

# Epiphytische Flechten in bayerischen Waldschadensgebieten des nördlichen Alpenraumes:

## Floristisch-soziologische Untersuchungen und Vitalitätstests durch Photosynthesemessungen

Barbara Köstner und Otto L. Lange

Inhaltsverzeichnis:	Seite
<b>1. Einleitung</b> . . . . .	185
<b>2. Untersuchungsgebiete</b> . . . . .	187
<b>3. Flechtensoziologische Untersuchungen</b> . . . . .	187
3.1 Methode . . . . .	188
3.1.1 Stammaufnahmen . . . . .	189
3.1.2 Astaufnahmen . . . . .	189
3.2 Ergebnisse . . . . .	189
3.2.1 Erläuterungen zu den einzelnen Standorten . . . . .	189
3.2.2 Die wichtigsten Epiphytengesellschaften der Untersuchungsgebiete . . . . .	190
3.2.2.1 Das Parmeliopsidetum ambiguae . . . . .	190
3.2.2.2 Das Pseudevernetium furfuraceae . . . . .	190
3.2.2.3 Das Nephrometum belli . . . . .	192
3.2.2.4 Das Usneetum florido-neglectae . . . . .	192
3.2.3 Liste aller in den Untersuchungsgebieten gefundenen Flechten und Zeigerwert einzelner Arten . . . . .	192
3.3 Diskussion zu den Ergebnissen der floristischen und soziologischen Untersuchungen . . . . .	193
<b>4. Ökophysiologische Untersuchungen zur Vitalität der Flechtenindividuen</b> . . . . .	194
4.1 Untersuchungsmaterial . . . . .	194
4.2 Probenentnahme, Vorkultur und Gaswechselformung . . . . .	195
4.3 Lichtabhängigkeit der Netto-Photosynthese, Photosynthesekapazität und Dunkelatmung als physiologische Vitalitätskriterien . . . . .	195
4.4 Ergebnisse der Photosynthesemessungen an Proben der verschiedenen Standorte . . . . .	197
4.5 Diskussion der Ergebnisse der Gaswechselformungen . . . . .	197
<b>5. Schlußfolgerungen</b> . . . . .	198
<b>6. Zusammenfassung</b> . . . . .	199
<b>Summary</b> . . . . .	200
<b>7. Danksagung</b> . . . . .	200
<b>8. Literaturverzeichnis</b> . . . . .	201
<b>9. Tabellen (Anhang)</b> . . . . .	203

### 1. Einleitung

Seit Mitte des vorigen Jahrhunderts ist bekannt, daß Flechten, insbesondere epiphytische Arten, aus dem Zentrum der Städte verschwinden, und bereits NYLANDER (1866) machte dafür die Rauchgase in menschlichen Siedlungsräumen verantwortlich. »Flechtenwüsten« in den Stadtkernen und eine stark verarmte Flechtenflora in den Randgebieten industriell-urbaner Räume sind inzwischen für viele Städte auf der ganzen Erde beschrieben worden (siehe LAUNDON 1973). Die Thalli der Lichenen sind nicht durch eine Cuticula gegen die Einwirkung atmosphärischer Schadstoffe geschützt und die Flechten sind sehr langlebige Organismen, so daß sich toxische Substanzen über längere Zeiträume hinweg in ihren Lagern anreichern können. Außerdem stellt die Symbiosegemeinschaft zwischen Phycobiont und Mycobiont ein anfälliges Gleichgewicht dar, das leicht durch schädigende Umwelteinflüsse gestört werden kann. Die Folge davon ist, daß die allermeisten Flechten empfindlicher vor allem gegen die Einwirkung von Schwefeldioxid sind als höhere Pflanzen. Das ist durch Freilandbeobachtungen und durch Begasungsex-

perimente eindeutig belegt (siehe z. B. die zusammenfassenden Darstellungen von FERRY et al. 1973, GUDERIAN 1977). Flechten werden daher vielfach als Bioindikatoren zur Abschätzung von Luftverunreinigungen verwendet (siehe SCHUBERT & SCHUH 1980, STEUBING & JÄGER 1982). Andererseits ist die ökologische Amplitude vieler Flechten aber auch gegenüber lokalklimatischen Einflüssen stark begrenzt, beispielsweise sind die Standortansprüche an die Feuchtigkeitsverhältnisse häufig groß. Auf derartigen Abhängigkeiten beruht es, daß bestimmte Flechten auch als Indikatoren etwa für Luftfeuchtigkeit, Regenmenge, Frostlagen oder Schneehöhen verwendet werden können (KLEMENT 1951). Wenn erhöhte Luftverschmutzung mit Änderungen des Lokalklimas einhergeht, wie das z. B. in urbanen Räumen mit verstärkter Trockenheit und erhöhten Temperaturen in der Regel der Fall ist, kann eine Entscheidung schwerfallen, welche der Faktoren für die Dezimierung der epiphytischen Flechtenvegetation ausschlaggebend sind. Diese Frage gab immer wieder Anlaß zu intensiven Diskussionen (siehe z. B. STEINER & SCHULZE-HORN 1955). Unmittelbare Beweise, daß das Schwefeldioxid offensicht-

lich ein ganz entscheidender Faktor für die Flechtenarmut der Städte ist, liegen erst aus letzter Zeit vor. In verschiedenen Stadtbereichen zeigt sich nämlich seit kurzem eine Wiederbesiedlung mit epiphytischen Flechten. Das wurde von JÜRGING (1975) und von KANDLER & POELT (1984) für München, von ROSE & HAWKSWORTH (1981) für London und von RABE & WIEGEL (1985) für Bereiche des Ruhrgebietes nachgewiesen. Es kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden, daß sich die physikalischen Komponenten des Klimas in diesen Städten geändert haben und dadurch das Flechtenwachstum gefördert wurde. Eindeutig ist jedoch der Zusammenhang der Wiederbesiedlung durch Flechten mit der Verbesserung der lufthygienischen Situation, vor allem mit der geringer gewordenen Belastung der Luft durch Schwefeldioxid als Folge der Umstellung der Heizungen, dem Ausbau der Fernwärmeversorgung und der Vermeidung lokaler Belastung durch die Abführung von Schadstoffen in höhere Bereiche der Atmosphäre. Damit hat die Verwendbarkeit epiphytischer Flechten als Indikatoren für anthropogene Luftschadstoffe, insbesondere für SO<sub>2</sub>, eine überzeugende Bestätigung erhalten.

Die wissenschaftlich bedeutungsvolle Wiederbesiedlung urbaner Standorte in der Regel durch ubiquistische Flechtenarten darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß die gesamte Flechtenflora Mitteleuropas zur Zeit eine fortschreitende, teilweise katastrophale Verarmung erfährt. Das betrifft insbesondere auch die Flechten unserer Waldgebiete. Großräumig ist die Epiphytenflora hier zurückgegangen und weist heute in vielen Gebieten nur noch einen Bruchteil der früheren Artenfülle auf. Betroffen sind vor allem die mehr hygrophytischen Flechten der Wälder, deren Verarmung fast epidemischen Charakter hat (WIRTH 1976). Einerseits ist hierfür die Zerstörung geeigneter Phorophyten (Trägerbäume), etwa durch waldbauliche Maßnahmen verantwortlich zu machen; die rasche Umtriebszeit in unseren Wirtschaftsförsten erlaubt den Flechten keine ausreichenden Regenerationszeiten, und die lokalklimatischen Bedingungen werden durch Kulturmaßnahmen zu Ungunsten der Flechten verändert. Als zweiter Faktorenkomplex sind die Flechten aber auch in Waldgebieten anthropogenen Immissionen ausgesetzt. So führen beispielsweise WIRTH & FUCHS (1980) die so gut wie völlige Vernichtung der anspruchsvolleren Flechtenflora im Fichtelgebirge im wesentlichen auf die Beeinflussung durch Schwefeldioxid zurück. Unter diesen Umständen ist es naheliegend, die epiphytischen Flechten auch in Waldbereichen als Bioindikatoren insbesondere in Hinblick auf atmosphärische SO<sub>2</sub>-Belastung zu verwenden.

