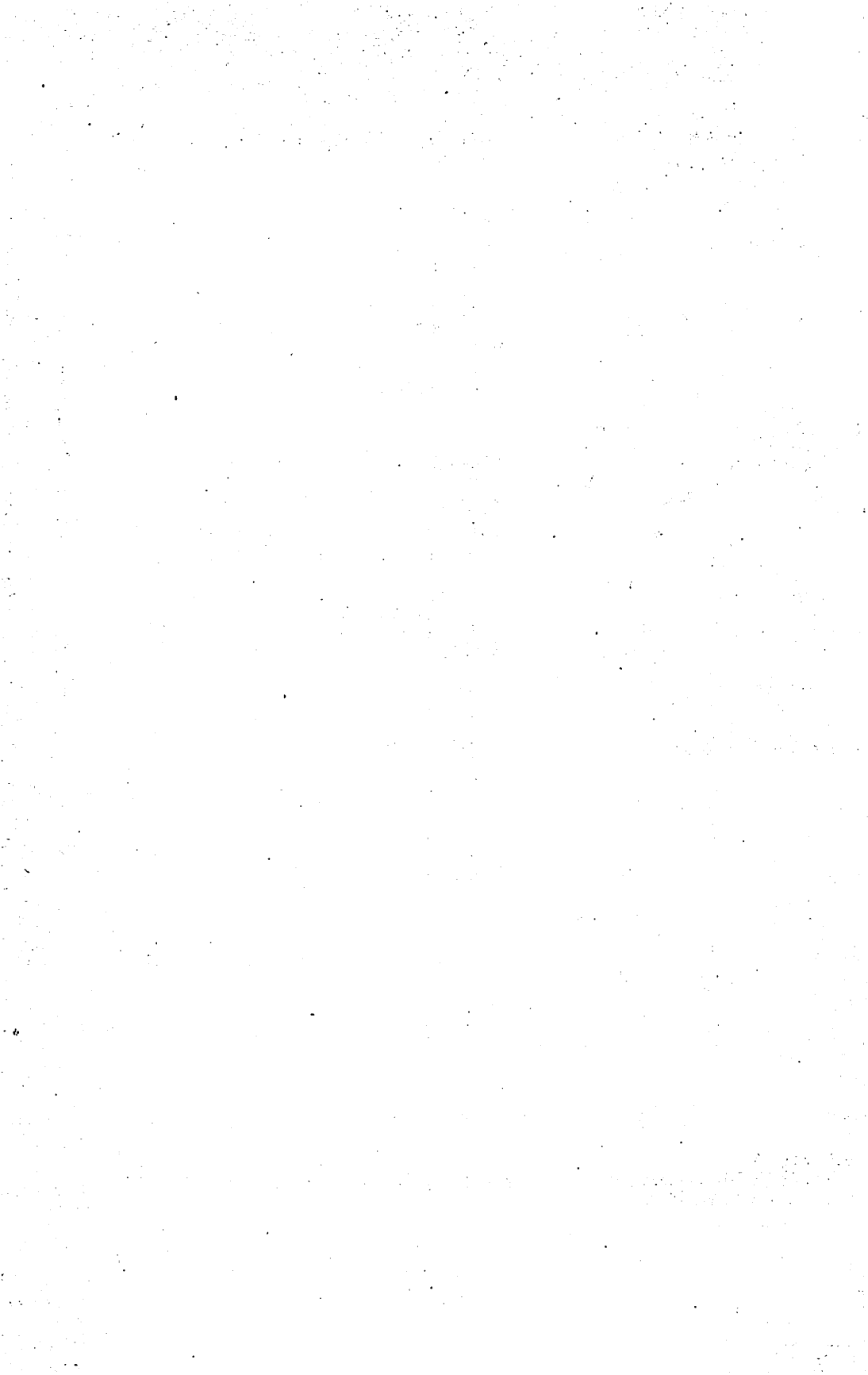


Abbildung 33:
 Abhängigkeit der Veränderungen (Schädigungen) an den Testflechten von der Exposition vom
 Mai 1969 bis Oktober 1970.





