

# Bioindikation mit Flechten am Beispiel der Flechtenkartierung in Winterthur

Hanni Britt, Winterthur

Die vorliegende Arbeit soll ein Beitrag zum Problemkreis der Luftverschmutzung sein. Um sich ein Bild der lufthygienischen Situation machen zu können, muss der Schadstoffgehalt der Luft gemessen und dargestellt werden. Der Einsatz von Bioindikatoren ist hier von grossem Nutzen, denn Bioindikatoren können die Wirkungsweise von Schadstoffen auf Lebewesen deutlich machen.

In der Arbeit wird speziell der Einsatz von Flechten als Bioindikatoren beschrieben und eine Methode zur Herstellung einer Luftgütekarte nach dem Prinzip des «Index of Atmospheric Purity» (IAP).

## **Lichens as Bioindicators of Air Pollution, illustrated in an IAP-Map of Winterthur**

The following study presents a contribution to the problem of the air pollution. To get a view of the air condition it is necessary to measure and map the degree of the air pollution. The use of bioindicators is particularly apt in this case, because bioindicators can show the manner the pollutants affect the organisms.

The study especially describes the use of lichens as bioindicators and a method to map the air pollution following the principles of the "Index of Atmospheric Purity" (IAP).

## **1 Einleitung und Problemstellung**

Dem Problem der Luftverschmutzung wird in den letzten Jahren mehr und mehr Beachtung geschenkt, denn die grossen Mengen von Schadstoffen, mit welchen wir unsere Atmosphäre belasten, werden zunehmend eine Gefahr für Pflanzen, Tiere und Menschen. Um Lösungen finden zu können, muss die momentane Situation bekannt sein. Und um getroffene Gegenmassnahmen, wie sie z. B. die Luftreinhalteverordnung des Bundes vorschreibt, überwachen zu können, entsteht das Bedürfnis nach geeigneten Frühwarn- und Überwachungssystemen.

Einzelne Schadstoffe werden seit längerer Zeit mit technischen Messgeräten erfasst. Es fehlen aber Methoden, die die Auswirkungen der Schadstoffe auf Lebewesen deutlich machen können. Der Einsatz von Bioindikatoren kann diese Lücke schliessen. Flechten eignen sich, wie wir später noch sehen werden, sehr gut als Bioindikatoren und werden schon seit einigen Jahrzehnten dazu verwendet (T. H. Nash, 1976a).

Drei Biologen, R. Herzig, L. Liebendörfer und M. Urech, erarbeiteten im Rahmen des NFP 14 in Biel eine neuartige Methode, in welcher die epiphytische Flechtenvegetation mit technisch gemessenen Luftmesswerten in Zusammenhang gebracht wird (R. Herzig et al., 1985). Da die Flechtendaten mit den Luftmesswerten hoch korrelieren, ist es zulässig – mit relativ geringem Aufwand – eine Luftgütekarte zu erstellen. Diese lässt flächendeckende Aussagen

zur Gesamtbelastung zu und stellt fundierte Grundlagen bereit, um geeignete Gegenmassnahmen ergreifen zu können.

Der vorliegende Artikel ist eine Zusammenfassung der Diplomarbeit der Autorin. Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit den oben erwähnten Biologen R. Herzig, L. Liebendörfer und M. Urech. Ihre Methode wurde für die Kartierung Winterthurs leicht abgeändert übernommen.

## 2 Flechten als Bioindikatoren

### 2.1 Was sind Flechten?

(Literatur: G. B. Feige, 1982; A. Henssen & H. M. Jahns, 1974; H. M. Jahns, 1980; V. Wirth, 1980 und 1983.)

Die Morphologie der Flechten ist so eigenartig, dass sie lange Zeit nicht richtig gedeutet wurde. Rein äusserlich betrachtet wirkt eine Flechte wie eine Einheit, in Wirklichkeit handelt es sich aber um einen Doppelorganismus, bestehend aus einer bestimmten Pilz- und Algenart. Pilz und Alge leben in einem Symbioseverhältnis. Dieses Verhältnis kann auch mit dem Begriff «Hungersymbiose» umschrieben werden, denn das Zusammenleben funktioniert nur, wenn beide Partner relativ ungünstige Bedingungen vorfinden.