Derartige Gesichtspunkte haben in letzter Zeit im Zusammenhang mit der Analyse der »neuartigen Waldschäden« aktuelle Bedeutung erhalten, für die direkte Einwirkung saurer Immissionen auf die oberirdischen Pflanzenteile als eine der möglichen Ursachen angenommen wird. Es gibt vielfache Bemühungen, Waldschäden und Verbreitungsmuster von Flechten miteinander zu korrelieren, um damit einer Erklärung für die Schädigung der Bäume näherzukommen. Insgesamt ergibt sich aber kein einheitliches Bild der Phänomene. Das führt den »Rat von Sachverständigen für Umweltfragen« in seinem Sondergutachten zum Thema »Waldschäden und Luftverunreinigungen« 1983 (Kohlham-

mer, Stuttgart, Mainz) zu der Feststellung: »In vielen Wäldern, insbesondere in Gebirgswäldern ist eine artenreiche Flechtenvegetation mit oft dichter Besiedlung anzutreffen. Da gerade in solchen Wäldern die schwer zu erklärenden Waldschäden auftreten, liegt es nahe, die Flechten als Bioindikatoren heranzuziehen. Das bisher aus der Beobachtung der Flechtenvegetation gewonnene Bild ist leider noch widersprüchlich. Folglich hat die Forschung hier wichtige und dringende Aufgaben zu bewältigen . . .« Auch in Österreich kommen Lichenologen aufgrund entsprechender Beobachtungen zu ähnlichen Schlußfolgerungen: »In welchem Zusammenhang eine Beeinträchtigung des Flechtenwachstums mit dem in der letzten Zeit viel diskutierten Waldsterben steht, bedarf aber noch weiterer, eingehender Untersuchungen« (TÜRK & WITTMANN 1984); sie verweisen auf die Diskrepanz im Epiphytenbewuchs geschädigter Nadelbäume in Industriezentren und in industriefernen Alpentälern. Sicher sind Pauschalurteile allein schon deswegen nicht möglich, weil die einzelnen Flechtenarten ganz unterschiedlichen Zeigerwert haben und daher eine differenziertere Betrachtung notwendig ist.

Häufig besteht die Tendenz, nach einer positiven Korrelation zwischen Baumschädigungen und Rückgang an epiphytischen Flechten zu suchen. Wenn dann andere, zum Beispiel klimatische oder waldbauliche Gründe für die Flechtenarmut ausgeschlossen werden können, erlaubt dieser Zusammenhang den Rückschluß auf eine Belastung des Gebietes mit Luftschadstoffen, insbesondere mit SO<sub>2</sub> (siehe z. B. STEUBING & MACHER 1985). Selbstverständlich ist damit noch nicht erwiesen, daß diese Schadstoffe auch für die Schädigung der Bäume verantwortlich gemacht werden können, die unserer bisherigen Erfahrung nach im allgemeinen widerstandsfähiger als Flechten sind, wenn es sich um direkte Einwirkung auf die Assimilationsorgane handelt. Eindeutigere Schlüsse wären im umgekehrten Falle möglich, wenn Waldschäden bei einer ungeschädigten Flechtenvegetation auftreten und deshalb dann Schwefeldioxidbelastung für das betreffende Gebiet als oberirdischer Schadfaktor mit großer Wahrscheinlichkeit auch für Bäume ausgeschlossen werden kann.

Durch Herrn Prof. H. ZIEGLER (München) wurden wir auf Waldschadensgebiete im Alpenvorland aufmerksam gemacht, wo dem Augenschein nach trotz teilweise erheblicher Schädigungen an Bergahorn und Fichte eine artenreiche Flechtenflora existiert und wo insbesondere von ihm die als sehr immissionsempfindlich bekannte Lungenflechte *Lobaria pulmonaria* gefunden wurde (siehe auch WALGATE 1983). Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, die epiphytischen Flechten von Standorten dieses Bereiches unter floristischen und pflanzensoziologischen Gesichtspunkten näher zu analysieren. An ausgewählten Arten sollten dann stoffwechselfysiologische Messungen Auskunft über den Grad ihrer Vitalität geben, um eventuelle Schädigungen zu erkennen. Mit bei derartig komplexer Fragestellung gebotener Vorsicht ist es das Bestreben, aus den Befunden Rückschlüsse auf die mögliche Bedeutung von atmosphärischen Schadstoffen für die Baumschädigungen zu ziehen.

Die vorliegende Abhandlung stellt die gekürzte Fassung einer Diplomarbeit dar, die die Erstautorin am Lehrstuhl für Botanik II der Universität Würz-

burg anfertigte. Einzelheiten etwa apparativer und methodischer Art können in der Originalarbeit nachgelesen werden.

## 2. Untersuchungsgebiete

Schwerpunkt der Untersuchungen, die vom Herbst 1983 bis Sommer 1984 durchgeführt wurden, liegt im Forstamt(FoA)-Bezirk Garmisch-Partenkirchen, wo Krankheitserscheinungen an Bäumen, die unter dem Begriff »Waldsterben« einzuordnen sind, besonders seit dem Jahr 1982 (bei Tanne auch schon früher) deutlich sichtbar wurden (REITER 1983). Als Ergänzung dienten auch Flechtenerhebungen aus den Forstamts-Bereichen Kreuth (Glashütte, Langenau Alm) und Reichenhall. Die Proben aus Reichenhall sind im Rahmen einer Waldschadensinventur der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) im Oktober 1983 gesammelt worden und sollten die Kenntnisse über das Spektrum der Photosynthesekapazitäten von *Pseudevernia furfuracea* erweitern bzw. als Referenzgrößen herangezogen werden. Sie wurden aus einem Gebiet mit insgesamt kaum oder nur leicht geschädigten Bäumen entnommen. Der Rasterpunkt der Flechtenentnahme lag am Moosenkopf in ca. 1100 m NN Höhe in einem NW-exponierten Fichten-Altholz. Die drei gefällten Fichten wurden den Kronenschadklassen 0 und zweimal 1 zugeordnet.

Die einzelnen Untersuchungsorte im Garmischer Gebiet sollten Waldbestände unterschiedlichen Schädigungsgrades mit vergleichbarer potentieller Flechtenflora repräsentieren, um eine mögliche Korrelation zwischen Wald- und Flechtenschaden feststellen zu können. Der Versuch, dementsprechend Waldbestände mit deutlich unterschiedlichem Schädigungsgrad herauszufinden, erwies sich jedoch als äußerst schwierig. Aufgrund der Heterogenität des Untergrundes und des häufigen Wechsels der Standortbedingungen auf engstem Raum, ergibt sich ein zumeist unübersichtliches Schadbild der Bestände. So können einzelne oder Gruppen von relativ gesund erscheinenden Bäumen neben stark geschädigten stehen bzw. vom umgebenden Schadbild sehr abweichen. Da es praktisch nicht möglich war, diese mosaikartige Kleinstruktur des Standortes stets zu berücksichtigen, konnte lediglich eine verhältnismäßig grobe, aber insgesamt deutlich dreistufige Differenzierung getroffen werden. So fiel die Wahl auf einen leicht geschädigten Bestand, eine leicht bis mittelstark und eine mittelstark geschädigte Fläche.\* Es handelt sich jeweils um Fichten-Althölzer, die mehr oder weniger stark mit weiteren Arten des Bergmischwaldes (Tanne, Buche, Bergahorn) durchsetzt sind.

