

Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Saarbrücken 1973.

FLECHTEN ALS UMWELTZEIGER

R. SCHMIDT & K. KREEB

Abstract

The lichen-vegetation in the surroundings of Stuttgart has been studied and analyzed with regard to microclimatological differences and pollution effects. It was found, that semi-natural communities are still present. But in the neighbourhood of the town, especially in northern parts, an impoverishment takes place, depending on pollution effects. Experimental investigation in the field has been made in order to proof the dependance of species on ecological factors with regard to their distribution.

1. Problemstellung

In den vergangenen Jahrzehnten und insbesondere im Laufe der letzten Jahre entstand eine umfangreiche Literatur zu dem Problem-Komplex der Erfassung von Immissionschäden mit Hilfe der Flechtenvegetation (vgl. die Beiträge von JÜRGING (1972), KIRSCHBAUM (1972) und KUNZE (1972) bei früheren Tagungen der Gesellschaft für Ökologie). Meistens wurden anhand der Frequenz einzelner Flechtenarten (KUNZE 1972) oder nach sonstigen quantitativen Daten über die Gesamt-Flechtenvegetation, wie z.B. Artenzahl (HAUGSJA 1930, BARKMAN 1963), Gesamtbedeckung (VARESCHI 1936, SAUBERER 1951, STEINER-SCHULZE-HORN 1955, VILLWOCK 1962, DOMRÖS 1966) oder "Index of atmospheric purity" (LE BLANC & DE SLOOVER 1970, KIRSCHBAUM 1972) Immissionschadenszonen ermittelt. Würde man bedenkenlos nach den dabei zur Anwendung gekommenen rein quantitativen Methoden arbeiten, so würde man beispielsweise auch in vollkommen immissionsunbeeinflussten Gegenden Zonen mit scheinbar immissionsgeschädigter Flechtenvegetation herausfinden, da auch dort verschiedene Flechtenvereine auftreten, die sich natürlicherweise in den genannten quantitativen Kriterien unterscheiden, vor allem bedingt durch die Verschiedenheit der mikroklimatischen Situationen, aber auch edaphischer Voraussetzungen.

Bevor man also die erwähnten Daten bzw. Methoden zur Immissionsbewertung heranzieht, muss man sich Klarheit verschaffen über ihre mögliche naturgegebene Schwankungsbreite im Untersuchungsgebiet. Ist diese gering und kann daher vernachlässigt werden, so kann man mit Hilfe dieser Methoden gute Anhaltspunkte zur Ermittlung von Immissionschadenszonen gewinnen. Im Stuttgarter Grossraum erwiesen sich jedoch die mikroklimatischen Verhältnisse aufgrund der relativ starken Reliefunterschiede und die daraus sich ergebenden potentiell-natürlichen Flechtengemeinschaften als so unterschiedlich, dass eine eingehende soziologische und ökologische Analyse zur Bewertung der Kartierungsergebnisse (vgl. Beiträge von BAUER, DJALALI & EHMKE in diesem Band) unerlässlich war.

2. Pflanzensoziologische Untersuchungen

Edaphische Unterschiede konnten durch Auswahl einheitlicher Substrate (Stämme von Apfel- bzw. Birnbäumen) auf ein vertretbares Minimum reduziert werden, so

