Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Saarbrucken 1973.

VEGETATIONSANALYTISCHE UND EXPERIMENTELL - ÖKOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS DER LUFTVERUNREINIGUNG AUF RINDENBEWOHNENDE FLECHTEN

R. NOWAK

Abstract

In a relatively pollution-free forest and 4 forests varying in the degree of air pollution in the Schönbuch area (near Stuttgart, B.R.D.), the corticolous lichen vegetation was investigated on 490 beech and oak trees. With the help of importance values, the characteristics of the lichens in the forests and their zones were analyzed. The influence of the physical and biological properties of the tree bark, the forest zones and the degree of air pollution on the lichenous vegetation was established with the aid of correlation diagrams based on positive associations using the Exact FISHER Test.

After processing by specially-developed pre-treatment procedures, the intraspecific variations in the efficiency of the CO_2 gas metabolism in relation to the diverse forest zones, the position of the lichens on the trees, the physical and biological properties of the bark and the ages of the various lichens were determined and compiled. The course of damage by air pollution to a lichen with regard to the gas metabolism is described. The large intraspecific variation of the light compensation point, its dependence on the light reception and its variability complicate the measurement of seasonal changes.

Einleitung

Seit GRINDON (1859) in Lancashire und NYLANDER (1866) in Paris beobachteten, dass Flechten empfindlich auf Luftverunreinigung reagieren, sind mehr als 200 Publikationen über die Problematik Flechten und Luftverunreinigung erschienen. Die Mehrzahl der Arbeiten befasste sich mit der Kartierung der Flechtenvegetation in den Grossstädten (FERRY, BADDELEY & HAWKSWORTH 1973). In neuerer Zeit kamen Arbeiten hinzu, welche die Problematik mehr experimentell angingen durch Flechtentransplantationen (SCHÖNBECK 1966), durch Experimente mit Flechten und luftverunreinigenden Stoffen (GILBERT 1971) und durch Gasstoffwechselmessungen (FARRAR 1973). Dagegen wurde die Flechtenvegetation in naturnahen Öko-systemen, z.B. Wäldern, unter zivilisatorischen Aspekten nur selten erfasst (BARKMAN 1963, WILMANNS 1966).

In diesem Referat möchte ich von einigen Arbeitsergebnissen berichten, denen folgende Fragestellung zugrunde lag:

1. Eine Analyse der rindenbewohnenden Flechtenvegetation an Rotbuchen und Eichen in einem relativ luftreinen Laubwald und verschiedenen luftverunreinigten Laubwäldern im Schönbuch.
2. Messungen des CO_2-Gasstoffwechsels an dort vorkommenden Laub- und Strauchflechten, um die inter- und intraspezifische Variation des Gasstoffwechsels dieser Flechten sowie den Einfluss der Luftverunreinigung auf ihren Gasstoffwechsel kennenzulernen.

Untersuchungsgebiete

Der Schönbuch, ein bewaldetes Keuperbergland zwischen Stuttgart und Tübingen, erwies sich im Sinne der Fragestellung am geeignesten, da in ihm 5 Untersuchungsgebiete (Abb. 1) ausgesucht werden konnten, die in folgenden Kriterien gute Übereinstimmung zeigten:

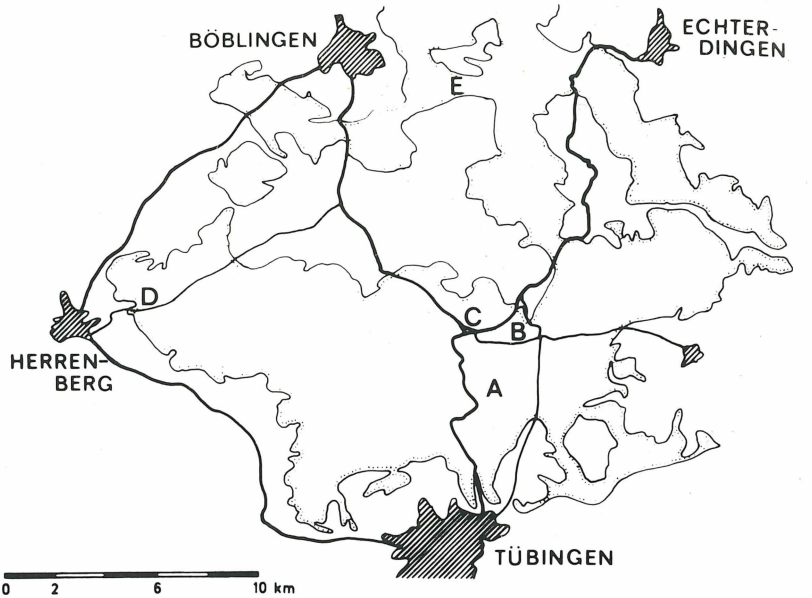

Abb. 1. Die Lage der Untersuchungsgebiete im Schönbuch

a) Buchen-Eichenwald ohne oder mit nur geringem Jungholzbestand
b) Tiefe der Eichen- und Buchenbestände: mehr als 60 m
c) Mindestens 50 Eichen und 50 Buchen pro Untersuchungsgebiet
d) Alter der Eichen und Buchen: 100–140 Jahre
e) Flacher oder nur wenig geneigter Waldboden
f) Südexposition des Waldrandes mit niedriger vorgelagerter Vegetation.