\* Zur Schadensklassifizierung der Waldbestände wurde die allgemein im Bundesgebiet gültige Einstufung der Staatsforstverwaltung (Kronenschadklassen 0-4) angewandt:

Schadstufe	Nadel-/Blattverlust	Vitalität
0	0 - 10	% ohne Schadmerkmale
1	11 - 25	% schwach geschädigt
2	26 - 60	% mittelstark geschädigt
3	61 und mehr	% stark geschädigt
4		% abgestorben

(Nach »Zur Diagnose und Klassifizierung der neuartigen Waldschäden«, Sonderheft der Allgemeinen Forst-Zeitschrift, Stuttgart, 1984).

Der erste, leicht geschädigte Bestand (Kronenschadklasse 1) liegt ca. 10 km west-nordwestlich von Garmisch-Partenkirchen im Gebiet Vordere Elmau (siehe Abbildung 1). Der 100- bis 130-jährige, zweischichtige Fichtenreinbestand neigt sich leicht nord-westlich, liegt in etwa 1200 m NN Höhe und stockt auf mittelgründigem, gut wasserversorgtem, feinhumusreichem Boden über Hauptdolomit. In diesem Bestand wurde von der Forschungsanstalt im Rahmen der immissionsökologischen Waldzustandserfassung eine Beobachtungsfläche eingerichtet. Mitarbeiter der Forschungsanstalt schätzten im Herbst 1983 die durchschnittliche Kronenschadklasse dieser Fläche auf 1, d. h. in der Regel Nadelverluste zwischen 11 und 25%. Einzelne Tannen am Rande des Bestandes weisen ebenfalls leichte Schäden auf. (Die *Lobaria*-Proben wurden an diesem Standort von einer angrenzenden Freifläche mit alten Bergahornen entnommen.)

Der zweite Bestand zeigt insgesamt stärkere Schäden (Kronenschadklasse 1-2) als das Gebiet Vordere Elmau und liegt an einer leicht südwestlich geneigten Hangseite des Rießerkopf in ca. 1050 m NN Höhe. Das zweischichtige, führende Fichten-Nadelholz mit kleinen Anteilen von Tanne, Buche und Bergahorn stockt auf mittel- bis tiefgründigem, lehmigem Ton über Partnachsichten, ist gut nährstoffversorgt und wasserbeeinflusst. Dieser Bestand wurde ausgewählt, da er trotz guter waldbaulicher Voraussetzungen deutliche Schäden zeigt (Gelbfärbung und beginnende Entnadelung der Triebe 2. Ordnung). An einzelnen, freistehenden Fichten liegen die Schäden bis um eine Schadstufe höher.

Die dritte Untersuchungsfläche wurde an der SW-Seite des Wank gewählt, wo die Krankheitssymptome offensichtlich am weitesten fortgeschritten sind (Schadklasse 2). Dieser Bestand soll im weiteren kurz Wank/SW genannt werden. Die Probenentnahme erfolgte in ca. 1050 m NN Höhe an einem etwa 75-jährigen Fichtenreinbestand in südwestlich geneigter, stark windbestrichener Hanglage auf mittelgründigem, relativ trockenem, skeletthaltigem Boden über Hauptdolomit.

Um einen zusätzlichen Vergleich des Untersuchungsmaterials zu ermöglichen, wurden in gleicher Höhenlage, an der NW-Seite des Wank, ebenfalls Proben gesammelt. Dieser, in steiler Hanglage, auf flachgründiger, mäßig trockener Rendzina über Hauptdolomit stockende Fichten-Tannen-Mischbestand weist nur leichte Schäden auf (Schadklasse 1) und bleibt in seinem Schadensausmaß unter dem von Wank/SW und Rießerkopf/SW.

Zusätzlich erfolgte eine Probenentnahme der Lungenflechte aus einem stärker geschädigten Gebiet (Schadklasse 1-2) an einem Südhang des Ferchenbachgrundes, westlich vom Ort Elmau (Bruenst-Elmau). Die Proben wurden von randständigen Bergahornen eines ca. 85-jährigen Fichtenbestandes entnommen und dienten dazu, ihre Photosyntheseaktivität mit der von Proben aus der Vordere Elmau zu vergleichen.

## 3. Flechtensoziologische Untersuchungen

Floristische und flechtensoziologische Studien sollten dazu dienen, die Flechtenflora der ausgewählten Waldschadensgebiete kennenzulernen und die Vegetation durch Flechtengesellschaften zu charakterisieren. Da jedoch die Ausbildung der Flechtenvegetation neben den allgemeinen klima-

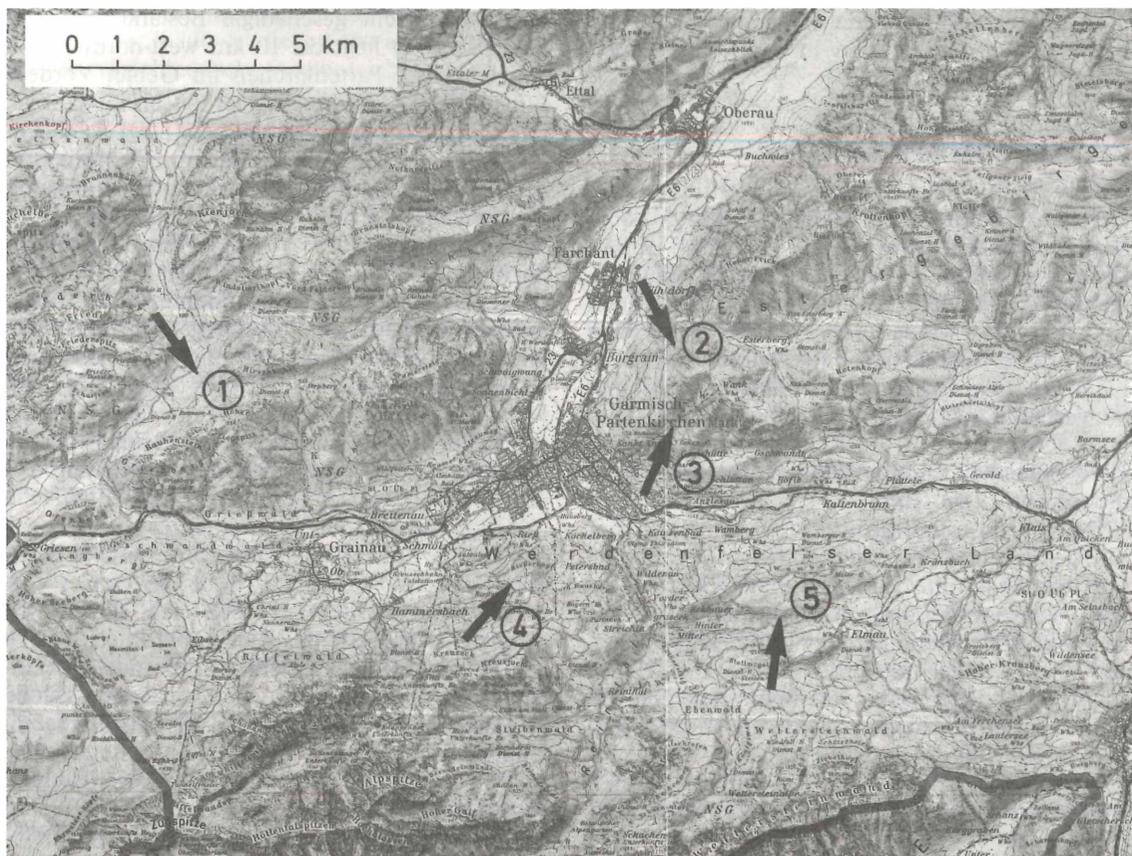


Abbildung 1

**Lage der Untersuchungsbestände** (Ausschnitt aus der Generalkarte C 87 30, Garmisch Partenkirchen). 1: Vordere Elmau, 2: Wank/NW, 3: Wank/SW, 4: Rießerkopf, 5: Bruenst/Elmau (siehe Text).

tischen Bedingungen wesentlich auch von der Bestandesstruktur, damit zusammenhängenden klein-klimatischen Veränderungen, Art und Alter der Trägerbäume abhängig ist, konnte es bei der soziologischen Analyse der Gebiete nicht um einen streng quantitativen Vergleich gehen. So mußten je nach örtlicher Gegebenheit und Möglichkeit Stamm- und Astaufnahmen mit unterschiedlicher Intensität durchgeführt werden.