TABELLE 1
Stetigkeitstabelle

Einheit	A ₁	A _{2a}	A _{2b}	A _{2c}	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂	C ₃	D ₁	D ₂	D ₃
Zahl der Aufnahmen	60	53	16	93	31	85	70	27	25	111	33	46	86	23
Gesamtartenzahl	8	12	12	19	14	21	23	20	21	30	21	28	31	20
Durchschnittl. Zahl der Arten pro Aufnahme	2,6	4,2	6,0	5,4	3,7	6,3	7,4	7,5	4,8	7,5	5,2	7,0	10,3	8,6
I.														
<i>Physcia ascendens</i> Bitt. ¹	V	V	V	V	V	V	V	V	IV	III	III	III	III	+
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Pers.) Lett.	V	V	V	V	IV	V	V	V	V	IV	III	IV	III	III
II.														
<i>Physcia orbicularis</i> (Neck.) DR	+	V	V	V	-	V	IV	V	+	I	-	+	I	-
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th.Fr.	II	IV	III	II	+	II	III	I	I	I	+	I	I	-
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	I	III	III	I	+	I	I	I	-	+	-	+	+	-
<i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl.	-	-	V	-	-	I	II	II	+	+	-	+	I	+
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th.Fr.	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
III.														
<i>Parmelia sulcata</i> Th.Tayl.	-	-	I	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
<i>Parmelia exasperatula</i> Nyl.	-	-	+	+	+	V	III	IV	III	III	IV	II	III	IV
<i>Parmelia acetabulum</i> (Neck.) Duby	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-
<i>Parmelia fuliginosa</i> (Fr.) Nyl.	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
IV.														
<i>Parmelia scortea</i> Ach.	-	-	-	+	+	I	I	I	+	II	I	+	II	I
<i>Parmelia subargentifera</i> Nyl.	-	-	-	-	-	I	+	+	-	I	+	+	I	I
<i>Parmelia subrudecta</i> Nyl.	-	-	-	-	-	-	III	I	+	V	-	-	IV	-
<i>Parmelia andreana</i> Müll.Arg.	-	-	-	-	-	-	III	I	-	III	-	+	IV	-
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	-	-	-	-	-	-	-	V	-	IV	V	-	IV	V
V.														
<i>Ramalina pollinaria</i> (Ach.) Ach.	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	I	I	II	I
<i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach.	-	-	-	-	-	+	-	-	I	I	+	II	II	II
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	-	-	-	+	-	+	+	I	+	II	I	I	III	IV
<i>Pertusaria globulifera</i> (Turn.) Massal.	-	+	-	-	+	I	I	+	+	I	+	III	III	III
<i>Pertusaria discoidea</i> (Pers.) Malme	-	-	-	-	-	+	+	-	+	I	+	III	III	III
<i>Pertusaria albescens-coralliza</i> (Huds.) Choisy	-	-	-	+	-	+	-	-	-	I	+	II	II	I
<i>Phlyctis argena</i> (Ach.) Flot.	-	-	-	+	+	-	I	-	-	I	I	V	IV	V
<i>Pertusaria amara</i> (Ach.) Nyl.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
VII.														
<i>Usnea dasypoga</i> Röhl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	I	-	+	+
<i>Alectoria iubata</i> (L.) Ach. em. Mot.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
<i>Anaptychia ciliaris</i> (L.) Koerb.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Calicium spec.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
VIII.														
<i>Physcia grisea</i> (Lam.) Poelt	-	I	+	I	I	I	II	I	+	I	-	I	I	I
<i>Lepröse Krusten</i>	I	I	-	I	I	I	I	I	+	II	II	III	II	III
<i>Buellia punctata</i> (Hoff.) Mass.	II	+	II	II	II	II	II	II	I	II	II	II	III	I
IX.														
<i>Lecanora cblarotera</i> Nyl.	-	+	-	+	-	I	-	I	I	I	I	II	II	II
<i>Lecanora allophana</i> (Ach.) Nyl.	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	I	I	I	+
<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vain.	I	-	-	+	+	+	I	+	+	I	+	I	I	+
<i>Lecanora subfuscata</i> H. Magn.	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	I	+
<i>Physcia pulverulenta</i> (Schreb.) Poelt	-	-	-	+	-	I	+	-	-	+	-	+	I	-
<i>Physcia aipolia</i> (Erh.) Hampe	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-
<i>Lecanora pallida</i> Schreb.) Rbh.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Cladonia spec.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	I	I

Erläuterung und Charakterisierung der ökologischen Gruppen (römische Zahlen am linken Tabellenrand) siehe Text.

Stetigkeitsangaben: + = in 5% der Aufnahmen vorhanden (und weniger); I = in 6-20% der Aufnahmen vorhanden; II = in 21-40% der Aufnahmen vorhanden; III = in 41-60% der Aufnahmen vorhanden; IV = in 61-80% der Aufnahmen vorhanden; V = in 81-100% der Aufnahmen vorhanden.

1. incl. *Physcia tenella* DC em. Bitt.

dass das Hauptaugenmerk auf die Mikroklimaabhängigkeit der Flechtenvegetation gerichtet werden konnte.

Schon auf einfachen klimatologischen (KLIMA-ATLAS, 1953) und phänologischen Karten (ELLENBERG 1954, KREEB 1954) lassen sich einschneidende regional-klimatische Differenzen im Untersuchungsgebiet feststellen, und erste überschlagmässige Beobachtungen im freien Gelände zwischen den Städten Stuttgart, Esslingen und Waiblingen und ihrer Umgebung hatten gezeigt, dass diesen klimatisch unterscheidbaren Zonen auch in grober Näherung¹ jeweils verschiedene Flechtengruppierungen entsprechen. Aus diesem Grunde strebten wir eine nach klimatischen Gesichtspunkten interpretierbare pflanzensoziologische Gliederung an.

Tab. 1 zeigt als Stetigkeitstabelle das knapp zusammengefasste Ergebnis der Auswertung eines umfangreichen Aufnahmемaterials. Mit römischen Zahlen durchnummeriert (senkr.) sind die ökologischen Gruppen dargestellt, die sich (I-VII) im Sinne zunehmender Feuchtigkeitsverhältnisse und gleichzeitig abnehmender Basiphilie anordnen lassen. Im folgenden sei eine kurze Charakteristik der herausgearbeiteten ökologischen Gruppen gegeben:

I. Neutrophile Gruppe mit keinen besonderen Ansprüchen an den Wasserhaushalt, die daher auch trockene Standorte mitunter reichlich zu besiedeln vermag. Hohe Toxitolерanz.

