

# Beiträge zur Naturkunde Niedersachsens

47. Jahrgang – Heft 2/1994

## Baumflechten und Luftbelastungen in Lüneburg und Umgebung – eine neue Methode der Bioindiktion auf der Basis von Zeigerwerten

von Carsten H o b o h m

**Key words:** epiphytic lichens, monitoring, air pollution

### Einleitung

Flechten reagieren hochsensibel auf Immissionen verschiedener Stoffgruppen. Sie eignen sich daher wie keine andere Organismengruppe als Bioindikatoren für Luftbelastungen (beispielsweise von  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , HCl, HF,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{O}_3$ , atmosphären Schwermetallen, Radionukliden; vgl. TÜRK 1992: 74). Die Analyse der Flechtenvegetation setzt gegenüber direkten Messungen, die sie in vielen Fällen nicht ersetzen kann, deutlich andere Schwerpunkte: Luftbelastungen werden integral ermittelt; Flechten ermöglichen gerade als Organismen, die auf Kombinationen von verschiedenen, z.T. möglicherweise noch unbekanntem Schadstoffen empfindlich reagieren, Aussagen zur Luftgüte. Das Netz der Flechtenwuchsorte ist in aller Regel wesentlich dichter, als es jemals durch Meßstationen möglich wäre. Zudem entstehen keine zeitlichen Lücken; sowohl kurzfristig hohe Konzentrationen wie auch langfristig niedrige Konzentrationen von Schadstoffen können sich im Reaktionsmuster der Flechtenvegetation widerspiegeln (RABE in KREEB 1990: 275 ff.). Bedingt durch einen hohen Anteil heterotropher Zellen wachsen Flechten im allgemeinen sehr langsam und werden z.T. sehr alt. Über die Altersklassenzusammensetzung ist daher auch eine Aussage zu Tendenzen in der Luftbelastung möglich. Sind die Individuen überwiegend jung, so ist eine Verbesserung der lufthygienischen Situation denkbar; umgekehrt weisen Beläge mit abgestorbenen Individuen i.d.R. auf eine tendenzielle Verschlechterung der ökologischen Bedingungen hin. Ergebnisse von Baumflechten-Kartierungen lassen nach NIEMEYER (1990: 47) eine kleinräumige Beurteilung der lufthygienischen Situation der vergangenen drei bis fünf Jahre zu.

Aus diesen Gründen ergänzen sich direkte Messungen einzelner Schadkomponenten und Flechtenkartierungen ganz hervorragend.

Die Analyse der Flechtenvegetation zur Abschätzung der Luftbelastung ist inzwischen dort allgemein akzeptierter, integraler Bestandteil von Umweltverträglichkeitsprüfungen, wo Emissionen eine größere Rolle spielen (vgl. u. a. MASUCH 1993: 307 ff., LINDERS 1990: 533 f.).

### Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (MTB 2728 Lüneburg) befindet sich - mit Höhen etwa zwischen 5 und 80 m ü. NN - im Übergangsbereich von der Elbtalau zur hohen Geest am Oststrand der Lüneburger Heide (vgl. SEEDORF & MEYER 1992: 47).

Bei durchschnittlichen Jahresniederschlägen von 630 mm (Hamburg zum Vergleich: 730 mm), einer Amplitude der jährlichen Monatsmittel der Temperatur von 17,3 C (HH: 16,6 C), mit durchschnittlich 27 Sommertagen pro Jahr, die eine Maximaltemperatur von über 25 C erreichen (HH: 13 Tage), einer durchschnittlichen Luftfeuchte (14.00 Uhr) von 52 % (HH: 57 %) gehört Lüneburg zu einem bereits subkontinental beeinflussten Gebiet im Regenschatten der Lüneburger Heide (vgl. HORST 1983 zit. in KELM 1992: 211, SEEDORF & MEYER 1992: 225).

Etwa ein Drittel der Fläche im Untersuchungsgebiet ist besiedelt, ein Drittel landwirtschaftliche Nutzfläche, ein Drittel Wald.

Der mit Abstand häufigste Straßenbaum ist die Linde (*Tilia*). In den Gärten sind neben Exoten Obstbäume, so vor allem Apfel (*Malus*), Birne (*Pyrus*) und Kirsche (*Prunus*), zu finden. Die Gärten der Stadt Lüneburg und die der umliegenden Dörfer unterscheiden sich hinsichtlich der Anteile von Nutz- zu Zierflächen nicht wesentlich; Ziergärten überwiegen deutlich.

In den Nadelholzforsten herrschen Kiefern (*Pinus*), Fichten (*Picea*), Lärche (*Larix*) vor. Spontan kommen immer wieder einzelne Birken (*Betula*) auf. In den Laubholzforsten überwiegen Eichen (*Quercus*) und Buchen (*Fagus*). Wechselfeuchte und feuchte Bereiche werden von Hainbuche (*Carpinus*), Esche (*Fraxinus*) und Erle (*Alnus*) geprägt. Ahorn (*Acer*) spielt nur eine sehr unterordnete Rolle.

Von baumförmigen Weiden (*Salix*), Pappeln (*Populus*) und Ulmen (*Ulmus*) sind im Gebiet nur einzelne Individuen zu finden.

Hinsichtlich seiner naturräumlichen Gegebenheiten erweist sich das Untersuchungsgebiet somit als weitgehend einheitlich; die Zusammensetzung der flechtenträgenden Bäume beschränkt sich auf eine kleine Zahl von Arten zumeist mit großen Individuendichten.

### Luftbelastungen in Lüneburg

Die Charakterisierung der lufthygienischen Situation von Lüneburg basiert auf Daten, die über eine Meßstelle des lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN) im Zentrum von Lüneburg erfaßt und vom NIEDERSÄCHSISCHEN LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE veröffentlicht werden (im folgenden zitiert als LÜN-Berichte).

Da diese Meßstelle an einem vielbefahrenen Verkehrsknotenpunkt liegt, repräsentieren die Werte in bezug auf kurzlebige Komponenten vor allem die lokale Situation (Berlinerstraße, R 359475, H 581900). Dies ist im einzelnen zu berücksichtigen.

Tabelle 1 zeigt Jahresmittelwerte von Luftschadstoffkonzentrationen, die überregional inzwischen kontinuierlich erfaßt werden. Neben den Daten für Lüneburg aus dem Zeitraum 1989-1992 werden Vergleichszahlen für Hamburg im Norden, Magdeburg im Osten, Hannover im Süden und Nordenham im Westen angeführt.