Nach gründlicher Begehung des Geländes wurden für die Aufnahmen die Phorophyten mit der üppigsten Flechtenflora ausgewählt. Die Vegetationsaufnahmen kennzeichnen also die am besten entwickelten Flechtenbestandes des jeweiligen Gebietes. Weitgehend gehörten die ausgewählten Trägerbäume dem helleren Bestandesrand an, nach innen wurde der Flechtenbewuchs meist spärlicher oder fehlte vollkommen. Die Anzahl der einzelnen Aufnahmen galt als abgeschlossen, wenn sichergestellt war, daß keine weiteren Arten hinzukamen. Dies war besonders an den Nadelholzarten bereits nach einer geringen Anzahl von Aufnahmen der Fall. Die berücksichtigten Trägerbäume befanden sich etwa innerhalb eines Umkreises von 200 m, in dem dann auch die Probenentnahme für die Stoffwechsellmessungen erfolgte. Wo Gelegenheit bestand, an gefällten Bäumen den Flechtenbewuchs auch des Mittel- und Oberstammes und der Krone zu untersuchen (Vordere Elmau, Forstamt Kreuth, Reichenhall), wurde dies wahrgenommen. Ansonsten erfolgten die Aufnahmen etwa zwischen 0,5 und 2 m Stammhöhe. Einzelne interessante Flechtenfunde, die sich im Laufe der Arbeit ergaben, sind in der zusammenfassenden Artenliste (Kap. 3.2.3) festgehalten.

### 3.1 Methode

Sämtliche soziologischen Aufnahmen wurden nach der Methode von BRAUN-BLANQUET mit folgender, veränderter Skala der kombinierten Abundanz-Dominanz-Schätzung (nach WIRTH 1972) durchgeführt:

+	: Deckung bis 1	% der Aufnahmeffläche
1	: Deckung bis 5	% der Aufnahmeffläche
2 a	: Deckung 5 - 12,5	% der Aufnahmeffläche
2 b	: Deckung 12,5 - 25	% der Aufnahmeffläche
3	: Deckung 25 - 50	% der Aufnahmeffläche
4	: Deckung 50 - 75	% der Aufnahmeffläche
5	: Deckung 75 - 100	% der Aufnahmeffläche

Angaben zur Stetigkeit der Arten:

Fr: Frequenz (%), relative Häufigkeit der Art pro Gesamtzahl der Aufnahmen

St: Die der Frequenz entsprechende Stetigkeitsklasse (I - V):

0 - 20 %	= I
21 - 40 %	= II
41 - 60 %	= III
61 - 80 %	= IV
81 - 100 %	= V

In den Aufnahmen sind jeweils die Großflechten, auffallende Krustenflechten und Bryophyten mit höheren Deckungsgraden erfaßt.

Die Bestimmung der Flechten erfolgte unter Zuhilfenahme folgender Literatur: WIRTH (1980 a), POELT (1969), ANDERS (1928). Die systematische Nomenklatur folgt der von WIRTH (1980 a). Lediglich einige *Bryoria*- und *Usnea*-Arten wurden nach der Bestimmung von BIBINGER in weitere Unterarten differenziert. Der flechtensoziologischen Analyse liegen im wesentlichen die Arbeiten von FREY (1933, 1952), KLEMENT (1955),

BARKMAN (1958), WILMANN (1962), WIRTH (1968) und BIBINGER (1970) zugrunde. Die Gesellschaftsbezeichnungen wurden von WIRTH (1968, 1980 a) übernommen. Sowohl bei Taxa als auch bei pflanzensoziologischen Einheiten konnte deshalb auf Angabe von Autoren verzichtet werden.

Belegproben der aufgeführten Flechten- und Moosarten befinden sich im Herbar des Lehrstuhls für Botanik II der Universität Würzburg.

### 3.1.1 Stammaufnahmen

Struktur und Ausarbeitung der Tabellen sowie sämtliche verwendeten Abkürzungen wurden im Prinzip von WILMANN (1962) übernommen. Der Aufbau des Tabellenkopfes wurde jedoch, dem Zweck der Aufnahmen entsprechend in Anlehnung an RITSCHEL (1977) vereinfacht wiedergegeben.

#### Aufbau des Tabellenkopfes:

1. Aufnahme-Nummer
2. Baumart
  - Ab = *Abies alba*
  - Ap = *Acer pseudo-platanus*
  - Pc = *Picea abies*
3. Stammdurchmesser (cm)
4. Borke
  - ab = abblätternd
  - fr = flachrisbig
  - mr = mittelrisbig
5. Exposition
  - N = Nord
  - S = Süd
  - W = West
  - E = Ost
6. Neigung
  - I = Aufnahme am senkrechten Stamm
  - V = Aufnahme in Stammgabel
  - / = Aufnahme unter geneigtem Stamm
7. Aufnahmefläche
  - Höhe (cm)
    - untere Höhe
    - obere Höhe der Aufnahme über dem Boden
  - Breite (cm)
    - der Aufnahmefläche
8. Gesamtdeckung (%)
  - der Aufnahmefläche an Flechten und Moosen
9. Artenzahl

### 3.1.2 Astaufnahmen

Für die Astaufnahmen an gefällten Bäumen dienten geeignete Äste im Bereich zwischen 6 und 9 m von der Kronenspitze ab gerechnet. Dafür wurde ein Astbereich von bis zu 50 cm Länge vom Stamm weg in Abschnitte von jeweils 10 cm Länge unterteilt und diese 10 cm-Abschnitte (Zonen I-V) sowohl einzeln als auch in ihrer Summe ausgewertet. Die Angaben über Aufnahmefläche und Deckungsgrad in den soziologischen Tabellen beziehen sich auf die gesamte Oberfläche des ausgewählten Astbereiches.

Die Beurteilung der prozentualen Deckung von Flechten verschiedener Wuchsform (man denke z. B. an Bartflechten oder strauchige Formen) an einer Astoberfläche ist problematisch. Es wurde zur Abschätzung des Deckungsgrades der Flechtenindividuen die Methode von REDON (1982) übernommen, der epiphytische Flechten in einer chilenischen »Nebeloase« untersuchte. Er projizierte die Deckung der Krustenflechten auf die Astoberfläche, die Deckung der Strauchflechten jedoch auf ein 5 cm hohes Rechteck, das er an den Ast anlegte (siehe Abbildung 2). Dieses Verfahren erwies sich bei den eigenen Untersuchungen auch für Bartflechtengesellschaften als brauchbar.

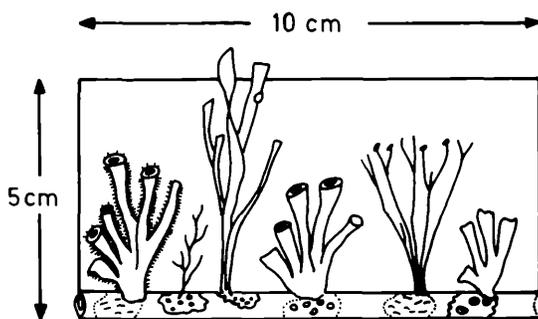


Abbildung 2

**Schema der Flächenbegrenzung bei den pflanzensoziologischen Aufnahmen der Epiphytenvegetation:** ein drehender Ast mit rindenbewohnenden Krustenflechten und anheftenden Strauch- und Bartflechten. Die Deckung der Krustenflechten wird auf die Oberfläche des Astes bezogen, die Deckung der strauchigen Flechten auf die Fläche eines 5 x 10 cm großen Rechtecks, das in Richtung der abstehenden Thalli über dem Ast errichtet ist (aus REDON 1982).

