Ber. naturhist. Ges. Hannover	132	47–78	Hannover 1990

Beurteilung der Luftqualität im Stadtgebiet von Hannover mit Hilfe von Flechten als Bioindikatoren

von
Rainer NIEMEYER

Mit 2 Abbildungen, 5 Tabellen und 20 Karten

Zusammenfassung: Das gesamte Stadtgebiet von Hannover wurde in den Jahren 1987/1988 nach der vom Rheinisch-Westfälischen TÜV entwickelten LuGI-Methode lichenologisch kartografiert. Die vorliegenden Ergebnisse lassen eine kleinräumige Beurteilung der lufthygienischen Situation der vorangegangenen drei bis fünf Jahre zu. Insbesondere ist eine innere Differenzierung der sog., durch das überwiegende Vorkommen von *Lecanora conizaeoides* geprägten »Flechtenwüste« möglich. Die weite Ausdehnung dieses Bereichs im Stadtgebiet von Hannover verdeutlicht die relativ hohe Immissionsbelastung, die durch die nur auf wenige Komponenten und Standorte beschränkten LüN-Meßwerte keinesfalls erfaßt wird.

Generell kann von einer Verbesserung der Luftqualität vom Zentrum zur Peripherie gesprochen werden, wobei besonders am Stadtrand, der durch kleinräumigen Wechsel in der Luftqualität gekennzeichnet ist, lokal begrenzte Gebiete geringerer Belastung nachweisbar waren. Die am stärksten belastete zentrale Zone dehnt sich zum nördlichen, bzw. nordwestlichen Stadtrand — bedingt durch erhebliche Industrieanhäufungen — weiter aus als zum südlichen Stadtrand. Deutlich zeichnen sich Inseln schlechteren Flechtenwachstums z. B. im Bereich des VW-Werkes, der Varta und der Conti ab.

Die Ergebnisse belegen, daß eine Beurteilung der Schadstoffbelastung im Stadtbereich von Hannover allein durch physikalische Messungen einzelner Schadstoffkomponenten an 5 LÜN-Stationen völlig unzureichend ist und dringend durch die Aussagen über Bioindikatoren ergänzt werden muß, um eine tatsächliche Belastung richtig einzuschätzen.

Summary: An assessment of the air quality in the municipal area of Hannover using lichens as bioindicators.- During 1987/1988, the entire municipal area of Hannover was lichenologically mapped in accordance with the LUGI method developed by the Rhenish-Westfalian Technical Supervision Association. The results presented here permit an areally small assessment of the air hygiene situation for the past 3-5 years.

In particular, an internal differentiation is possible within the »lichen desert«, so named because of the predomination of *Lecanora conizaeoides*. The great extent of this area within the municipality of Hannover emphasizes the relatively high emissions in no way adequately recorded through the LÜN values which were confined to only a few components and sites. In general, it is possible to talk about an improvement of air quality from the city centre to the periphery. On the city boundary in particular, which is characterized by a change in air quality over a small area, locally isolated areas of lesser pollution were evidenced. The central zone which is the worst affected, extends more to the northern, respectively the northwestern municipal boundary (due to a considerable concentration of industry) than to the southern city boundary.

Islands with poorer lichen growth are most evident e.g. in the areas of VW, Varta and Conti works. The results confirm that an assessment of the pollutant load within the municipal area of Hannover is not possible alone by physically measuring individual pollutant components at 5 LÜN stations. It is urgently necessary that this evidence should be supported by data obtained from bioindicators in order to estimate an actual pollution load.

1. Einleitung

Die Belastungen des Ökosystems »Stadt« durch KFZ-Verkehr, Verbrennungsanlagen und industrielle Emittenten von Schadstoffen nimmt vor allem in Ballungsgebieten ein immer größeres Ausmaß an. Daher werden in Agglomerationsräumen verstärkt Bioindikatoren zum Nachweis von Luftverunreinigungen herangezogen. Als sensible Bioindikatoren, die entweder durch ihr Vorkommen oder durch ihr Verhalten eng mit bestimmten Umweltbedingungen korrelieren, eignen sich in besonders hohem Maß Flechten. Sie sind über das ganze Jahr stoffwechselaktiv und nehmen ihre Nährstoffe weitgehend aus der Luft und Niederschlägen auf. Auf der anderen Seite nehmen sie Luftschadstoffe direkt und nicht selektiv auf, da sie kein ausgeprägtes Abschlußgewebe besitzen. Neben äußerlich makroskopisch sichtbaren Schäden infolge Immissionsbelastungen lassen sich durch flächendeckende Kartierungen bei den Flechten auch Veränderungen des Artenspektrums, der Ausfall oder ein vermehrtes Vorkommen spezieller Arten nachweisen.

Bis vor kurzen existierte allerdings noch keine geignete Kartierungsmethode, um in der sog. »Flechtenwüste«, in der hauptsächlich die immissionsresistenteste Flechte *Lecanora conizaeoides* Nyl. ex Crombie (DOLL 1982), die Luftqualität einschätzen zu können. Da das Stadtgebiet von Hannover aber ähnliche Verhältnisse aufweist, kam die IAP-Methode von LEBLANC und DESLOVER (1970) nicht in Frage. Es wurde daher die LuGI-Methode (Luftgüteindex) von RABE, Rheinisch-Westfälischer TÜV gewählt, die eine innere Differenzierung der »Flechtenwüste« ermöglichen soll (RABE 1987).

In diesem Zusammenhang sollte auch überprüft werden, inwieweit Beziehungen zwischen den anhand der Flechtenkartierung ermittelten Luftgüteindices und den physikalisch-technischen Meßdaten des LÜN-Systems bestehen. Ferner ist ein Vergleich der lufthygienischen Situation mit der anderer Städte vorgesehen. Schließlich

sollte der durch die vorliegende Untersuchung gewonnene Überblick über die durch Flechten angezeigte Gesamtschadstoffbelastung der Luft als Grundlage für weitere, detaillierte Untersuchungen (Flechtenexponate, Depositionsmessungen) in kritisch erscheinenden Bereichen dienen.

Die Ergebnisse sollen nahtlos in die Arbeiten des Ökologischen Forschungsprogramms der Stadt Hannover eingehen und als Datengrundlage für Teilbereiche des zu schaffenden Umweltinformationssystems dienen. Mit der Fortführung des Gesamtprojekts und speziell der Teilbereiche Flechten und Klima soll über die Verknüpfung der Einzelergebnisse in Zukunft eine bessere kleinräumige Beurteilung der Belastungssituation im Stadtgebiet möglich sein und damit ein Instrumentarium zur Verfügung stehen, das u. a. als Hilfe bei kommunalen Planungen herangezogen werden kann.

2. Untersuchungsmethode

In Anlehnung an die TA Luft wurde ein flächenhaftes Raster (Planquadrate von 1 x 1 km) gewählt. Fünf bis zehn der bestbewachsenen Normbäume wurden pro Planquadrat ausgewählt, deren Standorte eine Station bildeten und im Idealfall in der Mitte der Untersuchungsfläche lagen.

Der Standort jedes Trägerbaumes wurde möglichst lagegetreu in die topographische Karte der Stadt Hannover (Maßstab 1 : 10000) eingetragen, mit einer laufenden Nummer gekennzeichnet und gegebenenfalls mit einer detaillierten Lageskizze sowie mit Besonderheiten im Hinblick auf Lage, Umgebung und Emissionsverhältnisse ergänzt.

Für die Kartierung wurden folgende Baumarten als geeignet angesehen: Pappel, Ahorn, Esche, Linde, Ulme. Diese Trägerbäume, deren Borken vergleichbare chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen, sollten folgenden Anforderungen genügen:

- Stammumfang $\geqq$ 60 cm
- gerader Wuchs
- hoher Kronenansatz
- gleicher Lichtgenuß (ausreichender Abstand voneinander, keine Beschattung durch Gebäude, Stockausschlag usw.)
- keine mechanischen Beschädigungen (aufgeplatzte Borke, Schädlingsbefall usw.)
- kein Wundfluß unterhalb von Verletzungen
- keine Abflußrinnen
- nicht direkt neben Kleinstemissionsquellen
- möglichst nicht an stark befahrenen Straßen und an Äckern gelegen.

Für jeden Baum wurde ein Protokoll angefertigt. Es enthält den Standort durch die Angabe des Planquadrates, der Koordination und eine nähere Beschreibung desselben: die Baumart, den Baumumfang in 1,50 m Höhe über dem Erdboden gemessen und die Zusatzinformation, ob es sich um einen Straßenbaum handelt.

Die Erfassung der Flechten erfolgte mit einem Rahmen von 20 cm Breite und 50 cm Höhe, unterteilt in 10 Felder von 10 x 10 cm. Der Rahmen wurde im Bereich des

bestbewachsenen Sektors mit einer repräsentativen Flechtengemeinschaft des Baumes angebracht, die Exposition der Aufnahmefläche mit dem Kompaß bestimmt und in den Erfassungsbogen eingetragen. In den 10 Feldern des Kartierungsrahmens wurde der Deckungsgrad jeder einzelnen Flechtenart geschätzt und in die entsprechenden Rubriken des Erfassungsbogens zusammen mit der ermittelten Vitalität jeder Flechte — auf den gesamten Rahmen bezogen — eingetragen.

Die Angabe der Vitalität erfolgte in vier unterschiedlichen Stufen (0,6 / 0,8 / 1,0 / 1,2). Mit dem Vitalitätsfaktor 1 wurden normal entwickelte Flechten gekennzeichnet. In ihrer Vitalität geschwächte Flechten erhielten je nach dem Grad der Vitalitätsminderung die Vitalitätsfaktoren 0,6 oder 0,8 und besonders üppig entwickelte Flechten den Vitalitätsfaktor 1,2. Bei der altersmäßigen Einordnung der Flechten wurde unterschieden zwischen jungen, normalen und alten Exemplaren.

Flechtenarten, die innerhalb des Rahmens fehlten, aber in dessen Umgebung wuchsen, wurden mit ihrem Deckungsgrad im 10. Feld notiert, wobei nebem dem Alter auch die Vitalität bestimmt wurde. Als höchster Deckungsgrad dieser außerhalb auftretenden Arten galt 5 %, alle niedrigeren Deckungsgrade entsprachen ihrem tatsächlichen Wert. Flechtenarten, die an Sonderstandorten, z. B. an der Stammbasis oder an Astgabeln vorkamen, wurden ebenfalls mit ihrem Alter und ihrer Vitalität erfaßt. Diese Funde gingen jedoch nicht in die spätere Berechnung der Luftgüteindices ein. Alle Besonderheiten, wie z. B. Abweichungen von den Anforderungen an die Trägerbäume, Probeentnahmen oder Pilzbefall, dienten als zusätzliche Informationen für die Interpretation der Ergebnisse.

Aus den im Gelände geschätzten Deckungsgraden in den 10 Feldern des Kartierungsrahmens wurde der mittlere Deckungsgrad pro Baum für jede Flechtenart errechnet und mit dem Vitalitätsfaktor multipliziert. Aus den so um den Vitalitätsfaktor korrigierten Deckungsgraden der Flechten aller Bäume einer Untersuchungsstation wurde für jede Flechtenart der mittlere, korrigierte Stationsdeckungsgrad errechnet. Dieser, um den Vitalitätsfaktor korrigierte, mittlere Stationsdeckungsgrad wurde dann in eine Deckungsgradklasse überführt.

Zur Beurteilung der Immissionsbelastung wurde aus den Parametern Deckungsgradklasse und fest vorgegebenem Empfindlichkeitswert der verschiedenen gefundenen Flechtenarten ein Luftgüteindex errechnet. Die gegenüber SO_2 unempfindlichste Flechtenart (*Lecanora conizaeoides*) erhält den Empfindlichkeitswert 1,0. Alle anderen Empfindlichkeitswerte sind hierauf bezogen.

Die ermittelten Luftgüteindices wurden in Luftgüteklassen eingeteilt, deren regionale Verteilung mit Hilfe eines Computerprogramms graphisch umgesetzt wurde.

Mit zunehmender Höhe dieser Klassen ist eine Verbesserung der Luftqualität verbunden. Der schlechteste Wert von »0« charakterisiert das völlige Fehlen von Flechten an sämtlichen Trägerbäumen. Die Klassen »O.7« bis »1.2« sind, wie oben aufgeführt, durch das alleinige Vorkommen von *Lecanora conizaeoides* gekennzeichnet. Mit der Klasse »1.1 — 1.2« beginnt das Auftreten von zwei oder mehr Flechtenarten in den Aufnahmeflächen der Trägerbäume, wobei mit steigenden Werten von der Zunahme empfindlicherer Flechtenarten in Vielfalt und Deckung ausgegangen werden kann.

3. Zur klimatischen Lage Hannovers

Für eine grobe Einschätzung der Lebensbedingungen der Flechten in Hannover im Vergleich zu anderen Städten und Regionen ist ein klimatischer Überblick über das Untersuchungsgebiet von Interesse. Klimatische Einflüsse kommen sowohl bei der Beziehung Flechtenwachstum/Luftschadstoffbelastung als auch bei der regionalen Verteilung der Luftgütewerte zum Tragen.

Die folgenden Angaben stützen sich im wesentlichen auf eine Untersuchung von STOCKMANN aus dem Jahr 1981. Die Untersuchung beruht auf Meßergebnissen der Jahre 1951 — 1970 der Klimastation des Deutschen Wetterdienstes am Flughafen Hannover-Langenhagen. Für die Jahressummen des Niederschlags wurden Angaben von 5 weiteren, amtlichen Niederschlagsstationen im Stadtgebiet verwendet.

Hannover liegt in der Übergangszone zwischem maritimen Klima in Küstennähe und Kontinentalklima, wobei der maritime Einfluß überwiegt.