In der Gemeinschaft erfahren sowohl der Pilz als auch die Alge eine Verbesserung ihrer Lebensbedingungen. Die Alge versorgt den Pilz mit Photosyntheseprodukten, die dieser allein nicht bilden kann. Der Pilz schützt die Alge vor Austrocknung und allzu intensiver Strahlung und versorgt sie mit Spurenelementen aus Regen und Staub.

Die Alge wird durch die Versorgung des Pilzes mit Kohlehydraten auf einem Existenzminimum ihrer Lebensfähigkeit gehalten. Verschlechtern sich die Lebensbedingungen durch äussere Einflüsse, kann die Alge nicht mehr überleben und die Flechte stirbt ab.

Eine weitere Eigenart der Flechten ist ihr fehlendes Wasserspeichervermögen und Organe, die die Wasseraufnahme kontrollieren. Das bedingt, dass sie trockenheitsresistent sein müssen. In Perioden der Austrocknung gehen sie in einen Zustand latenten Lebens über und sind relativ unempfindlich gegenüber äusseren Einflüssen. Die Aufnahme von Wasser ist ein rein passiver Vorgang. Aufnahme und Abgabe geschehen schnell. Das heisst, dass Flechten auf dauernde, ausreichende Wasserversorgung angewiesen sind, da die Flechte in feuchtem Zustand zu intensivem Leben übergeht. Sie vermeidet so ungünstige Stoffbilanzen. Sie kann Feuchtigkeit aus Niederschlägen, Taufall und Luftfeuchtigkeit aufnehmen, damit verbunden aber auch darin gelöste Schadstoffe.

In Westeuropa ist ihre physiologische Aktivität im Sommer geringer als in den übrigen Jahreszeiten. Daraus geht hervor, dass sich die Flechten im Verlauf der Jahreszeiten nicht stark ändern, sie sind ganzjährig aktiv.

## 2.2 Bioindikatoren

In der Enzyklopädie Naturwissenschaft (1979) wird der Begriff «Bioindikator» definiert als Art, Sippe oder Gemeinschaft von Lebewesen, deren Vorkommen oder leicht erkennbares Verhalten sich mit bestimmten Umweltverhältnissen so eng korrelieren lässt, dass man sie als Zeiger (Indikator) oder quantitativen Test verwenden kann. Im Zusammenhang mit Umweltschutz verwendet man häufig sog. Monitorarten. Es sind Bioindikatoren, die zur qualitativen und quantitativen Erfassung von Schadstoffen eingesetzt werden können (H. Bick, 1982).

Schadstoffe können also einerseits mit technischen Messgeräten, andererseits aber auch mit Bioindikatoren nachgewiesen werden. Erstere liefern exakte Angaben über Zusammensetzung, Art und Konzentration einzelner Schadstoffkomponenten. Der Einsatz von Bioindikatoren weist andere Vorteile auf: Sie sind billig im Einsatz, natürlicherweise flächendeckend vorhanden und können als Subsysteme in einem Ökosystem Aussagen zur Wirkungsweise von Schadstoffen machen, indem sie auf die biologisch wirksamen Immissionen reagieren (L. Steubing & U. Kirschbaum, 1982).

Letzteres bringt auch Nachteile mit sich. Man kann nicht die Wirkung einzelner Schadstoffe untersuchen, es wirkt ein System von Beeinflussungen. Man misst immer die Gesamtheit der einwirkenden Faktoren. Interaktionen, die zwischen verschiedenen Schadstoffen bestehen können, müssen ebenfalls berücksichtigt werden (W. Punz, 1979).

Ein weiteres Problem sind die Standortfaktoren. Die Empfindlichkeit von Bioindikatoren hängt auch von ihrer Umgebung ab. Die Untersuchungsobjekte müssen deshalb standardisiert werden (V. Heidt, 1978; L. Steubing, 1977).

Gute Bioindikatoren sind im allgemeinen Pflanzen, denn sie sind an ihren Standort gebunden und kommen meist sehr zahlreich vor (R. Herzig et al., 1985).

## 2.3 Flechten als Bioindikatoren

Besondere Eigenschaften ihrer Physiologie (vgl. auch Kap. 2.1) machen die Flechten besonders anfällig auf Veränderungen der lufthygienischen Situation. Sie werden deshalb häufig als Monitororganismen zur Überwachung der Luftqualität eingesetzt. Man beschränkt sich dabei meist auf die epiphytisch auf Baumrinden wachsenden Flechten.