### 3.2 Ergebnisse

Im folgenden sollen die wesentlichen Flechtengesellschaften an Fichte und Bergahorn in den verschiedenen Untersuchungsgebieten besprochen werden, wobei auf eine ausführliche separate Darstellung für die einzelnen Standorte verzichtet wird. Die Artenzusammensetzung der Flechtengesellschaften in den einzelnen Untersuchungsgebieten geht aus den pflanzensoziologischen Tabellen 1 bis 6 hervor.

Wesentlich gemeinsam war allen untersuchten Standorten, daß an *Picea abies* im unteren Stammbereich Flechtenarten des Parmeliopsidum ambiguae auftraten, die sich mit zunehmender Stammhöhe mit Arten des Pseudevernetium furfuraceae verzahnten, welche auch den Flechtenbewuchs der Fichtenkronen prägten. Am Stamm von *Acer pseudoplatanus* fanden sich Arten des Nephrometum belli und im Kronenraum vor allem der Bergahorne (nur am Standort Vordere Elmau untersucht) Arten, die einem Usneetum florido-neglectae zugeordnet werden können.

#### 3.2.1 Erläuterungen zu den einzelnen Standorten

Die intensivsten Untersuchungen konnten am Standort Vordere Elmau erfolgen. Der dortige Fichtenbestand umfaßt eine 0,25 ha große Beobachtungsfläche der Bayerischen Forstlichen Versuchsanstalt. So war es bei einer Kontrollfällung am Rande dieser Beobachtungsfläche möglich, auch den Flechtenbewuchs an Mittel- und Oberstamm und an den Fichtenkronen zu studieren (siehe Tabelle 3 und 4). An diesen Fichtenbestand schloß sich eine Freifläche mit z. T. alten Bergahornen an, deren Epiphytenvergesellschaftungen an Stamm und Kronenästen (siehe Tabelle 5 und 6) weitere Kriterien zur Einschätzung der Flechtensituation an diesem Standort lieferten.

Am Standort Rießerkopf wurden lediglich Aufnahmen am unteren Stammbereich von Fichte und Tanne (Tabelle 1) angefertigt, da keine gefällten Bäume verfügbar waren. An wenigen jungen Ahornen im Bestand fanden sich in 1–2 m Höhe

verschiedene Blatt- und Krustenflechten (siehe Tabelle 7). *Lobaria pulmonaria* konnte am Rießerkopf nicht ausfindig gemacht werden. Dies mag vor allem auf das Fehlen geeigneter Trägerbäume, den damit verbundenen Verbreitungsschranken sowie verändertem Bestandesklima zurückzuführen sein.

Ein ähnlicher Flechtenbewuchs wie am Rießerkopf zeigte sich an jüngeren Ahornen in einem leicht bis mittel geschädigten Waldgebiet des Forstamts Kreuth (Glashütte). Hier war jedoch auch *Lobaria pulmonaria* noch in gut entwickelter Form und in Jugendstadien vorhanden.

Auch an der Wank/SW-Seite konnten nur Aufnahmen von Fichten im unteren Stammbereich (Tabelle 2) erfolgen. Sie entsprechen etwa denen vom Rießerkopf und können ebenso einem Parmeliopsidetum *ambiguae* zugeordnet werden, jedoch mit geringerer prozentualer Deckung und Artenzahl pro Aufnahme. Im Vergleich zum Rießerkopf fehlen hier jedoch die Bartflechten; *Platismatia glauca* und *Hypogymnia bitteriana* kommen in Aufnahmhöhe fast nur an den abgestorbenen Seitenästen des Stammraumes vor und machen am Stamm einen sehr kümmerlichen Eindruck. Auch hier bestätigte die Probenentnahme im Kronenbereich, daß dort *Pseudevernia furfuracea* vorherrscht. Außer einem Vorkommen von *Usnea hirta* (in typischer Ausbildung) an Fichten in höheren Lagen der Wank/SW-Seite wurden sonst keine Bartflechten angetroffen. Dies mag mit ungünstigeren Luftfeuchteverhältnissen und dem Vorherrschen geschlossener Fichtenreinbestände zusammenhängen. Dafür spricht auch das Vorhandensein von *Usnea hirta*, einer Charakterart des Pseudevernetium *furfuracea* in seiner an trockeneren Standorten auftretenden Form, wenn Differentialarten der montan-orealen Form, wie z. B. *Usnea filipendula*, fehlen (WILMANNNS 1962). *Usnea hirta* ist von allen einheimischen *Usnea*-Arten am wenigsten an niederschlagsreiche Lagen gebunden und reagiert weniger empfindlich gegenüber kleinklimatischen Umweltveränderungen (WIRTH 1980 a).

Die Kronenäste der in Reichenhall gefällten Fichten waren von Arten des Pseudevernetium *furfuracea* der montan-orealen Form bewachsen. Eine Liste der dort aufgefundenen Arten befindet sich in Tabelle 7, wobei die Bartflechten *Alectoria sarmentosa*, *Bryoria capillaris* und *Evernia divaricata* einige 100 m vom Rasterpunkt entfernt, am lichten Waldrand wuchsen.

### 3.2.2 Die wichtigsten Epiphytengesellschaften der Untersuchungsgebiete

#### 3.2.2.1 Das Parmeliopsidetum *ambiguae*

Die Tabellen 1, 2 und 3 (linker Block) beschreiben Flechtenvergesellschaftungen, die einem Parmeliopsidetum *ambiguae* zugeordnet werden können. Da die Aufnahmen nicht direkt an der Stammbasis angefertigt wurden, sondern etwa in Brusthöhe, geben sie bezüglich Stetigkeit und Artenkombination nicht genau die in der Literatur beschriebene, typische Gesellschaft des Parmeliopsidetum *ambiguae* wieder. Die Aufnahmhöhe wurde absichtlich so gewählt, um Flechtenarten, die erst am Mittel- und Oberstamm mit größerer Stetigkeit auftreten und auf die Ausbildung eines Pseudevernetium

*furfuracea* im Kronenraum hinweisen, mitzuerfassen. So widerspricht die Anwesenheit von *Usnea subfloridana* und *Bryoria fuscescens* der speziellen Standortsökologie der »Schneepegelgesellschaft«, wie KLEMENT (1955) das widerstandsfähige, gegen lange Schneebedeckung resistente Parmeliopsidetum bezeichnete. Sicher fehlen die empfindlichen Bart- und Blattflechten an der Stammbasis dem typischen Mikrohabitat dieser Gesellschaft. Jedoch schließt auch WILMANNNS (1962) Vergesellschaftungen, die neben den drei hochsteten *Parmeliopsis*-Charakterarten (*P. ambigua*, *P. hypoptera* und *P. aleurites*) und *Cetraria pinastri* auch größere Blatt- und Bartflechten mit niedrigerer Stetigkeitsklasse wie *Parmelia saxatilis* (Stetigkeitsklasse I), *Platismatia glauca* (III), *Pseudevernia furfuracea* (II), *Alectoria implexa* (I) und *Usnea hirta* (I) aufweisen, in das Parmeliopsidetum *ambiguae* mit ein.

Die für ihre Acido- und Chionophilie bekannte Flechtengesellschaft besiedelt Stammbasen bis zur mittleren Schneehöhe. Die reduzierte Vitalität der Blatt- und Strauchflechten des Pseudevernetium in diesem Bereich verleiht den kleinen, addressen Thalli der charakteristischen Parmeliopsidetum-Arten die höhere Konkurrenzkraft. Diese läßt mit zunehmender Stammhöhe nach, bzw. wird von der der Pseudevernetium-Arten übertroffen. Offenbar gewinnt die acidophytische Gesellschaft dieser widerstandsfähigen, kleinen Blatt- und Krustenflechten durch die Zurückdrängung immissionsempfindlicherer Blattflechten zusehends an Bedeutung (WIRTH 1976 a, JAMES et al. 1977). Aus der Anwesenheit dieser resistenten Flechtengesellschaft können daher keine Rückschlüsse auf die Luftreinheit des Gebietes gezogen werden. Daß sie an den lang schneebedeckten Stammbasen saurer Nadelhölzer in der montanen bis subalpinen Stufe vorkommt, ist normal und entspricht ihrem natürlichen Habitat.