Die Untersuchungsgebiete unterscheiden sich vor allem in der Art und Intensität der Umweltbelastung:

Das Gebiet A kann als relativ luftrein bezeichnet werden, da die nächste Luftverunreinigungsquelle, die Bundesstrasse 27, 550 m entfernt ist. Das Gebiet B erstreckt sich nördlich einer nach der Verkehrsklasseneinteilung des Verkehrsministeriums schwach bis mittel belasteten Landstrasse, so dass die Luftverunreinigung durch Autoabgase im Gebiet B gering ist. Das Gebiet C stellt eine grosse dreiseitige Verkehrsinsel dar mit den stark belasteten Bundesstrassen 27 im Süden und 464 im Westen sowie der Verbindungsstrasse im Osten, es ist daher durch Autoabgase stark luftverschmutzt. Das Gebiet D liegt im Süden eines Müllplatzes, der seit 1963 von der Stadt Herrenberg aufgefüllt wird. Bis Ende 1972 waren Müllverbrennungen üblich, weshalb die Umweltbelastung des Gebietes D 10 Jahre lang stark war. Das

Gebiet E grenzt im Süden an das Industriegebiet von Schönaich. Seit 1965 steht 30 m vor dem Gebiet eine Bitumenmischanlage, deren Emissionen über einen 20 m hohen Schlot nach aussen gelangen. Es ist mit einer starken SO_2-Belastung des Untersuchungsgebietes zu rechnen.

Vegetationsanalyse

Die Untersuchungsgebiete wurden in 5 Zonen parallel zum Waldrand eingeteilt: Zone 1: 0–2 m, Zone 2: 3–10 m, Zone 3: 11–20 m, Zone 4: 21–40 m und Zone 5: über 40 m. In jeder Zone eines Untersuchungsgebietes wurden 10 Buchen und 10 Eichen rein zufällig oder mit systematischen Stichproben ermittelt. Im Gebiet C konnten nur 8 Eichen pro Zone ausgesucht werden, die den Aufnahmebedingungen entsprachen, so dass die Gesamtzahl der untersuchten Bäume 490 beträgt. Die Aufnahme der Flechtenvegetation erfolgte mit Methoden der Vegetationsanalyse (GREIG-SMITH 1964, HURKA & WINKLER 1973).

Auf die Artenliste (es wurden 48 Arten bestimmt), die relative Frequenz der Arten und auf drei die Flechtenvegetation kennzeichnende Parameter, die Arten-

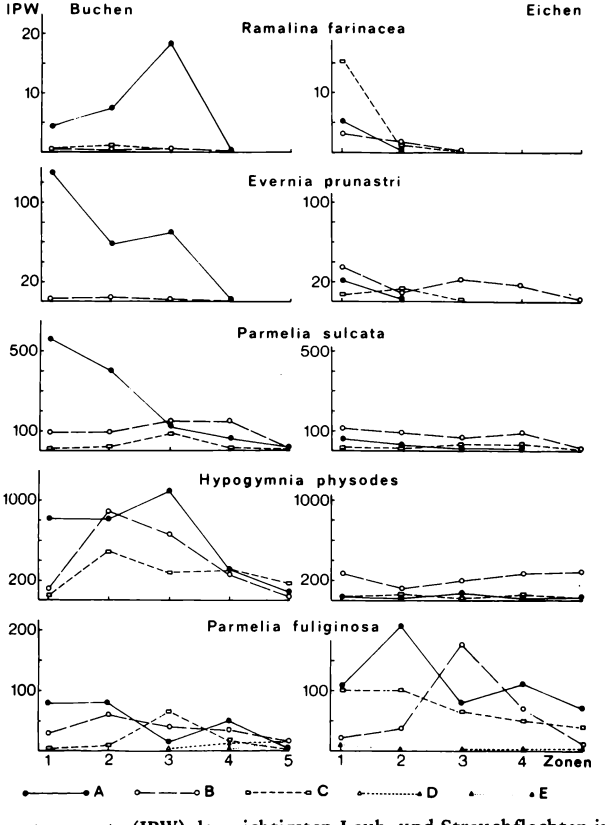

Abb. 2. Die Importanzwerte (IPW) der wichtigsten Laub- und Strauchflechten in den Zonen (1–5) der Untersuchungsgebiete A, B, C, D und E

und Individuenzahl und den Deckungsgrad, wird hier nicht eingegangen, sondern gleich einige Ergebnisse über die Bedeutung der wichtigsten Laubflechten in den Untersuchungsgebieten erwähnt. Die Bedeutung der Arten in den Gebieten wurde mit einem Parameter, dem Importanzwert (BROWN & CURTIS 1952), beschrieben. Nachdem sich die Individuenzahl als ein zu subjektives Kriterium (vgl. BESCHEL 1955) erwiesen hatte, wurde der Importanzwert hier durch das Produkt aus relativer Frequenz und Deckungsgrad berechnet.