II. Charakteristisch für neutrale bis schwach basische, meist durch Nährstoffreichtum (Staubanflug) gekennzeichnete Standorte in trocken-warmen Gebieten. Die Gruppe ist unter feucht-kalten Bedingungen gegenüber I weniger konkurrenzfähig und wird dann durch andere ökologische Gruppen (vor allem III und IV) verdrängt. Beschränkte Toxitolерanz.

III. Typisch für neutrale bis schwach saure Substrate mit ziemlich breiter ökologischer Amplitude. Meidet nur die trockensten Lagen. Deckungsgrade nehmen mit zunehmender Feuchtigkeit zu. Toxitolерanz bei den einzelnen Arten unterschiedlich, in der Reihenfolge *P. sulcata*, *P. exasp.*, *P. acetab.* geringer werdend.

IV. Neutrophytische bis schwach acidophytische Arten, die in der Reihenfolge ihrer Anordnung zunehmende Ansprüche an den Wasserhaushalt stellen² (Wasserdampf leichter aufnehmen, aber auch schneller austrocknen) und durchweg als mesophil gelten können (*Hypogymnia physodes* schwach hygrophil) und nur in den trockeneren Gebieten von Natur aus fehlen. Toxitolерanz etwa in der Reihenfolge *Hypogymnia physodes*, *P. subrudecta*, *P. andreana*, *P. scortea* abnehmend.

V. Acidophytische Arten mit hohen Ansprüchen an die Luftfeuchtigkeit² der Standorte. Empfindlich gegen Luftverunreinigungen.

VI. Arten mit ausgesprochener Bindung an rauhes, feuchtes Klima.

1. Abweichungen im Einzelnen sind darauf zurückzuführen, dass die Flechten in anderer Weise von klimatischen Parametern abhängen, als die auf Klimakarten und phänologischen Karten wiedergegebenen Klimafunktionen.
2. Darunter ist vor allem ein durch die Lage bedingter Schutz vor rascher Austrocknung nach nächtlicher Durchfeuchtung bzw. nach Niederschlägen zu verstehen – oder Austrocknungsschutz durch häufige Nebelbildung.

VII. Arten mit extremen Feuchtigkeitsansprüchen, denen durchweg eine sehr geringe Toxizität zuzuschreiben ist und die daher im Kartierungsgebiet sehr selten und nur an den feuchtesten Standorten anzutreffen sind.

VIII. und IX: Arten ohne besonderen ökologischen Aussagewert, die jedoch auf der rauheren Borke von Birne häufiger vorkommen, als auf Apfel.

Kurz zusammengefasst ergibt sich zur Charakterisierung der ökologischen Gruppen das in Tab. 2 wiedergegebene Schema:

Gruppe	Wasserfaktor	pH	Licht
1 u. 2	xerophytisch	basi-neutrophil	photophil
3	mesoxerophytisch	neutro-subneutrophil	mässig photophil
4	mesohygrophil	subneutro-acidophil	photophil-ombrophil
5	hygrophil	acidophil	ombrophil
6 u. 7		ohne besondere pH-Bindung	

Daraus liessen sich 4 (hier mit A, B, C und D bezeichnete) Einheiten ermitteln, in die die untersuchten Obstbaum-Flechtenbewüchse grundlegend untergliedert werden konnten (auf eine nähere Erläuterung der in Tab. 1 dargestellten Untereinheiten soll hier verzichtet werden. Im Prinzip handelt es sich um typische Untereinheiten, jeweils durch Suffix 2 ausgezeichnet, und diverse Verarmungsstadien – Suffixe 1 und 3). Aus den Anteilen der ökologischen Gruppen, die eine Einheit zusammensetzen, können Angaben gemacht werden über deren Hygrophilie, Acidophilie und Thermophilie (s. Tab. 3).

Tabelle 3: Schema zur ökologischen Interpretation der 4 soziologischen Grundeinheiten.

Einheit	Wasserfaktor	pH	Licht
A	xerophytisch	basi-neutrophil	photophil
B	mesoxerophytisch	neutro-subneutrophil	meist photophil
C	mesohygrophil	subneutro-acidophil	photophil-ombrophil
D	hygrophil	acidophil	ombrophil