Die Empfindlichkeit der Flechten hängt von verschiedenen Faktoren ab (K. Ammann et al., 1982; V. Heidt, 1978; H.S. Richardson, 1981; L. Steubing & U. Kirschbaum, 1982):

- Das Gleichgewicht der Flechtensymbiose ist labil und deshalb störungsanfällig.

- Flechten besitzen keinerlei Schutzvorrichtungen gegenüber Einwirkungen der Atmosphäre; Spaltöffnungen und Cuticula fehlen. Der Gasaustausch geschieht unkontrolliert, auch Schadgase haben ungehinderten Zutritt.
- Flechten haben keine Wurzeln. Wasser- und Nährstoffaufnahme erfolgt direkt aus dem Niederschlagswasser, der Luftfeuchtigkeit und dem Wasserpotential des Substrates. Zusammen mit den Nährstoffen können auch gelöste Schadstoffe problemlos eindringen. Die chemische Zusammensetzung der Umgebung bestimmt zu einem guten Teil den Gehalt an verschiedenen Stoffen in ihrem Innern.
- Ein Ausscheidungssystem (z. B. herbstliches Laubabwerfen) fehlt. Gleichzeitig können Flechten alt werden. Beides führt zu einer Akkumulation von Schadstoffen in ihrem Innern, was sich auf die Dauer schädlich auswirken kann.
- Die Stoffwechselfvorgänge laufen erst bei genügender Durchfeuchtung optimal ab. Das Winterhalbjahr mit seiner erhöhten Luftfeuchtigkeit stellt also eine günstige Vegetationsperiode für Flechten dar.

Diese Merkmale machen Flechten zu idealen Indikatoren für Luftverschmutzung. Sie reagieren empfindlich und können so frühzeitig auf gefährliche Schadstoffkonzentrationen aufmerksam machen (R. Herzig et al., 1985).

Die Auswirkungen der Schadstoffe auf die Flechten sind vielfältig. Teilweise sind sie von Auge sichtbar, d. h. der Flechtenthallus ist geschädigt, andere Schädigungen betreffen innere Vorgänge, z. B. die Photosynthese oder die Atmung (S. Deruelle, 1978).

Eine geringe Verschmutzung über kurze Zeit führt zu inneren Schädigungen, dauert sie an, reagiert die Flechte mit Kümmerwuchs bzw. schlechter Vitalität. Stärkere Verschmutzung führt zum Absterben der Flechte.

Zu beachten ist, dass der Einfluss von Schadstoffen nicht primär zu einer Schädigung und zum Verschwinden aller Flechtenarten führen muss, er kann u. U. auch eine, bei anhaltender Schädigung zwar vorübergehende, Förderung gewisser Flechtenarten bedeuten (beispielsweise durch fehlende Konkurrenz anderer Flechten) (S. Deruelle, 1978).

### 3 Untersuchung

#### 3.1 Das Aufnahmeverfahren

##### 3.1.1 Standort- und Trägerbaumparameter

Wie im Kapitel 2.2 schon angetönt wurde, muss bei der Wahl der Standorte darauf geachtet werden, dass sie aus einer standardisierten Grundgesamtheit stammen. Dies ist v. a. wichtig, um sicher zu sein, dass qualitative und quantitative Unterschiede der epiphytischen Flechtenvegetation an verschiedenen Standorten hauptsächlich durch Veränderungen des Grades der Luftverschmutzung und nicht durch Unterschiede in den Standortfaktoren hervorge-

rufen werden (V. Heidt, 1978; L. Steubing, 1977). Dazu dienen die Standort- und Trägerbaumparameter; mit ihrer Hilfe können so nachträglich allfällige Ausreisser identifiziert werden.

#### Auswahl der Trägerbäume:

Das Untersuchungsgebiet wurde in 24 Planquadrate mit einer Seitenlänge von 500 m eingeteilt. Pro Planquadrat sollten 10 Bäume berücksichtigt werden (V. Heidt, 1978). Im Fall Winterthur wurden nur 5 Bäume untersucht, da nicht überall genügend geeignete Bäume zur Verfügung standen. Nachträglich mussten auch einige Quadrate zusammengelegt werden, um auf eine genügende Anzahl Untersuchungsobjekte zu kommen.