Abb. 2 zeigt die auf die Zonen gemittelten (n = 10) Importanzwerte der wichtigsten Laub- und Strauchflechten in den 5 Untersuchungsgebieten. Auf den unterschiedlichen Massstab des Importanzwertes (IPW) bei den einzelnen Arten ist zu achten. Die Ergebnisse von Hypogymnia physodes sollen kurz kommentiert werden. Hypogymnia physodes ist sehr anpassungsfähig und durchsetzungskräftig: tritt an Eichen und Buchen der Gebiete A, B und C in allen Zonen mit hohen Importanzwerten auf, an Buchen dort meist vegetationsbestimmend; optimales Vorkommen an Standorten, die Lichtfluktuation und Feuchte bieten: an Buchen im Gebiet A in Zone 3, in den Gebieten B und C in Zone 2; empfindlich gegen Luftverunreinigung: kommt in den Gebieten D und E nur selten in Zone 5 vor.

Im nächsten Punkt soll auf die Ergebnisse der Vegetationsanalyse in bezug auf die Artenkorrelationen in der Flechtenvegetation der Untersuchungsgebiete einge-

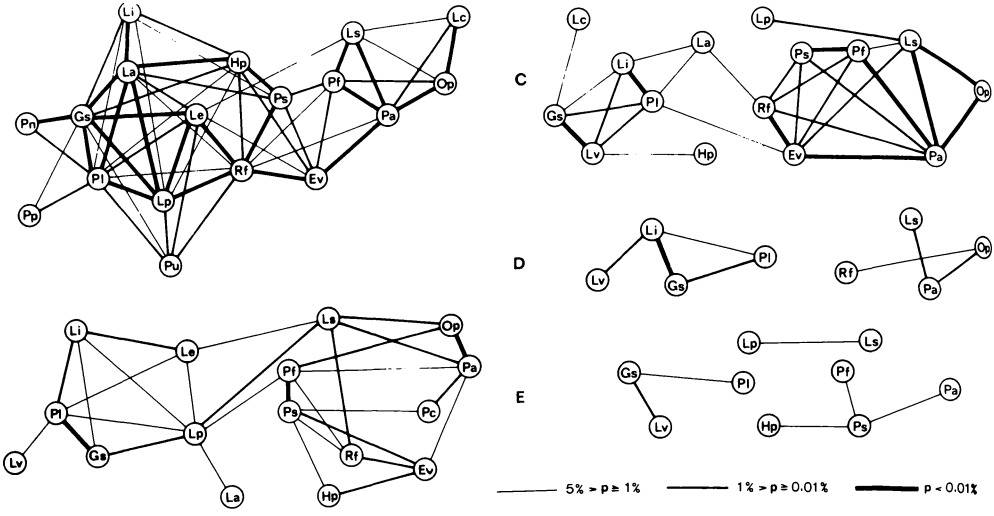

Abb. 3. Die Korrelationsdiagramme der Flechtenvegetation der Untersuchungsgebiete A, B, C, D und E

Folgende Arten sind in Abb. 3 angeführt:

Ev = Evernia prunastri (L.) ACH.	Op = Opegrapha viridis PERS.
Gs = Graphis scripta (L.) ACH.	Pc = Parmelia caperata (L.) ACH.
Hp = Hypogymnia physodes (L.) NYL.	Pf = Parmelia fuliginosa (FR.) NYL.
Li = Lecanora intumescens (REBENT.) RBH.	Ps = Parmelia sulcata TH. TAYL.
La = Lecanora pallida (SCHREB.) RBH.	Pa = Pertusaria amara (ACH.) NYL.
Ls = Lecanora subfuscata H. MAGN.	Pl = Pertusaria leioplaca (ACH.) DC.
Lv = Lecanora varia f.pityrea(ERICHS.)GRUMM.	Pp = Pertusaria pertusa (L.) TUCK.
Le = Lecidea elaeochroma (ACH.) ACH.	Pu = Pertusaria pustulata (ACH.) DUBY.
Lp = Lecidea parasema (ACH.) ACH.	Pn = Pyrenula nitida (WEIG.) ACH.
Lc = Lepraria candelaris (L.) FR.	Rf = Ramalina farinacea (L.) ACH.

gangen werden. In Abb. 3 sind die Korrelationsdiagramme (NOWAK & WINKLER 1970) der 5 Gebiete dargestellt, die sich aufgrund der positiven Assoziationen des Exakten FISHER-Tests (1948) ergeben.

Das Korrelationsdiagramm des Gebietes A zeigt, dass hier die Arten am stärksten und differenziertesten korreliert sind. Die Artenanordnung spiegelt in erster Linie den Substrateinfluss (d.h. Eichen- bzw. Buchenrinde) wider. Die links angeordneten Arten sind nur auf Buchen, die rechts angeordneten nur auf Eichen zu finden. Als Verbindungsgruppe treten die relativ substratunabhängigen Laub- und Strauchflechten auf. In der Buchengruppe lässt sich als zweiter horizontaler Gradient der Einfluss der Zonierung verfolgen, ganz links stehen Artengruppierungen, die vor allem im Waldinnern vorkommen, zur Mitte hin diejenigen, die ihren Schwerpunkt am Waldrand aufweisen. Ein Vergleich der Korrelationsdiagramme der Gebiete A und B zeigt, dass im Gebiet B die Anzahl und Intensität der Assoziationen abgenommen haben, während die Anzahl der Arten fast gleichblieb. Auch in der Artenanordnung des Gebietes B dominiert der substratspezifische Einfluss. Im Korrelationsdiagramm des Gebietes C setzen sich die aufgezeigten Tendenzen fort. Die wenigen positiven Assoziationen der Flechtenvegetation der Gebiete D und E können nur mit Hilfe des Vergleichs mit den obigen Artengefügen angeordnet und interpretiert werden. Im Gebiet D stehen die Buchen- und Eichengruppen nicht mehr miteinander in Verbindung, eine Folge des Rückgangs der Laubflechten in diesem Gebiet. Am weitesten ist die Zersplitterung der Gruppen im Gebiet E fortgeschritten. Den Rest der Buchengruppe stellen die drei durch zwei Assoziationen verbundenen Arten Graphis scripta, Pertusaria leioplaca und Lecanora varia dar. Die Eichengruppe ist völlig aufgelöst.