3. Ökologische Untersuchungen

Die ökologische Interpretation dieser Einheiten und der sie kennzeichnenden ökologischen Gruppen hat insofern nur hypothetischen Charakter, als die aus reiner Geländebeobachtung unter Berücksichtigung mikroklimatischer Gesetzmässigkeiten (s. GEIGER 1961) und der aus den vorhandenen Klimakarten hervorgehenden Anhaltspunkte zustandekam, also durch die Koinzidenz der Verteilung von Flechtenvegetationseinheiten und des Mikroklimas. Hilfreich waren dabei auch Angaben in der flechtensoziologischen Literatur (v. all. BARKMAN 1958, WILMANN 1962). Um bei der Interpretation jedoch mehr Sicherheit zu erlangen, war es notwendig, an repräsentativen Flechtenstandorten vergleichende Messungen über die wichtigsten, das Flechtenwachstum beeinflussenden Faktoren durchzuführen. Dies konnte

am besten geschehen an einem Birnbaum, dessen Stamm Bestände aus allen 4 Grundeinheiten der Tab. 1 in verschiedenen (mikroklimatisch differenzierten) Expositionen trug, so dass auf sehr kleinem Raum die ökologischen Unterschiede, die durch diese Einheiten signifiziert werden können, gemessen werden konnten. Auf möglichst synchrone Messungen an den 5 Vergleichspunkten wurde der zuverlässigeren Vergleichbarkeit wegen Wert gelegt. Ausserdem galt besonderes Interesse der Erfassung von Tagesgängen an 13 für häufig wiederkehrende Klimasituationen beispielhaften Tagen, um zu ermitteln, welche Tageszeiten und besonderen Wetterlagen für signifikante ökologische Unterschiede am ehesten in Betracht kommen, aber auch, um das dynamische Verhalten der Flechten am natürlichen Standort besser kennenzulernen. Den Messstationen, von denen wir im folgenden einige Daten wiedergeben, entsprechen folgende soziologische Einheiten:

Messstation:	1	2	3	4	5
Einheit:	A	C ¹	C	B	D

A. Substrat (Borken-)eigenschaften

a. Wasserhaushalt: Wichtig zur Beurteilung am natürlichen Standort sind neben der Wasserkapazität auch dynamische Eigenschaften der Borke, z.B. die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme bei verschiedenartigen Niederschlägen – vgl. Abb. 1 und 2.

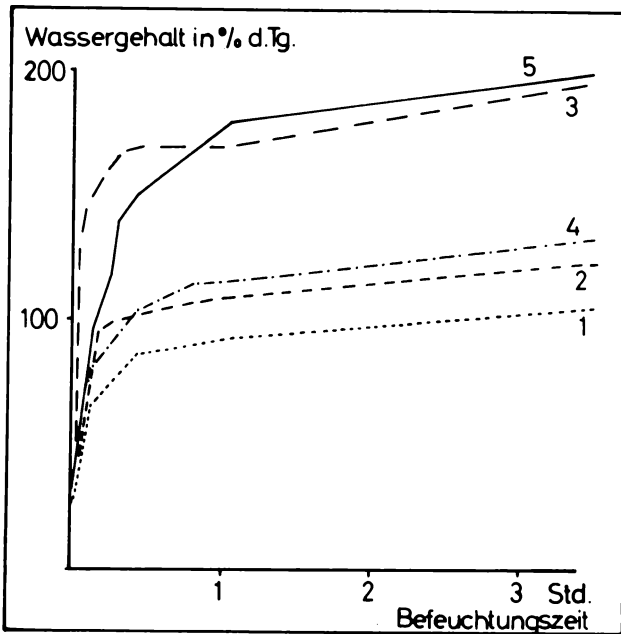


Abb. 1: Verlauf der Wasseraufnahme von Borkenproben an den 5 Messpunkten (in Wasser eingetaucht).

1. nur atypisch und fragmentarisch ausgebildet!

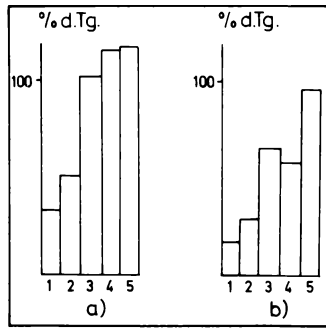


Abb. 2: Wasseraufnahme der Borke am natürlichen Standort während eines heftigen Gewitterschauers (a) und während einer Nacht mit Taufall (b).

b. Nährstoffhaushalt und pH: Auch hier genügen nicht blosse Nährstoffgehaltsbestimmungen bzw. pH-Messungen am Borkenmaterial, sondern man muss über die Verfügbarkeit der Nährstoffreserven am natürlichen Standort Bescheid wissen. Am zuverlässigsten sind Messungen an dem Stammabflusswasser, das Nährstoffe auf seinem Weg mehr oder weniger anreichert und damit die Flechten durchtränkt (globale Werte zum Nährstoffgehalt können durch Messung der Leitfähigkeit erhalten werden) – vgl. Tab. 4 und 5.

Tabelle 4: Vergleich der Leitfähigkeitswerte verschiedenartig hergestellter Borkenextrakte (100 ml H₂O/g Tg.) und des Stammabflusswassers der 5 Messpunkte (alle Messwerte in μ S).