Krankenhaus Schwabing 1.4



Krankenhaus Schwabing 2.3



Krankenhaus Schwabing 4.6



Landshuter Allee 1.11



Landshuter Allee 3.1



Landshuter Allee 3.6



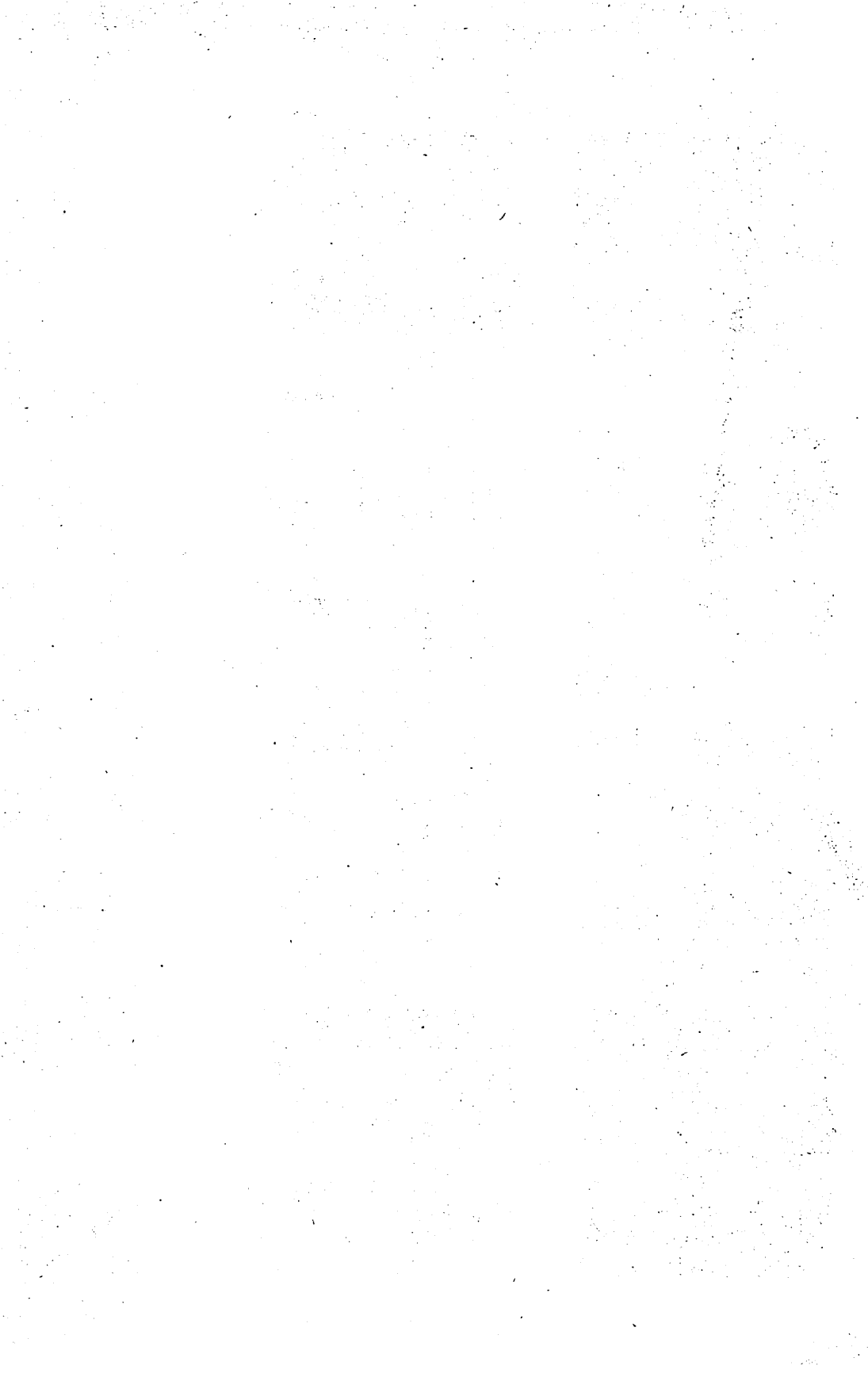
Westendstraße 1.2

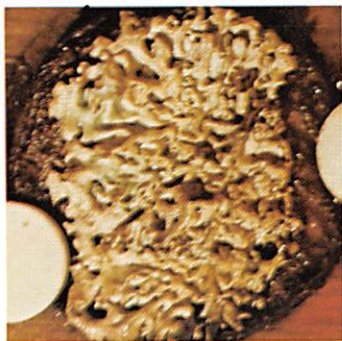


Westendstraße 1.10

Bildtafel 1:

Charakteristische Veränderungen (Schädigungen) der Testflechte *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. bei Einwirkung von Stadtklima und unterschiedlicher SO_2 - und Staub-Immission im Raum München in der Zeit vom Juli 1968 bzw. Mai 1969 bis Oktober 1970.