Der Jahresgang der relativen Feuchte zeigt ein Maximum im Dezember und ein Minimum im Juni. Generell kann man von einem Maximum im Winterhalbjahr und einem Minimum im Frühjahr sprechen. Aufgrund der überdurchschnittlich hohen relativen Luftfeuchte sind die Bedingungen für das Flechtenwachstum in Hannover eher günstig einzustufen. Von besonderer Bedeutung ist, daß das Maximum der relativen Feuchte im Winterhalbjahr mit dem jährlichen Maximum der Stoffwechselaktvität der Flechten korreliert ist. Dieser Zeitraum ist auch gekennzeichnet durch ausgeprägt hohe Schadstoffbelastung aufgrund der Heizperiode und einem gehäuften Auftreten austauscharmer Wetterlagen.

Die mittlere Zahl der Tage mit Nebel ist mit 19 Tagen im Oktober am höchsten und am geringsten im Juli mit 2.7 Tagen. Insgesamt tritt an durchschnitttlich 65.8 Tagen im Jahr Nebel auf. Im Durchschnitt fallen 663.4 mm Niederschlag im Jahr. Die größte Monatssumme liegt im August mit 79.5 mm, die geringste im Februar mit 39.6 mm. Die geringsten Niederschlagsmengen fallen am Stadtrand, die höchsten Mengen in der Eilenriede (Messungen an 5 Stationen: Herrenhausen, Ricklingen, Eilenriede, Messegelände, Kirchrode). Die Monatsmittel der einzelnen Stationen weichen in den Monaten November bis März nur wenig, in den übrigen Monaten erheblich voneinander ab. Ab durchschnittlich 36.5 Tagen der jährlichen Niederschlagstage fällt Schnee. Im Vergleich zu anderen Städten im Bundesgebiet ist die jährliche Niederschlagsmenge in Hannover als durchschnittlich anzusehen. Inwieweit sich die auf die Stadt verteilten Niederschlagsmengen auf das Flechtenwachstum auswirken, ist wegen der geringen Anzahl der Meßstationen nicht zu beurteilen.

Die Temperatur beträgt im Jahresmittel 8.6° C mit einem Monatsmaximum im Juli (16.9° C) und einem Monatsminimum im Januar und Februar (0.2° C). Im langjährigen Mittel gibt es jährlich 86.8 Frosttage mit einem Minimum der Temperatur unter 0° C. Am häufigsten ist dies im Januar der Fall mit durchschnittlich 19.3 Tagen.

Aufgrund des maritimen Einflusses auf das Klima in Hannover ist das Monatsminimum im Januar/Februar relativ hoch und die Anzahl der jährlichen Frosttage vergleichsweise gering. Dies wirkt sich zum einen positiv auf das Flechtenwachstum aus, zum anderen

verstärkt es jedoch aufgrund der erhöhten Anzahl an Tagen, an denen aktiver Stoffwechsel möglich ist, die angesprochenen Einflüsse der winterlichen Luftschadstoffbelastung.

Im Mittel scheint in Hannover an 1537 Stunden im Jahre die Sonne, davon an 225 Stunden im Juni (Jahresmaximum) und an 34 Stunden im Dezember (Jahresminimum). Die Bewölkung liegt im Schnitt bei 70 % mit einem Maximum im Dezember/Januar (79 %) und einem Minimum im September (60 %).

Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 4 m pro Sekunde. Das Maximum liegt mit 4,7 m/s im Januar, das Minimum mit 3.4 m/s im Juni und August. Die häufigsten Windrichtungen sind W und SW. Dieses sind auch die Windrichtungen mit den höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten, was zu einem besonders ausgeprägten Transport der Luftmassen aus W bzw. SW führt. Die Windrichtungen mit den geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten (N und NE) treten auch am seltesten auf. Generell kann man sagen, daß Winde aus westlichen bzw. östlichen Richtungen häufiger sind als aus südlichen und nördlichen. Bei Niederschlägen sind Winde aus westlichen und südwestlichen Richtungen ebenfalls am häufigsten vertreten. Bei Nebel überwiegt Ostwind. Die Kenntnis der Hauptwindrichtung ist sowohl zur Beurteilung der großräumigen Verteilung der Luftschadstoffe wie Luv- und Leelagen oder Frischluftzufuhr aus dem Umland als auch zur Interpretation der kleinräumigen Unterschiede der lufthygienischen Situation innerhalb des Untersuchungsgebietes von Bedeutung.

Die soweit getroffenen Aussagen beruhen auf auf Messungen der Umlandstation Flughafen-Langenhagen. Je weiter man ins bebaute Gebiet vordringt, umso stärker modifizieren stadtklimatische Einflüsse die regionalen Klimaverhältnisse.

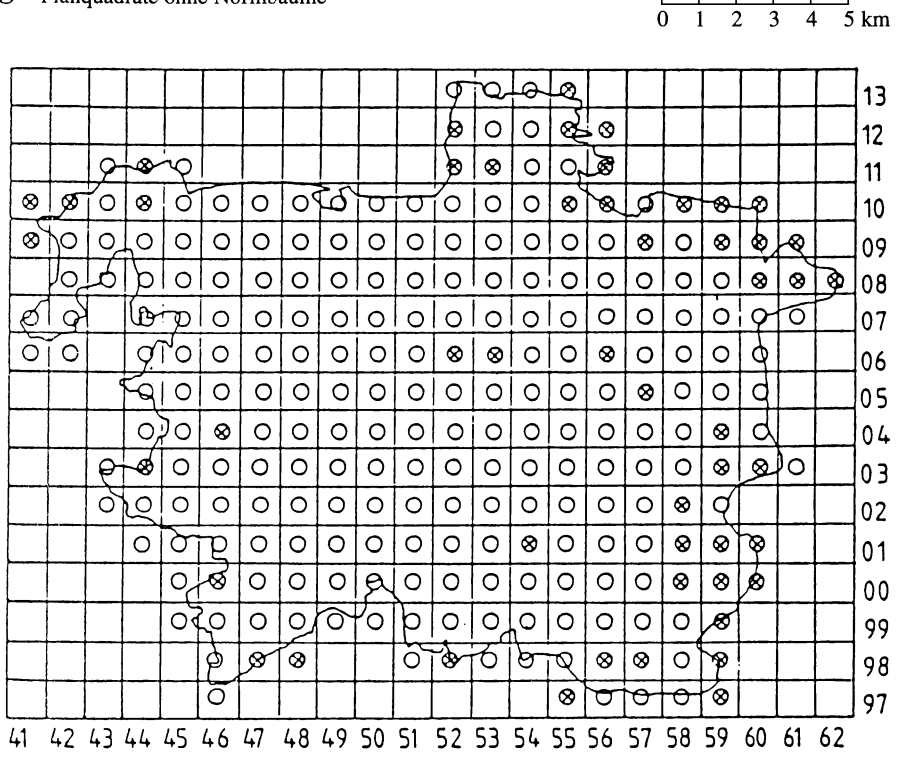
Flechten reagieren sowohl auf Luftschadstofffe als auch auf Klimafaktoren. Es war lange umstritten, welchen Anteil diese beiden Einflußgruppen haben. Heute geht man von einer Kombinationswirkung beider Faktoren aus, wobei mit zunehmender Luftschadstoffbelastung dieser Einfluß überwiegt (KIRSCHBAUM und STEUBING, 1987), Verhältnisse die bei Städten und ihrem Umland vorliegen. Hier spiegelt der Flechtenbewuchs im wesentlichen die kleinräumige lufthygienische Situation wider. Ob und inwieweit kleinräumige stadtklimatische Faktoren auf die regionalen Unterschiede des Flechtenwachstums in Hannover einen Einfluß ausüben, ist durch die Einbeziehung noch zu hebender Daten zum Stadtklima zu klären.

4. Ergebnisse

Es wurde das gesamte Stadtgebiet einschließlich der durch die Stadtgrenze angeschnittenen Planquadrate bearbeitet. Für 203 der insgesamt 254 untersuchten Planquadrate wurde ein Luftgüteindex festgelegt. In 51 Planquadraten konnte aufgrund fehlender geeigneter Trägerbäume kein Luftgütewert ermittelt werden (Karte 1).

Die Luftgütewerte bewegen sich in der Spanne von 0.8 bis 1.87. Die vorgenommmene Einteilung in Luftgüteklassen führt zu den in Abb. 1 dargestellten Häufigkeiten. Die Luftgüteklasse »1.0« dominiert eindeutig, gefolgt von den benachbarten Klassen »1.1–1.2« und »0.9«. Die für Hannover niedrigste Klasse »0.8« kommt mit sechs Fällen

Karte 1: Im Rahmen der Flechtenkartierung bearbeitete Planquadrate im Stadtgebiet von Hannover
○ Planquadrate mit Untersuchungsstationen
⊗ Planquadrate ohne Normbäume



nur relativ selten vor. Auch in den höheren Klassen ist mit zunehmender Luftqualität eine rasche Abnahme der Klassenhäufigkeit zu beobachten.

Luftgütewerte von »0«, die die völlige Abwesenheit von Flechten und damit selbst von *Lecanora conizaeoides* an sämtlichen Trägerbäumen im Plandrat bedeuten, treten im Stadtgebiet von Hannover ebensowenig auf wie die von »0.7«, die den schlechtetsten LuGI bei alleinigem Bewuchs von *Lecanora conizaeoides* anzeigen. Auch noch höhere mögliche Luftgüteklassen, die bei einem LuGI von »2.3« ansetzen und in weniger belastete Regionen wie z. B. in Erholungsgebieten oder Reinluftgebieten zu erwarten sind., kommen hier nicht vor.

Auffällig ist die relative Seltenheit der Extreme; große Bereiche werden durch ein breites »Mittelfeld« (bezogen auf Hannover) abgedeckt, in dem die Luftgütewerte vergleichsweise dicht beieinander liegen.

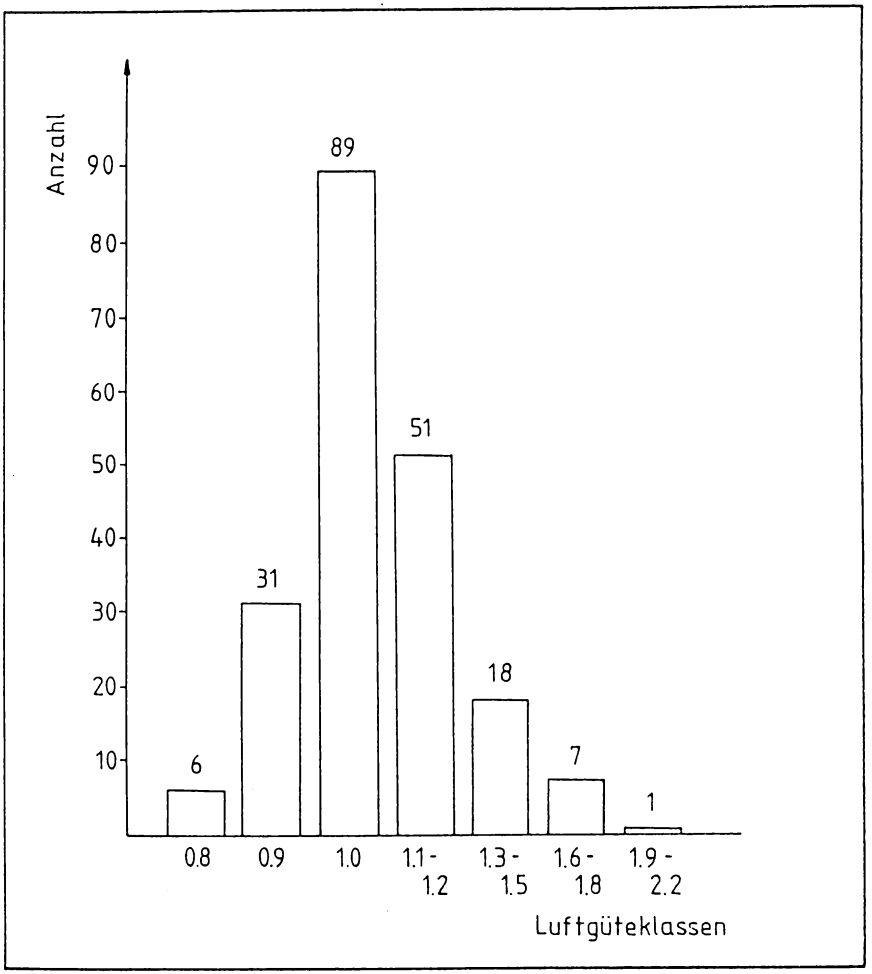


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Luftgüteklassen im Stadtgebiet von Hannover

4.1 Überblick über die Trägerbäume

Zur Datenerhebung wurden 1028 Trägerbäume herangezogen, deren Lage auf einer Karte »Baumstandorte der Flechtenkartierung« dokumentiert ist. Diese Karte ist in der EDV-Anlage der Stadt Hannover abgespeichert und liegt im Amt für Umweltschutz vor. Aus den Koordinaten der Standorte der Einzelbäume in jedem Planquadrat wurden zusätzlich die Mittelwertkoordinaten für jede Station berechnet und eingezeichnet.

Von den 254 bearbeiteten Planquadraten des Stadtgebietes gibt es nur in 203 geeignete Normbäume. In diesen Planquadraten schwankt die Anzahl zwischen 1 und 10, die durchschnittliche Anzahl beträgt 5,1. In 99 Planquadraten kann die von der Methode vorgegebene Mindestzahl von 5 Trägerbäumen nicht eingehalten werden. Dennoch

sind in diesen Fällen Aussagen zur Luftgüte möglich, wie im Kapitel 8.1 näher ausgeführt wird.