Nr. des Messpunktes	1	2	3	4	5
a) Extraktion bei Zimmertemperatur (3 Tage)	81	112	55	75	50
b) Extraktion durch 5-minütiges Kochen	120	230	118	75	82
c) Stammabflusswasser	540	535	172	385	153
d) Anreicherungsfaktor des Stammabflusswassers gegenüber Extraktion bei Zimmertemperatur	6,7	4,8	3,1	5,1	3,1

Tabelle 5: Vergleich der pH-Werte von Borkenextrakt (100 ml H₂O/g Tg.) und Stammabflusswasser – Messung mit Glaselektrode –

Nr. des Messpunktes	1	2	3	4	5
Borkenextrakt	5,95	6,01	5,12	5,44	6,10
Stammabfluss + Niederschlag	6,52	6,64	4,80	5,21	6,19

B. Mikroklima :

a. Tagesgänge der Lichteinstrahlung (gemessen mit CdS-Photozelle): Es sind starke, in diesem Fall expositionsbedingte Unterschiede im Tagesverlauf zu erkennen – vgl. Abb. 3.

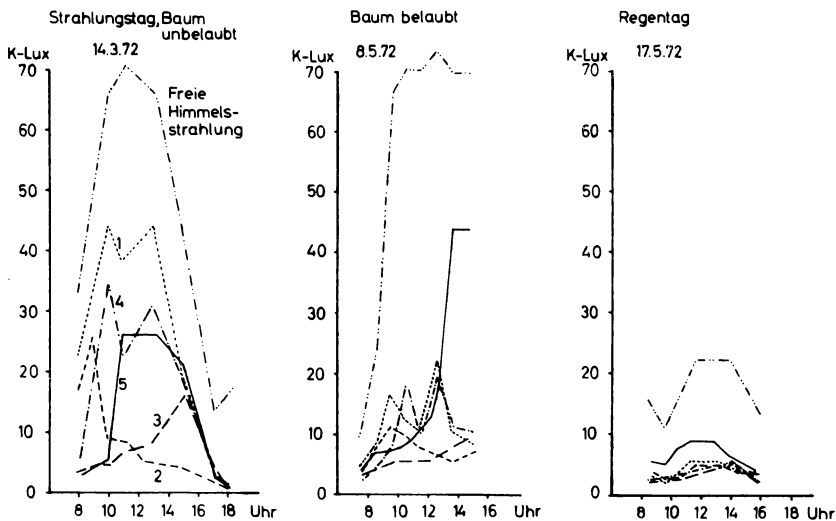


Abb. 3: Licht-Einstrahlung an den 5 Messpunkten an verschiedenen Tagen, a. Strahlungstag, Baum unbelaubt, b. Strahlungstag, Baum belaubt, c. Regentag.

b. Tagesgänge der Luft- und Oberflächentemperatur: Die Lufttemperatur (3 cm über der Borkenoberfläche) ist auch an Strahlungstagen ausgeglichener, als die Ober-

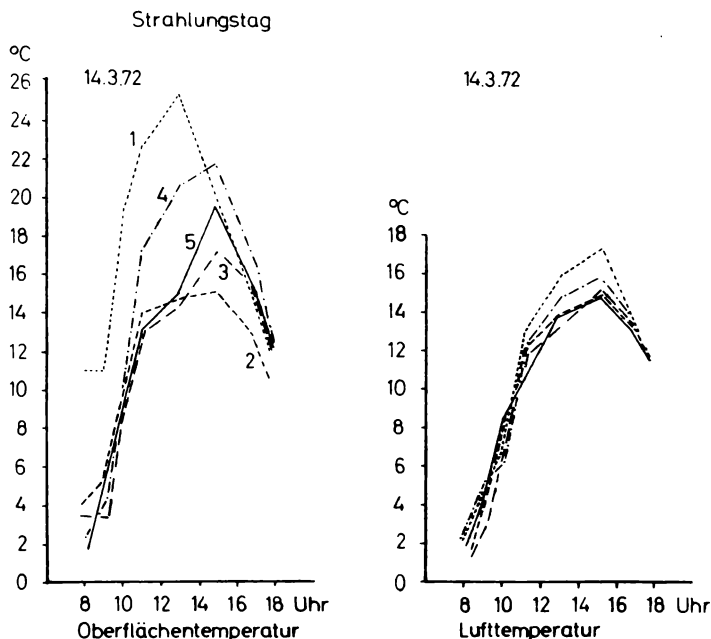


Abb. 4: Oberflächen- und Lufttemperatur an einem Strahlungstag.

flächentemperatur (gemessen mit NTC-Fühler nach KREEB 1964), die sich gemäss dem täglichen Strahlungsverlauf entwickelt und für die physiologischen Funktionen der Flechten ausschlaggebend sein dürfte. Der auffallende Temperaturverlauf bei Messpunkt 5 an bedeckten Tagen ist auf erhöhte Globalstrahlung (bedingt durch eine Beschädigung der Baumkrone über dem Messpunkt) zurückzuführen – vgl. Abb. 4.

c. Luftfeuchtigkeit, Niederschläge, Quellung der Flechten: Für die Stoffwechselbilanz der Flechten als poikilohyde Organismen ist besonders bedeutsam ihr Quellungszustand, da sie nur im feucht-gequollenen Zustand assimilieren und atmen. So waren Tagesgang-Messungen des relativen Wassergehaltes von besonderem Interesse – vgl. Abb. 5.