Westendstraße 2.6



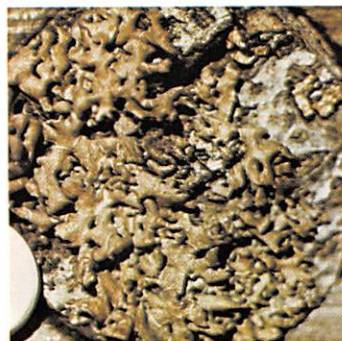
Westendstraße 3.4



Westendstraße 4.1



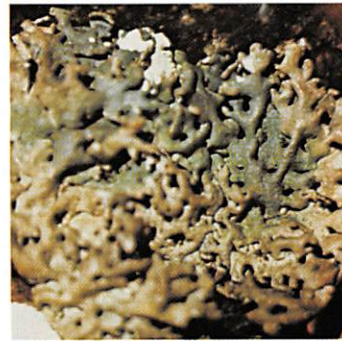
Müllerstraße 1.2



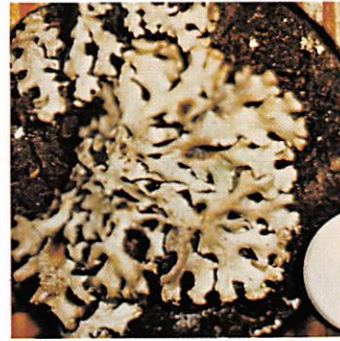
Müllerstraße 1.3



Müllerstraße 1.8



Romanstraße 1.3



Romanstraße 1.7

Bildtafel 2:

Charakteristische Veränderungen (Schädigungen) der Testflechte *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. bei Einwirkung von Stadtklima und unterschiedlicher SO_2 - und Staub-Immission im Raum München in der Zeit vom Juli 1968 bzw. Mai 1969 bis Oktober 1970.