In Tab. 1 ist ein Überblick über die herangezogenen Trägerbäume enthalten. Auffällig ist das Dominieren der Linden und Pappeln. Die Kartierung von Ulmen, die im Stadtgebiet ohnehin weniger häufiger vertreten sind, wurde nach Möglichkeit vermieden, um evtl. auftretenden Schwierigkeiten bei späteren Nachkartierungen aufgrund des bekannten »Ulmensterbens« vorzubeugen. Ferner fällt der hohe Anteil der Straßenbäume ins Auge, der mehr als die Hälfte der gesamten Baumzahl beträgt. Zwar fordert die Methode, möglichst auf Straßenbäume zu verzichten, aber gerade diese erfüllen häufig die übrigen Mormkriterien wie »freistehend, hoher Kronenansatz, voller Lichtgenuß«. Das Heranziehen von Straßenbäumen ist nach neuerer Einschätzung zu vertreten, da dieses Normkriterium gegenüber den anderen von untergeordneter Bedeutung sein soll (mündl. Mitt. G. Roeckner, Rhein-Westfäl. TÜV). Deutlich wird, daß der Verzicht auf Straßenbäume zu einer immensen Verminderung der Normbäume führen würde und damit nur eine sehr lückenhafte Aussage über die Luftgütewerte im Stadtgebiet vorzunehmen wäre.

Tab. 1: Art und Anzahl der Trägerbäume

	Gesamtzahl	Straßenbäume	Nicht-Straßenbäume
Esche	51	21	30
Linde	437	338	99
Ahorn	164	120	44
Pappel	367	54	313
Ulme	9	4	5
Summe	1.028	537	491

Unter den Straßenbäumen dominiert die Linde, mit ausgeprägtem Abstand gefolgt vom Ahorn, wohingegen ihr Anteil an Nicht-Straßen-Bäumen deutlich geringer ist. Genau entgegengesetzt ist die Situation bei der Pappel, die den Hauptanteil der Nicht-Straßenbäume stellt. Damit wird deutlich, wie wichtig das Heranziehen gerade dieser Art für das Abdecken großer Teile des Stadtgebiets ist. Die Esche nimmt eine vergleichsweise untergeordnete Stellung ein.

4.2 Flechtenvorkommen an Normbäumen im Stadtgebiet

Im gesamten Stadtgebiet wurden an Normbäumen insgesamt 25 Flechtenarten gefunden. Fünf kommen jedoch nur an Sonderstandorten wie z. B. an der Stammbasis vor und gehen daher nicht mit in die Berechnung der Luftgütewerte ein.

Die Arten lassen sich aufgliedern in 11 Krusten-, 13 Blatt- und eine Strauchflechte. Wenn man berücksichtigt, daß die erfaßte Strauchflechte eine relativ unempfindliche Art darstellt und zudem nur an Sonderstandorten vorkommt, verdeutlicht das nur aus Krusten- und Blattflechten bestehende Artenspektrum die relativ ungünstige lufthygienische Situation im Stadtgebiet.

An den 1028 ausgewählten Normbäumen wurden 1805 Flechtenfunde registriert. Davon kommen 368 an Sonderstandorten vor. Die 1438 Funde, die über den Deckungsgrad zur Berechnung des Luftgüteindex herangezogen wurden, sind im Verhältnis zur Baumzahl relativ niedrig. Das bedeutet, daß nur selten mehrere Arten pro Trägerbaum vorkommen und häufig nur eine Art in die Berechnung eingeht. Trotzdem kann schon das Vorkommen einer zweiten Art innerhalb eines Planquadrates aufgrund der beschriebenen Berechnungsweise den LuGI entscheidend anheben.

Tab. 2: Flechtenfunde an Normbäumen im Stadtgebiet

Flechtenart	Empf.-wert	Anzahl Gesamt	Aufnahmefläche	Sonderstandort
Krustenflechten				
Lecanora conizaeoides *	1.0	960	957	3
Lecanora muralis	1.0	15	6	9
Lapraria incana	1.1	57	27	30
Lecanora expallens	1.1	6	4	2
Lecanora hageni-Gr.	1.3	177	62	115
Lecanora umbrina	1.3	34	19	15
Buellia punctata	1.3	145	121	24
Candelariella xanth.-Gr.	1.5	44	19	25
Blattflechten				
Hypocenomyce scalaris	1.5	6	4	2
Hypogymnia physodes	2.0	54	45	9
Physcia orbicularis	2.0	82	33	49
Physcia tenella	2.0	79	57	22
Physcia dubia	2.0	45	32	18
Physcia caesia	2.0	16	6	10
Physcia adscendens	2.0	11	7	4
*Parmelia sulc./sax.***	2.0	14	13	1
Parmelia sulcata	2.0	3	1	2
Parmelia saxatilis	2.0	2	1	1
Xanthoria parietina	2.2	27	15	12
Xanthoria candelaria	2.2	17	8	9
Xanthoria fallax	2.3	1	—	1
Xanthoria polycarpa	2.4	4	3	1
Strauchflechten				
Cladonia spec.	2.0	2	—	2
Lecanora allophana ***	—	2	—	2
Caloplaca holocarpa	—	1	—	1
Caloplaca variabilis	—	1	—	1

* Von den 960 Funden kommt innerhalb der Aufnahmefläche 638 mal *Lecanora conizaeoides* allein vor und 319 mal zusammen mit anderen Flechtenarten. In drei Fällen ist *Lecanora conicaeoides* auf Sonderstandorte beschränkt.
** Junge Exemplare von *Parmelia sulcata* bzw. *Parmelia saxatilis* können aufgrund fehlender Ausprägung von charakteristischen Bestimmungsmerkmalen (Soredien, Isidien) nicht unterschieden werden.
*** Für diese drei Arten ist noch kein Empfindlichkeitswert bekannt.

Eine Übersicht über die vorkommenden Flechtenarten und ihren jeweiligen Anteil an den gesamten Flechtenfunden zeigt Tab. 2. Die eindeutig dominierende Flechtenart ist *Lecanora conizaeoides* mit insgesamt 960 Vorkommen, bei denen in 319 Fällen innerhalb der Aufnahmefläche noch weitere Flechtenarten zu verzeichnen sind. Die LuGI-Methode erlaubt, gestützt auf den Deckungsgrad und die Vitalität allein dieser Flechte, eine innere Differenzierung auch dieses Gebietes. Das alleinige Vorkommen von *Lecanora conizaeoides* bei fast der Hälfte aller zur Berechnung herangezogenen Flechtenfunde weist auf die für das Flechtenwachstum ungünstige Situation im Stadtgebiet hin.

Von den relativ unempfindlichen Krustenflechten treten *Lecanora hageni* und *Buellia punctata* am häufigsten auf. Auffällig ist das überwiegende Vorkommen von *Lecanora hageni* an Sonderstandorten, d. h. in den meisten Fällen an der Stammbasis. Hier kommen außer der lufthygienischen Situation weitere Faktoren wie erhöhter Nährstoffeintrag aufgrund vermehrten Staubanflugs, im Vergleich zum Stammbereich erhöhte Luftfeuchtigkeit und erhöhter Feuchtegehalt der Borke aufgrund von Stammablaufwasser zum Tragen, die allgemein begünstigend auf das Flechtenwachstum wirken. Es wäre denkbar, daß *Lecanora hageni* auf einen oder mehrere der erwähnten Faktoren besonders anspricht.

Weitere relativ häufige Krustenflechten sind *Lepraria incana*, die Flechten der *Candelariella xanthostigma*- Gruppe und *Lecanora umbrina*. Hier sind das Vorkommen in Höhe der Aufnahmefläche und die registrierten Vorkommen an Sonderstandorten in etwa aufgewogen.

Gegenüber den Krustenflechten- sind die erfaßten Blattflechtenvorkommen in der Minderzahl. Die *Physcia*-Arten sind überproportional häufig vertreten. Ebenfalls häufig tritt *Hypogymnia physodes* auf, und zwar überwiegend im zur Berechnung des LuGI herangezogenen Stammbereichs. Möglicherweise sind in diesem Bereich für diese Art günstige Bedingungen vorhanden. Zu denken wäre beispielsweise an erhöhten Lichtbedarf, der hier gegenüber der Stammbasis eher abgedeckt wird.

Von den empfindlichen *Xanthoria*-Arten treten die Arten *Xanthoria parietina* und *Xanthoria candelaria* noch vergleichsweise oft auf, während die noch empfindlicheren *Xanthoria polycarpa* und *Xanthoria fallax* nur vereinzelt vorkommen.

In der Tendenz kann man davon ausgehen, daß mit zunehmendem Empfindlichkeitswert der Flechten die Häufigkeit ihres Vorkommens abnimmt, was die vorgenommene Abstufung dieser Werte bestätigen könnte. Abweichungen von diesen Verhältnissen, wie es z. B. bei *Hypocenomyce scalaris* der Fall ist, die trotz eines mittleren Empfindlichkeitswertes sehr selten auftritt, müssen durch andere als die durch Immissionseinwirkungen bedingten Zusammenhänge verursacht werden. Hier kann von regionalen Unterschieden im natürlichen Auftreten dieser Flechtenarten ausgegangen werden. Das bedeutet nicht, daß *Hypocenomyce scalaris* im Untersuchungsgebiet eine andere Empfindlichkeit gegenüber Luftverunreinigungen aufweisen muß, sondern daß für diese Art ungünstige Standortverhältnisse herrschen und sie daher von Arten ähnlicher Empfindlichkeit ersetzt wird.

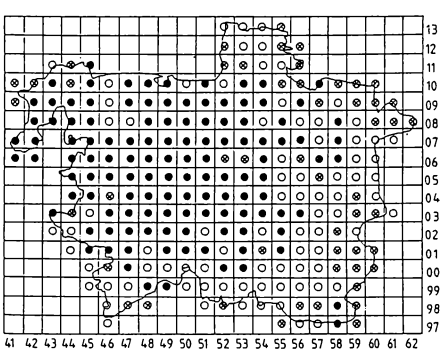
Die oben angestellten Betrachtungen beziehen sich auf das Flechtenvorkommen an Normbäumen im Stadtgebiet nach Art und Häufigkeit. Im folgenden wird ein

Überblick über die regionale Verteilung der Flechtenarten, bezogen auf die einzelnen Planquadrate, gegeben (Karte 2). Zu beachten ist, daß es sich dabei nicht um eine floristische Aufnahme handelt, die wegen fehlender Normkriterien zur Luftgütebeurteilung auch nicht geeignet wäre. Es werden nur die an den Normbäumen in der Aufnahmefläche ermittelten Vorkommen berücksichtigt, die auch in die Berechnung des Luftgüteindex mit einbezogen werden. Eine Einbeziehung auch der Sonderstandorte ließe mangels vergleichbarer Normbedingungen Aussagen über die Beziehungen zwischen dem Flechtenvorkommen an den Untersuchungsstationen und dem Luftgütewert nicht zu. Auffallend ist der hohe Anteil an Planquadraten mit alleinigen Vorkommen von *Lecanora conizaeoides* (Karte 2a) mit einem Verbreitungsschwerpunkt im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Hiermit wird nochmals die weite Ausdehnung der sog. »Flechtenwüste« im Stadtgebiet mit LuGI-Werten von 0.8, 0.9 und 1.0 dokumentiert. Das Vorkommen von *Lecanora conizaeoides* zusammen mit anderen Flechtenarten (Karte 2b) ist im wesentlichen auf den südlichen, östlichen und nördlichen Stadtrand beschränkt. Von den insgesamt 203 Untersuchungsstationen, an denen ein Luftgüteindex ermittelt wurde, fehlt *Lecanora conizaeoides* nur in 11 Planquadraten völlig. Außer in einem Fall (Planquadrat 500) befinden sich alle diese Stationen am östlichen Stadtrand in einem Gebiet, das durch Kalkmergelgruben und Zementwerke geprägt ist. Der Einfluß des hier emittierten kalkhaltigen Staubes auf das Flechtenwachstum wird im Kapitel »Gebiet des Kalkmergeleinflusses am östlichen Stadtrand« ausführlich dargestellt. Offenbar ist diese Art, die für ein optimales Gedeihen auf eine gewisse SO_2-Konzentration angewiesen ist (KRÜGER-DANIELSON 1984), bei Abpufferung der SO_2-Einträge nicht mehr konkurrenzfähig.