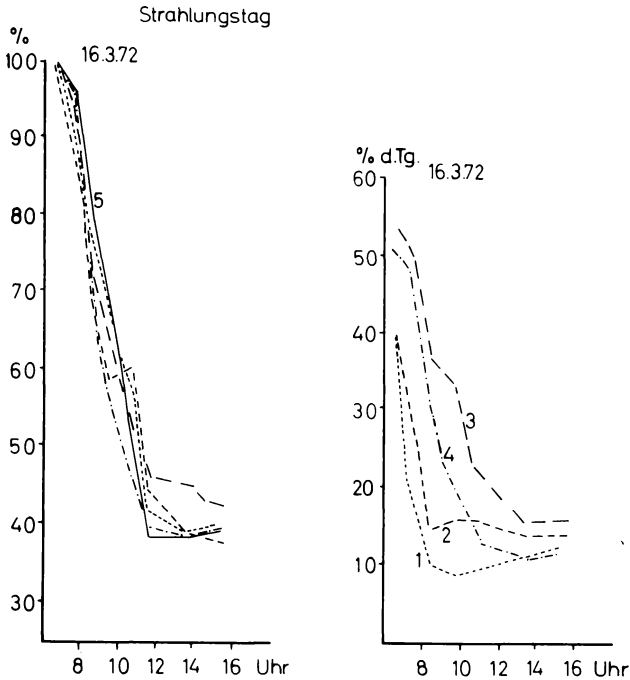


Abb. 5: a. Relative Luftfeuchte an einem Strahlungstag, b. Wassergehalt von *Parmelia physodes* am selben Tag.

Nachts nehmen die Flechten aus der meist wasserdampfgesättigten Luft bis zu 80% ihres Trockengewichtes Wasser auf, das nun je nach Strahlungsverlauf und daraus folgender Evaporation unterschiedlich schnell an den einzelnen Mikrostandorten abgegeben wird, bis bei etwa 15% d.Tg. der Wassergehalt erreicht ist, an dem Atmung und Assimilation zum Stillstand kommen. Dieses von LANGE und Mitarbeitern (BERTSCH 1966, LANGE 1969, LANGE & BERTSCH 1965, LANGE-SCHULZE-KOCH 1968) beschriebene Verhalten konnte durch eigene CO₂-Gaswechselfmessungen am natürlichen Standort (Feldmethode nach KREEB 1970, vgl. auch ZUNKER-KREEB 1970) bestätigt werden – vgl. Abb. 6.

schien erst nach mehrmaliger Einquellung im Laufe von vier Tagen restituiert zu sein. *Parmelia physodes* zeigte keine besondere Atmungsaktivierung, sie hatte gleich nach der ersten Einquellung eine positive Stoffbilanz; interessant ist jedoch, dass beide Arten auf das künstliche Verhindern nächtlicher Einquellung und Abkühlung (die Flechten wurden über Nacht vom Standort entfernt und in einem geheizten Raum aufbewahrt — vgl. Legende in Abb. 6) mit starkem Anstieg der Atmungsaktivität und Repression der Photosynthese antworteten. Dies zeigt, wie problematisch es ist, sich zur Beurteilung der Stoffproduktion am natürlichen Standort nur auf Labor-Messergebnisse zu stützen, denn es reagiert eine Flechte nicht nur schematisch auf verschiedene Standorts-Parameter, sondern es scheint nach unseren Beobachtungen ihre Reaktionsbereitschaft grundlegend auch vom Eintreten bestimmter klimatischer Abläufe (in diesem Fall periodische nächtliche Quellungsphasen) bestimmt zu werden.

Betrachtet man das Zusammenwirken der ökologischen Faktoren an den 5 Messpunkten, so lassen sich die bei der Interpretation der 4 soziologischen Grundeinheiten angestellten Vermutungen weitgehend bestätigen, wenn auch im einzelnen einige Besonderheiten zu verzeichnen sind, die sich aber aus den besonderen Standortverhältnissen jeweils sinnvoll erklären lassen (näheres bei SCHMIDT 1973).