#### 3.2.2.2 Das Pseudevernetium *furfuracea*

Die Flechtenvergesellschaftungen, die in Tabelle 3 und 4 beschrieben sind, werden von *Pseudevernia furfuracea* (Foto 1 und 2) in Stetigkeit und Deckungsgrad dominiert. Mit geringerer Stetigkeit bzw. niedrigeren Deckungsgraden treten jedoch bereits Charakterarten der Bartflechtengesellschaften des *Usneion filipendulae* (BIBINGER 1970) bzw. Differentialarten der montan-orealen Form des Pseudevernetium *furfuracea* (*Usnea filipendula*, *Evernia divaricata*, nach WILMANNNS 1962) hinzu, so daß bei zunehmender Verlichtung der Bäume mit einer stärkeren Dominanz der Bartflechten gerechnet werden könnte. Eine typische Bartflechtengesellschaft zeigt z. B. Foto 3. Von BARKMAN (1958; 1966) wird das Pseudevernetium *furfuracea* als aerohygrophytisch, acidiphytisch (Fichtenborke), photophil (im Kronenraum; besonders auf frei- bzw. randständigen, windexponierten Bäumen), nitro- und toxiphob (meidet Siedlungen und Straßen) beschrieben. Die gesellschaftsbestimmende Art *Pseudevernia furfuracea* besitzt eine relativ weite ökologische Amplitude und tritt sowohl in niederen, weniger niederschlagsreichen Lagen, dann aber meist auf lichte Wipfeläste von Nadelbäumen beschränkt, als auch in der hochmontanen bis subalpinen Stufe auf. Hier ist sie in Gesellschaft von Bartflechten, besonders an nebelreichen, lichten



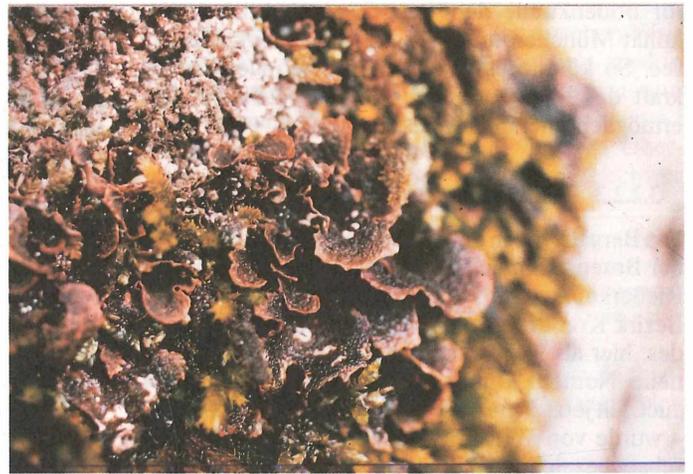
1



4



2



5



3



6

1 Die Strauchflechte *Pseudevernia furfuracea*; etwa 1/2 der natürlichen Größe.

2 Geschädigter Fichtenast mit Flechten des *Pseudevernia furfuracea*; Südseite des Langeckbergs (FoA Kreuth/Tegernsee).

3 Bartflechtengesellschaft an stark geschädigter, u. a. von Schütteepilzen befallenen Fichte; Langenau Alm (FoA Kreuth/Tegernsee).

4 Die Lungenflechte *Lobaria pulmonaria* an Bergahorn; Vordere Elmau (FoA Garmisch-Partenkirchen); ca. 1/8 der natürlichen Größe.

5 Die ozeanische Blattflechte *Sticta fuliginosa* über Moosen im Nephrometum belli; Vordere Elmau (FoA Garmisch-Partenkirchen); etwa natürliche Größe.

6 Bartflechtengesellschaft mit *Usnea florida* auf Bergahorn; Vordere Elmau (FoA Garmisch-Partenkirchen).

7 *Lobaria pulmonaria* in einer geöffneten Plexigasküvette mit Zu- und Ableitung des Meßgasstromes sowie eines Thermoelementes, das dem Thallus leicht aufliegt.



7

Standorten im oberen Stamm- und Kronenbereich von Fichten optimal entwickelt (WIRTH 1980 a). Das Vorkommen von *Evernia divaricata*, *Usnea perplexans* f. *fulvoraegens* und *Evernia prunastri*, letztere besonders im unteren Stammbereich von Fichte und Tanne, deutet auf Kaltluftstaus und regelmäßige Bodennebel hin (KLEMENT 1951; WIRTH 1980 a). Auch WILMANNNS (1962) bezeichnet als typische Standorte für *Evernia divaricata* besonders tote, langsam wüchsige Äste in Kaltluft- und Nebellagen, Talschneisen und engen Tälern. Erstaunlicherweise fand sich diese zarte, empfindliche Bartflechte auch an lichten Fichtenzweigen an einem offenen Südhang des Hauptdolomitgebietes (Zone der Schneeheide-Kiefernwälder). Der dortige stark geschädigte Fichtenbestand (mit Mangelchlorosen und Schütteplizbefall) gehört zu den Untersuchungsflächen des Lehrstuhls für Bodenkunde der Forstwissenschaftlichen Fakultät München und liegt im FoA-Bezirk Schliersee. So könnte es vor allem die geringe Wuchskraft der Bäume sein, die es dieser Flechtenart ermöglicht, heranzuwachsen.

### 3.2.2.3 Das *Nephrometum belli*

Die Bergahorne in der Vorderen Elmau (Tabelle 5), bei Bruenst/Elmau, im Reintal wie auch z. T. am Rießerkopf und in Waldschadensgebieten im FoA-Bezirk Kreuth tragen Arten des Lobarion-Verbandes, hier als *Nephrometum belli* ausgebildet. (Die neue Nomenklatur – statt *Nephroma laevigatum* aut. gilt jetzt *Nephroma bellum* (SPRENG.) TUCK. – wurde von WIRTH (1968) auch auf die Gesellschaftsbezeichnung übertragen: das von ihm beschriebene *Nephrometum belli* entspricht daher dem früheren *Nephrometum laevigati* (HIL. 25) BARKMAN 58.) Diese hochmontane, seltene Kryptogamengesellschaft weist zahlreiche gegen Umweltveränderungen empfindliche Flechtenarten auf, charakterisiert das Acerion und ist an niederschlagsreiche, luftfeuchte Lagen mit Trägerbäumen hoher Wasserspeicherkapazität gebunden (WILMANNNS 1965/66). Im Untersuchungsgebiet ist in ihr regelmäßig *Lobaria pulmonaria* (Foto 4) vertreten, nicht ganz so häufig kommt *Sticta fuliginosa* (Foto 5) vor. Der Hauptgrund des starken Rückgangs dieser Flechtengesellschaft enger ökologischer Valenz im gesamten mitteleuropäischen Raum ist wohl in erster Linie auf die Veränderung von Waldstruktur und Bestandesklima durch forstliche Bewirtschaftung zurückzuführen, wenn auch BARKMAN (1958) das Lobarion als extrem empfindlich gegenüber Luftverschmutzung bezeichnet. Vielerorts, vor allem in Tieflandlagen, mag die Ursache auch in einem Summierungeffekt aus einer Verarmung der Wälder und Einwirkung von Immissionen liegen (WIRTH 1976).