Somit kann festgestellt werden, dass mit Hilfe der Interpretation der Korrelationsdiagramme der Einfluss des Substrats und der Zonen auf die Flechtenvegetation der Untersuchungsgebiete erfasst und die Reaktionen der Flechtenvegetation in den luftverunreinigten Gebieten nachgewiesen werden konnte.
Damit möchte ich den vegetationsanalytischen Teil beschliessen und auf einige Ergebnisse der Gasstoffwechselmessungen eingehen.

Experimenteller Teil

Die CO_2-Gasstoffwechselmessungen wurden im Labor mit einem UNOR (MAIHAK AG, Hamburg) in Klimakammern durchgeführt. Aufgrund der detaillierten Zielsetzungen mussten Fragen der Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Aus den Literaturangaben zur Vorbehandlung des Versuchsmaterials, von STOCKER (1927) bis HARRIS (1971), konnte geschlossen werden, dass die Flechten relativ unempfindlich in ihrer Gasstoffwechselleistung gegenüber der Art der Behandlung vor und während der Versuchsserien sind. Daher wurden die beiden ersten Versuchsserien zur Messung der Photosynthese in Abhängigkeit von der Lichtintensität bzw. Temperatur wie folgt durchgeführt: Die Versuchsproben wurden nach der Entnahme am Standort drei Tage in Klimakammern bei 10° C im 12:12 Stunden Licht- (4000 Lux) Dunkel-Wechsel und einer täglichen Besprühung mit Wasser behandelt. Danach erfolgte bei gleicher Weiterbehandlung täglich die Messung der Photosynthese und Dunkelatmung bei einer bestimmten Faktoren-

konstellation. Abb. 4 gibt die Ergebnisse dieser Versuchsserien für *Hypogymnia*

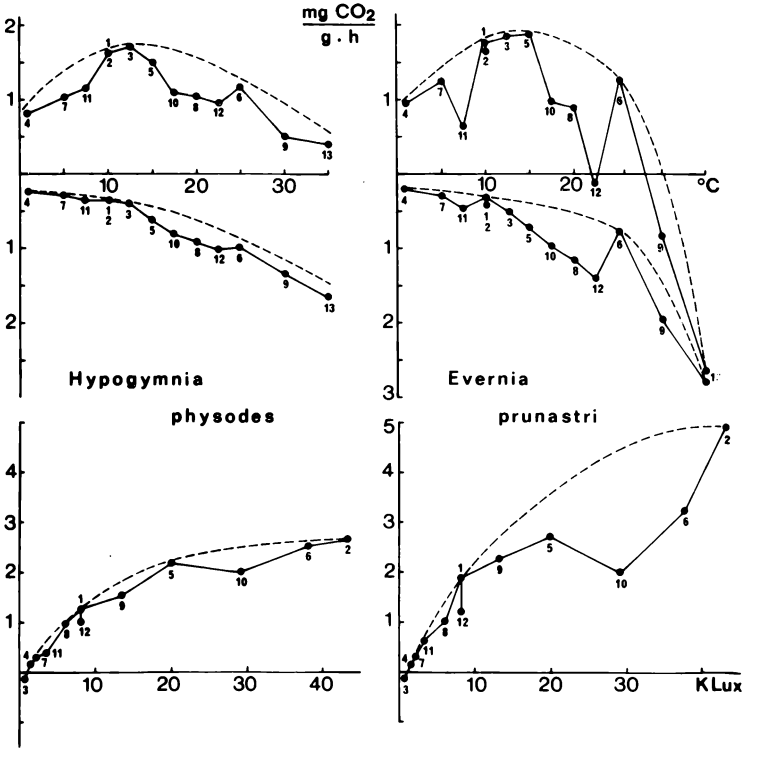

Abb. 4. Ergebnisse der beiden ersten Versuchsserien zur Bestimmung des Gasstoffwechsels (auf der Abszisse nach oben die apparente Photosynthese, nach unten die Dunkelatmung) in Abhängigkeit von der Temperatur (auf den Ordinaten der oberen Diagramme) und der Lichtintensität (auf den Ordinaten der unteren Diagramme); weitere Erklärung im Text