4. Folgerungen für eine Kartierung der Flechtenvegetation

Aus der Vielzahl von Messergebnissen konnte eine Fülle von Aufschlüssen über das Verhalten der Flechten im ökologischen Faktorengefüge der untersuchten Standorte gewonnen werden. Im einzelnen darüber zu berichten, würde hier den Rahmen sprengen, und deshalb seien nur einige wesentliche Gesichtspunkte herausgegriffen.

Durch den täglichen Verlauf der Quellung wird die Stoffproduktionsleistung der Flechten am Standort in erster Linie bestimmt. Einquellung ist entweder nachts durch Wasserdampfaufnahme aus der Luft oder bei Niederschlägen möglich, und die Photosyntheseleistung hängt in der Hauptsache von den während dieser Quellungsphasen herrschenden sonstigen Bedingungen ab. Die nächtliche durch Atmung bedingte negative Stoffwechselbilanz kann nach den oben zitierten Berichten von LANGE und Mitarbeitern und nach unseren eigenen Schätzungen durch die aktive Phase in den frühen Morgenstunden in der Regel ausgeglichen werden, da die Wasserdampfsättigung so langsam absinkt, dass für die Flechten, sofern sie nicht unmittelbarer Strahlung während dieser Zeit ausgesetzt sind (daher trifft man kaum Flechtenbewuchs in E-Exposition!), noch eine ausreichende Photosynthese möglich ist.

Über der vergleichsweise oberflächenarmen Stadtgebieten verdunstet das nächtlich niedergeschlagene Tauwasser viel schneller, als über wiesen- oder waldreichem Gelände, so dass diese Zeit des "Stoffwechselbilanz-Ausgleichs" erheblich verkürzt wird und für die Flechten eine Hungersituation hervorgerufen wird, die noch verschärft ist dadurch, dass ja bekanntlich in den Städten die Temperaturen nachts weniger absinken als im Freiland und dadurch für die Flechten der Substanzverlust durch Atmung sich vergrößert. Auch Niederschläge können durch die Flechten in der Stadt aus ähnlichen Gründen nicht in dem Masse für eine Stoffproduktion ausgenutzt werden, wie das unter Freiland-Bedingungen der Fall ist.

Bei der Kartierung der mikroklimaabhängigen Flechtenvereine konnte deutlich ein Zusammenhang der Flechtenvegetation mit der Bewirtschaftungsform der Oberfläche gefunden werden. Obstwiesen in Waldgebieten beherbergten ausgesprochen

Flechtenbewuchs ableiten lässt. Sie ist die Synthese aus Karten der Flechtenvegetation, Artverbreitungskarten, Karten des Deckungsgrades und der Artenzahl pro Aufnameeinheit (vgl. auch die vor dem Abschluss stehende Dissertation). Wir geben folgende Erläuterungen zu Abbildung 7:

Schadenszone 1: Stärkst geschädigte Bestände ausserhalb der Stadtgrenzen. Selbst resistere, trockenheitsliebende Flechtenvereine sind an Arten stark verarmt.

Schadenszone 2: Stationen mit meist günstigen klimatischen Voraussetzungen und entsprechenden Flechtenvereinen, in denen die Artenzahl jedoch merklich vermindert ist. Vermutlich ist eine Entwicklung zum Zustand der Schadenszone 1 in Gang.

Schadenszone 3: Stationen mit nur schwach geschädigter Flechtenvegetation, d.h. empfindlichere Arten fehlen, Gesamtartenzahl jedoch kaum verringert.

Normalzonen: Stationen mit einer den jeweiligen klimatischen Verhältnissen entsprechenden Flechtenvegetation. Wie aus den Artverbreitungskarten hervorgeht, sind jedoch auch schon hier die empfindlichsten Arten im Rückgang begriffen.

Normalzone 1: Resistente Synusialgruppen trockener Gebiete, innerhalb derer aufgrund der hohen Resistenz keine den Schadenszonen 2 und 3 vergleichbare Immissionschadensdifferenzierung möglich ist.

Normalzone 2: mehr oder weniger mesophile Synusialgruppen.

Normalzone 3: hygrophile Synusialgruppen.

So war es durch eine stark differenzierte Betrachtungsweise möglich, auch Anhaltspunkte zu gewinnen über feinere Immissionschäden in stadtfüreren Bereichen, die bei den sonst üblichen Kartierungsmethoden als "normal" hätten deklariert werden müssen. Es steht jedoch ausser Zweifel, dass diese eingangs kritisch erwähnten Methoden im klimatisch mehr oder weniger homogenen engeren Stadtbereich voll berechtigt und durch ihre Unkompliziertheit bedeutend rationeller sind.