Romanstraße 1.9



Ottobrunn (Raffinerie) 1.7



Forstenrieder Wald 1.2



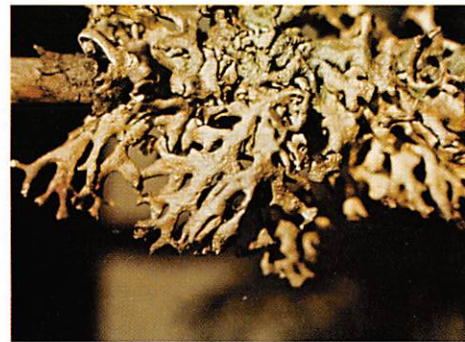
Forstenrieder Wald 1.6



Krankenhaus Schwabing Tafel 4



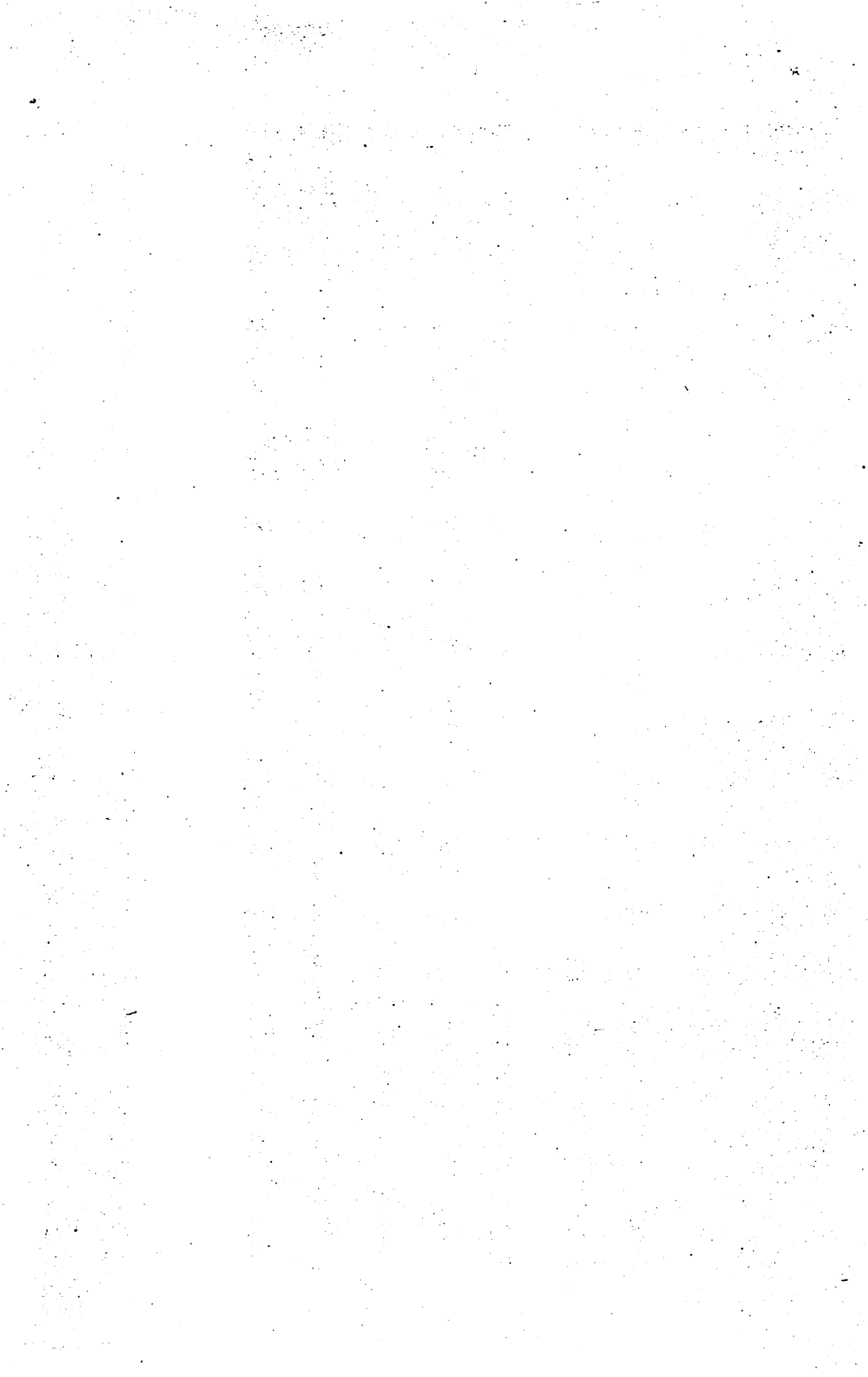
Landshuter Allee Tafel 3



Westendstraße Tafel 1

Bildtafel 3:

Charakteristische Veränderungen (Schädigungen) der Testflechte *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. bei Einwirkung von Stadtklima und unterschiedlicher SO_2 - und Staub-Immission im Raum München in der Zeit vom Juli 1968 bzw. Mai 1969 bis Oktober 1970.