Als Reinluft wird Luft ohne anthropogene Verunreinigungen, wie sie z.B. in den höchsten Höhen der Alpen vorkommt, bezeichnet. Die Grenzwerte der Schweiz gelten weltweit als besonders strenge Maximalwerte. Auch sie werden zur besseren Orientierung angeführt

	SO <sub>2</sub>	Staub	NO <sub>2</sub>	NO	O <sub>3</sub>	CO
Lüneburg 1989	19	31	31	17	38	≦ 500
Lüneburg 1990	15	24	27	14	42	≦ 500
Lüneburg 1991	19	27	29	19	35	≦ 500
Lüneburg 1992	12	25	26	14	45	≦ 500
Hamburg 1991	24	45	38	25	36	814
Magdeburg 1991	69	75	38	18	/	600
Hannover 1991	25	36	40	16	/	1.100
Hannover 1978-1989	38	52	42	/	30 (1984-89)	/
Nordenham 1991	18	26	24	6	47	≦ 500
Nordenham 1978-1989	21	43	24	/	/	/
Reinluft	5	20-40	3-5	0	0	0
Grenzwert Schweiz	30	70	30	/	120	8.000

Tabelle 1: Luftbelastungen in Lüneburg und anderen Bereichen im Vergleich (Jahresmittelwerte in µg/m<sup>3</sup>)

Die Daten der Tabelle 1 wurden den LÜN-Berichten des NIEDERSÄCHSISCHEN UMWELTMINISTERIUMS (1990, 1991, 1992, 1993), der Schriftenreihe vom BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ BERN (1986) und dem Jahresbericht 1990/91 der UMWELTBEHÖRDE HAMBURG entnommen.

Im folgenden soll die raum-zeitliche Variabilität der Schadstoffe im einzelnen konkretisiert werden (vgl. FABIAN 1992: 60 ff, CRUTZEN & ZIMMERMANN 1991: 136 ff., SCHURATH 1985: 59 ff. und Tabelle 1):

- SO<sub>2</sub>:** In Ballungsräumen Mitteleuropas ist die SO<sub>2</sub>-Konzentration zwischen 1964 und 1982 im Durchschnitt um ca. 60-80 % zurückgegangen. Der Vergleich des langjährigen Durchschnitts in Hannover und Nordenham - für Lüneburg liegen erst seit 1988 kontinuierliche Messungen vor - mit dem Wert von 1991 zeigt, daß diese Tendenz auch nach 1982 noch anhält. Betrachtet man die Entwicklung der industriellen SO<sub>2</sub>-Immissionen in Hamburg von 1982 bis 1990 - diese beeinflussen insbesondere bei nördlichen Windrichtungen auch die Qualität der Luft in Lüneburg-, so stellt man fest, daß diese fast auf ein Viertel zurückgegangen ist (Umweltbehörde Hamburg 1992: 13). In ländlichen Gebieten und in Reinluftgebieten ist zwischen 1974 und 1984 der SO<sub>2</sub>-Gehalt dagegen um 10-15 % angestiegen. Die SO<sub>2</sub>-Konzentration in Lüneburg wurde noch in den 60er Jahren durch eine enorme lokale Belastung, überregional durch Ferntransport aus Hamburg und aus dem Ruhrgebiet bestimmt (vgl. u. a. GRUPE 1966: 21 ff.). Heutzutage korrelieren hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Lüneburg mit nördlichen, vor allem aber wie in vielen Bereichen Niedersachsens mit östlichen und südöstlichen Windrichtungen (vgl. LÜN-Jahresberichte 1991: 21 ff., 1992: 22 ff.). Hier macht sich also die Nähe zu Hamburg bzw. die sehr große Mengen von SO<sub>2</sub> produzierende Verbrennung von Braunkohle im Osten Deutschlands bemerkbar. Der Beitrag des Hausbrandes und sonstiger Verbraucher lag in der Stadt Hamburg 1987 in der Größenordnung von ungefähr 10 % der industriellen Emission desselben Jahres. Sollte der Beitrag des Hausbrandes in Relation zur Gesamtbelastung in Lüneburg dieselbe Größenordnung nicht überschreiten, so ist von deutlichen lokalen Unterschieden der SO<sub>2</sub>-Konzentration innerhalb des Untersuchungsgebietes nicht auszugehen.
- Staub:** Die mittlere Staubbelastung zeigt nahezu überall in Niedersachsen einen deutlichen Rückgang seit Beginn der Messungen. Gründe dafür sind vielfältiger Natur; zu nennen sind sowohl die Umstellung im Hausbrand von Kohle auf Öl vor allem in den 60er und 70er Jahren, aber auch die Verfilterung industrieller Anlagen und die Versiegelung landwirtschaftlicher Wege und Straßen durch Asphalt. In Bezug auf die Staubbelastung haben viele Bereiche in Niedersachsen - so auch Lüneburg - inzwischen Reinluftcharakter. Lediglich für landwirtschaftliche Gebiete ist - bedingt durch Bodenbearbeitung an sehr trockenen Tagen - lokal und saisonal von höheren Staubbelastungen auszugehen.
- NO<sub>x</sub>:** Für die NO<sub>2</sub>- und NO-Konzentrationen sind in unserem Bereich vor allem der Autoverkehr und andere Verbrennungsprozesse verantwortlich. Zwischen 1954 und 1984 hat die Immissionskonzentration überregional einen Anstieg etwa um den Faktor 3 erfahren. Dieser Anstieg verringerte sich in den 80er Jahren und kam in vielen Bereichen Niedersachsens sogar zum Erliegen. Auch Lüneburg läßt im Zeitraum von 1989-1992 keine ansteigende Tendenz erkennen. Aufgrund allgemein kurzer Verweilzeiten (Tage) und durch Verdünnungseffekte ist im Untersuchungsgebiet mit einer deutlichen räumlichen Differenzierung der Belastungen zu rechnen. Die Tabellenwerte dürften dabei annähernd der Maximalbelastung im Untersuchungsgebiet, wie sie an vielbefahrenen Straßen zu messen ist, entsprechen. Da es für NO<sub>x</sub> natürliche biologische, chemische und physikalische Senken gibt, ist insbesondere in den straßenfernen Waldgebieten mit deutlich geringeren Konzentrationen zu rechnen; eine Quantifizierung bedürfte in diesem Falle allerdings direkter Messungen.
- O<sub>3</sub>:** Hohe Ozonkonzentrationen stehen im Zusammenhang mit der hohen Verkehrsbelastung und den damit verbundenen NO<sub>x</sub>-Emissionen. NO<sub>2</sub> ist photochemisch sehr aktiv und führt bei starker Sonneneinstrahlung zur Bildung von O<sub>3</sub>. Eine längerfristige Tendenz ist aufgrund fehlender langjähriger Messungen und wegen der Abhängigkeit von klimatischen Gegebenheiten noch nicht abzuschätzen. Es ist nicht auszuschließen, daß die Konzentration dieser Verbindung im Durchschnitt auch in Lüneburg und Umgebung noch weiter ansteigen wird.

CO: Kohlenmonoxid entsteht bei verschiedenen industriellen Prozessen und im Straßenverkehr (vor allem durch unvollständige Verbrennung), aber auch auf natürliche Weise in der Biosphäre (wichtigster Prozeß: Methan-Oxidation; vgl. FABIAN 1992: 63 fP). Die Konzentrationen in Lüneburg sind als gering einzustufen, wobei eine langfristige Entwicklung noch nicht abzusehen ist. Aufgrund der mittleren Verweilzeit dieser Verbindung (von 0,1-0,8 Jahren) und einer relativ konstanten Backgroundkonzentration ist von lokalen Unterschieden innerhalb des Untersuchungsgebietes in nennenswertem Maße nicht auszugehen.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die Konzentrationen von SO<sub>2</sub> und CO überwiegend durch Ferntransport bestimmt werden; Staub und NO<sub>x</sub> haben vor allem lokale Quellen. Die überwiegend durch den Straßenverkehr bestimmten NO<sub>2</sub>- und NO-Konzentrationen repräsentieren vor allem die hohe Verkehrsdichte an der Meßstelle.