Die Auswahl der Trägerbäume geschah nach folgenden Kriterien:

- Baumarten: Es werden Baumarten berücksichtigt, deren Borke einen vergleichbaren pH-Wert aufweist und nicht abblättert. Zugelassen sind Linden (*Tilia platyphyllos*, *T. cordata*), Ahorn (v.a. *Acer platanoides*) und Eschen (*Fraxinus excelsior*).
- Stammdurchmesser: Mit zunehmendem Alter kann sich die Borkenbeschaffenheit ändern. Als Mass für das Alter wurde der Stammumfang gewählt. Die Trägerbäume sollen einen Umfang zwischen 100 und 280 cm aufweisen, gemessen auf 135 cm Höhe.
- Beschattung: Die Trägerbäume müssen frei stehen. Waldgebiete sind somit von dieser Kartierung ausgeschlossen.
- Neigung: Es werden nur senkrecht stehende Stämme berücksichtigt. Zusätzlich dürfen die Trägerbäume weder chemisch noch mechanisch behandelt sein.

#### 3.12 Aufnahme der Flechtenparameter

Nach der Standortwahl wurden pro Trägerbaum verschiedene Flechtenparameter erfasst, innerhalb einer ebenfalls standardisierten Aufnahmefläche. Sie wird bestimmt durch die sog. Frequenzleiter (Bild 1), die 10 identische Teilflächen umfasst. Die Breite ist variabel; sie wird dem Stammumfang angepasst, so dass immer der halbe Umfang untersucht werden kann, zwischen 110 und 160 cm Höhe. Die Position des mittleren Stabes liegt in der Hauptexpositionsrichtung des Blattflechtenbewuchses.

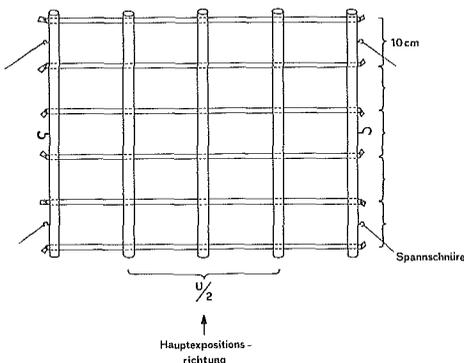


Bild 1 Frequenzleiter. Mit dieser Vorrichtung wird die Aufnahmefläche am Stamm festgelegt und in zehn Teilflächen unterteilt.

Fig. 1 Frequency-Indicator. This device defines the area of survey on the tree trunk.

Auf dieser Fläche wurden die Parameter Artenvielfalt, Frequenz F, Deckung, Vitalität und Schädigungsgrad bestimmt. Der für diese Untersuchung wichtigste Flechtenparameter ist die Frequenz F. Für die Bestimmung dieses Parameters wird für jede Flechtenart ausgezählt, in wievielen der 10 Teilflächen sie vorkommt. Hohe Frequenzwerte von v. a. sensiblen Arten weisen auf eine hohe Luftqualität hin. Bei den Angaben zur Deckung, Vitalität und zum Schädigungsgrad handelt es sich um Schätzwerte, die nicht in die quantitative Untersuchung eingehen.

Diese Parameter werden für jede einzelne Flechtenart bestimmt. Waren einzelne Arten schwer zu unterscheiden und/oder gehören ökologisch identischen Sippen an, wurden sie zu Artengruppen zusammengefasst.

Ein weiterer Parameter lässt sich berechnen: der Toxitolanzfaktor Q. Er bezeichnet die mittlere Begleitartenzahl einer Flechte. Er resultiert aus der Beobachtung, dass sich gegenüber Immissionen empfindliche Arten erst dann ansiedeln, wenn an den betreffenden Standorten schon andere, weniger empfindliche Arten existieren (V. Heidt, 1978). Die Gesamtartenzahl an einem bestimmten Standort ist also ein Mass ihrer Empfindlichkeit.

### 3.2 Auswertung

Die aufgenommenen Flechtenparameter müssen kartographisch dargestellt werden. Dazu bieten sich verschiedene Möglichkeiten an, beispielsweise Verbreitungskarten, Aufzeichnung von Artenzahl, Deckungsgrad, Häufigkeit, und Zonenkarten (D. L. Hawksworth, 1973). Zonenkarten basieren auf Grundlagenkarten der Verbreitung und Häufigkeit der Flechten. Anhand dieser Angaben können Zonen unterschieden werden, meist drei oder vier, nach dem Zonenmodell Sernanders: Um ein belastetes Kerngebiet, die sog. Flechtenwüste, schliessen sich von innen nach aussen die innere und äussere Kampfzone und die Normalzone an (D. L. Hawksworth, 1971; T. H. Nash, 1976a).