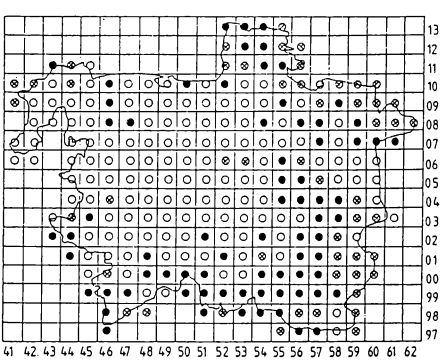
Karte 2a bis 2s: Regionale Verteilung der innerhalb der Aufnahmefläche an Normbäumen erfaßten Flechtenarten im Stadtgebiet von Hannover

● Flechtenvorkommen im Planquadrat ⊗ Planquadrate ohne Normbäume

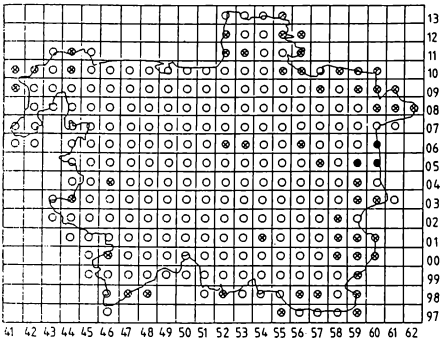
Karte 2a: *Lecanora conizaeoides* allein



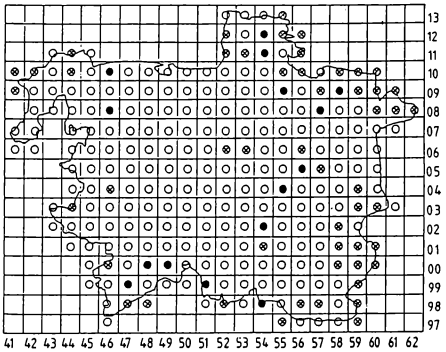
Karte 2b: *Lecanora conizaeoides* mit anderen Flechten



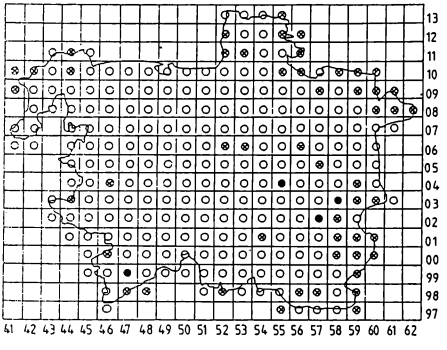
Karte 2c: *Lecanora muralis*



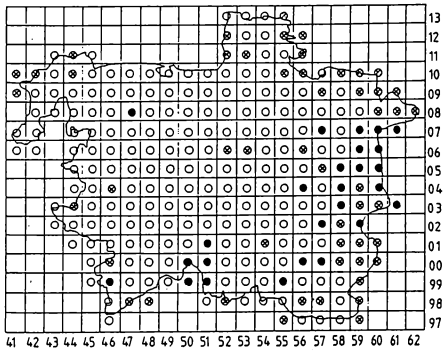
Karte 2d: *Lepraria incana*



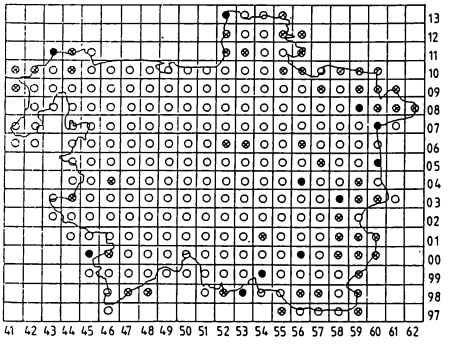
Karte 2e: *Lecanora expallens*



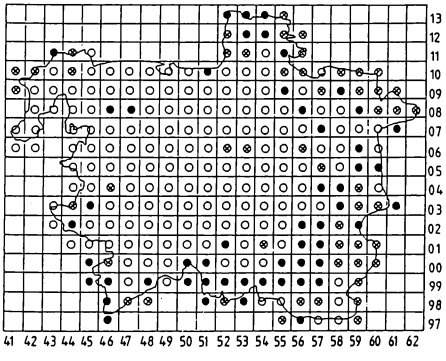
Karte 2f: *Lecanora hageni*-Gruppe



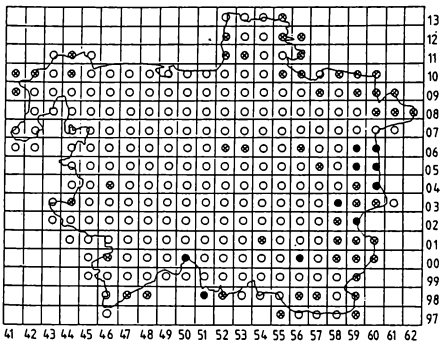
Karte 2g: *Lecanora umbrina*



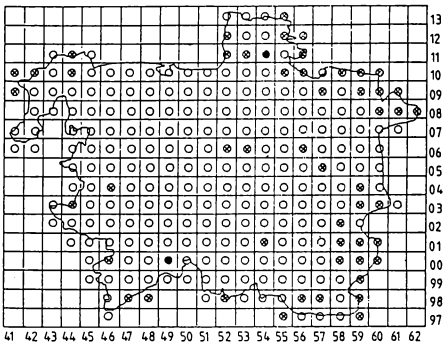
Karte 2h: *Buellia punctata*



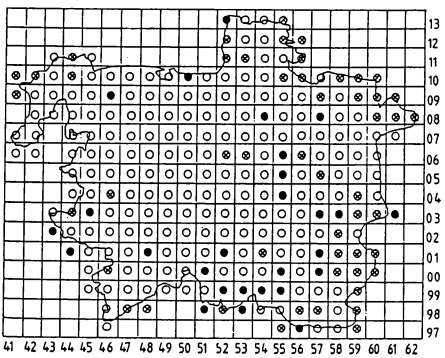
Karte 2i: *Candelariella xanthostigma*-Gruppe



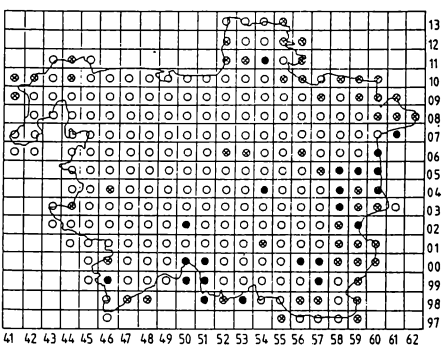
Karte 2j: *Hypocenomyce scalaris*



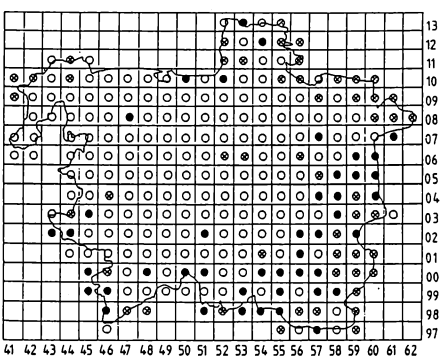
Karte 2k: *Hypogymnia physodes*



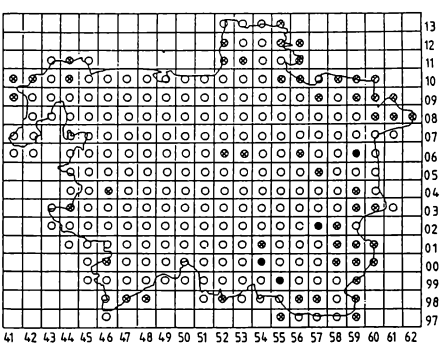
Karte 2l: *Physcia orbicularis*



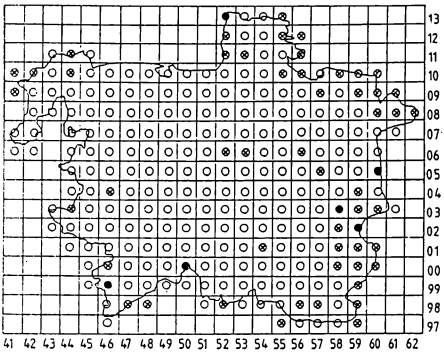
Karte 2m: *Physcia tenella / Physcia dubia*



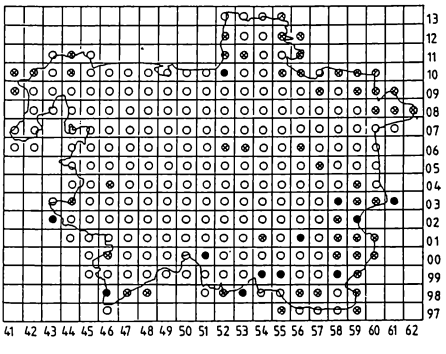
Karte 2n: *Physcia caesia*



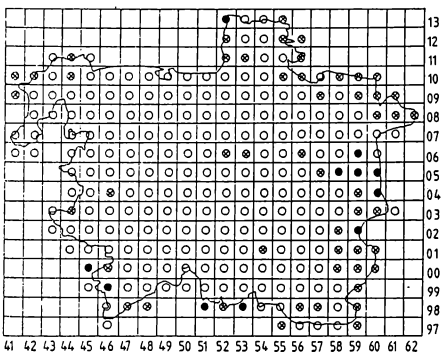
Karte 2o: *Physcia adscendens*



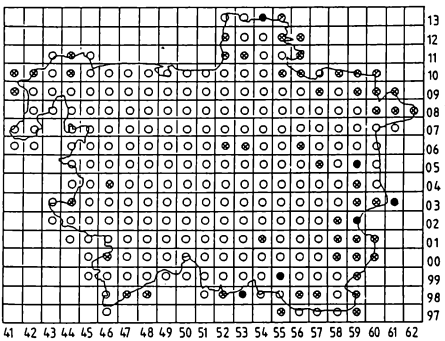
Karte 2p: *Parmelia sulcata / Parmelia saxatilis*



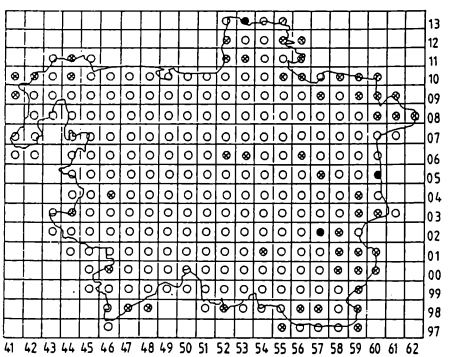
Karte 2q: *Xanthoria parietina*



Karte 2r: *Xanthoria candelaria*



Karte 2s: *Xanthoria polycarpa*



Auch *Lecanora muralis* ist auf wenige Planquadrate in diesem Gebiet beschränkt (Karte 2c). Vermutlich ist das Auftreten dieser überwiegend gesteinsbewohnenden Flechte (WIRTH 1980) auf den Trägerbäumen in Höhe der Aufnahmeflächen bedingt durch Anwehungen kalkhaltigen Staubes, bzw. daraus resultierendem höheren pH-Wert der Borke.

Wie Karte 2d verdeutlicht, tritt *Lepraria incana* nicht im Stadtzentrum und im Nordwesten der Stadt auf, d. h. in den höher belasteten Gebieten, überraschenderweise aber auch nicht am östlichen Stadtrand. Überwiegend scheint diese an Standorte hoher relativer Luffeuchte gebundene Flechte (WIRTH 1980) an Unterssuchungsstationen mit für sie günstigen klimatischen Verhältnissen (Wasserflächen bzw. vegetationsreiche Biotope im Umkreis) vorzukommen.

Die verhältnismäßig immissionsresistente Flechte *Lecanora expallens*, die ebenfalls ziemlich gleichmäßig luftfeuchte Standorte bevorzugt (WIRTH 1980), ist im Untersuchungsgebiet kaum vertreten (Karte 2e). Die *Lecanora hageni*-Gruppe ist im wesentlichen auf den östlichen und südöstlichen Stadtrand und auf das Gebiet der Ricklinger Teiche beschränkt (Karte 2f). Auch *Lecanora umbrina* tritt nur in wenigen Planquadraten im Randbereich der Stadt auf (Karte 2g). Dagegen ist *Buellia punctata* verhältnismäßig weit verbreitet, dringt jedoch auch nicht ins Stadtinnere vor (Karte 2h). Die Flechtenarten der *Candelariella xanthostigma*-Gruppe sind nur relativ wenig vertreten.

Die unempfindlichste Blattflechtenart *Hypocenomyce scalaris* ist nur an zwei Untersuchungsstationen vorhanden (Karte 2j). Auf das überraschend seltene Vorkommen dieser Art im Untersuchungsgebiet wurde bereits weiter oben im Zusammenhang mit der Häufigkeit der Flechtenarten an den einzelnen Normbäumen innerhalb der Aufnahmefläche und an Sonderstandorten eingegangen.

Hypogymnia physodes hat den Schwerpunkt ihres Auftretens am südöstlichen Stadtrand und dringt relativ weit ins Stadtinnere vor (Karte 2k). Im direkten Einflußbereich des kalkhaltigen Staubs der Mergelgruben und Zementwerke ist sie im Untersuchungsgebiet nicht zu finden. Nach WIRTH (1980) meidet *Hypogymnia physodes* stärker eutrophierte und subneutrale Unterlagen und ist auf saure, nährstoffarme Substrate konzentriert, so daß der durch die Kalkanwehungen erhöhte pH-Wert der Borke ihren Standortansprüchen nicht entsprechen dürfte.

Physcia orbicularis ist in ihrem Vorkommen im wesentlichen auf den östlichen bzw. südlichen Stadtrand beschränkt (Karte 2l). *Physcia tenella* bzw. *Physcia dubia* zeigen dagegen eine weitere Verbreitung in Richtung Stadtzentrum und sind auch stärker am südwestlichen und nördlichen Stadtrand vertreten (Karte 2m). Diese beiden Flechtenarten wurden in einer Verbreitungskarte zusammengefaßt, da ihre Unterscheidung nicht in allen Fällen zweifelsfrei möglich ist. Andere *Physcia*-Arten (*Physcia caesia*, Karte 2n und *Physcia adycendens*, Karte 2o) sind weit weniger häufig vertreten.

Die Verbreitung von *Parmelia sulcata* und *Parmelia saxatilis* wurde ebenfalls in einer gemeinsamen Karte (Karte 2p) dargestellt, da die Unterscheidung junger Exemplare dieser Arten, wie bereits erwähnt, nicht möglich ist. Beide *Parmelia*-Arten sind nur an relativ wenigen Stationen, hauptsächlich am südöstlichen und südlichen Stadtrand zu finden.

Xanthoria parietina tritt vorwiegend im Gebiet des direkten Kalkmergeleinflusses auf. Ferner zeigt sie einige wenige Vorkommen am südlichen, bzw. am äußersten nördlichen Stadtrand (Karte 2q). Als Substrat bevorzugt *Xanthoria parietina* subneutrale, nährstoffreiche Borke oder kalkhaltiges, meist staubimprägniertes Gestein (WIRTH 1980). Nach JÜRGING (1975) wird sie durch kalkhaltige Staubanwehungen gefördert, was durch ihr konzentriertes Auftreten im entsprechenden Bereich unseres Untersuchungsgebietes bestätigt zu werden scheint. Im Vergleich zu *Xanthoria parietina* ist *Xanthoria candelaria* seltener vertreten (Karte 2s). Die in unserem Gebiet empfindlichste Blattflechte *Xanthoria polycarpa* ist auf lediglich drei Untersuchungsstationen beschränkt (Karte 2s).