Während die Belastungen von SO<sub>2</sub> und Staub deutlich zurückgegangen sind, erreichen NO<sub>x</sub> (lokal) und O<sub>3</sub> (regional) heutzutage auch in Lüneburg und Umgebung hohe Werte, die aber in großen Ballungszentren noch deutlich überschritten werden.

## Methoden

Die Bestimmung der Flechten erfolgte mit WIRTH (1980), POELT (1974), POELT & VEZDA (1981) und ERICHSEN (1957). Die Benennung wurde nach WIRTH (1980) vorgenommen. Zur Orientierung der Funde in einem arealgeographischen Zusammenhang dienten die Arbeiten von NOELDEKE (1870), ERICHSEN (1957) und FEUERER & ERNST (1993: 82 ff.).

Da bislang noch kein Konsens hinsichtlich einer Methode zur Erfassung der Immissionswirkung auf Flechten erzielt werden konnte, wurden verschiedene Methoden angewandt und miteinander verglichen. Es wurden insbesondere Unterschiede im Arbeitsaufwand, in der Trennschärfe und Indikatorfunktion herausgearbeitet. Alle Methoden haben gemeinsam, daß eine direkte Korrelation der Flechtenvegetation - welche Aspekte auch immer berücksichtigt werden - mit Immissionsdaten aller zu berücksichtigenden Schadstoffe sehr aufwendig wäre. Einfacher ist es deshalb, die Verbreitung der Flechten mit dem Verbreitungsmuster der Emittenten in Beziehung zu setzen. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß sich die Aufpunktmaxima der Schadstoffe in einiger Entfernung zum Emittenten befinden können (in Abhängigkeit von der Höhe der Emission über Flur (Schornsteinhöhe) etc.). Im allgemeinen ist aber bei größeren Industrieanlagen und Ballungsräumen davon auszugehen, daß die Konzentrationen verschiedener Immissionen zur Peripherie hin kleiner werden.

## Wuchsformenkartierung

Bei der Kartierung von Krustenflechtenzone (früher "Flechtenwüste"), Blattflechtenzone (früher "Kampfzone"), Strauchflechtenzone (früher "Normalzone"; vgl. GRUPE 1966: 19) und Bartflechtenzone wird von der Beobachtung ausgegangen, daß Krustenflechten i.d.R. weiter in Ballungs- und Industrieräume vordringen als Blattflechten, Blattflechten weiter als Strauchflechten und Strauchflechten weiter als Bartflechten. Zur Bestimmung der Zugehörigkeit eines Geländeausschnittes zu einer der genannten Zonen muß lediglich die Zugehörigkeit jeder Flechte zu einem bestimmten Lebensformtyp berücksichtigt werden; entsprechend wird die Bartflechtenzone durch die Anwesenheit mindestens einer Bartflechte, die Strauchflechtenzone durch mindestens eine Strauchflechte, die Blattflechtenzone durch eine Blattflechte und die Krustenflechtenzone durch das Fehlen von Blatt-, Strauch- und Bartflechten bei Anwesenheit von Krustenflechten definiert. Auf einfache Weise kann so eine eindeutige Trennung von vier Zonen erreicht werden.

Die wichtigsten Vertreter zur Differenzierung der verschiedenen Zonen waren:  
– in der Krustenflechtenzone: *Lecanora conizaeoides*, *Lepraria incana*, *Hypocenomyce scalaris*, *Lecanora hagenii* agg., *Buellia punctata* und *Scoliciosporum chlorococcum*,

- in der Blattflechtenzone: *Physcia* spp., *Pämelia* spp., *Xanthoria* spp. und *Hypogymnia physodes*,
- in der Strauchflechtenzone: *Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfuracea*, *Hypogymnia tubulosa*, *Xanthoria candelaria* (Cladonien werden nicht berücksichtigt),
- in der Bartflechtenzone; *Usnea* spec. (1 Ind., indet.)

### **Zeigerwertkartierung**

Die folgende, unter der Bezeichnung "Zeigerwertkartierung" vorgenommene Methode wurde an der Universität Lüneburg entwickelt und in Zusammenarbeit mit Studierenden erprobt.

Unter großem Vorbehalt hat WIRTH (in ELLENBERG 1991: 215 ff.) eine Einschätzung der Toxitolernanz von Flechten an Hand von Zeigerwerten vorgenommen. Diese ergibt sich vor allem aus dem Verbreitungsmuster der Arten. So erhalten Species, die häufig in belasteten Räumen zu finden sind, einen hohen Zeigerwert der Toxitolernanz; umgekehrt werden Flechten aus Reinluftgebieten mit niedrigen Werten versehen.

Um den von WIRTH geäußerten Bedenken Rechnung zu tragen, mußte eine Methode erarbeitet werden, bei der von Objektivität vortäuschenden, aufwendigen statistischen Verfahren abzusehen war. Bereits die Bildung von Mittelwerten hätte viele Fragen der Gewichtung von Deckungen, Stetigkeiten, damit auch der Normierung ökologischer Bedingungen, der symmetrischen Datenverteilung etc. aufgeworfen. Es wurde daher lediglich die Zahl derjenigen Flechten in einem Landschaftsausschnitt notiert, für die WIRTH die geringste Toxitolernanz angibt. Dieses Procedere scheint deshalb gerechtfertigt zu sein, da die Existenz von gegen Luftschadstoffe relativ empfindlich reagierenden Flechten zumeist aussagekräftiger ist als die Anwesenheit toxitolernanter Arten. Bartflechten der Gattung *Usnea* kommen beispielsweise nur dort vor, wo die Qualität der Luft nicht zu stark durch Immissionen beeinträchtigt ist; die toxitolernante Krustenflechte *Lepraria incana* dagegen kommt ebenso in stark belasteten Räumen wie in Reinluftgebieten vor. Die toxitolernantesten Arten werden nach WIRTH mit der Ziffer 9 versehen, empfindliche Arten mit entsprechend kleineren Zahlen.

Im Untersuchungsgebiet wurden die folgenden Arten notiert:

- mit 9: *Lecanora conizaeoides*, *Lepraria incana*, *Lecanora expallens*, *Buellia punctata*,
- mit 8: *Hypocenomyce scalaris*, *Physia tenella*, *Hypogymnia physodes*, *Scoliciosporum chlorococcum*, *Lecanora hagenii*, *Strangospora pinicola*, *Parmelia sulcata*, *Physia adscendens*, *Lecanora subfuscata*,
- mit 7: *Parmelia saxatilis*, *Parmeliopsis ambigua*, *Porina aenea*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physconia grisea*, *Xanthoria parietina*, *Xanthoria polycarpa*,
- mit 6: *Candelariella xanthostigma*, *Parmelia acetabulum*, *Evernia prunastri*, *Parmelia exasperatula*, *Parmelia glabratula*, *Hypogymnia tubulosa*, *Parmelia suhrudecta*, *Lecanora chlorotera*, *Phlyctis argena*, *Opegrapha atra*, *Lecidella elaeochroma*,
- mit 5: *Graphis scripta*, *Lecanora carpinea*, *Pertusaria leioplaca*, *Platismatia glauca*, *Buellia griseovirens*,
- mit 4 und kleiner: *Pertusaria pertusa*, *Usnea* spec., *Calicium viride*, *Chaenotheca chrysocephala*.