### 3.2.2.4 Das *Usneetum florido-neglectae*

Die Aufnahmen von Ästen zweier nebeneinander stehender Bergahorne in der Vorderen Elmau (Tabelle 6) sind eindeutig einem *Usneetum florido-neglectae* zuzuordnen, wenn auch von den 6 Unionscharakterarten, die BIBINGER (1970) für sein *Usneetum florido-neglectae* in Laubbaumkronen des Südschwarzwaldes und der Wutachschlucht beschreibt, nur *Usnea florida* (Foto 6) gefunden wurde, die durch ihre großen Apothecien

auffällt und die Gesellschaft prägt. Dennoch ergibt sich hier ein erstaunlich hohes Arteninventar auf kleiner Fläche, und es finden sich zahlreiche sensitive Zeiger-Arten in der bartflechtenreichen Gesellschaft.

### 3.2.3 Liste aller in den Untersuchungsgebieten gefundenen Flechten und Zeigerwert einzelner Arten

In Tabelle 7 sind alle während der beschriebenen Untersuchungen registrierten Arten zusammenfassend in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt, es handelt sich um insgesamt 76 Taxa. Dazu wurde der jeweilige Fundort und Trägerbaum gekennzeichnet. Obwohl sich eine intensive Untersuchung des Flechtenmaterials auf den FoA-Bereich Garmisch-Partenkirchen beschränkte, wurden auch Funde aus den anderen Waldschadensgebieten (FoA Kreuth, FoA Reichenhall) in die Artenliste eingereiht, da sie Erkenntnisse aus dem Garmischer Gebiet bestätigen und erweitern. Aus dem Fehlen mancher Arten in bestimmten Untersuchungsgebieten kann nicht unbedingt geschlossen werden, daß die Art dort nicht existieren könnte. An den Standorten Wank und Rießerkopf waren z. T. keine Bergahorne oder gefällten Fichten vorhanden, so daß allein durch die eingeschränkte Aufnahmetechnik bereits ein gewisses Artendefizit einzukalkulieren ist.

Bei einem allgemeinen Überblick über die Artenliste fällt besonders das reichhaltige Flechtenvorkommen in der Vorderen Elmau auf. Insbesondere die in ihrer Verbreitung ozeanisch getönten Arten (wie etwa *Bryoria bicolor*, *Heterodermia speciosa*, *Caloplaca herbidella*, *Collema nigrescens*, *Peltigera collina*, *Sticta fuliginosa* und *Sticta sylvatica*), die zu einem großen Teil den sensitiven und selten gewordenen Lichenen angehören (vgl. SCHAUER 1965), ist beachtenswert. Dies hängt sicher vor allem mit dem Vorhandensein günstiger Trägerbäume zusammen. Auch im FoA-Bereich Kreuth waren ozeanische und subozeanische Arten meist an Phorophyten mit erhöhter Wasserspeicherkapazität gebunden. Obwohl das Gebiet um die Vordere Elmau bezüglich des Zustandes der Wälder nur als leicht geschädigt zu betrachten ist, zeigt die mittlere Kronenschadklasse der FVA-Fläche von Sommer 1982 (0,75) bis Herbst 1983 (1) steigende Tendenz und erhöhte sich bis Herbst 1984 auf etwa 1,25. Der Bereich ist daher sicher als Waldschadensgebiet zu betrachten. So kann der Anwesenheit der empfindlichen Flechten in diesem geschädigten Gebiet wohl eine größere Aussagekraft zukommen, als der Abwesenheit von Flechten in einem stärker geschädigten Gebiet, da hierfür zahlreiche Ursachen in Frage kommen.

Die acidophile *Pseudevernia furfuracea* mit wenig spezifischen Standortansprüchen kommt in allen Untersuchungsgebieten vor. In ihrer Empfindlichkeit gegenüber Luftverunreinigungen wird ihr meist eine Mittelstellung nach den kommunen Arten wie *Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri* und *Parmelia saxatilis*, jedoch vor *Platismatia glauca* und verschiedenen *Usnea*-Arten, eingeräumt (DE SLOOVER & LE BLANC 1968, HAWKSWORTH & ROSE 1970). So kann sie in Relation zu *Lobaria pulmonaria* oder manchen ozeanischen Blatt- und Strauchflechten sicher als mehr toxitolerant bezeichnet werden.

Begabungsversuche im Labor haben die aus ihrem Vorkommen erschlossene hohe Sensitivität der Lungenflechte *Lobaria pulmonaria* gegenüber SO<sub>2</sub> bestätigt (TÜRK et al. 1974). HAWKSWORTH &

ROSE (1970) geben für das Vorkommen von *Lobaria pulmonaria* eine SO<sub>2</sub>-Belastungsgrenze von etwa 30 µgSO<sub>2</sub>m<sup>-3</sup> an, für *Sticta limbata* und *Usnea filipendula* sollte die Luft praktisch »rein« sein. Auch der Zeigerwert der *Ramalina*-Arten ist zu erwähnen. *Ramalina pollinaria* wird z. B. in einer Toxizitätstabelle von STEUBING et al. (1983) – abnehmende Toxizität von *Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri*, *Platismatia glauca*, *Hypogymnia tubulosa* zu *Ramalina pollinaria* – als sehr empfindliche Art aufgeführt. HAWKSWORTH & ROSE (1970) geben für *R. pollinaria* und *R. obtusata* eine SO<sub>2</sub>-Grenze von 35 µgSO<sub>2</sub>m<sup>-3</sup> an. Beachtenswert ist die Vielfalt der in den Untersuchungsgebieten auftretenden *Usnea*- und *Bryoria*-Arten, die durch ihren bartförmigen Habitus mit großer Oberfläche mit der umgebenden Luft in Kontakt stehen und keine abpuffernde Wirkung des Substrates erfahren. Es ist nachgewiesen, daß insbesondere Bartflechten Schadstoffe aus der Luft stark akkumulieren. BOWEN (1970) fand eine Korrelation im Schwefelgehalt von *Usnea subfloridana* zur SO<sub>2</sub>-Konzentration der umgebenden Luft. In den Arbeiten von HAWKSWORTH & ROSE (1970) und DE SLOOVER & LE BLANC (1968) erhielten *Bryoria fuscescens*, *Usnea subfloridana*, *U. florida* und *U. filipendula* die höchsten Toxizitäts-Indices.

Als weitere Art mit hohem Zeigerwert ist die Blattflechte *Parmelia caperata* zu bemerken. Bei floristischen Kartierungen im süddeutschen Raum wird auf ihre starke immissionsbedingte Schädigung (z. T. nekrotische oder abgestorbene Lager) und die dadurch begrenzte Verbreitung hingewiesen (WIRTH & RITSCHEL 1977). Sie kommt im Reintal, am Rießerkopf, im Bereich Kreuth (Glashütte) und an zwei Rasterpunkten in Reichenhall (allerdings in verminderter Vitalität) vor. Erniedrigte Photosyntheseleistung von *Parmelia caperata* wird bei Feldstudien in den Santa Monica Mountains in Südkalifornien gemessen. Hier erreichen Ozonkonzentrationen an 50 bis 100 Tagen pro Jahr bis zu 0,1 ppm (ROSS & NASH 1983, GUDERIAN 1985). Aufgrund von Begasungsversuchen wurde diese Flechte von NASH & SIGAL (1981) als besonders empfindlich gegenüber SO<sub>2</sub> und Oxidantien auch für den Westen der Vereinigten Staaten beschrieben.