physodes und *Evernia prunastri* wieder. Die Messungen des Gasstoffwechsels in Abhängigkeit von der Temperatur erfolgten bei 8000 Lux, die der Lichtintensität bei 10° C. In Abb. 4 wurde unter die Messwerte der Tag der Messung geschrieben. Es ist offensichtlich, dass die Messproben mit der Zeit in ihrer Gasstoffwechselaktivität nachliessen. Dieser Effekt trat bei Evernia prunastri stärker in Erscheinung als bei Hypogymnia physodes. Bei Berücksichtigung eines Korrekturwertes für den Aktivitätsrückgang konnten korrigierte Kurven (in Abb. 4 gestrichelt) eingezeichnet werden, doch erschien dieses Verfahren zu ungenau. Es wurden daher u.a. 14-tägige Versuchsserien angesetzt, bei denen durch Variation der Behandlungsbedingungen die Optima der Laubflechten hinsichtlich der Beständigkeit der Gasstoffwechselleistung ermittelt wurden. Allen Serien gemeinsam war der 12:12 Stunden Licht-Dunkel-Wechsel und die tägliche Messung der Photosynthese bei 10° C und 8000 Lux sowie der Dunkelatmung bei 10° C. Das Versuchsmaterial wurde für alle Versuchsserien dem gleichen Standort entnommen. In Tab. 1 wurden die Ergebnisse aller Vorbehandlungsserien zusammengefasst. Es wurden 4 Ver-

Arten	Temperatur (°C)				Feuchte			Lichtstärke (Lux)	
	7,5	10	12,5	15	t	t-f	f	5000	7200
Hypogymnia physodes WR	+	+	+	±	+	+	±	+	+
Hypogymnia physodes WM	±	±	+	±	+	±	±	±	+
Parmelia caparata	-	-	±	+	±	±	+	±	+
Usnea spec.	±	±	-	-	-	±	+	±	+
Ramalina farinacea	-	±	±	-	-	±	±	±	+
Evernia prunastri	-	±	±	-	±	±	+	±	+
Parmelia sulcata	-	±	±	-	±	-	-	-	±
Parmelia fuliginosa	-	-	±	±	-	-	±	±	-

Tab. 1. Die Ergebnisse der 14tägigen Vorbehandlungsserien; Erklärung im Text

suchsserien mit unterschiedlichen Lagerungstemperaturen (7,5°, 10°, 12,5° und 15° C) bei sonst konstanten Bedingungen (trockenfeuchte Lagerung mit 5000 Lux in der Hellphase), 3 Versuchssemen mit unterschiedlich feuchter Lagerung (lufttrockene,trocken-feuchte und feuchte Lagerung bei 10°C und 5000 Lux in der Hellphase) und 2 Versuchsserien mit unterschiedlicher Lichtstärke in der Hellphase (5000 und 7200 Lux bei trocken-feuchter Lagerung bei 10° C) durchgeführt. + bedeutet in Tab. 1 eine gute, ± eine mittelmässige und – eine ungenügende Beständigkeit der Photosyntheseleistung während der 14tägigen Versuchsserie.

Die in Tab. 1 zusammengestellten Ergebnisse sind in zweifacher Hinsicht von Bedeutung: Zum einen kennzeichnen sie für die einzelnen Arten die optimalen klimatischen Bedingungen zur Erhaltung der Leistungsfähigkeit des Photosyntheseapparats und erlauben, diese mit der tatsächlichen Verbreitung der Arten in Beziehung zu setzen, zum andern lassen sie Folgerungen zur Vorbehandlung der Flechten zu. Wir wollen nur den letzten Punkt betrachten.

Bei den folgenden Versuchsserien wurden die einzelnen Arten bei den für sie günstigsten Lagerungsbedingungen gehalten. Dadurch könnten bei *Hypogymnia physodes* und *Parmelia caperata* schon 14tägige Messerien mit einer Probe durchgeführt werden, während bei Ramalina farinacea und Evernia prunastri, vor allem aber bei Parmelia sulcata und Parmelia fuliginosa die Beständigkeit des Gasstoffwechsels nicht befriedigen würde.

Als Vergleichsbasis kommen in dieser Arbeit nur die Gasstoffwechselaktivitäten in Betracht, welche die Flechten zu einer bestimmten Jahreszeit am Standort besitzen (STOCKER 1927). Dieser Wert kann bei Parmelia sulcata und Parmelia fuliginosa bei den angewandten Behandlungsmethoden meist nur in den ersten drei Tagen gemessen werden. Andererseits kann dieser Wert durch die Wetterlage vor der Probenentnahme beeinflusst werden. Messserien, welche die Beständigkeit der Photosyntheseleistung während der ersten 5 Tage nach der Entnahme zu verschiedenen Jahreszeiten verfolgten, ergaben, dass bei den untersuchten Flechten ein hemmender Effekt nur nach für unser Klima aussergewöhnlichen Wetterlagen (6tägige Kälte- oder 7tägige Trockenperiode) in Erscheinung trat. Die intraspezifischen Vergleichsmessungen wurden daher vom 1. bis zum 3. Tag nach der Entnahme

durchgeführt. Tägliche Kontrollmessungen überwachten die Photosyntheseleistung. Um eventuelle Fehler durch jahreszeitliche Änderungen des Gasstoffwechsels zu vermeiden, wurden die intraspezifischen Vergelichsmessungen nur im Frühjahr vorgenommen.