#### IAP-Karten:

Eine weitere Möglichkeit der Darstellung ist die sog. IAP-Karte. Es ist eine Art Zonenkarte, deren Zonen (im Unterschied zu gewöhnlichen Zonenkarten) anhand einer numerischen Methode bestimmt werden (D. L. Hawksworth, 1973). Es müssen sämtliche vorkommende Arten bestimmt werden.

Desloover und LeBlanc entwickelten 1970 diese neue Art von Zonenkarten. IAP bedeutet «Index of Atmospheric Purity». Das Ziel ist, alle Einzelinformationen, die pro Standort anfallen, zu einer einzigen Luftbelastungsaussage zusammenzufassen. Dieser Zahlenwert (Index) wird anhand eines mathematischen Berechnungsmodells ermittelt (F. LeBlanc & J. Desloover, 1970):

$$IAP = \sum_{i=1}^n 1/10 \cdot Q_i \cdot f_i$$

$Q_i$  = Toxitolanzfaktor einer Flechtenart

$f_i$  = Mischfaktor aus den Parametern Frequenz und Deckungsgrad einer Art  
(Frequenz ist hier das Auftreten einer Flechtenart an 10 Bäumen einer  
«Station»)

$n$  = Anzahl Flechten einer Station

$1/10$ : Teilung durch 10 ergibt eine handlichere Zahl

Das bedeutet, je mehr Flechtenarten auftreten und je grösser der Deckungsgrad und die Frequenz der einzelnen Arten, desto höher ist der IAP-Wert und desto besser ist die Luftqualität.

Diese IAP-Berechnungsformel wurde in den folgenden Arbeiten mehrmals modifiziert. Die in der Untersuchung Winterthur verwendete Methode der Berner Biologen (R. Herzig et al., 1985) hält sich ebenfalls an das Prinzip der IAP-Karten, bedient sich aber einer neuen Formel. Neu an dieser Methode ist, dass ein direkter Bezug zur Luftbelastung hergestellt wird, indem IAP-Werte, berechnet nach verschiedenen Berechnungsmodellen, mit technisch ermittelten Luftqualitätsmessungen in Zusammenhang gebracht werden. Das am höchsten korrelierende Modell beruht nur auf dem Flechtenparameter Frequenz  $F$ , d. h. die jetzt verwendete Formel heisst

$$IAP = \sum_{i=1}^n F$$

Die Frequenzwerte aller vorkommenden Arten eines Trägerbaumes werden aufsummiert und ergeben den IAP-Wert des Standortes. Der IAP-Wert eines Planquadrates berechnet sich aus dem Mittelwert der fünf Standorte des Quadrates. Diese Werte können nur kartographisch dargestellt werden.

Mittels der Standardabweichung wurden Klassen gebildet und fünf Zonen unterschieden. In Anlehnung an frühere Bezeichnungen wurden sie folgendermassen benannt: Flechtenwüste, innere und äussere Kampfzone, Übergangzone und Normalzone. Diese Bezeichnungen sind aber nicht vergleichbar mit denen anderer Arbeiten, da diese sich meist nach dem Vorkommen gewisser Zeigerarten richten.

Die Flechtenwüste ist flechtenarm und entspricht einer kritischen Gesamtbelastung. Sie bezeichnet Gebiete, in welchen die Jahresmittelwerte einzelner Schadstoffe höchstwahrscheinlich über dem Grenzwert der Luftreinhalteverordnung liegen. Die Normalzone ist demgegenüber flechtenreich und weist eine sehr geringe Gesamtbelastung auf, Grenzwertüberschreitungen sind nicht sehr wahrscheinlich (R. Herzig et al., 1987).

#### 4 Resultate der Kartierung

Das Ergebnis der Kartierung ist in Bild 2 abgebildet. Es handelt sich um eine Rasterkarte, die eigentlich nur eine Vorstufe der flächenhaften Informationsdarstellung ist. Sie weist ein relativ geringes Auflösungsvermögen auf, ist stark

vereinfacht und schematisiert. Geographische Raumstrukturen werden nicht erfasst, was ein grosser Nachteil dieser Darstellungsart ist. Man erhält lediglich ein grobes Muster der Zonenverteilung, deshalb ergeben sich teilweise auch grosse Sprünge zwischen einzelnen Planquadraten.