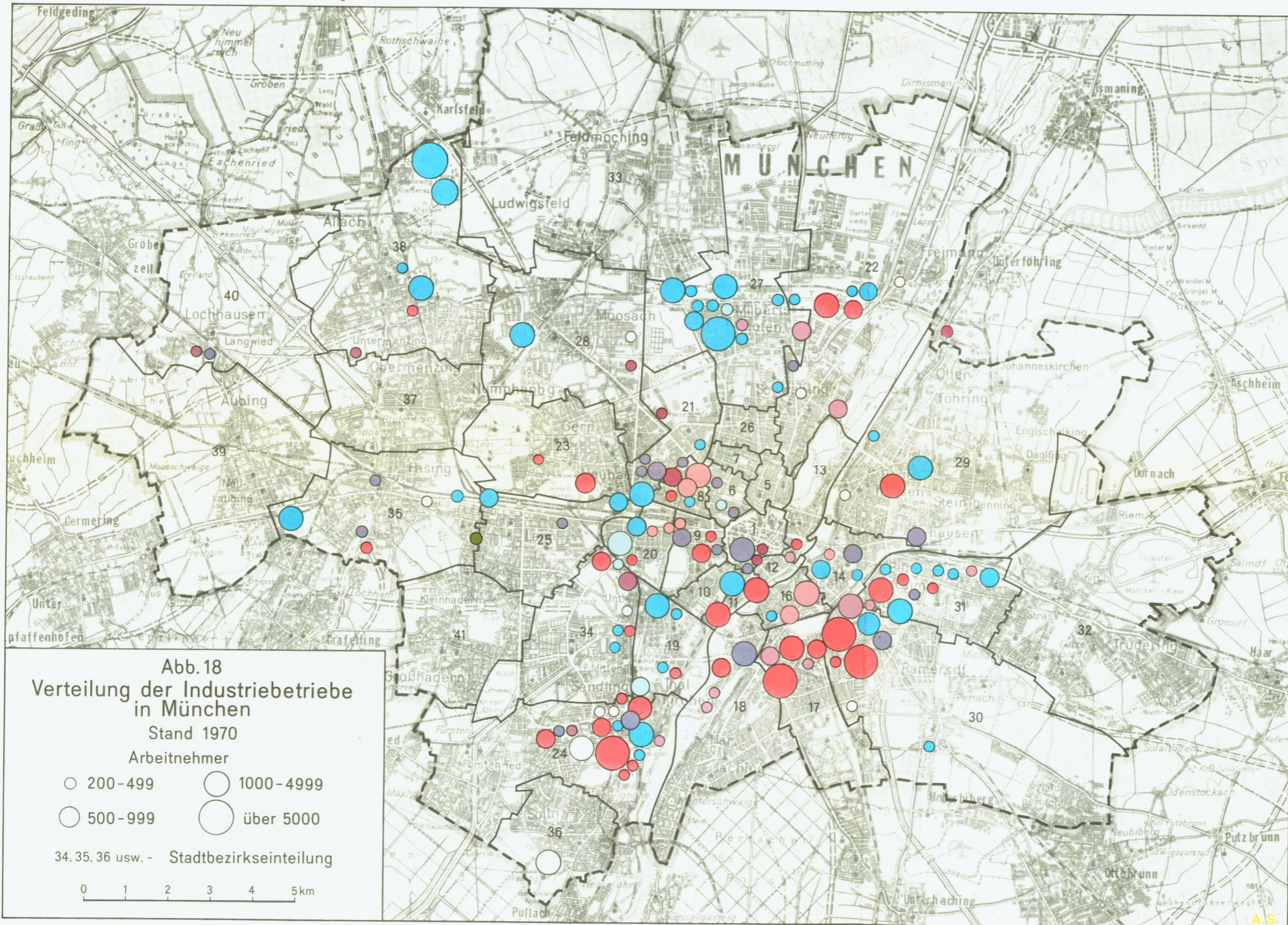


Abb. 18
Verteilung der Industriebetriebe
in München

Stand 1970

Arbeitnehmer

- 200-499
- 500-999
- 1000-4999
- über 5000

34, 35, 36 usw. - Stadtbezirkseinteilung

0 1 2 3 4 5 km

- Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden
- Energiewirtschaft einschließlich Heiz-, E-, Gas- und Wasserwerke, Müllverbrennung
- Maschinen-, Apparate-, Straßen- und Luftfahrzeugbau, Stahlbau, Eisen und Stahlwaren, Gießereien, NE-Metallindustrie
- Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik
- Chemische und Pharmazeutische Industrie, Mineralölverarbeitung, Kunststoffherstellung und -verarbeitung
- Druckereien, Papierverarbeitung
- Textil und Bekleidung
- Nahrungs- und Genußmittel einschließlich Tabakwaren
- Brauereien
- Sonstige (Holzbearbeitung, Glas, Keramik, Musikinstrumente, Spiel- und Schmuckwaren, Sportgeräte, Gummi- und Lederwaren)