Das Ergebnis dieser Methode ist eine Karte, auf der Raumpunkte gleicher Zahlen sinnvoll miteinander verbunden werden können. Ob diese Methode zur Bioindikation geeignet ist, könnte direkt nur über eine Korrelation mit lufthygienischen Parametern nachgewiesen werden. Ein indirekter Beleg kann sich aber bereits aus dem Vergleich der Zeigerwerte mit der Verbreitung von Emittenten ergeben. Das konstruierte Beispiel in Abb. 1 wäre der Hinweis auf eine geeignete Methode. Abb. 2 dagegen zeigt ein konstruiertes Bild, das die Methode aufgrund mangelnder Plausibilität als nicht geeignet ausweisen würde.

Bereich starker Emissionen von Luftschadstoffen	9	8	7	6	5	4	Bereich nahezu ohne von Luftschadstoffen
---	---	---	---	---	---	---	--

Abb. 1: Konstruiertes Beispiel eines Kartenausschnittes für den Fall, daß die Kartierung von minimalen Zeigerzahlen zur Bioindikation geeignet wäre (stark schematisiert).

Bereich starker Emissionen von Luftschadstoffen	4	9	5	6	8	7	Bereich nahezu ohne von Luftschadstoffen
---	---	---	---	---	---	---	--

Abb. 2: Konstruiertes Beispiel eines Kartenausschnittes für den Fall, daß die Kartierung von minimalen Zeigerzahlen zur Bioindikation nicht geeignet wäre (stark schematisiert).

Im günstigen Fall würden die Ziffern in einer logischen Beziehung zueinander stehen, im ungünstigen Fall entstünde ein Flickenteppich, dessen einzelne Felder in keiner zusammenhängenden Reihe ständen. Da diese Methode eine im Vergleich zu den beiden folgenden Methoden große Trennschärfe der Zonen bei geringem Geländeaufwand gewährleisten kann, im Gegensatz zur Wuchsformkartierung aber eine größere Anzahl von Zonen unterscheidbar macht, war es sehr interessant zu sehen, ob das Ergebnis eher der Abb. 1 oder eher der Abb. 2 entsprechen würde.

### LUGI-Methode und IAP-Methode

Sowohl die LUGI-Methode (LUGI = Luftgüteindex) als auch die IAP-Methode (IAP = index of atmospheric purity) werden inzwischen, allerdings häufig unter geringfügigen individuellen Abwandlungen, standardisiert durchgeführt (vgl. RABE in KREEB 1990: 284 f., NIEMEYER 1990: 49 f, JACOBSEN 1992: 25 ff., RECKEL 1991: 153 ff., LEBLANC & DESLOVER 1970:1485 ff.).

Der Ablauf ist mit den folgenden Arbeitsschritten verbunden:

1. Kartierung von "Stationen" mit jeweils (3)5 - 10 "Normbäumen"; dieser Arbeitsschritt stellt in gewissem Sinne eine Reduktion der Untersuchungsobjekte dar, ist im Sinne einer Normierung aber unumgänglich. Die Beschränkung auf normierte Verhältnisse ist immer dann sinnvoll, wenn Deckungen einzelner Arten oder Artenzusammensetzungen miteinander verglichen werden sollen. Da Normbäume vor allem innerhalb besiedelter Bereiche und entlang von Verkehrswegen, dagegen seltener auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen zu finden sind, werden verkehrs- und siedlungsbedingte Immissionen i.d.R. überbewertet, emissionsarme Gebiete bleiben unterrepräsentiert.

2. Abschätzung der Deckungen aller Flechten, die sich innerhalb eines standardisierten Zählgitters (mit 10 Feldern auf 20x50 cm) befinden, das zwischen 1 m und 1,50 m über dem Boden am Stamm aufgehängt wird.

3. Berechnung des Luftgüteindex bzw. IAP als Maß für die Luftbelastungen jeder Station; erst in diesem Schritt unterscheiden sich die beiden Methoden voneinander. Die LUGI-Berechnung erfolgte nach WIEGEL et al. (1992: 174 f.), des IAP nach JACOBSEN (1992: 26); der Qi wird hier allerdings im Gegensatz zu JACOBSEN so berechnet, daß sich Stationen mit einer Flechtenart und Stationen ohne Flechten in ihrem IAP unterscheiden (nach der Berechnung in JACOBSEN a.a.O. ist der IAP in beiden Fällen 0).

4. Üblicherweise werden diese Werte dann auf Karten eingetragen und Zahlenwerte gleicher Größenordnungen wiederum zu Zonen ähnlicher Luftgüte zusammengefaßt.

Beide Methoden wurden angewandt und entsprechend der folgenden Formeln ausgewertet:

$$\text{LUGI}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} D_i^* \cdot V_i \cdot E_i}{\sum_{i=1}^n D_i^*}$$

$$\text{IAP}_j = \sum_{i=1}^{n_j} Q_i \text{ mit } Q_i = \frac{n_i}{m}$$

Im einzelnen bedeuten:

$D_i^*$ : Deckungsgradklasse, = 0,5, wenn  $D'' > 0, \leq 0,1$ ,  
 = 1, wenn  $D'' > 0,1, \leq 1$ ,  
 = 2, wenn  $D'' > 1, \leq 5$   
 = 3, wenn  $D'' > 5, \leq 10$   
 = 4, wenn  $D'' > 10, \leq 25$   
 = 5, wenn  $D'' > 25, \leq 50$   
 = 6, wenn  $D'' > 50, \leq 100$

$D''$ : mittlerer Deckungsgrad einer Flechtenart i (in %), bezogen auf die Zählgitteraufnahmen der gesamten Station (mit jeweils (3) 5 -10 Normbäumen).

$E_i$ : Empfindlichkeitswert der Flechtenart i (zu entnehmen u.a. aus WIEGEL et al. 1992: 175, bzw. aus Tab. 3)

i: Laufvariable über die Flechtenarten

j: Laufvariable über die Stationen (mit jeweils (3) 5 -10 Normbäumen)

$\text{IAP}_j$ : Index of atmospheric purity (einer Station)

$\text{LUGI}_j$ : Luftgüteindex (einer Station); bei ausschließlichem Vorkommen von *Lecanora conizaeoides*: 0,7, wenn  $D^* = 0,5/1/2/3$ , 0,8, wenn  $D^* = 4$ , 0,9, wenn  $D^* = 5$ , 1,0, wenn  $D^* = 6$

m: Anzahl der Stationen, an denen die Art i vorkommt

$n_j$ : Zahl der Arten an Station j

$n_i$ : Summe über alle Flechtenarten an allen Stationen, an denen die Art i vorkommt

$V_i$ : Vitalitätsfaktor (der Art i): = 0,8, wenn Flechten zum Teil stark beschädigt sind,  
 = 1, wenn Flechten normal vital sind,  
 = 1,2, wenn besonders üppig entwickelte Exemplare vorhanden sind

$Q_i$ : Diversitätsindex der Art i (mittlere Artenzahl der Stationen, an denen die Art i vorkommt).