Diese Probleme würden bei einer Isolinienkarte wegfallen. Das wäre denn auch der letzte Schritt einer solchen Kartierung. Sie erlaubt eine feinaufgelöste Darstellung und erleichtert die Interpretation des gesamten Musters.

Von einer solchen Darstellung musste bei dieser Untersuchung abgesehen werden, denn die Form des kartierten Gebietes und die Verteilung der Stichproben erlauben kein sinnvolles Ziehen von Isolinien.

Um die Interpretation der Zonen etwas zu erleichtern, sollen sie im folgenden kurz charakterisiert werden:

#### Flechtenwüste:

Der Gesamteindruck von Baumstämmen dieser Zone ist ihre Kahlheit in bezug auf Flechten. Die Rinde ist entweder völlig kahl, häufig aber von einer grünen Algenschicht und einer staubigen Kruste überzogen. Die Gesamtartenzahl ist sehr beschränkt, einzelne Krustenflechten können allerdings weit in die Flechtenwüste vordringen. Von den im Untersuchungsgebiet registrierten 18 Blatt- und Strauchflechten existieren hier nur deren drei: *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata* und *Pseudevernia furfuracea*, die alle zu den ziemlich toxitoleranten Arten gezählt werden (Tab. 1). Ihr Deckungsgrad ist gering, die Frequenz niedrig und ihre Entwicklung schlecht (Bildung von Kümmerformen).

#### Innere Kampfzone:

Die Verhältnisse in dieser Zone sind für die Flechten immer noch schlecht, auch hier kämpfen sie um ihr Überleben. Die Artenzahl ist etwas höher, die Gesamtdeckung nach wie vor gering, und die Flechten erscheinen in Kümmerform.

#### Äussere Kampfzone:

Hier liegt der Verbreitungsschwerpunkt der ziemlich toxitoleranten Arten *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata* und *Pseudevernia furfuracea*. Es treten nun auch vermehrt empfindlichere Arten (Tab. 1) auf, der Deckungsgrad ist grösser.

#### Übergangszone:

Die durchschnittliche Artenzahl ist wiederum etwas grösser als in der vorhergehenden Zone, es treten rund 13 verschiedene Arten auf. Der Zustand der Flechten ist besser, einzelne Arten wachsen ziemlich üppig, und die Schädigung ist nicht mehr so gross.

Tabelle 1 Toxitolanzfaktoren (Q) und relative Häufigkeit des Vorkommens der einzelnen Flechtenarten.

Mit zunehmendem Q-Wert steigt die Empfindlichkeit an; Flechtenarten mit Q-Werten bis 4,1 dürfen als ziemlich toxitolérant bezeichnet werden.

Table 1 Toxitolance rate.

Artname	Toxitolanzfaktor Q	Relative Häufigkeit (in % aller Standorte)
<i>Hypogymnia physodes</i>	2,8	67,2
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	3,3	44,4
<i>Parmelia sulcata</i>	3,5	57,2
<i>Xanthoria parietina</i>	3,5	27,2
<i>Physcia adscendens-Gr.</i>	3,8	31,1
<i>Usnea spec.</i>	3,9	6,1
<i>Parmelia caperata</i>	4,0	1,1
<i>P. exasperatula/glabratula</i>	4,1	37,8
<i>Physconia grisea</i>	4,2	14,4
<i>Pertusaria albescens</i>	4,3	5,0
<i>Parmelia subrudecta</i>	4,4	16,7
<i>Parmelia acetabulum</i>	4,8	5,6
<i>Parmelia tiliacea</i>	4,9	17,2
<i>Ramalina farinacea</i>	5,0	1,1
<i>Physconia pulverulacea</i>	5,0	1,1

### Normalzone:

Es herrschen Verhältnisse, unter welchen auch empfindliche Arten ein gutes Auskommen finden und sich vermehren können. Die Flechten wachsen üppig und sind kaum geschädigt. Der Deckungsgrad ist hoch. Trotzdem ist die Normalzone wohl weiträumig beeinflusst, denn auch hier sind schon viele Arten selten geworden oder ganz verschwunden.