Insgesamt zeigen das Stadtzentrum und der nordwestlichste Teil des Stadtgebietes die stärkste Verarmung des Flechtenvorkommens, während sich am südlichen und östlichen Stadtrand, wo auch die höchsten Luftgüteindices auftreten, die Bereiche mit den höchsten Flechtenartenzahlen an den Untersuchungsstationen befinden.

4.3 Exposition des Flechtenvorkommens an den Trägerbäumen

Die Methode fordert, bei der Kartierung die am besten bewachsene Seite der Trägerbäume heranzuziehen. Abb. 2 zeigt einen Überblick über die Häufigkeit der Expositionen des optimalen Flechtenbwuchses an der Gesamtzahl der erfaßten Bäume.

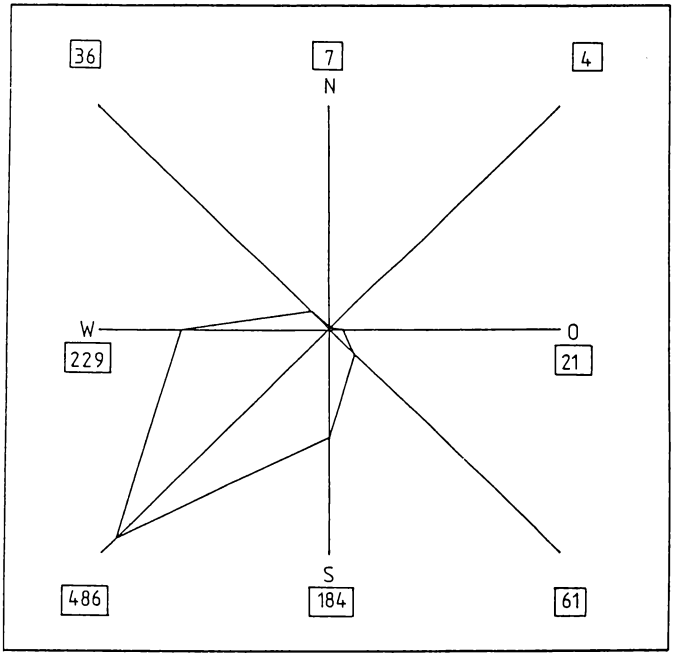


Abb. 2: Häufigkeit der Exposition der jeweils am dichtesten mit Flechten bewachsenen Seite an Normbäumen im Stadtgebiet von Hannover

Deutlich wird, daß die am häufigsten von Flechten dicht besiedelte Seite nach Südwesten bzw. Westen und Süden ausgerichtet ist. Die Bevorzugung der westlichen, bzw. südwestlichen Seite stimmt mit der Häufigkeit der Verteilung der Windrichtungen bei Niederschlägen überein. Jedoch ist das Maximum der Verteilung des Flechtenbewuchses an den Bäumen im Vergleich zum Maximum der Windrose leicht nach Süden verschoben. Hier macht sich die Abhängigkeit des Flechtenwachstums vom Faktor Licht bemerkbar.

Diese Ergebnissse spiegeln gut wider, daß die Besiedlung der Bäume durch die Flechten in einem Optimumbereich zwischen Feuchtigkeit und Licht erfolgt.

4.4 Regionale Verteilung der Luftgüteindices im Stadtgebiet

Die für das Stadtgebiet Hannover ermittelten Luftgüteindices, bzw. die daraus abgeleiteten Luftgüteklassen ergeben eine deutliche Zonierung in ihrer regionalen Verteilung von einem gegenüber dem eigentlichen Stadtzentrum nach Norden verschobenen Schwerpunkt relativ schlechter Luftqualität (im Bereich Hainholz, Vahrenwald, Nordstadt, List). Diesem Gebiet mit der in Hannover niedrigsten Luftgüteklasse von »0,8« schließt sich eine Luftgütezone der Klasse »0,9« an, die in Richtung Süden (Herrenhausen, Calenberger Neustadt, Oststadt) und Westen (nördlich von Ahlem, westlich und östlich von Letter) ihre größte Ausdehnung erfährt. Im Westen reicht sie bis an die Grenze des Stadtgebietes. Weitere Bereiche dieser Luftgüteklasse befinden sich im nordwestlichen Industriegebiet der Stadt und in Misburg-Nord. Die nächsthöhere Luftgüteklasse »1.0« nimmt ausgedehnte Flächen im Norden (Marienwerder, Stöcken, Vinnhorst, Friedenau, Vahrenheide, Sahlkamp, Bothfeld, Lahe) und Süden (Ahlem, Linden, Badenstedt, Bornum, Südstadt, Bult, Mühlenberg, Ricklingen, Waldheim, Kirchrode) des Untersuchungsgebietes ein, wo sie insbesondere im Norden und an einigen Stellen im Süden die Stadtgrenze erreicht. Auffallend ist ein isoliertes Vorkommen dieser Klasse am südöstlichen Stadtrand. Im Osten liegt liegt sie als schmaler Streifen (Kleefeld, Roderbruch, Buchholz) zwischen sehr niedrigen Luftgüteindices im Stadtinnern und Bereichen höherer Luftgüte im Osten der Stadt.

Im Nordosten, Osten und Süden, bzw. Südwesten schließt sich die Luftgüteklasse »1.1–1.2« an, die eine regional unterschiedlich starke Ausdehnung in Richtung Stadtmitte und ein zusätzliches, inselartiges Vorkommen im Stadtteil Ledeburg aufweist. Die Luftgüteklasse »1.3–1.5« ist ebenso wie die Klasse »1.6–1.8« auf den östlichen, südöstlichen, südlichen und südwestlichen Stadtrand beschränkt. Die Luftgüteklasse »1.9–2.2« tritt nur an einer einzigen Untersuchungsstation im Osten der Stadt auf. Im Umfeld dieser Station befinden sich Zementwerke mit z. T. ausgedehnten Kalkmergelgruben. Kalkhaltiger Staub puffert die Wirkung saurer Schadgase wie SO_2 und fördert über die Erhöhung des pH-Wertes der Borke das Auftreten von epiphytischen Flechtenarten mit verhältnismäßig hoher Empfindlichkeit gegenüber Luftschadstoffen (JÜRGING 1975), so daß der in diesen Bereichen ermittelte LuGI nicht die tatsächliche Immissionssituation charakterisiert. Auf diese Problematik wird im Kapitel »Gebiet des Kalkmergeleinflusses am östlichen Stadtrand« näher eingegangen.

Die Gebiete mit geringer Luftgüte liegen also mit ihrem Schwerpunkt im nördlichen und westlichen Bereich der Stadt, während die in unserem Untersuchungsgebiet

höchsten Luftgüteklassen im Süden und Osten auftreten. Auffallend ist das Vorhandensein von Untersuchungsstationen mit niedrigen Lüftgütewerten im nördlichen Bereich des westlichen Stadtrandes, da hier, in der Luv-Lage der Stadt, bezogen auf die Hauptwindrichtung West/Südwest (siehe Kapitel »Zur klimatischen Lage Hannovers«), nur verhältnismäßig geringe Schadstoffmengen auftreten dürften. Die Situation am südwestlichen Stadtrand bestätigt dagegen die Annahme des Transports relativ unbelasteter Luftmassen aus dem Umland. Besonders ungewöhnlich erscheint in diesem Zusammenhang die Ausdehnung, die die Luftgüteklassen »1.0« im Osten der Stadt zeigen, da sich hier, in der Lee-Lage, in der sich die innerhalb des Stadtgebietes emittierten Schadstoffe niederschlagen, eigentlich die am stärksten belasteten Gebiete befinden müßten. Unter Umständen ist dieses Phänomen auf eine schadstoffilternde Wirkung der Eilenriede zurückzuführen. Diese Vermutung ist allerdings erst durch Depositionsmessungen, die im Teilprojekt »Klima« des Ökologischen Forschungsprogramms geplant sind, zu klären.

Im Gegensatz zum Stadtinnern, wo eine nahezu kreis- bzw. halbkreisförmige Anordnung von Luftgütezonen zunehmender Luftqualität um das Gebiet mit der niedrigsten Luftgüteklasse »0.8« zu beobachten ist, zeigt die lufthygienische Situation zum Rand der Stadt hin ein wesentlich aufgelockertes Bild mit zum Teil kleinräumigem Wechsel in den Luftgüteklassen. Diese Randgebiete werden daher im folgenden erläutert.

Gesamter nördlicher Stadtrand

Zwar nimmt die Luftqualität, vom Innenstadtbereich aus gesehen, zum nördlichen Stadtrand hin zu, die Gesamtsituation stellt sich jedoch weniger gut dar als am südlichen und, mit Einschränkungen, am östlichen Stadtrand. Dies kann zum einen bedingt sein durch die dichtere Lage des nördlichen Stadtrands an den Innenstadtgebieten mit sehr niedrigen Luftgüteindices, zum anderen sind am Norddrand Hannovers wesentlich mehr Industrie- und Gewerbeansiedlungen vorhanden als am Südrand der Stadt. Ferner ist der nördliche und nordwestliche Stadtrand durch eine halbringförmig vorgelagerte Zone mit relativ dichter Bebauung gekennzeichnet, während am südlichen und östlichen Stadtrand ein rascher Übergang in die offene Landschaft gegeben ist. Diese offenen Bereiche ziehen sich teilweise bis in das Stadtgebiet hinein und könnten die Funktion von »Schneisen« für die Zufuhr verhältnismäßig unbelasteter Luft aus dem südlichen Umland der Stadt ausüben.

Isernhagen-Süd

Auch hier ist in Richtung Norden eine Zunahme der Luftqualität zu beobachten, was zum einen durch die Stadtrandlage, zum anderen durch die hohen Anteile aufgelockerter Siedlungsstruktur bzw. offener Landschaft bedingt sein wird. Die Luftqualität ist jedoch nicht so hoch wie in einigen Gebieten am südlichen Stadtrand. Hier spielen vermutlich dicht vorgelagerte besiedelte Bereiche wie beispielsweise Langenhagen sowie, über die Hauptwindrichtung West/Südwest, Einflüsse aus stärker belasteten Gebieten eine Rolle. Über einige Bereiche ist keine Aussage zur Luftgüte möglich, da in vielen Planquadraten keine Normbäume vorhanden sind.

Nordöstlicher Stadtrand

Hier ist ebenso wie im Gebiet Isernhagen-Süd eine Tendenz zu steigender Luftgüte in Richtung auf den Stadtrand zu beobachten. Jedoch sind auch hier ausgedehnte Bereiche ohne Normbäume und damit ohne Luftgüteindices vorhanden (vorwiegend Altwarmbüchener Moor und Misburger Wald), so daß ebenfalls eine Eingrenzung des Gebietes über eine Kartierung der Außenbereiche vorgenommen werden sollte.

Industriegebiet am nordwestlichen Stadtrand

Hier liegt eine Zone mit auffallend schlechtem LuGI (0.9) isoliert in einem Gebiet mit besserer Luftqualität. Diese Zone stimmt überein mit Gebieten großer Industrieansiedlungen (Varta, Conti, VW) und weiteren Industrie- und Gewerbeflächen um den Nordhafen. Auffallend ist ihre Erstreckung in Hauptwindrichtung. Im nördlichen Anschluß an diesen Bereich wird die Luftqualität im Übergang zur offenen Landschaft besser. Auch hier würde sich eine Außenkartierung anbieten, da in mehreren Planquadraten aufgrund fehlender Normbäume kein LuGI ermittelt werden konnte. Auf diese Weise ließe sich dieses problematische Gebiet besser eingrenzen.

Westlicher Stadtrand

Hier finden sich ausgedehnte Gebiete mit für eine Stadtrandlage schlechten Luftgüteindices von »0.9« bzw. »1.0«. Nach Südwesten hin ist die Luftqualität besser werdend. Gerade im nordwestlichen Bereich sind jedoch auch außerhalb des Stadtgebietes dicht bebaute, teilweise industriell genutzte Gebiete (Garbsen, Seelze, Letter, Rangierbahnhof, Firma Riedel-de-Haen) vorhanden, so daß die Stadtrandlage hier im Unterschied zum südlichen und südwestlichen Stadtrand keinen Übergang in die freie Landschaft bedeutet. Auch im Bereich Ahlem beginnt unmittelbar an der Stadtgrenze ein Gebiet mit dichter Bebauung. Die Zone mit der Luftgüteklasse »0.9« setzt sich in östlicher Richtung bis in den Innenstadtbereich fort.

Wettbergen, westliches Empelde

Hier ist die Luftqualität besser als in den umliegenden Gebieten, was durch die Lage am südwestlichen Stadtrand (Luv-Lage der Hauptwindrichtung) und die ausgedehnten Frischluftschneisen zwischen den vorgelagerten Ortschaften bedingt sein dürfte. Ferner befinden sich alle Baumstandorte der Untersuchungsstationen am Rand oder außerhalb besiedelter Gebiete, wodurch das Flechtenwachstum zusätzlich begünstigt sein könnte. Die südlichste Spitze dieses Gebietes läßt sich an den gleichen Luftgütebereich »1.1–1.2« im östlichen Wettbergen angliedern.

Hemmingen-Westerfeld/West

In diesem Bereich ist der Luftgüteindex mit »1.0« schlechter als die Luftqualität der unmittelbaren Umgebung, wofür sich zunächst keine Erklärung anbietet. Evtl. schließt sich das Gebiet an eine ausgedehnte Zone gleicher Luftqualität nordwestlich davon an.

Ricklinger Teiche, Leineaue, westliches Laatzen

Die Luftgüte liegt hier bei »1.3–1.5« bzw. »1.6–1.8« und ist somit besser als in den

angrenzenden Gebieten. Kennzeichnend für diesen Bereich ist der hohe Anteil an kaum bebauten und versiegelten Flächen und die vielen offenen Wasserflächen. Insgesamt handelt es sich um ein vegetationsreiches Gebiet, so daß die Bedingungen für die Ansiedlung von Flechten besonders günstig sein dürften. Zwar könnten in diesem Gebiet die klimatischen Einflüsse stärker als in anderen Bereichen der Stadt ausgeprägt sein. Gleichzeitig ist aber hier auch von einer höheren Luftqualität auszugehen. Eventuell fungiert das Gebiet als Frischluftschneise; der Frischlufteffekt ist jedoch durch Einflüsse der dicht bebautem Umgebung in Richtung Maschsee (Innenstadt) und des Industriegebietes Linden-Süd/Bormum abgeschnitten.