Die kritische Diskussion dieser beiden Methoden wurde bereits geführt (vgl. dazu die ausführliche Besprechung in JACOBSEN 1992: 30 ff.). Die Kritik betrifft im wesentlichen die guten bzw. schlechten Differenzierungsmöglichkeiten innerhalb der reinen *Lecanora conizaeoides*-Zone, die Über- bzw. Unterbewertung der Deckungsanteile, die künstliche Setzung bestimmter Zahlen und Zahlenklassen, die gute bzw. schlechte Vergleichbarkeit verschiedener Flechtenkartierungen, Interferenzen von klimatischen Stressoren und Luftbelastungen.

## Die Methoden im Vergleich

Ein Vergleich der verschiedenen Methoden soll daher die Unterschiede, insbesondere im Hinblick auf notwendige Vorkenntnisse, Trennschärfe und Zeitaufwand verdeutlichen. Wie Tabelle 2 zeigt, ist eine Wuchsformenkartierung nicht geeignet, eine größere Anzahl von Belastungszonen zu differenzieren. Diese Methode gehört deshalb nicht mehr zu den in der Praxis gängigen Verfahren.

Die Zeigerwertkartierung, die hier erstmals angewandt wurde, ist dagegen geeignet, neun verschiedene Belastungszonen eindeutig unterscheidbar zu machen. Die Flechten müssen lediglich qualitativ erfaßt werden. Eine Reduktion des Untersuchungsobjektes Flechtenvegetation auf Stationen von Normbäumen ist nicht notwendig, da Deckungen und Artenzusammensetzungen unberücksichtigt bleiben. Entsprechend entfallen aufwendige Verrechnungsmodalitäten. Diese Methode zu nutzen bietet sich vor allem in Bereichen an, in denen zu wenige oder gar keine Normbäume gefunden werden können. Sie bietet sich auch an, wenn der Zeitdruck sehr groß ist. Die LUGI-Methode und die IAP-Methode sind vergleichsweise aufwendig, setzen die Existenz von Normbaum-Stationen voraus, gewährleisten aber auch eine größtmögliche Differenzierung von Belastungsräumen. Die Trennschärfe dieser Zonen wird allerdings durch die vielfach geringen Zahlenwertdifferenzen relativiert.

	Wuchsformen- kartierung	Zeigerwert- kartierung	LUGI- Methode	IAP- Methode
gute Artenkenntnisse notwendig		+	+	+
Untersuchung aller Phorophyten möglich	+	+		
Untersuchung an Normbäumen-Stationen			+	+
maximale. Differenzierung von Flechtzonen	4	9	$\infty$	$\infty$
Trennschärfe der Zonen	hoch	hoch	gering bis hoch	gering bis hoch
Zeitaufwand	sehr gering	rel. gering	sehr groß	rel. groß

Tabelle 2: Untersuchungsmethoden von Flechtenkartierungen im Vergleich

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Kartierungen (vgl. Abb. 3, 4, 5 und Tab. 3) und die MeWaten der Luftgüte (Tab. 1) zeigen, daß Lüneburg insgesamt zu den weniger stark belasteten Räumen des Norddeutschen Flachlandes gehört. Diese Erkenntnis geht aus den LUGI-Werten weniger hervor (sie liegen in der Größenordnung etwa so hoch wie in Hannover; vgl. NIEMEYER 1990: 64 ff., die IAP-Werte verschiedener Untersuchungsgebiete sind nicht direkt vergleichbar; vgl. RABE in KREEB 1990: 285) als vielmehr aus der Artenzusammensetzung und Verteilung aller Baumflechten im Untersuchungsgebiet; viele von diesen wurden nicht an Normbäumen gefunden. Große Waldanteile in der Umgebung Lüneburgs wirken sich ebenso günstig auf die lufthygienische Situation aus wie das Fehlen großer, schadstoffemittierender Industrieanlagen. Im Hinblick auf einzelne Schadkomponenten hat sich die Situation im Laufe vergangener Jahrzehnte sogar überregional verbessert (z.B. hinsichtlich der  $\text{SO}_2$ -Konzentration).

Lokal treten aber insbesondere durch ein starkes Verkehrsaufkommen höhere Konzentrationen (z.B. bei den Stickoxiden) auf, die im Verbund mit den übrigen Luftbelastungen nur von sehr unempfindlichen Flechtenarten (*Lecanora conizaeoides*, *Lepraria incana*, *Hypocenomyce scalaris*) toleriert werden können. Entsprechend können in Lüneburg und Umgebung unterschiedlich belastete Räume differenziert werden. Vom Stadtzentrum entfernt gelegene Waldgebiete, Flußniederungen, aber auch Obstgärten bieten einigen in Niedersachsen seltenen und gegen Luftverschmutzungen empfindlichen Arten (*Pertusaria leioplaca*, *Pertusaria pertusa*, *Calicium viride*, *Chaenotheca chrysocephala*, *Chaenotheca ferruginea*, *Usnea spec.*, *Lecidella elaeochroma*, *Opegrapha atra* u.a.) Lebensmöglichkeiten.

Eine Einschätzung der Seltenheit und Gefährdung aller im Untersuchungsgebiet gefundenen epiphytischen Flechtenarten nach den Roten Listen von Hamburg (FEUERER & ERNST 1993: 70 ff.), Schleswig-Holstein (JACOBSEN 1992: 152 ff., incl. "Grüne Liste") und Niedersachsen (HAUCK 1992: 30 ff.) wird in Tab. 3 wiedergegeben.