LITERATUR

- BARKMAN, J.J. (1958): Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Assen, 628 S.
- BARKMAN, J.J. (1963): De Epifyten-Flora en -Vegetatie van Midden-Limburg (België). *Verh. Kon. Akad. Wet. Afd. Natuurk. 2 Reeks*, 54: 1–46.
- BERTSCH, A. (1966): Über den CO₂-Gaswechsel einiger Flechten nach Wasserdampfaufnahme. *Planta* 68: 157–166.
- DOMRÖS, M. (1966): Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den Flechtenbewuchs der Bäume. Bonn.
- ELLENBERG, H. (1954): Wuchsklimakarte von Baden-Württemberg 1:200 000. Stuttgart.
- GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht Braunschweig, 4. Aufl.: 646 S.
- HAUGSJA, P.K. (1930): Über den Einfluss der Stadt Oslo auf die Flechtenvegetation der Bäume. *Nyt. Mag. Naturvidensk.* 68: 1–116.
- JÜRGING (1972): Flechten – Bioindikatoren der Luftverunreinigung. In: „Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen“, *Tagungsbericht d. Ges. f. Ökologie*, Giessen: 141–146.
- KIRSCHBAUM, U. (1972): Flechtenkartierungen in der Region Untermain zur Erfassung von Immissionsbelastungen. Ebenda: 133–140.
- KLIMA-ATLAS von Baden-Württemberg (1953) – Hrsg.: *Deutscher Wetterdienst*, Bad Kissingen.
- KREEB, K.H. (1954): Phänologische Untersuchungen auf kleinem Raum. 1) Allgemeiner Teil. *Meteorol. Rundschau* 7 (5/6): 95–100.
- KREEB, K.H. (1954): Phänologische Untersuchungen auf kleinem Raum. *Meteorol. Rundschau* 7 (7/8): 133–137.
- KREEB, K.H. (1964): Zur Methodik der NTC-Temperaturmessung und Tagesgänge der Blatt-

- temperatur bei immergrünen Macchienpflanzen Südfrankreichs. In: K. KREEB (Hrsg.): *Beitr. z. Phytologie*, Stuttgart: 50–58.
- KREEB, K.H. (1970): Eine Feldmethode zur Abschätzung des CO₂-Gaswechsels. *Photosynthetic* 4 (2): 158–161.
- KREEB, K.H., E. BAUER, B. DJALALI, W. EHMKE & R. SCHMIDT (1973): Untersuchungen zu biologisch-ökologischen Indikationen der Umweltbelastung im Ballungsraum Stuttgart. *Hohenheimer Arbeiten*: 1–54.
- KUNZE, M. (1972): Emittentenbezogene Flechtenkartierung aufgrund von Frequenzuntersuchungen. *Oecologie (Berl.)* 9: 123–133.
- LANGE, O.L. (1969): Experimentell-Ökologische Untersuchungen an Flechten der Negev Wüste. I: CO₂-Gaswechsel von *Ramalina maciformis* (Del.) Bory unter kontrollierten Bedingungen im Laboratorium. *Flora B* 158: 324–359.
- LANGE, O.L. & A. BERTSCH (1965): Photosynthese der Wüstenflechte *Ramalina maciformis* nach Wasserdampfaufnahme aus dem Luftraum. *Naturw.* 52: 215–216.
- LANGE, O.L., E.D. SCHULZE & W. KOCH (1968): Photosynthese von Wüstenflechten am natürlichen Standort nach Wasserdampfaufnahme aus dem Luftraum. *Naturw.* 55: 568–569.
- LE BLANC, F. & J. DE SLOOVER (1970): Relation between industrialisation and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. Bot.* 48: 1485–1496.
- SAUBERER, A. (1951): Die Verteilung rindenbewohnender Flechten in Wien, ein bioklimatisches Grosstadtproblem. *Wetter und Leben* (Wien) 3: 116–121.
- SCHMIDT, R. (1973): Ökologische Untersuchungen an epiphytischen Flechtenstandorten. Unveröff. Staatsexamensarbeit, Stuttgart-Hohenheim, 100 S.
- STEINER, M. & D. SCHULZE-HORN (1955): Über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn. *Decheniana* 108 (1): 1–16.
- VARESCHI, V. (1936): Die Epiphytenvegetation von Zürich. *Ber. schweiz. Bot. Ges.* 46: 445–488.
- VILLWOCK (1962): Der Stadteinfluss Hamburgs auf die Verbreitung epiphytischer Flechten. *Abh. u. Verb. Naturwiss. Ver. Hamburg NF.* 6.
- WILMANN, O. (1962): Rindenbewohnende Epiphytengemeinschaften in Südwestdeutschland. *Beitr. naturk. Forsch. SW-Deutschl.* 21: 87–164.
- ZUNKER, E. & K. KREEB (1970): Untersuchungen zur potentiometrischen Messung der Photosyntheserate. *Ber. Dt. Bot. Ges.* 83 (5/6): 245–257

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. K. KREEB, Studienref. R. SCHMIDT, Abteilung für Ökophysiologie und Vegetationskunde, Universität Hohenheim, 7 Stuttgart 70 (Hohenheim), Schloss 1, West Germany.