Trotz aller Nachteile einer Rasterkarte lassen sich in Bild 2 konzentrische Zonen rund um den Stadtkern erkennen, abgesehen von einigen Unregelmäßigkeiten. Das heisst, dass die Belastung generell vom dicht bebauten, verkehrsbelasteten Stadtkern gegen die Aussenquartiere hin abnimmt.

Die Situation im Osten scheint eher etwas besser zu sein als im Westen der Stadt. Weshalb ist schwer zu sagen anhand dieser kleinräumigen Kartierung. Einerseits reagieren Flechten auf lokale Emissionen, z.B. dichtbefahrene Strassen, was sich sofort in einem gesenkten Mittelwert niederschlägt. Andererseits hat auch die Windsituation Einfluss auf die Gesamtbelastung. In Winterthur sind Westwinde vorherrschend, im Winter sind jedoch auch Nordostwinde relativ häufig. Es wäre denkbar, dass Schadstoffe aus dem nordöstlich gelegenen Industriegebiet westwärts verfrachtet würden.

Wie stark sich aber der Einfluss der Industrie, der dicht befahrenen Ausfallachsen und der Windverhältnisse auswirkt, lässt sich anhand dieser Karte nicht präzisieren.

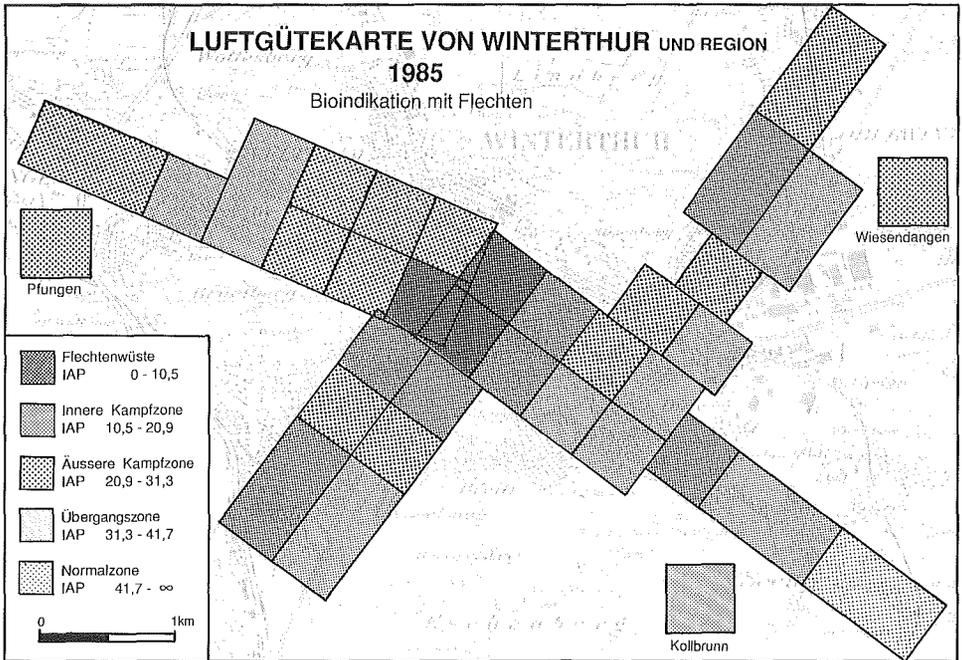


Bild 2 Luftgütekarte von Winterthur 1985.

Fig. 2 IAP-map showing the degree of air pollution in Winterthur 1985.

Die Normalzone ist nur im Südosten der Stadt anzutreffen. Die IAP-Werte bewegen sich aber dicht an der Klassengrenze zur Übergangszone. Eine Bestätigung der Werte in der Umgebung wäre deshalb angezeigt.

Kleinräumige Unterschiede, d.h. Besonderheiten bezüglich geographischem Standort, Bebauungsdichte, Verkehrsdichte usw. entfallen, es lassen sich keine Emissionsquellen herauslesen.

## 5 Schlussbemerkung

Der vorliegende Artikel sollte anhand eines konkreten Beispiels eine Methode aufzeigen, mit welcher es möglich ist, einfach, billig, flächendeckend und raumbezogen die lufthygienische Situation eines Gebietes zu erfassen. Das Vorgehen wurde am Beispiel der Kartierung der Stadt Winterthur beschrieben.