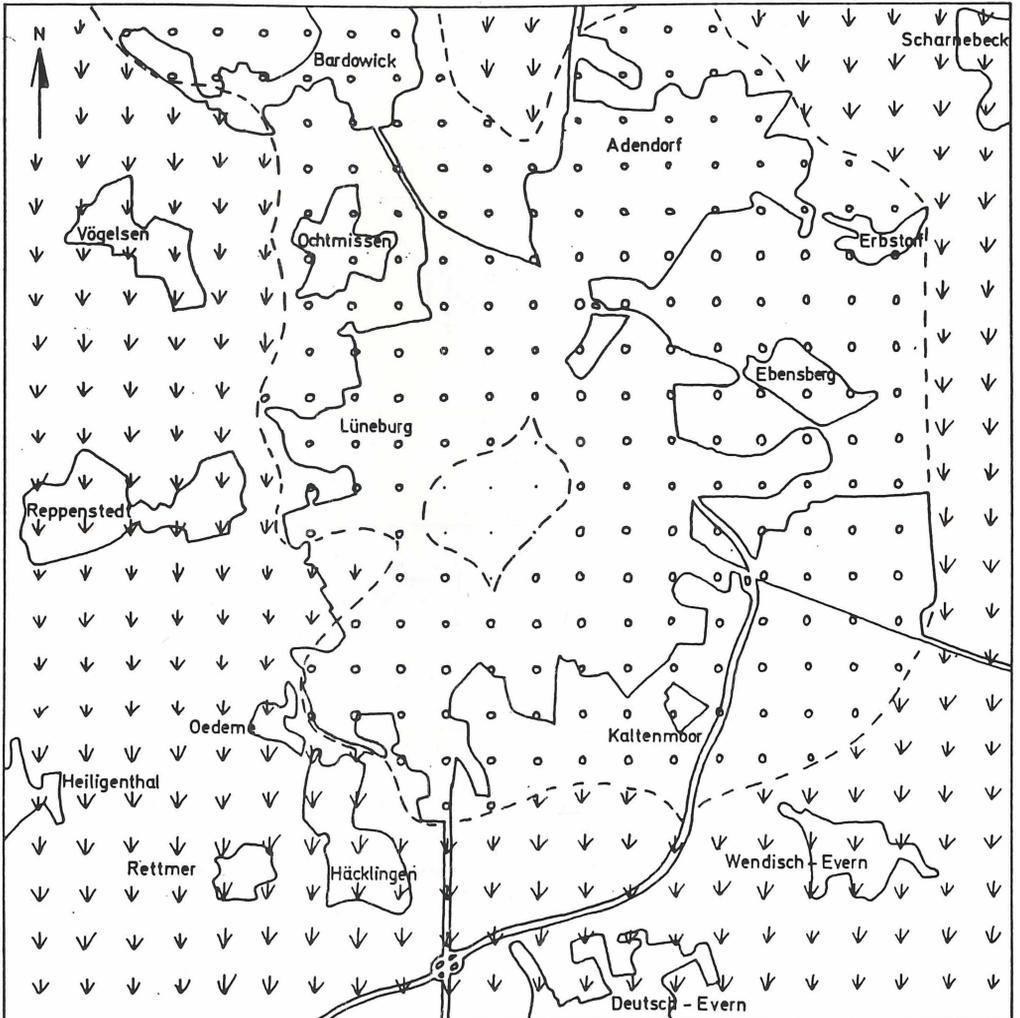


Abb. 3: Zonierung der Wuchsformen 1993/94 im Bereich von Lüneburg (Krustenflechtenzone im Zentrum von Lüneburg und - im gewählten Maßstab nicht zu kartieren - entlang der Bundesstraßen: Punktsign., Blattflechtenzone über Lüneburg bes. nach Norden und Westen hinausgehend: Kreissign., Strauchflechtenzone im Südwesten Lüneburgs auch im Stadtbereich: Dreistrichsign.)

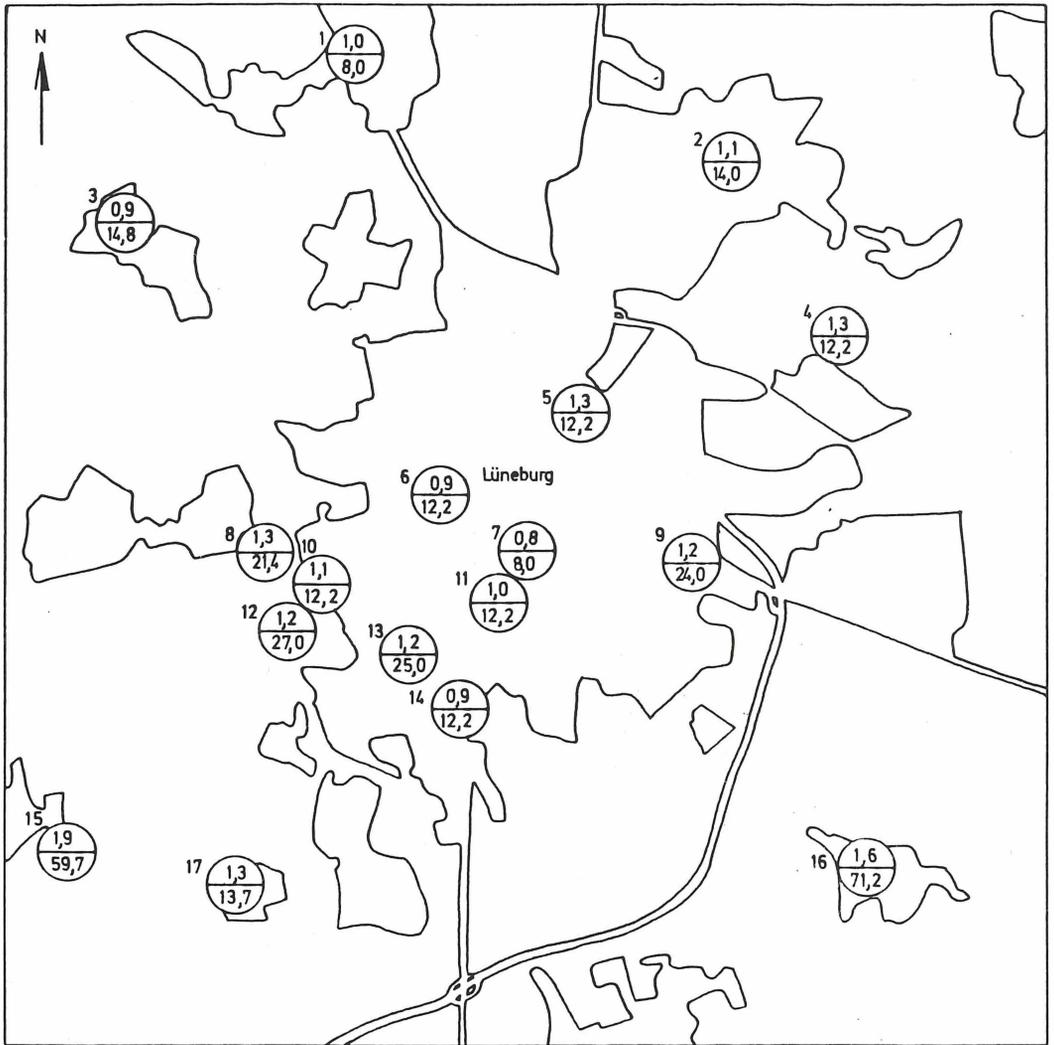


Abb. 4: IAP- und LUGI-Werte 1993/94 im Bereich von Lüneburg (an Tilia; Nummern außerhalb der Kreise, LUGI-Werte in den oberen Kreishälften, IAP in den unteren Kreishälften;

Rechts- und Hochwerte der Stationen: 1:3592,5/5907,6; 2:3596,7/5906,9; 3:3590,1/5906,0; 4:3597,7/5904,8; 5:3594,9/5903,9; 6:3593,5/5903,1; 7:3594,5/5902,5; 8: 3591,5/5902,5; 9: 3596,1/5902,5; 10: 3592,3/5902,2; 11: 3594,1/5901,8; 12:3591,8/5901,5; 13: 3593,2/5901,3; 14: 3593,8/ 5900,8; 15:3589,8/ 5899,2; 16: 3598,2/ 5899,2; 17: 3591,6/ 5898,8.)