Bevor auf die intraspezifische Variation eingegangen wird, sollen kurz einige Angaben zur Photosynthese und Ökologie der Flechten in bezug auf den Wasserfaktor gemacht werden. Die untersuchten Flechten zeigten im Hinblick auf die Photosyntheseleistung in Abhängigkeit vom Wassergehalt und hinsichtlich der Wasserdampfaufnahme leichte strukturelle Anpassungen an die bevorzugten Standorte. Für ökologisch relevanter werden die zusätzlichen Wasserquellen erachtet, deren Einfluss auf den Wassergehalt der Flechten am Standort Tab. 2 wiedergibt. Als zusätzliche Wasserquellen werden hier alle Einrichtungen bezeichnet, die den Flechten eine bessere Wasserversorgung als die glatte Buchenrinde ermöglichen. In Tab. 2 sind die

Arten	Buche	Exposition	Zusätzliche Wasserquellen	Wassergehalt (% d.Tr.Gew.)
Hypogymnia physodes	X	S	keine	31
Hypogymnia physodes	X	N	keine	90
Hypogymnia physodes	Y	S	dicke Grünalgenschicht Astansatz in 2 m Höhe	165
Hypogymnia physodes	Y	N	dicke Grünalgenschicht Astansatz in 2 m Höhe	170
Hypogymnia physodes	Z	S	dicke Grünalgenschicht Astansatz in 2 m Höhe rissige Rinde	239
Evernia prunastri	X	S	Polsterwuchs	146

Tab. 2. Der Einfluss zusätzlicher Wasserquellen auf den Wassergehalt der Flechtenthalli am Standort; Erklärung im Text

Ergebnisse von Standortsmessungen des Wassergehalts an Thalli von *Hypogymnia physodes* und *Evernia prunastri* von drei nebeneinanderstehenden Waldrandbuchen im Gebiet A am 30. 5. 1973 um 9.00–9.30 Uhr (Lufttemperatur 15,5 – 15,8° C und 70 % relative Luftfeuchtigkeit) zusammengefasst. In der Nacht hatte es bis gegen 6.30 Uhr geregnet, zur Messzeit schien die Sonne.

Diese Messergebnisse geben eine Vorstellung des Einflusses zusätzlicher Wasserquellen auf den Wassergehalt der Flechten am Standort. Der Wasserfaktor wird bei der Kennzeichnung der intraspezifischen Variation insofern berücksichtigt, als die Gasstoffwechselmessungen im Bereich des optimalen Wassergehalts der Arten durchgeführt werden.

Die intraspezifische Variation der Gasstoffwechselleistung wurde bei den Laubflechten mit der oben dargelegten Methode untersucht. Dazu wurde für jede Flechtenprobe eine Temperatur-Kennlinie aufgestellt durch Messung der Photosynthese (bei 8000 Lux) und der Dunkelatmung bei 2°, 10°, 20° und 28° C, sowie eine Lichtintensitäts-Kennlinie (bei 10° C) durch Bestimmung der Photosynthese bei 8 standardisierten Lichtintensitäten (500, 1200, 2800, 8000, 14000, 21000, 32000 und 45000 Lux). Der Lichtkompensationspunkt (bei 10° C) wurde z.T. noch durch Zusatzmessungen und Interpolation ermittelt.

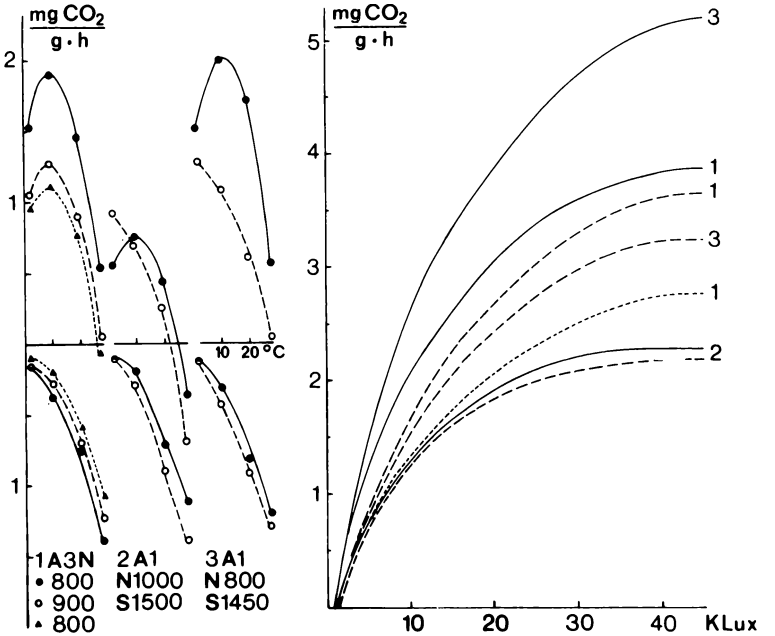

Abb. 5. Einige Messergebnisse der intraspezifischen Variation der Gasstoffwechselleistung von Hypogymnia physodes; Erklärung im Text

Abb. 5 gibt einige Ergebnisse der Messungen der intraspezifischen Variation der Gasstoffwechselleistung bei Hypogymnia physodes wieder. Die angegebenen Werte stellen in der Regel Durchschnittswerte von 2 – 3 gleichen Flechtenproben dar. In die Lichtintensitätskennlinien wurden der Übersichtlichkeit halber die Messpunkte nicht eingezeichnet. Die Beschriftung bei den Temperatur-Kennlinien folgt dem Schema:

a) Die laufende Nummer der Probe oder der zusammengefassten Proben. Sie dient auch zur Kennzeichnung der zugehörigen Lichtintensitäts-Kennlinie.
b) Das Untersuchungsgebiet: A, B, C, D oder E
c) Die Zone: 1, 2, 3, 4 oder 5
d) Die Exposition: N, S, W oder O
e) Der Lichtkompensationspunkt bei 10° C.