Diese Arbeit wurde im Rahmen einer Diplomarbeit ausgeführt und musste deshalb im Umfang beschränkt werden. Sie erfasst ein relativ kleines Gebiet entlang der Ausfallachsen, das die Herstellung einer Isolinienkarte nicht zu-

lässt. Eine umfassende Untersuchung müsste demnach auf das ganze Stadtgebiet ausgedehnt werden. Dennoch erhält man einen groben Überblick über die Immissionssituation der Stadt, der als eine Art Voruntersuchung dienen kann.

## 6 Literatur

- Ammann, K. et al. (1982), Biologisches Frühwarnsystem der Luftverschmutzung. Flechten registrieren die summierte Wirkung der Atmosphärengifte über viele Jahre hinweg. Der Bund, 12.7.1982.
- Bick, H. (1982), Bioindikatoren und Umweltschutz. Decheniana-Beihefte 26: 2–5.
- Britt, H. (1986), Flechtenkartierung in Winterthur. Bioindikation mit Flechten. Diplomarbeit, geogr. Inst. Universität Zürich. Manuskript.
- Deruelle, S. (1978), Les Lichens et la Pollution Atmosphérique. Bull. Ecol. 9/2: 87–128.
- Desloover, J. & LeBlanc, F. (1968), Mapping of Atmospheric Pollution on the Basis of Lichen Sensitivity. Proc. Symp. Recent Adv. in Trop. Ecol., Varanasi, Indien.
- Feige, G.B. (1982), Niedere Pflanzen – speziell Flechten – als Bioindikatoren. Decheniana-Beihefte 26: 23–30.
- Fenton, A.I. (1960), Lichens as Indicators of Atmospheric Pollution. The Irish Naturalist's Journal 8/7: 153–159.
- Hawksworth, D.L. (1971), Lichens as Litmus for Air Pollution: A historical Review. Intern. J. Environmental Studies 1: 281–296.
- Hawksworth, D.L. (1973), Mapping Studies. In Ferry, B.W. et al., Air Pollution and Lichens: 38–76.
- Hawksworth, D.L. (1974), Lichens and Indicators of Environmental Change. Environment and change 2/6: 381–386.
- Hawksworth, D.L. & Rose, F. (1970), Qualitative Scale for Estimating Sulphur Dioxide Air Pollution in England and Wales using Epiphytic Lichens. Nature 227: 145–148.
- Heidt, V. (1978), Flechtenkartierung und Beziehung zur Immissionsbelastung des südlichen Münsterlandes. Biographica 12.
- Henssen, A. & Jahns, H.M. (1974), Lichenes. Eine Einführung in die Flechtenkunde. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 467 Seiten.
- Herzig, R., Liebendörfer, L. & Urech, M. (1985), Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz. Teil 1: Methodenentwicklung in der Region Biel-Seeland. Diplomarbeit, Syst.-Geobot. Institut Universität Bern.
- 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.
- Jahns, H.M. (1980), Farne, Moose, Flechten Mittel-, Nord- und Westeuropas. BLV-Bestimmungsbuch, BLV Verlagsgesellschaft München, Wien und Zürich, 256 Seiten.
- LeBlanc, F. & Desloover, J. (1970), Relation between Industrialization and the Distribution and Growth of Epiphytic Lichens and Mosses in Montreal. Can. J. Bot. 48: 1485–1496.
- Nash, T.H. (1976a), Lichens as Indicators of Air Pollution. Naturwissenschaften 63: 364–367.
- Punz, W. (1979), Beiträge zur Verwendung von Flechten als Bioindikatoren: Der Einfluss von Schadstoffkombinationen. Sitzungsberichte d. Österr. Akad. d. Wissensch. Math.-Nat. Kl. 188/1.
- Richardson, H.S. (1981), Flechten als Umweltindikatoren. Umschau 81/18: 553–556.
- Steubing, L. (1977), Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Pflanzen; Pflanzen als Bioindikatoren. In Buchwald/Engelhart, Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt. BLV 2, BLV Verlagsgesellschaft München, Wien und Zürich.

- Steubing, L. & Kirschbaum, U. (1982), Bioindikation von Luftschadstoffen im Ballungsraum Frankfurt/M. mittels Flechten und höherer Pflanzen. Staub-Reinhalt. Luft 42/7: 273–280.
- Wirth, V. (1980), Flechtenflora, UTB, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 552 Seiten.
- Wirth, V. (1983), Flechten. Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde 112: 1–37.