Bockmer Holz

In Richtung Bockmer Holz wird die Luftqualität im Vergleich zu den umliegenden Gebieten aus bisher nicht zu klärenden Gründen schlechter (Planquadrate 5898 und 5897). Die Umgebung deutet weder auf Emittenten noch auf ungünstige klimatische Bedingungen hin. Die erhobenen Werte wurden überprüft und somit abgesichert. Eine ausführliche Darstellung dieser Problematik ist im Anhang (Überprüfung ausgewählter Planquadrate) zu finden.

Kronsberg

Die Luftgütewerte liegen hier bei »1.1–1.2« zund »1.3–1.5«. Für weite Bereiche konnte wegen fehlender Normbäume keine Bewertung vorgenommen werden. Das Gebiet ist gekennzeichnet durch ausgedehnte Ackerflächen im Bereich anstehenden Kalkmergels, so daß Anflug von kalkhaltigem Staub aus dem Oberboden möglich wäre. Die Unterschiede in den Luftgüteindices innerhalb dieses Gebietes lassen sich jedoch nicht ohne weiteres durch Staubanflug erklären, da auch Planquadrate mit niedrigerem LuGI (1.1–1.2) im offenen Gelände liegende Stationen aufweisen. Dagegen sind durchaus Planquadrate mit der besseren Luftgüteklsse »1.3–1.5« (5600, 5601) mit Untersuchungsstationen innerhalb des besiedelten Gebietes, die somit geschützt vor Staubanwehungen sind, vorhanden.

Insgesamt sind weite Bereiche des Stadtgebiets von niedrigen Luftgüteklassen (0.8, 0.9, 1.0) geprägt, die eine verhältnismäßig ungünstige lufthygienische Situation widerspiegeln.

4.5 Gebiet des Kalkmergeleinflusses am östlichen Stadtrand

Wie schon im Kapitel »Regionale Verteilung der Luftgüteindices im Stadtgebiet« angesprochen, fällt das Gebiet am östlichen Stadtrand von Hannover bei der Betrachtung und Beurteilung von Luftgüteindices heraus. Das Gebiet von Misburg/Anderten ist gekennzeichnet durch ein unmittelbares Nebeneinander sehr unterschiedlicher Luftgüteklassen. Zum einen fallen die sehr niedrigen Luftgütewerte von »0.9« in Misburg-Nord ins Auge, zum anderen im direkten Anschluß daran die relativ hohen Luftgüteklassen in Misburg-Süd/Anderten. Dies impliziert eine scheinbare sprunghafte Verbesserung der lufthygienischen Situation, z. B. beim Übergang vom Planquadrat 5806 zu den Planquadraten 5805, 5909 und 5905.

Die für diesen Bereich auffallend schlechte Situation in den Planquadraten 5706 und 5806 dürfte auf ausgedehnte Industrieansiedlungen in diesem Gebiet zurückzuführen sein, wobei jedoch anzumerken ist, daß der vermutliche Hauptemittent, die Erdölraffinerie Deurag-Nerag, seit einigen Jahren die Produktion gedrosselt und schließlich ganz eingestellt hat. Eine abnehmende Luftschadstoffbelastung in den letzten Jahren wird auch durch die gemessenen SO_2-Werte der LÜN-Station Misburg bestätigt, die gerade für die Jahre 1986 und 1987 deutlich unter den Werten der Jahre davor liegen (Quelle: Niedersächsisches Landesamt für Immissionschutz, Juni 1988). Da jedoch der Flechtenbewuchs die lufthygienische Situation der vergangenen fünf Jahre reflektiert, ist anzunehmen, daß diese Verbesserung noch nicht in entsprechender Weise über die Flechtenkartierung zu erfassen ist. Damit kann die aktuelle Luftqualität durchaus besser sein, als durch die Luftgüteindices angezeigt wird. Diese Frage ist im Rahmen der geplanten Flechtenexposition und der begleitenden Depositionsmessungen zu klären.

Für die sich an dieses Gebiet unmittelbar anschließenden Bereiche mit hohen Luftgütewerten müssen andere Faktoren für die Deutung der Zusammenhänge herangezogen werden. Hier befinden sich mehrere Zementwerke und ausgedehnte Kalkmergelgruben. Kalkhaltiger Staub, führt nach JÜRGING (1975) zu einer starken Förderung neutrophytischer Flechtenarten wie *Xanthoria parietina, Physcia adscendens* und *Physcia tenella*. Diese wurden, unter anderen, zum Teil mit hohen Deckungsgraden in dem entsprechenden Gebiet gefunden und bewirken, verbunden mit ihren relativ hohen Empfindlichkeitswerten, die hier anzutreffenden hohen Luftgüteindices. Es ist anzunehmen, daß das Flechtenwachstum im Raum Misburg-Süd/Anderten durch den dort vermehrt anfallenden kalkhaltigen Staub in bezug auf andere luftverunreinigende Stoffe unspezifisch gefördert wird. Damit können jedoch die mit Hilfe der Flechtenkartierung ermittelten Luftegüteindices die tatsächliche Immissionssituation nicht repräsentieren.

Auffallend ist, daß sich die beiden Luftgüteklassen »1.3–1.5« und »1.6–1.8«, die im angesprochenen Problemgebiet auftreten, auch in östlicher Richtung weiter fortzusetzen. Obwohl sich die Kalkmergelgruben und Zementwerke auf die Gebiete am Ostrand von Misburg/Anderten und um Höver beschränken, ist eine Abnahme der Luftgütewerte, die eine Verminderung des Kalkmergeleinflusses anzeigen könnte, in dem kartierten Gebiet nicht zu beobachten.

Die erfaßten Daten erlauben keine Eingrenzung des kalkmergelbeeinflußten Gebietes in Richtung Osten und Süden. Es ist zu vermuten, daß eventuell der genannte Einfluß durch eine allgemeine Verbesserung der lufthygienischen Situation im außerstädtischen Bereich überlagert wird. Exakte Aussagen können aufgrund des jetzigen Kenntnisstandes noch nicht getroffen werden.

Die hohe Luftgüteklasse »1.6–1.8« am Randes des zusätzlich kartierten Gebietes kann zum einen, unter der Annahme eines abnehmenden Kalkstaubeinflusses, mit einer allgemeinen Verbesserung der Luftgüte im Umland mit zunehmender Entfernung vom Stadtgebiet erklärt werden. Zum anderen wären auch Bodenanwehungen mit hohem Kalkgehalt aus freien Ackerflächen denkbar, da Kalkmergelbestandteile auch in der Ackerkrume zu finden sein dürften. Natürlich ist auch ein direkter Einfluß der Kalkmergelgruben und Zementwerke durch Transport von Luftmassen trotz der relativ großen Entfernung nicht auszuschließen.

Die Luftgütewerte in der Ortslage von Ahlten fallen durch die etwas niedrigere Luftgüteklasse »1.3–1.5« auf. Hier könnte eine Abschirmung vor Kalkanwehungen durch die innerörtliche Lage der Trägerbäume in Betracht kommen. Zudem können aber auch selbst durch diesen kleinen Ort bedingte klimatische und lufthygienische Einflüsse nicht ausgeschlossen werden. Bei der geplanten Ringkartierung zur Ermittlung der Grundbelastung sollten diese angesprochenen möglichen Einflüsse von Ortschaften Berücksichtigung finden. Mit Hilfe der aus der Ringkartierung zu erhaltenden Daten und Informationen sollte auch die Bewertung und Einordnung dieses gesamten Problemgebietes leichter möglich sein.

Eventuell ist der eigentliche Einfluß der Zementwerke und Kalkmergelgruben auf die unmittelbare Umgebung dieser Emittenten beschränkt und lokal begrenzt. Ein Argument dafür wäre das schon angesprochene direkte Aneinandergrenzen sehr unterschiedlicher Luftgüteklassen. So führt der Flechtenbewuchs im Planquadrat 5806 zu einem sehr niedrigen LuGI, obwohl die herangezogenen Trägerbäume nur wenige hundert Meter von einem Zementwerk und einer Kalkmergelgrube entfernt liegen. Da diese Bäume sich jedoch in einem Gebiet dichterer Bebauung befinden, dürften sie vor unmittelbaren Kalkstaubanwehungen abgeschirmt sein. Dagegen sind die Normbäume in den anderen betroffenen Planquadraten aufgrund ihrer Lage dem Kalkmergeleinfluß direkt ausgesetzt, obwohl sie in vergleichbarer Entfernung zum Emittenten stehen können. Hiermit ist der beste im gesamten Stadtgebiet anzutreffende LuGI im Planquadrat 5805 zu erklären und das sprunghafte Aneinandergrenzen extrem unterschiedlicher Luftgüteklassen nicht verwunderlich.

Abschirmungseffekte durch dichtere Bebauung dürften generell auch bei der Frage der Ausdehnung des fraglichen Gebietes in westlicher Richtung eine Rolle spielen. Eine klare Grenzziehung ist aufgrund des jetzigen Kenntnisstandes nicht möglich. Dennoch ist zu vermuten, daß der Einfluß des Kalkmergels in Richtung Westen von untergeordneter Bedeutung ist. In östlicher Richtung ist hingegen aufgrund der offenen Geländestruktur und der vorherrschenden Windrichtung (vgl. Kap. 3) von einer weitreichenderen Wirkung auszugehen.

Zur Unterstützung der oben angestellten Betrachtungen wurden die Meßergebnisse der Staubniederschlagsbelastung des Immissionsmeßprogramms 74/75 (NIEDERSÄCHSISCHER SOZIALMINISTER 1975) herangezogen, obwohl diese alten Daten natürlich nicht repräsentativ für den heutigen Flechtenbewuchs sind. Diese Werte liegen in dem erwähnten Bereich weit über dem Durchschnittswert des überwiegenden Teils des Stadtgebietes, und der Calcium-Anteil im Gesamtstaubniederschlag im Raum Misburg ist doppelt so hoch wie im Stadtzentrum. Allerdings gibt es Unterschiede in einzelnen Planquadraten zwischen dem Gebiet der erhöhten Staubniederschlagsbelastung und der Verteilung der Luftgüteklassen, insbesondere im südwestlichen Bereich.

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, daß auch der Kronsberg durch relativ hohe Luftgüteklassen gekennzeichnet ist, die jedoch nicht die Ausprägung wie in der erwähnten Region aufweisen. Da es sich hier um ein großräumiges Gebiet ackerbaulicher Nutzung handelt, wäre ebenfalls an kalkhaltige Bodenanwehungen aus der Ackerkrume zu denken. Der hier auftretende Bodentyp ist nach DIETZ (1959) Rendzina aus mergeligen Kalken der oberen Kreide, so daß von hohen Kalkgehalten im Oberboden auszugehen ist.

Da mit einer Flechtenkartierung die gewünschte Beurteilung der Luftqualität in diesem Gebiet nicht möglich ist, müßte man sich verstärkt auf physikalisch-chemische Verfahren stützen. Eine endgültige Eingrenzung des fraglichen Gebietes kann vermutlich erst durch die im Teilprojekt »Klima« vorgesehenen Depositionsmessungen vorgenommen werden. Als Resultat sollte dann, ähnlich wie bei GOPPEL (1988), eine Zone des Kalkmergeleinflusses ausgewiesen werden, in der die aufgrund der Flechtenkartierung ermittelten Luftgüteindices die tatsächliche lufthygienische Situation nicht repräsentieren können.

5. Luftgüteindices und Biotope nach der Stadtbiotopkartierung

Mit der 1984 im ersten Durchgang abgeschlossenen Stadtbiotopkartierung wurde das gesamte Stadtgebiet nach insgesamt 118 Biotoptypen kleinräumig und flächendeckend aufgenommen. Jedem Biotoptyp ist eine Buchstabensignatur zugeordnet. Diese wurde aus der Karte »Stadtbiotopkartierung 1984«, Maßstab 1 : 10000 für jeden Baumstandort ermittelt und in der EDV abgespeichert.

Eine direkte Zuordnung von Biotoptypen zu Luftgüteindices ist nicht möglich, da sich die Biotopkennzeichnung auf Einzelbäume bezieht und die Luftgütebeurteilung dagegen auf Planquadratebene vorgenommen wird. Somit sind in der Regel in einem Planquadrat mehrere Biotoptypen vorhanden. Nach den hier möglichen Einschätzungen scheinen Zusammenhänge zwischen den sehr kleinräumig erfaßten Biotoptypen und dem Flechtenbewuchs unwahrscheinlich. Falls solche Zusammenhänge überhaupt bestehen, sind sie eher bei großräumigeren Einheiten wie Siedlungsstrukturen und Vegetationsformen zu vermuten, die sich auch auf die lufthygienische Situation auswirken.