Exemplarisch sei hier die Altersabhängigkeit des Gasstoffwechsels bei Hypogymnia physodes vorgestellt (Nr. 1 in Abb. 5). Es werden 3 Altersstufen unterschieden: junge Individuen (mittlerer Durchmesser 1 cm, durchgezogene Linie), mittelalte Individuen (mittlerer Durchmesser 2,5 cm, gestrichelte Linie) und alte Individuen (mittlerer Durchmesser 5 cm, punktierte Linie). Alle Proben entstammen derselben Exposition einer Buche des Untersuchungsgebietes A. Es ist ersichtlich, dass der Gasstoffwechsel bei allen untersuchten Temperaturstufen und Lichtintensitäten mit dem Alter nachlässt. Diese Beziehung musste bei den weiteren Proben beachtet werden.

In bezug auf die intraspezifische Variation des Gasstoffwechsels in Abhängigkeit

von der Zonierung, Exposition und vom Substrat wurden folgende Ergebnisse erzielt:

a) Am Waldrand weisen Laubflechten an Bäumen mit zusätzlichen Wasserquellen, vor allem in Nordexposition (Abb. 5, Nr. 3), eine 2–3 fach höhere Assimilationsleistung auf als an glattrindigen Buchen (Abb. 5, Nr. 2); zur Waldmitte hin gleichen sich diese Unterschiede fast aus.

b) Die Nord- (Abb. 5, Nr. 3 durchgezogene Linie) bzw. Südformen (Abb. 5, Nr. 3 gestrichelte Linie) weisen am Waldrand z.T. grosse Unterschiede (Faktor 2 bis 3) in der Photosyntheseleistung auf; in der Waldmitte gleichen sich diese Unterschiede aus.

c) Die Zonen des Gebietes A, in denen die Laubflechten optimale Gasstoffwechselleistungen und optimale Importanzwerte zeigen, stimmen überein.

d) Die intraspezifische Variation der Gasstoffwechselleistung in Wäldern, nimmt bei den Laubflechten solche Ausmasse an, dass der Mikrostandort (Substrat, Zone, Exposition) als Grundlage des interspezifischen Vergleichs dienen muss.

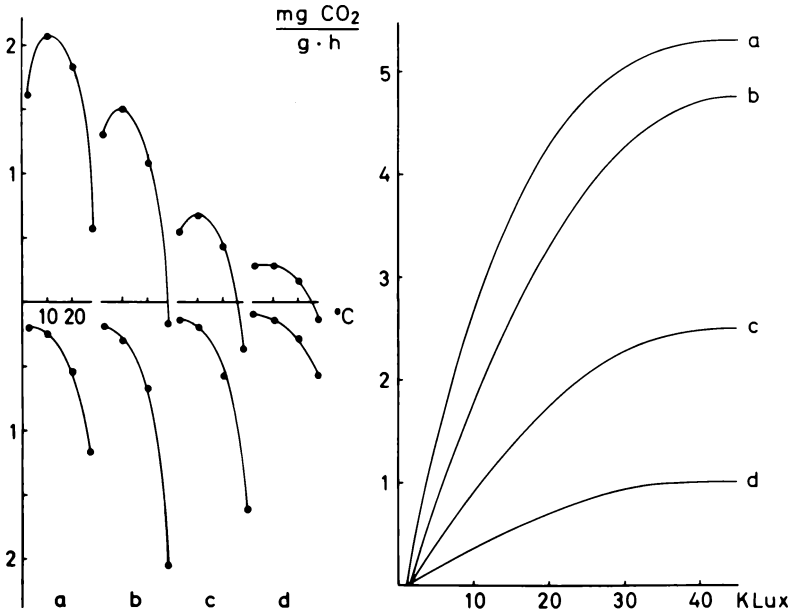

Abb. 6. Schädigungsphasen des Gasstoffwechsels bei Laubflechten; Erklärung im Text

In Abb. 6 wurde der sich aus den gesamten Gasstoffwechselmessungen ergebende Verlauf der Schädigung des Gasstoffwechsels durch Luftverschmutzung, in 4 Phasen gegliedert, dargestellt:

a) Normaler Gasstoffwechsel entsprechend den artspezifisch bevorzugten Standorten.

b) Gleichbleibende Photosyntheseleistung bei überhöhter Atmungsintensität (vor allem bei höheren Temperaturen), die auf eine Schädigung des Flechtenpilzes verweist.

c) Nachlassende Photosyntheseleistung und überhöhte Atmung. Der Lichtkompensationspunkt kann hohe Werte annehmen. Die Flechtenalge wird in die Schädigung einbezogen.
d) Rückgang des gesamten Gasstoffwechsels bis zum Absterben der Flechte.