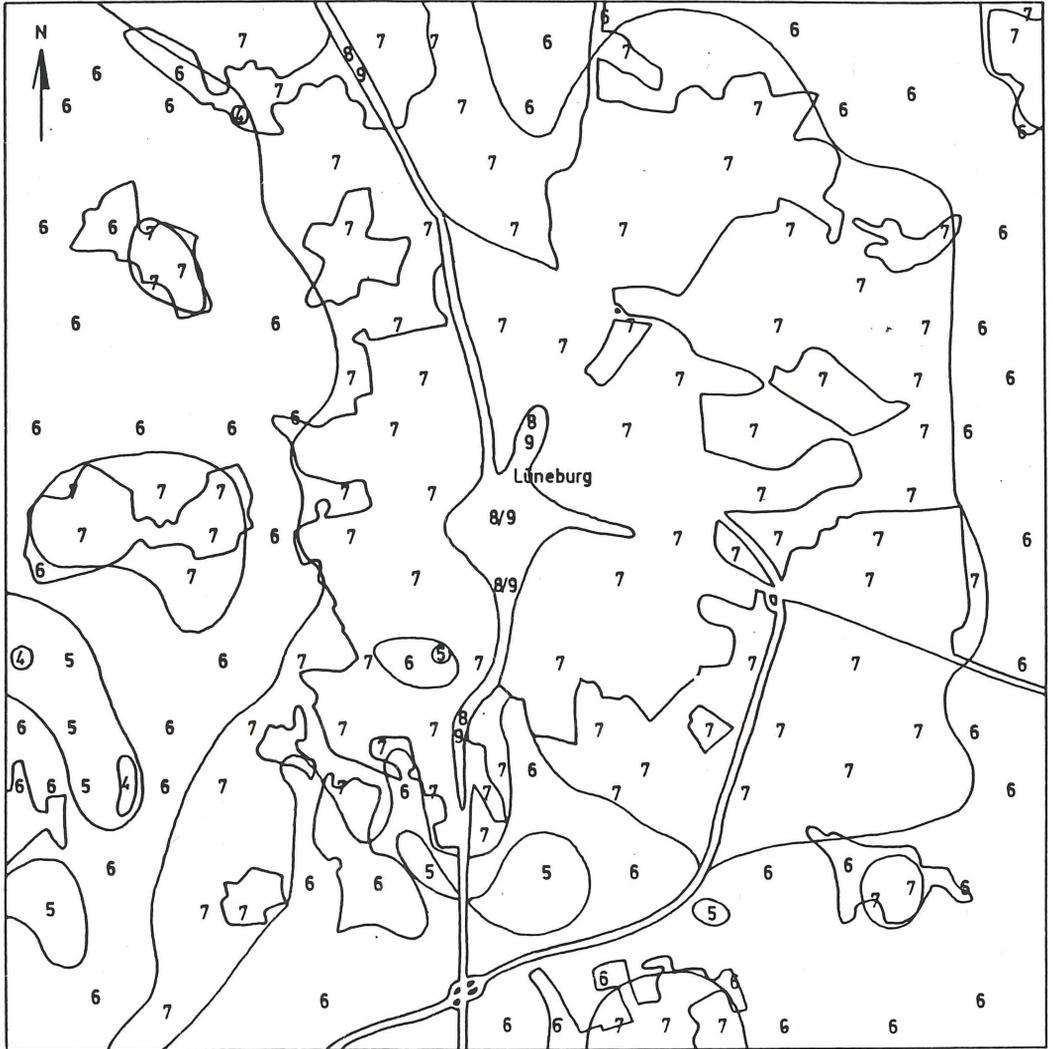


Abb. 5: Zonen gleicher (minimaler) Zeigerwerte 1993/94 im Bereich von Lüneburg (Zeigerzahlen aus WIRTH in ELLENBERG & al. 1991: 225 ff.)

Wenngleich sich die lufthygienische Belastung Lüneburgs hinsichtlich einzelner Schadkomponenten in den vergangenen Jahren leicht entschärft hat und die Lebensbedingungen lokal für Flechten günstiger geworden sind (wie dies auch der Vergleich mit GRUPE 1966: 25, Abb. 3 intendiert), so darf aufgrund der nach wie vor für Flechten prekären Situation noch nicht zu Entwarnung Anlaß gegeben werden. Ein Ausbau des Straßennetzes insbesondere in den geringer belasteten Räumen würde zu einer weiteren Nivellierung lufthygienischer Parameter führen und damit die Existenz besonders der empfindlichen Arten gefährden.

	LuGi-Empf. (E <sub>i</sub> )	Zeigerzahlen (WIRTH)	Rote Liste Nieders.	Rote Liste Hamburg	Rote Liste Schlesw.-H.	Grüne Liste Schlesw.-H.
<i>Buellia griseovirens</i>	/	5	3	/	/	+
<i>Buellia punctata</i>	1,3	9	/	/	/	+
<i>Calicium glaucellum</i>	/	/	3	/	/	/
<i>Calicium viride</i>	/	4	3	0	3	/
<i>Candelariella aurella</i>	1,5	/	/	/	/	+
<i>Candelariella xanthostigma</i>	1,5	6	/	0	3	/
<i>Chaenotheca chrysocephala</i>	/	4	3	1	0	/
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	/	4	/	3	/	+
<i>Cyphelium inquinans</i>	/	/	3	0	2	/
<i>Evermia prunastri</i>	2,8	6	3	3	/	+
<i>Graphis scripta</i>	/	5	3	2	3	/
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	1,5	8	/	/	/	+
<i>Hypogymnia physodes</i>	2,0	8	/	/	/	+
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	/	6	3	3	3	/
<i>Lecanora carpinea</i>	/	5	3	1	/	+
<i>Lecanora chlorotera</i>	/	6	3	1	3	/
<i>Lecanora conizaeoides</i>	1,0	9	/	/	/	+
<i>Lecanora expallens</i>	1,1	9	/	2	/	+
<i>Lecanora hagenii</i> agg.	1,3	8	3	/	3	/
<i>Lecanora subfuscata</i>	/	8	3	/	3	/
<i>Lecanora umbrina</i>	/	/	3	/	3	/
<i>Lecidella elaeochroma</i>	1,6	6	2	1	/	+
<i>Lepraria incana</i>	1,1	9	/	/	/	+
<i>Opegrapha atra</i>	/	6	2	0	3	/
<i>Parmelia acetabulum</i>	2,6	6	3	/	3	/
<i>Parmelia exasperatula</i>	2,5	6	/	1	3	/
<i>Parmelia glabratula</i>	2,5	6	/	2	/	+
<i>Parmelia saxatilis</i>	2,0	7	/	2	/	+
<i>Parmelia subrudecta</i>	2,5	6	/	/	2	/
<i>Parmelia sulcata</i>	2,0	8	/	3	/	+
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	2,1	7	/	2	/	+
<i>cf. Pertusaria albenscens</i> var. coral.	/	(4)	(2)	(1)	(/)	(+)
<i>Pertusaria amara</i>	/	5	3	2	3	/
<i>Pertusaria leioplaca</i>	/	5	1	0	3	/
<i>Pertusaria pertusa</i>	/	4	3	/	/	+
<i>Phaeophyscia nigricans</i>	/	/	/	/	/	+
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	2,0	7	/	/	/	+
<i>Phlyctis argena</i>	/	6	3	1	/	+
<i>Physcia adscendens</i>	2,0	8	/	4	/	+
<i>Physcia caesia</i>	2,0	/	/	/	/	+
<i>Physcia dubia</i>	2,0	/	/	4	/	+
<i>Physcia tenella</i>	2,0	8	/	/	/	+
<i>Physconia grisea</i>	2,4	7	3	3	3	/
<i>Platismatia glauca</i>	2,8	5	/	2	2	/
<i>Porina aenea</i>	/	7	/	2	3	/
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	2,8	/	/	1	3	/
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	1,5	8	/	3	/	+
<i>Strangospora pinicola</i>	/	8	/	2	/	+
<i>Xanthoria candelaria</i>	2,2	/	/	/	/	+
<i>Xanthoria parietina</i>	2,2	7	/	/	/	+
<i>Xanthoria polycarpa</i>	2,4	7	3	4	/	+
<i>Usnea spec.</i>	(subflori. 3,8)	<=4	(div. 0/1)	(div. 0)	(div. 0/1)	/

Tab. 3: Liste der epiphytischen Flechtenarten (des MTB. 2728 Lüneburg) mit Angaben zur LUGI-Empfindlichkeit (E<sub>i</sub>), Toxizität (Zeigerzahlen nach WIRTH) und Einschätzungen zur Seltenheit nach Roten Listen.