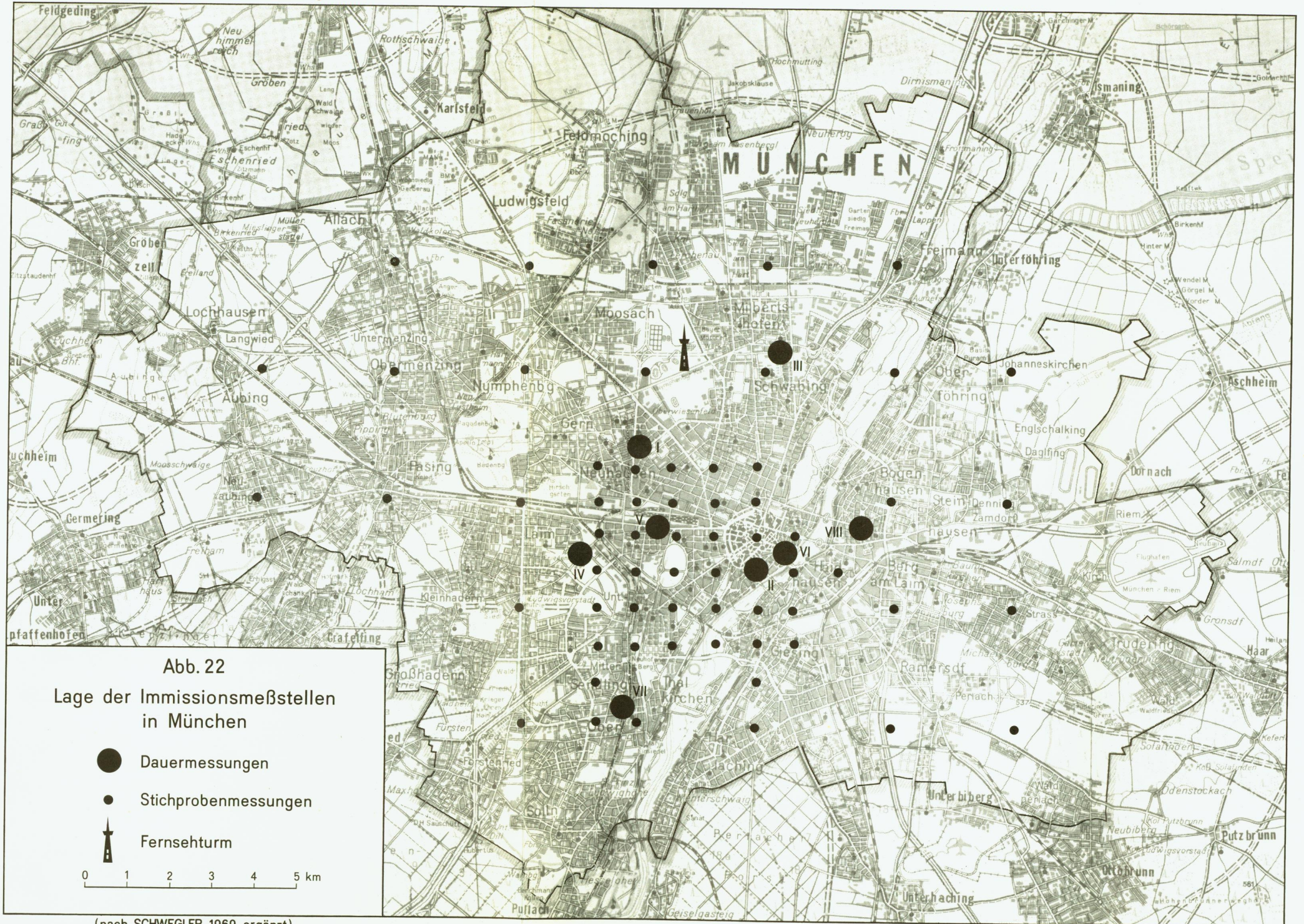


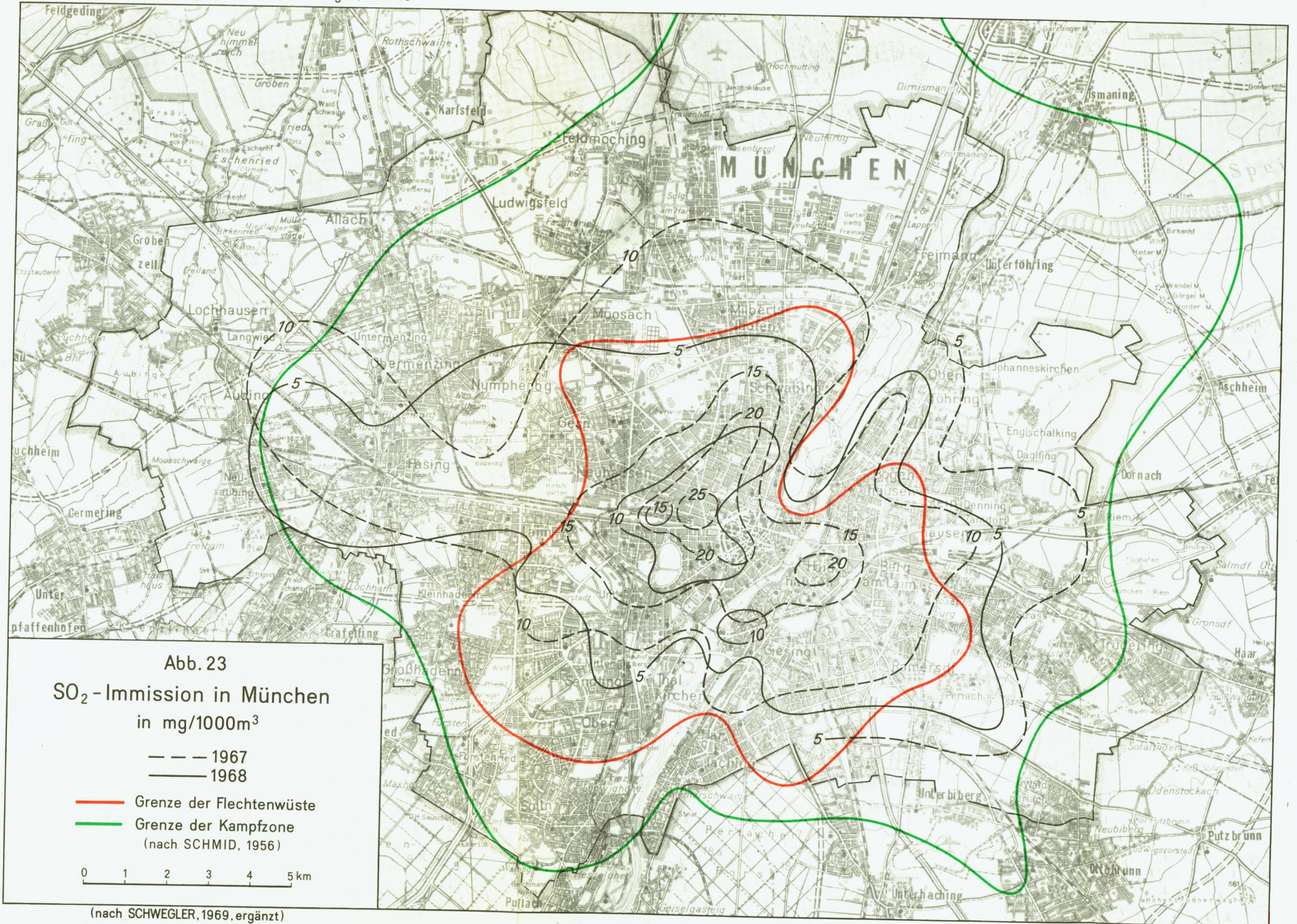
Abb. 22

Lage der Immissionsmeßstellen
in München

- Dauermessungen
- Stichprobenmessungen
- 🗼 Fernsehturm

0 1 2 3 4 5 km

(nach SCHWEGLER, 1969, ergänzt)