Arten	Lichtkompensationspunkt (Lux)			
	Waldrand		Waldmitte	
	19.00	4.00	19.00	4.00
Hypogymnia physodes	1800 (380)	1300 (310)	450 (280)	430 (260)
Parmelia sulcata	1050 (400)	800 (340)	500 (300)	490 (290)
Parmelia fuliginosa	4750 (900)	3500 (625)	1150 (550)	1000 (500)
Parmelia caparata	1300 (355)	650 (230)	950 (225)	550 (160)
Evernia prunastri	1400 (330)	1150 (320)	1000 (330)	700 (290)
Ramalina farinacea	1450 (440)	800 (350)	900 (300)	500 (200)

Tab. 3. Die intraspezifische Variation und zeitliche Variabilität des Lichtkompensationspunktes bei den wichtigsten Laubflechten der Untersuchungsgebiete; Erklärung im Text

Abschliessend werden die Ergebnisse einer Versuchsserie (Tab. 3) vorgestellt, welche sich mit der intraspezifischen Variation und zeitlichen Variabilität des Lichtkompensationspunktes bei den Laubflechten befasst. Im Juni 1973 wurde an sonnigen regenfreien Tagen um 19.00 Uhr jeweils von einer Laubflechtenart eine südexponierte Waldrandprobe und eine Probe der Waldmitte aus dem Untersuchungsgebiet A ins Labor geholt und nach Reinigung bei gleichzeitiger Temperaturanpassung (10° C) und Befeuchtung der Lichtkompensationspunkt bei 10° C bestimmt. Vor Sonnenaufgang des folgenden Tages wurden von den gleichen Standorten zwei weitere Proben entnommen und auf gleiche Weise der Lichtkompensationspunkt gemessen.

Die Versuchsergebnisse zeigen die ökologische Angepasstheit und die schnelle Variabilität des Lichtkompensationspunktes bei Laubflechten und erlauben folgende Feststellungen:
a) Angaben über den Lichtkompensationspunkt bei Flechten sollten nur unter genau definierten Bedingungen und Vorbehandlungen gemacht werden. So kann der Lichtkompensationspunkt bei Parmelia caperata über Nacht (8 Stunden) um den Faktor 2 variieren.
b) Bei Angaben über den Lichtkompensationspunkt rindenbewohnender Flechten in Wäldern muss, neben der vertikalen Zonierung am Baum (HARRIS 1971), der Gradient vom Waldrand zur Waldmitte und die Exposition am Baum beachtet werden. So wiesen Waldrandformen von Hypogymnia physodes und Parmelia fuliginosa zur selben Zeit einen viermal höheren Lichtkompensationspunkt auf als Formen der Waldmitte.

c) Infolge dieser hohen und raschen intraspezifischen Variabilität ist es äusserst schwierig, eine jahreszeitliche Änderung des Lichtkompensationspunktes bei Flechten exakt nachzuweisen (STALFELT 1939, HARRIS 1971).

Literatur

BARKMAN, J.J. (1963): De epifyten-flora en -vegetatie van Midden-Limburg (België). *Ver. K. ned. Akad. Wet. II.* 54(4): 1–46.

BESCHEL, R. (1955): Individuum und Alter bei Flechten. *Phyton* 6: 60–68.

BROWN, R.J. & CURTIS, J.T. (1952): The upland conifer hardwood forest of northern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 22: 217–234.

FARRAR, J.F. (1973): Lichen Physiology: Progress and Pitfalls. in FERRY, B.W. & BADDELEY, M.S. & HAWKSWORTH, D.L. Air Pollution and Lichens. London.

FERRY, B.W., BADDELEY, M.S. & HAWKSWORTH, D.L. (1973): Air Pollution and Lichens. London.

FISHER, R.A. (1948): Statistical Methods for Research Workers. London.

GILBERT, O.L. (1971): The effect of airborne fluorides on lichens. *Lichenologist* 5: 26–32.

GREIG-SMITH, P. (1964): Quantitative Plant Ecology. London.

GRINDON, L.H. (1859): The Manchester flora. London.

HARRIS, G.P. (1971): The ecology of corticolous lichens II, The relationship between physiology and the environment. *J. Ecol.* 59: 441–452.

HURKA, H. & WINKLER, S. (1973): Statistische Analyse der rindenbewohnenden Flechtenvegetation einer Allee Tübingens. *Flora* 162: 61–80.

NOWAK, R. & WINKLER, S. (1970): Foliicole Flechten der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien) und ihre gegenseitigen Beziehungen. *Österr. Bot. Z.* 118: 456–485.

NYLANDER, W. (1866): Les lichens du Jardin du Luxembourg. *Bull. Soc. bot. Fr.* 13: 364–372.

SCHÖNBECK, H. (1969): Eine Methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten. *Staub* 29: 14–18.

STALFELT, M.G. (1939): Der Gasaustausch der Flechten. *Planta* 29: 11–31.

STOCKER, O. (1927): Physiologische und ökologische Untersuchungen an Laub- und Strauchflechten. *Flora* 21: 334–415.

WILMANNS, O. (1966): Anthropogener Wandel der Kryptogamen-Vegetation in Südwestdeutschland. *Ber. geobot. Forsch. Inst. Rübel.* 37: 74–87.

Anschrift des Verfassers:

Dr. R. NOWAK, Institut für Biologie, Lehrbereich Spezielle Botanik, D-7400 Tübingen, Auf der Morgenstelle, 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1974

Band/Volume: 3_1974

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

Artikel/Article: Vegetationsanalytische und experimentell-ökologische Untersuchungen über den Einfluss der Luftverunreinigung auf rindenbewohnende Flechten 291-302