## Zusammenfassung

Unter Anwendung verschiedener Methoden zur Bioindikation von Luftbelastungen wurde die epiphytische Flechtenvegetation in Lüneburg und Umgebung untersucht. Eine neue Methode wird vorgestellt. Die Methoden werden bezüglich praxisrelevanter Parameter miteinander verglichen. Die Ergebnisse werden zu Umweltbedingungen, wie sie in Norddeutschland vorherrschen, in Beziehung gesetzt.

## Summary

Using several methods of monitoring air pollution epiphytic lichens in Lüneburg and surroundings were examined. A new method is presented. The various methods are compared respecting their practical value. The results are related to environmental conditions presently prevailing in Northern Germany.

## Literatur

- Bundesamt für Umweltschutz Bern (Hrsg. 1986): Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe. – Schr.reihe Umweltsch. 52.
- Crutzen, P. J. & P. H. Zimmermann (1991): The changing photochemistry of the troposphere. – Tellus 43 A B: 136-151.
- Erichsen, C. F. E. (1957): Flechtenflora von Nordwestdeutschland. – 411 S., Stuttgart.
- Fabian, P. (1992): Atmosphäre und Umwelt. – 4. Aufl., 144 S., Berlin, Heidelberg.
- Feuerer, T. & G. Ernst (1993): Vorläufige Rote Liste der Flechten der Freien und Hansestadt Hamburg. – Ber. Bot. Ver. Hamburg 13: 70-81.
- Feuerer, T. & G. Ernst (1993): Meßtischblattkartierung von Flechten in Hamburg und Umgebung. – Ber. Bot. Ver. Hamburg 13:82-99.
- Kelm, H. (1992): Zum Vorkommen der Berberitze (*Berberis vulgaris*) in Wäldern bei Lüneburg. – Jb. Natw. Ver. Fstm. Lüneburg 39: 211-220.
- Grube, H. (1966): Gefährdeter Lebensraum. – Jahresh. Natw. Ver. Fstm. Lüneburg 29: 15-29.
- Hauck, M. (1992): Rote Liste der gefährdeten Flechten in Niedersachsen und Bremen. – Inform. d. Natsch. Nieders. 1/92: 43 S.
- Jacobsen, P. (1992): Flechten in Schleswig-Holstein: Bestand, Gefährdung und Bedeutung als Bioindikatoren. – Mitt. Arbeitsg. Geobot. Schlesw.-Holst. und Hamburg 42:234 S.
- Kreeb, K. H. (1990): Methoden zur Pflanzenökologie und Bioindikation. – 327 S. Stuttgart, New York.
- Linders, H.-W. (1990): Die Verwendung epiphytischer Flechten als Bioindikatoren in der Landschaftsplanung – dargestellt am Beispiel des Landkreises Hildesheim. – Natur und Landsch. 65/11: 533-538.
- Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.)(1993): Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen. Datenkatalog zur Luftgüte in Niedersachsen 1978- 1992. – 109 S. Hannover.
- Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg. 1992): LÜN-Jahresbericht 1992. – 198 S. Hannover.
- Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg. 1991): LÜN-Jahresbericht 1991. – 196 S. Hannover.
- Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg. 1990): Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen 1978-1989. Eine Zwischenbilanz. – 47 S. Hannover.
- Niemeyer, R. (1990): Beurteilung der Luftqualität im Stadtgebiet von Hannover mit Hilfe von Flechten als Bioindikatoren. – Ber. naturh. Ges. Hannover 132: 47-78.
- Noeldeke, C. (1970): Verzeichniss der im Fürstenthum Lüneburg beobachteten Laubmoose, Lebermoose und Flechten. – Jahresh. natw. Ver. Fürstenthum Lüneburg 4: 51-84.
- Poelt, J. (1974): Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. – 757 S. Vaduz.
- Poelt, J., & A. Vezda (1981): Bestimmungsschlüssel europ. Flechten. Ergänzungsheft 2. – 390 S. Vaduz.
- Reckel, S. (1991): Flechten als Bioindikatoren der Luftqualität. – Beitr. Naturk. Nieders. 44: 150-163.
- Schurath, U. (1985): Chemische Reaktionen von SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und organischen Verbindungen. – In: Becker, K. H., & J. Löbel (Hrsg.): Atmosphärische Spurenstoffe und ihr physikalisches Verhalten. – S. 59-76, Berlin.
- Seedorf, H. H., & H. H. Meyer (1992): Landeskunde Niedersachsen. – 517 S., Neumünster.
- Türk, R. (1992): Die Organisationsform der Flechten als Grundlage der Bioindikation von Luftfremdstoffen mit Hilfe von Flechten. – VDI-Ber. 901: 73-80.
- Umweltbehörde Hamburg (1992): Jahresbericht 1990/91 für das Luftmeßnetz Hamburg. – Hamburger Umweltber. 37: 52 S., Hamburg.
- Wiegel, H., A. Bolle, R. Rabe & W. Höjnig (1992): Bioindikation von Luftverunreinigungen mit Flechten in Ballungsräumen am Beispiel der Stadt Dortmund: Wirkungskataster, lufthygienisch-klimatische Interpretation und Anwendung für die kommunale Planung. – VDI-Ber. 901: 173-187.
- Wirth, V. (1991): Zeigerwerte von Flechten. – In: Ellenberg, H., H. E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner, D. Paulißen: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – Scripta geobotanica 18:215- 237.
- Wirth, V. (1980): Flechtenflora. – 552 S., Stuttgart.

Dank: Für Bestimmungshilfen möchte ich Frau Ernst, Ahrensburg, und für die kritische Durchsicht des Manuskriptes Herrn Dipl. Mct., Dipl. Ing. Quante, Forschungszentrum Geesthacht (GKSS) ganz herzlich danken.

**Anschrift des Verfasser:** Dr. Carsten Hobohm, Universität Lüneburg, FB III Ökologie, 21332 Lüneburg.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur Naturkunde Niedersachsens](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [47](#)

Autor(en)/Author(s): Hobohm Carsten

Artikel/Article: [Baumflechten und Luftbelastungen in Lüneburg und Umgebung - eine neue Methode der Bioindiktion auf der Basis von Zeigerwerten 49-61](#)