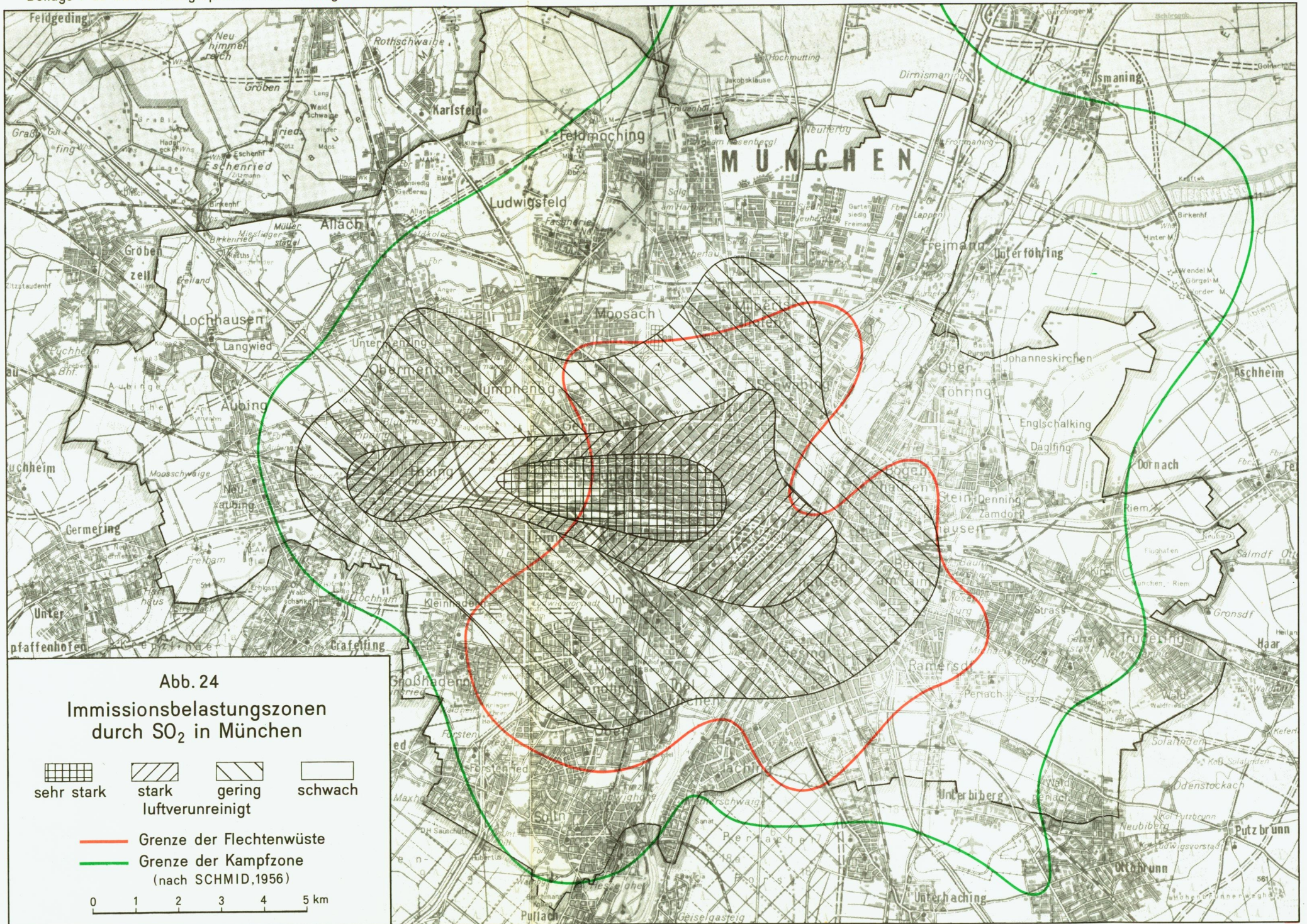


Abb. 24

Immissionsbelastungszonen durch SO₂ in München

- sehr stark
- stark
- gering
- schwach

- Grenze der Flechtenwüste
- Grenze der Kampfzone (nach SCHMID, 1956)