6. Luftgüteindices und Daten des LÜN-Meßnetzes

Zwischen den Luftgüteindices in den Planquadraten der fünf LÜN-Stationen sind keine gravierenden Unterschiede festzustellen (Tab. 3). Anhand der vorliegenden Ergebnisse ist keine Eichung der LuGIs in bezug auf Luftschadstoffe möglich, da die Wertepaare zu eng beieinander liegen. Dieses nahe Beieinanderliegen der LuGIs auf der einen Seite und der Werte der LüN-Stationen auf der anderen Seite ließe die Vermutung zu, daß die LuGIs die durch das LÜN-Meßnetz erfaßten Immissionskomponenten in der Höhe widerspiegeln. Das Flechtenwachstum wird jedoch nicht durch die vom LÜN-System erfaßten Parameter, sondern auch durch weitere Luftschadstoffe beeinflußt, so daß die Beziehung LuGI/LÜN-Meßwert in anderen Gebieten eine ganz andere sein kann. Früher wurde SO_2 als Haupteinflußgröße auf den Flechtenwuchs angesehen, heute geht man von einer Kombinationswirkung einer Vielzahl von Luftschadstoffen aus (HERZIG et al. 1987). Ferner muß man heute eine veränderte Immissionssituation im Vergleich zu den Verhältnissen von vor 10–15 Jahren voraussetzen, einer Zeit, in der die ersten Versuche einer Zuordnung des Flechtenvorkommens in den Städten zu SO_2-Werten vorgenommen wurden. Aufgrund der Flechtenkartierung ergibt sich ein differenzierteres Bild für das Stadtgebiet bezüglich der Belastungssituation als bei den Meßergebnissen für SO_2 des Immissionsmeßprogramms 74/75 (NIEDERSÄCHSISCHER SOZIALMINISTER 1975). Obwohl man diese älteren Daten nicht ohne

weiteres auf den aktuellen Flechtenbewuchs beziehen kann, der eher die Gesamtsituation der letzten fünf Jahre anzeigt, deuten auch diese Ergebnisse darauf hin, daß andere Faktoren als SO_2 allein für den LuGI entscheidend sind. Das LÜN-Meßnetz in Hannover scheint nicht ausreichend, um Beziehungen zwischen LuGI und gemessener Luftschadstoffbelastung herzustellen. Um exakte Aussagen über Ursachen/Wirkungszusammenhänge zwischen Immissionen und über Flechtenkartierung ermittelte Luftgüteindices machen zu können, wären daher weitere, umfangreiche Messungen über das Stadtgebiet verteilt nötig. Dabei sollten auch andere als die vom LÜN-System erfaßten Schadstoffe wie z. B. Ozon und Schwermetalle berücksichtigt werden. Neben chemisch-physikalischen Messungen wäre auch der Einsatz von für einzelne Schadstoffe spezifischen Bioindikatoren denkbar. Diese Zusatzinformationen müßten jedoch nicht flächendeckend erhoben werden, sondern könnten sich auf einzelne, charakteristische Punkte beschränken. Des weiteren ist die Einbeziehung von Emissionsdaten für eine weitergehende Interpretation erforderlich.

Tab. 3: Luftgüteindices und Meßdaten der LÜN-Stationen 1983–1987
(Quelle: NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ, Juni 1988)

	Plan	LuGI	SO_2 (μ/m^3) I1-Werte Jahresmittel 83–87	Staub (μ/m^3) I1-Werte Jahresmittel 83–87	NO_2 (μ/m^3) I1-Werte Jahresmittel 83–87
Welfenplatz	5006	0.9	34.4	47.0	53.2
Linden	4703	1.0	39.3	50.4	39.7
List	5308	1.0	41.3	49.3*	42.4
Vinnhorst	4710	1.0	36.0	50.0	46.8
Misburg	5806	0.9	45.0	46.8	44.8

* Hier standen nur die Mittelwerte der Jahre 1985–1987 zur Verfügung.

7. Die lufthygienische Situation Hannover im Vergleich zu anderen Städten

Ein Vorteil der LuGI-Methode nach RABE gegenüber anderen Methoden wie der IAP-Methode liegt in der direkten Vergleichbarkeit der ermittelten lufthygienischen Verhältnisse mit Daten, die in anderen Städten nach dem gleichen Verfahren ermittelt wurden (RABE 1987).

Für 11 Städte liegen uns vom Rheinisch-Westfälischen TÜV herausgegebene, nach der LuGI-Methode gewonnene Luftgütewerte vor (Tab. 4). Dabei sind die einzelnen Luftgüteindices nicht detailliert in ihrer regionalen Verteilung wiedergegeben, sondern sind zu drei Kategorien zusammengefaßt. Hierbei handelt es sich um die Bereiche Stadtzentrum/Industriegebiet, Stadtrand und Außenbereiche. Während die Kategorie Stadtzentrum/Industriegebiet« den dicht bebauten, geschlossenen Kernbereich und ausgedehntere Flächen industrieller Nutzung umfaßt, handelt es sich bei der zweiten Kategorie um den Randbereich des zusammenhängend bebauten Gebietes und den Übergang zu lockerer Siedlungsstruktur. Unter »Außenbereich« werden nicht oder nur

wenig bebaute, z. T. landwirtschaftlich genutzte Gebiete verstanden, die jedoch noch innerhalb der politischen Grenzen der Stadt liegen. Bei den in Tabelle 4 angegebenen »Typischen Lüftgüteindices« handelt es sich um eine Zusammenfassung von Werten, die nach unterschiedlichen Verfahren ermittelt wurden, die uns für die einzelnen Kategorien abgeschätzte Werte, die die typische Situation in den jeweiligen Bereichen unter Ausschluß der Extremwerte widerspiegeln, teilweise sind es rechnerisch zustande gekommene Mittelwerte (alle Angaben zur Erläuterung der Tabelle nach mündlicher Mitteilung von H. Wiegel, Rhein.-Westfäl. TÜV). Aufgrund dieser nicht einheitlich zustandegekommenen Daten ist eine Vergleichbarkeit der Städte untereinander und zu Hannover problematisch.

Tab. 4: Typische Luftgüteindices in ausgewählten Städten

Stadt / Gebiet	Stadtzentrum/ Industriegebiet	Stadtrand	Außenbereiche
Duisburg	0,7	0,9–1,0	—
Dortmund	0,8	1,0	—
Moers	0,9–1,0	1,0	1,0
Velbert	0,9–1,0	1,0	1,0–1,1
Witten	0,9–1,0	1,0–1,1	1,1–1,2
Wuppertal	0,8–1,0	1,1–1,2	1,2–1,4
Dülmen	1,0	1,0	1,0
Odenthal	1,0	—	1,2
Iserlohn Nord	1,0–1,1	1,1–1,2	1,2–1,4
Düren	1,0–1,1	1,2	1,4
Borken	1,2	1,2	1,3

Zur größtmöglichen Annäherung wurde für Hannover eine Bewertung der drei Kategorien nach beiden oben genannten Verfahren vorgenommen. Die Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse, die sich aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweise voneinander unterscheiden. Dennoch entsprechen hier die aus der Gesamtheit aller LuGI-Werte für die einzelnen Kategorien errechneten Mittelwerte gut dem mittleren Bereich der abgeschätzten typischen Luftgütespanne. Deutlich wird jedoch auch anhand dieser unterschiedlichen Daten, daß ohne genauere Angaben über das Zustandekommen der Werte für die einzelnen Städte ein direkter Vergleich nicht möglich ist. Da vom Rheinisch-Westfälischen TÜV keine ausführlichen Kartierungsergebnisse zur Verfügung gestellt werden können, müssen nähere Angaben im Rahmen des interkommunalen Erfahrungsaustausches angefordert werden.

Tab. 5: Typische Luftgüteindices in Hannover, ermittelt nach zwei unterschiedlichen Verfahren

	Charakteristische Luftgütespannen (ohne Extremwerte)	Errechneter Mittelwert (sämtliche LuGI-Werte)
Stadtzentrum / Industriegebiet	0,8–1,0	0,9
Stadtrand	1,0–1,2	1,1
Außenbereiche	1,1–1,4	1,2

8. Diskussion

8.1 Zur Problematik der Normkriterien

Die Methode fordert eine Beschränkung auf bestimmte Baumarten mit ähnlicher Borkenbeschaffenheit (z. B. Struktur, pH-Wert). Weitere einzuhaltende Normbaumkriterien sind: gerader Wuchs, bestimmter Mindestumfang, voller Lichtgenuß (hoher Kronenansatz, freistehend, keine Beschattung durch Gebäude oder andere Bäume), vergleichbare klimatische Verhältnisse im Umfeld der Trägerbäume, keine Ablaufrinnen oder Ablaufbahnen, keine Verletzungen, keine Standorte auf ackerbaulich oder viehwirtschaftlich genutzten Flächen und keine Baumpflegemaßnahmen, die das Flechtenwachstum beeinflussen. Damit ist die Verfügbarkeit von Trägerbäumen von vornherein eingeschränkt. Je nach Region oder kartiertem Gebiet (z. B. Stadtgebiet, Waldgebiet, freie Landschaft) muß eine weitere Einengung auf bestimmte vergleichbare Baumarten in Kauf genommen werden, so daß gewisse Bereiche innerhalb des kartierten Gebietes u. U. nicht mit erfaßt werden.

Es ist meist nicht möglich, sich auf eine Baumart zu beschränken. Daher ist von vornherein eine gewisse Variationsbreite in den Normbaumkriterien wie Borken-pH und Borkenstruktur gegeben. In unserem Fall arbeitet man mit einem Baumartenspektrum, das sich für die Kartierung im Stadtgebiet gut, für die Erfassung der Eilenriede und anderer Wälder im Stadtgebiet weniger gut eignet. In Waldgebieten ist zwar eine floristische Aufnahme des Flechtenvorkommens, jedoch nur sehr eingeschränkt eine immissionsbezogene Flechtenkartierung möglich, da Bäume dort nur in seltensten Fällen freistehend vorkommen. Würde man für die Kartierung in Hannover die Pappel, die sich hinsichtlich des Borken-pHs im alkalischen Randbereich des Baumartenspektrums bewegt, durch die Eiche, die mehr dem sauren Randbereich zu tendiert, ersetzen, wären die Wälder und einige Planquadrate im nördlichen Stadtgebiet mit einer höheren Baumzahl abdecken. Dafür würden jedoch weite andere Bereiche, die nur durch das Pappelvorkommen zu erfassen sind, ausfallen (siehe hoher Pappelanteil am Gesamt-Normbaumbestand, Kap. 4.1). Des weiteren entspricht das ausgewählte Baumartenspektrum den in der LuGI-Methode vorgegebenen Trägerbaumarten. Nur so ist gewährleistet, daß die Daten mit in anderen Städten nach dieser Methode erhobenen Werten zur lufthygienischen Situation vergleichbar sind.

In einigen Planquadraten wurde beobachtet, daß hinsichtlich der Normkriterien völlig gleichartige, unmittelbar benachbarte Trägerbäume einen ganz unterschiedlichen Flechtenbewuchs aufwiesen. In diesen Fällen müssen andere, für uns nicht sichtbare Faktoren das Flechtenwachstum bestimmen. Dies dürften sehr kleinräumige Einflüsse sein wie z. B. lokale Staubanwehungen, geringe Unterschiede im Stammablauf, pH-Wert-Schwankungen auch bei der gleichen Baumart. In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeiten von NOWAK 1973 und SCHMIDT 1973 über den Einfluß kleinräumiger ökologischer Unterschiede auf das Flechtenwachstum verwiesen. Solche einzeln auftretende Fälle werden in der Regel dadurch ausgeglichen, daß möglichst mehrere und immer die bestbewachsenen Bäume im Planquadrat zur Kartierung herangezogen werden.

Von der Methode her ist zwar gefordert, daß pro Planquadrat an mindestens 5 Trägerbäumen Aufnahmen des Flechtenbewuchses vorgenommen werden sollten, aber in der Praxis erweist sich diese Anforderung als nicht immer durchführbar. Zwar gibt es zahlreiche Planquadrate, in denen eine Vielzahl von Normbäumen vorhanden ist und der Methode entsprechend bis zu 10 der bestbewachsenen ausgesucht werden können. In vielen Fällen kann jedoch bei strenger Auslegung der Normkriterien die geforderte Anzahl an Normbäumen nicht erreicht werden, vorausgesetzt, es sind überhaupt Bäume der in Frage kommenden Arten vorhanden (vgl. Kap. 4.1). Für zuverlässige Aussagen ist eine eng gefaßte Auslegung der Normkriterien einer Erhöhung der Normbaumzahl um jeden Preis vorzuziehen. In Fällen, in denen die geforderte Anzahl an Normbäumen nicht eingehalten werden konnte, wurden nur dann Daten erhoben, wenn die Aussagen der wenigen, im Extremfall des einen Normbaums durch Beobachtungen an anderen, zur Kartierung nicht geeigneten Bäumen im Umfeld untermauert wurden. Vor diesem Hintergrund lassen sich durchaus Luftgütewerte für Planquadrate ermitteln, die bei strikter Einhaltung der Normbaumzahl nicht zu bewerten gewesen wären.

Das größte Problem bei der Anwendung von immisssionsbezogenen Flechtenkartierungen stellt sich bei der Auswahl der geeigneten Normbäume. Bäume als lebende Organismen zeigen eine hohe Variabilität und können daher nie alle Normbaumkriterien hundertprozentig erfüllen. So weisen nahezu alle Bäume bestimmte Bahnen für den Stammablauf des Regenwassers auf. Viele Bäume sind nicht vollkommen gerade gewachsen, sondern leicht geneigt. In den wenigsten Fällen stehen Bäume völlig frei im Gelände, sondern es ist ein variierender Einfluß auf kleinklimatische Faktoren durch benachbarte Vegetation oder Gebäude gegeben. Inwieweit ein Baum zur Datenerhebung noch geeignet ist, wird von der Methode her ausdrücklich in das Ermessen der kartierenden Person gelegt. Fast immer müssen verschiedene Kompromisse eingegangen werden, ohne jedoch die Grenzen zu überschreiten, bei denen die Ergebnisse verfälscht werden.

Die Vorgabe, Stationen in der Mitte des Planquadrats zu bilden, ist nicht immer erfüllbar. Da man immer Bäume auswählen muß, die am besten bewachsen sind, können die Trägerbäume am äußersten Rand des Planquadrats oder über das Planquadrat verteilt sein. Liegt eine Station am Rande des Planquadrats, ist die Aussagekraft bezüglich der ganzen Fläche mit gewissen Vorbehalten zu betrachten. Bei der Erstellung der Isolinienkarte wird jedoch die Lage der einzelnen Stationen mitgewichtet.