0 1 2 3 4 5 km

(nach HERBERICH, 1968, ergänzt)



Abb. 26

SO₂-Windrosen
von vier Meßstationen in München

Winter 1967/68 = äußerer Stern

Sommer 1968 = innerer Stern

5 mm = 0,1 mg/m³

0 1 2 3 4 5 km

(nach SCHWEGLER, 1969, ergänzt)

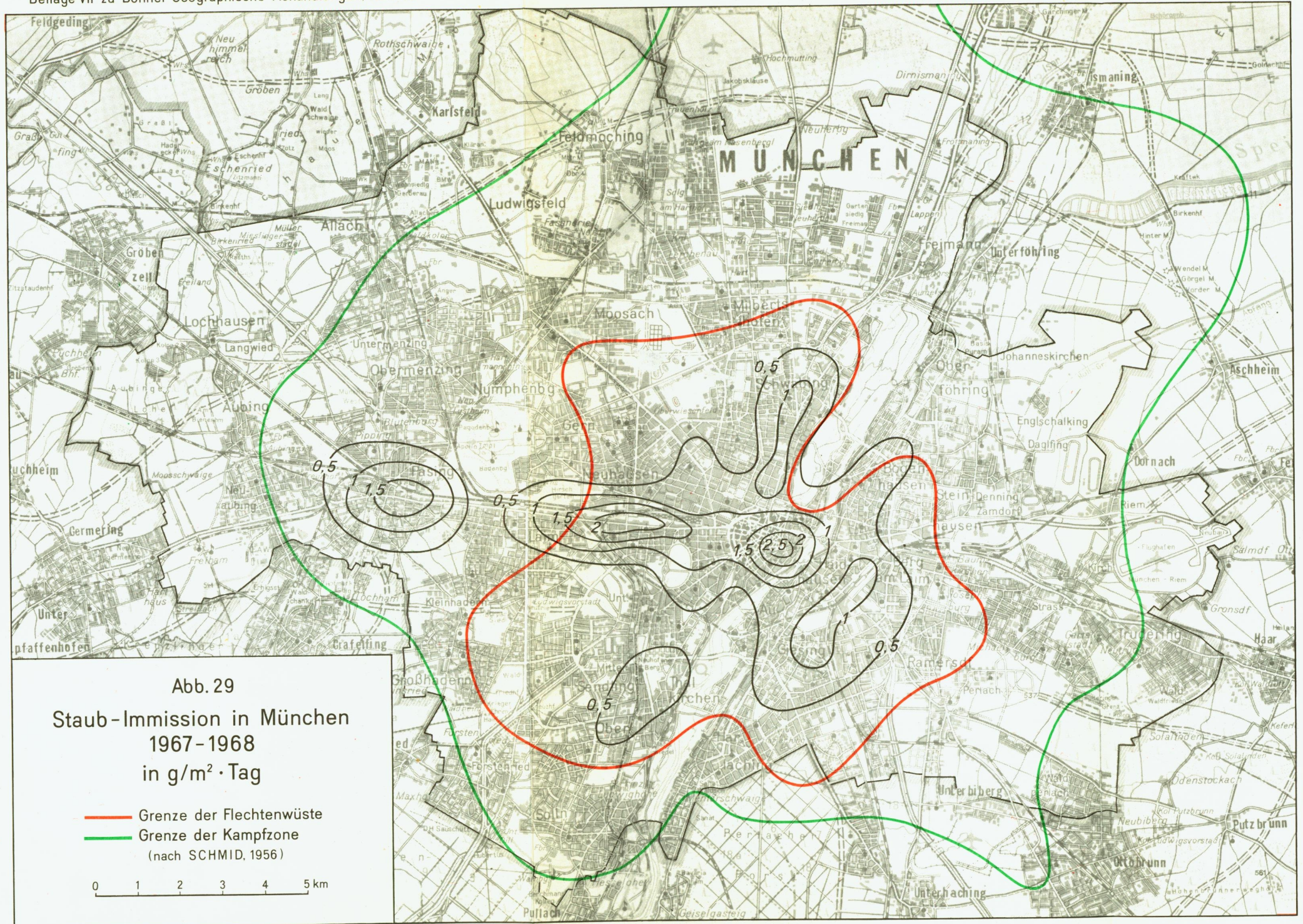


Abb. 29

Staub-Immission in München
1967-1968
in $\text{g/m}^2 \cdot \text{Tag}$

- Grenze der Flechtenwüste
- Grenze der Kampfzone
(nach SCHMID, 1956)

0 1 2 3 4 5 km

(nach SCHWEGLER, 1969, ergänzt)