Die Methode beinhaltet in sich eine gewisse Pufferung gegenüber kleinen Fehlern, die bei geringen Fehleinschätzungen des Deckungsgrades bzw. Übersehens einer kleinen Einzelflechte beim Kartieren auftreten können. Die Pufferung besteht in der Mittelung von 10 Kartierungsfeldern pro Baum und Flechte, in der Heranziehung mehrerer Bäume pro Station und in der Überführung von Deckungsgraden in Deckungsgradklassen, die eine gewisse Bandbreite abdecken. Besonderer Sorgfalt bedarf es in Fällen, in denen der LuGI zwischen 1.0 und 1.1 liegt, da schon das Auffinden einer einzelnen kleinen Blattflechte mit dem Empfindlichkeitswert 2.0 den LuGI in die nächsthöhere Klasse anheben kann. Dagegen können kleine Vorkommen von anderen Krustenflechten als *Lecanora conizaeoides* wie z. B. *Buellia punctata* oder *Lepraria incana*, die besonders schwer zu lokalisieren sind, den LuGI in der Luftgüteklasse 1.0

belassen. Hier bewirken erst größere Funde eine so gravierende Erhöhung des LuGI, daß eine Eingrupppierung in die Klasse »1.1–1.2« vorgenommen werden muß.

In den Luftgüteklassen »0.7–1.0«, die durch das alleinige Vorkommen von *Lecanora conizaeoides* bestimmt werden, kann durch das zwangsläufige Ziehen von festen Grenzen ein Unterschied von wenigen Deckungsgradprozenten zur Einordnung in einen anderen Luftgüteindex und damit in eine andere Klasse führen. Diese Grenzfälle weisen daraufhin, daß die Luftgütewerte in diesem Bereich in Einzelfällen nicht überbewertet werden dürfen. Dennoch kann eine kleinräumige Differenzierung innerhalb der sogenannten Flechtenwüste« (überwiegendes Vorkommen von *Lecanora conizaeoides* mit wenigen anderen Krustenflechten), die mit anderen Methoden nicht möglich ist, vorgenommen werden. Natürlich kann es auch in den höheren Luftgüteklassen (1.0) zu solchen Grenzfällen kommen. Hier sind jedoch kleine Abweichungen bei der Erfassung des Flechtenvorkommen kaum von Bedeutung, da sich der LuGI stets auf mehr als eine Flechtenart stützt. Auch durch den Verrechnungsmodus ist eine gewisse Pufferung gewährleistet, ebenso wie durch die Einteilung in Luftgüteklassen, die hier eine größere Bandbreite von Luftgüteindices abdecken.

8.2 Zusammenhänge zwischen Luftgüteindices und menschlicher Gesundheit

Schon seit langem bekannt und allgemein anerkannt ist, daß Luftschadstoffe die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen. Übereinstimmend ergaben Studien eine erhöhte Mortalität und Morbidität bei städtischer Bevölkerung, die in stärkerem Maße luftverunreinigenden Stoffen ausgesetzt war (ODZUCK 1982). Noch nicht ausreichend erforscht ist hingegen, welche Wirkungen von einzelnen Stoffen bei welchen Konzentrationen hervorgerufen werden, zumal man von bis zu 1000 Fremdstoffen in der Luft größerer Städte ausgehen kann (SCHLIPKÖTTER und BEYEN 1985). Völlig unzureichend sind die Kenntnisse über die auftretenden Kombinationswirkungen der verschiedenen Schadstoffe.

Aus diesen Gründen geht man zunehmend ergänzend zu der chemisch-physikalischen Messung einzelner Luftschadstoffe zu einer wirkungsorientierten Erfassung der Gesamtschadstoffbelastung mit Hilfe von Bioindikatoren über. So zeigen Flechten als lebende Organismen wie der Mensch eine integrierende Wirkung auf luftverunreinigende Stoffe.

Natürlich lassen sich nicht ohne weiteres Beziehungen zwischen Flechte und Mensch herstellen. Flechten geben Auskunft über für sie spezifische biologische Wirksamkeit der lufthygienischen Situation. Der Bezug zur Gesundheit des Menschen muß über epidemiologische Untersuchungen hergestellt werden.

Diesbezügliche Untersuchungen von RABE und BECKMANN (1987) konnten räumliche Bezüge zwischen Ergebnissen von Flechtenkartierungen nach der LuGI-Methode und der Häufigkeit von Erkrankungen aufzeigen. So bestanden in Duisburg im untersuchten Luftgütebereich von 0.7 bis 1.0 eindeutige Zusammenhänge zwischen Atemwegserkrankungen (Pseudokrupp, obstruktive Bronchitis) bei Kindern und Luftgüteindex. Beim Wirkungskataster »Mensch« in Dortmund ergab sich eine weitgehend übereinstimmennde Tendenz der Abnahme des LuGI und der Zunahme der Wirkung

am Menschen, die über die Parameter »häufiges Husten, chronische Bronchitis, Bleigehalt im Zahn und im Blut« erfaßt wurde. Bei beiden Studien ergab sich eine z. T. hochsignifikante Korrelation zwischen dem Luftgüteindex und Luftschadstoffen (SO_2-Konzentration, Blei- und Cadmiumniederschlag).

Jedoch erlauben die Korrelationen zwischen der SO_2-Konzentration und der Staubniederschlagsmenge einerseits und gesundheitlicher Beeinträchtigung des Menschen andererseits keine Herstellung direkter kausaler Zusammenhänge. Vielmehr kann diesen Belastungsfaktoren mit Sicherheit nur eine Indikatorfunktion für die Vielzahl in Frage kommender gefährdender Stoffe zugesprochen werden.

Zusammenfassend kann man davon ausgehen, daß der LuGI-Wert die tatsächliche, biologisch wirksame, langfristige mittlere Immissionsbelastung widerspiegelt, die sowohl das Flechtenwachstum als auch die menschliche Gesundheit beeinflußt.

Für die Stadt Hannover können gesicherte Zusammenhänge zwischen Luftgüteindex und der Häufigkeit von immissionsbedingten Erkrankungen nur über weitreichende epidemiologische Untersuchungen hergestellt werden. Ein direkter Bezug auf Ergebnisse aus anderen Städten erscheint problematisch, da mit anderen Immissionssituationen und unterschiedlichen sozioökonomischen Strukturen zu rechnen ist. Auszugehen ist jedoch von einer Zunahme des gesundheitlichen Gefährdungspotentials mit abnehmenden Luftgüteindices von der Peripherie zum Zentrum. Besonders bedeutsam erscheinen in diesem Zusammenhang die ausgedehnten Gebiete mit einem sehr niedrigen LuGI von 0.8 bzw. 0.9. Auch der noch größere Anteil an Planquadraten mit einem ebenfalls relativ niedrigen LuGI von 1.0 muß als nicht unbedenklich angesehen werden.

8.3 Integration in das Ökologische Forschungsprogramm Hannover

Flechten reagieren sehr schnell und empfindlich auf Luftverunreinigungen. Daher hat man bereits in vielen Städten Flechten als Bioindikatoren für die Bewertung der Luftqualität herangezogen. Ziel des Ökologischen Forschungsprogramms ist es, über die Kartierung epiphytischer Flechten hinaus zu prüfen, inwieweit sich die Bioindikatoren Flechten als eine wirkungsvolle Ergänzung der punktförmig chemisch-physikalisch erhobenen Meßdaten des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN) eignen.

Während die sehr kostenintensiven chemisch-physikalischen Messungen der Luftqualität, die bislang nur an 6 Meßstellen im Stadtgebiet Hannover erfaßt werden, lediglich momentane Luftschadstoffkonzentrationen anzeigen, sollen die Flechten als lebende Organismen die Gesamtwirkung aller Schadstoffe über einen längeren Zeitraum dokumentieren.

Die im Rahmen einer Flechtenkartierung erhaltenen Luftgütewerte spiegeln die lufthygienische Situation des Untersuchungsgebietes innerhalb der vorangegangenen drei bis fünf Jahre vor der Kartierung wider.

Zur Ermittlung der aktuellen Belastungssituation werden 1990 im Rahmen des Ökologischen Forschungsprogramms Exemplare der Flechte *Hypogymnia physodes* an ausgewählten Standorten innerhalb des Stadtgebietes exponiert. Nach Erkenntnissen der

Flechtenkartierung werden in Verbindung mit weiteren Parametern die einzelnen Stationen auszuwählen sein.

Die für die Flechtenexposition vorgesehenen Standorte werden in jedem Fall mit klimatischen Messungen und über Depositionsmessungen erfaßten Daten zur Schadstoffbelastung verbunden sein, um Aussagen über den Komplex Flechten/Klima/Schadstoffe zu ermöglichen.

Die Exposition von Flechten wird ferner dazu dienen, durch die Flechtenkartierung nicht plausibel abgedeckte Bereiche zu überprüfen. Dies wäre z. B. dann der Fall, wenn benachbarte Stationen innerhalb des kartierten Gebietes stark voneinander abweichende Luftgüteindices aufweisen.

Weiterhin werden Expositionsstandorte dort vorzunehmen sein, wo bei der Flechtenkartierung aufgrund fehlender Normbäume für größere Gebiete keine Bewertung der Luftqualität möglich war. Dies ist zum einen in Randgebieten der Fall wie beispielsweise am Kronsberg, im Altwarmbüchener Moor und am nordwestlichen Stadtrand. Zum anderen gibt es Problemgebiete wie die Eilenriede, für die aufgrund des dichten Baumbestands keine Erfassung im Rahmen der Flechtenkartierung möglich war, und deren Einfluß auf die lufthygienische Situation nicht eindeutig geklärt werden konnte. Ein weiteres Problemgebiet ist durch Kalkmergeleinfluß geprägte Bereich im Osten der Stadt. Hier ist insbesondere die Ausdehnung dieses Gebietes in westlicher Richtung über Depositionsmessungen zu klären.

Danksagung.
Die Untersuchungen wurden von der Stadt Hannover wesentlich unterstützt, wofür an dieser Stelle gedankt sei.

Literaturverzeichnis

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1986): Was Sie schon immer über Luftreinhaltung wissen wollten. Berlin.

DIETZ, C. (1959): Erläuterungen zur geologischen Karte von Niedersachsen, 1 : 25 000, Blatt Hannover, Nr. 3624. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

DOLL, R. (1982): Flechten. Wittenberg Lutherstadt.

GOPPEL, R. (1988): Luftbelastung in einem Stadtteil. Unterricht Biologie 12, Heft 131 (Bioindikatoren), 36-0.

HERZIG, R.; LIEBENDÖRFER, L.; URECH, M. (1987): Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. VDI-Berichte 609, 619-639.

JÜRGING, P. (1975): Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung. Bibliotheca Lichenologica 4, Vaduz.

KIRSCHBAUM, U. und STEUBING, L. (1987): Veränderungen der epiphytischen Flechtenvegetation in der Region Untermain (1971 bis 1985) und ihre Beziehung zur Immissionssituation. Staub-Reinh. Luft 47, 257-260.

KRÜGER-DANIELSON, H. (1984): Ökophysiologische und lufthygienische Aspekte der Verbreitung der Flechte *Lecanora conizaeoides* im Stadtgebiet von Berlin (West). Berliner Naturschutzblättter 28, 1-10.

LEBLANC, F. und DESLOOVER, J. (1970): Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Can. J. Bot. 48, 1485-1502.

NIEDERSÄCHSISCHER SOZIALMINISTER (1975): Umweltschutz in Niedersachsen. Reinhaltung der Luft, Heft 3.

NIEMEYER, R., PAGEL, R. und RECKEL, S. (1988): Ermittlung der Luftqualität mit Hilfe von Flechten als Bioindikatoren im Stadtgebiet von Hannover. Landeshauptstadt Hannover, Amt für Umweltschutz.

NOWAK, R. (1973): Vegetationsanalytische und experimentell-ökologische Untersuchungen über den Einfluß der Luftverunreinigung auf rindenbewohnende Flechten. Diss. Univ. Tübingen.

ODZUCK, W. (1982): Umweltbelastungen. Stuttgart.

RABE, R. (1982): Flächendeckende Luftgüte-Beurteilung mit Flechten als Bioindikatoren — Anwendungsmöglichkeiten für die kommunale Planung. VDI-Berichte 609, 671-677.

RABE, R. und BECKELMANN, U. (1987): Zusammenhänge zwischen der durch Flechten angezeigten Gesamtverunreinigung der Luft und Gesundheitsbeeinträchtigung beim Menschen. VDI-Berichte 609, 729-753.

SCHLIPKÖTER, H.-W. und BEYEN, K. (1985): Luftbelastung in Städten und gesundheitliche Folgen. Darstellung neuerer Untersuchungsergebnisse. In STRUBELT, W. (Hrsg.): Stadt und Umwelt. Umweltstrategien im Städtebau. Seminare, Symposien, der BFA für Landeskunde und Raumordnung 19.

SCHMIDT, R. (1973): Ökologische und soziologische Gliederung Flechtenvegetation in Obstbaumbeständen des Neckarraumes unter besonderer Berücksichtigung von Immissionschäden. Diss. Univ. Hohenheim.

STOCKMANN, H.-U. (1981): Umweltbericht Hannover. Lage und Klima Landeshauptstadt Hannover, Abt. Stadtforschung und Umweltschutz (Hrsg.), Hannover.

WIRTH, V. (1980): Flechtenflora. Stuttgart

Manuskript eingegangen: 15. 12. 1989

Anschrift des Verfassers: Dr.Rainer NIEMEYER
Institut für Botanik
Universität Hannover
Herrenhäuser Str. 2
3000 Hannover 21

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: 132

Autor(en)/Author(s): Niemeyer Rainer

Artikel/Article: Beurteilung der Luftqualität im Stadtgebiet von Hannover mit Hilfe von Flechten als Bioindikatoren 47-78