### 3.3 Diskussion zu den Ergebnissen der floristischen und soziologischen Untersuchungen

Über den Einfluß von Luftschadstoffen auf die Verbreitung und Artenzusammensetzung von Flechtengesellschaften liegen zahlreiche Untersuchungen vor (siehe FERRY et al. 1973). Aber nicht nur der Rückgang von Flechten in urban-industriellen Räumen hoher Luftbelastung, sondern auch die fortschreitende Verarmung der Flechtenflora in Waldgebieten fernab von Emittenten wird von Lichenologen beklagt (WILMANN 1965/66, FREY 1957, SCHAUER 1965). Häufig scheinen auch dafür nicht nur forstliche Eingriffe, also die Verminderung geeigneter Phorophytenstandorte, sondern auch Luftschadstoffe verantwortlich zu sein. Für die Niederlande erwähnt BARKMAN (1958), daß in der Nähe von Städten und Industriegebieten *Lobaria pulmonaria* auch aus

feuchten Wäldern verschwunden ist. Entsprechendes gilt für den gesamten mitteleuropäischen Raum:

»Bei starken und konzentrierten Luftverunreinigungsquellen ist die Flechtenvegetation weit über eigentliche industrielle und städtische Bereiche hinaus verarmt bzw. beeinträchtigt, denn die Schadstoffe, wie das SO<sub>2</sub>, werden durch den Wind weit verdriftet. Es können auch ländliche Gebiete, auch sehr große Räume, durch eine anormal dezimierte Flechtenvegetation ausgezeichnet sein« (WIRTH 1980 b).

Im Einzelfall ist häufig die Entscheidung schwer oder fast unmöglich, ob ein Rückgang von Flechtenflora und Flechtenvegetation in Waldgebieten auf Mangel an kleinklimatisch geeigneten Trägerbäumen oder auf Belastung durch Luftschadstoffe zurückzuführen ist. Häufig mögen Summierungs-effekte vorliegen.

Der Flechtenrückgang im nord- bzw. ostbayerischen Raum wird teilweise maßgeblich auf die SO<sub>2</sub>-Belastung dieser Gebiete zurückgeführt. Während Mittelfranken und Bereiche des Bayerischen Waldes gemäß ihrer Flechtenflora noch als niedrig belastet gelten können (*Menegazzia pertusa* und *Lobaria pulmonaria* gut entwickelt, *Usnea*- und *Alectoria*-Arten noch vorhanden), müssen Oberpfalz und Teile der Rhön bereits als mittelschwer belastet angesehen werden.

»Die dortige epiphytische Flechtenvegetation ist nur noch mäßig reich . . . An Bartflechten (*Usnea*, *Alectoria*) treten nur noch wenige Arten auf und diese nur an wenigen Stellen und in stark reduzierter Entwicklung« (WIRTH & FUCHS 1980).

Als am stärksten belastet wird der Raum Fichtelgebirge/Frankenwald eingestuft. Hier zeigt sich eine außerordentliche Epiphytenarmut:

»Der Rückgang ist sehr stark. Weit über die Hälfte der epiphytischen Flechtenarten ist ausgestorben. An freistehenden Bäumen fehlen am Mittelstamm Blattflechten in der Regel fast völlig. Es treten höchstens noch spärliche, sehr kleine Exemplare unserer häufigsten Blattflechte *Hypogymnia physodes* auf . . . häufiger *Lecanora conizaeoides*. Die Blatt- und Strauchflechten weisen in der Regel typische immissionsbedingte Schädigungen auf: *Hypogymnia physodes* mit teilweise absterbenden (weißlichen statt grauen) Lagerteilen, *Hypogymnia bitteriana* und *Platismatia glauca* sind teilweise oder ganz abgestorben, *Evernia prunastri* fehlt bereits« (WIRTH & FUCHS 1980).

In der derzeitigen Diskussion um die Ursachen des Waldsterbens werden häufig Parallelen zu einer geschädigten Flechtenvegetation gesehen. REICHEL (1983) fand z. B. bei Waldschadenskartierungen in den Vogesen, daß der Flächenanteil absterbender bzw. abgestorbener epiphytischer Blattflechten (*Parmelia*-Arten) sich proportional zur mittleren Schadstufe der Bäume verhält. Andere Berichte hingegen kommen zu gegenteiligen Schlußfolgerungen:

»Ein weiterer wichtiger Hinweis für die Einordnung des Schadensbildes ist, daß an nahezu allen betroffenen Standorten in Bayern und Baden-Württemberg, wo die entsprechenden klimatologischen und orographischen Voraussetzungen vorliegen, eine üppige Flechtenvegetation auftritt. Beispielsweise im Forstbezirk Staufen und hier im Bereich Kälbelescheuer finden sich u. a. die folgenden Arten: *Hypogymnia physodes*, *Pseudevernia furfuracea*, *Platismatia glauca*, *Usnea cf. filipendula* . . . Ohne die Ursache angeben zu können, ist mit Regelmäßigkeit innerhalb eines Bestandes der geschädigte Baum stärker mit Flechten besiedelt, als der ungeschädigte sowie innerhalb eines Baumes die geschädigten Zweige stärker als die ungeschädigten . . .« (PRINZ et al. 1982).

Eine Gegendarstellung durch WIRTH (1983) verdeutlicht, daß derartige Phänomene differenzierter zu betrachten sind:

»Die Aussage, daß in Waldschadensgebieten eine üppige Flechtenvegetation auftritt, ist irreführend und zu spezifizieren. Im Fichtelgebirge ist die epiphytische Flechtenflora bis auf wenige Artengruppen vernichtet. Im Bayerischen Wald zeigen viele Arten einen deutlichen Rückgang. Die Liste der Flechten in den dortigen Waldschadensgebieten umfaßt überwiegend Arten mit relativ weiter ökologischer Amplitude, aus deren Existenz allenfalls der Schluß gezogen werden kann, daß die mittlere winterliche SO<sub>2</sub>-Belastung nicht über 40 µg/m<sup>3</sup> beträgt, eine Konzentration, die für Kombinationseffekte vielleicht doch relevant ist. Im Schwarzwald, wo wir die Entwicklung verfolgt haben, hat sich in der weiteren Umgebung der Waldschadensgebiete die Flechtenvegetation verändert. Eine Reihe von Arten, die vor 15 Jahren noch in guter Vitalität und teilweise in größerer Zahl angetroffen werden konnten, ist heute unmittelbar vom Aussterben bedroht. Viele Vorkommen sind erloschen, an den Lagern finden sich Nekrosen. Allerdings sind diese Arten gegenüber säurebildenden Luftverunreinigungen als besonders sensitiv bekannt, daher ist trotz dieser Verarmungserscheinungen der Zustand der Flechtenvegetation im Schwarzwald nicht mit einer ganz auf sauren Regen und SO<sub>2</sub> abzielenden Deutung der Waldschäden in Einklang zu bringen. Andererseits eignet sich aber die Flechtenvegetation nicht als Argument gegen eine wesentliche Beteiligung dieser Faktoren. Die Beobachtung eines »üppigen Flechtenwachstums« von *Hypogymnia physodes* in feuchten Gebirgslagen ist zu wenig aussagekräftig; daß an abgestorbenen Bäumen einzelne Flechtenarten aufgrund der veränderten Standortbedingungen stark begünstigt werden, ist ein weit verbreitetes Phänomen« (WIRTH 1983).

Eindeutigere Aussagen sind möglich, wenn das Vorkommen von Flechtenarten und Flechtenassoziationen betrachtet wird, bei denen ihre hohe Empfindlichkeit gegenüber Luftverunreinigungen, insbesondere SO<sub>2</sub>, durch Korrelationsbetrachtungen im Freiland und durch Begasungsexperimente erwiesen ist, wie das beispielsweise für die Flechten des Lobarion-Verbandes der Fall ist. Ihre Existenz läßt nach heutigem Stand des Wissens den Schluß zu, daß das betreffende Gebiet oder zumindest der lokale Standort keiner stärkeren Belastung mit Schwefeldioxid ausgesetzt sein kann. Ähnliches gilt für die Bartflechten-reichen Gesellschaften, wie z. B. das Usneetum florido-neclectae. Beide Flechtenvereine wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit in den Untersuchungsgebieten des Nordalpenraumes eindeutig nachgewiesen. Die Blattflechtengesellschaft des Nephrometum belli ist in der Vorderen Elmau sogar durch hohe Artenzahl charakterisiert: In 23 Stammaufnahmen fanden sich insgesamt 45 verschiedene Species, unter ihnen, neben der hochsteten *Lobaria pulmonaria* die namensgebende Art *Nephroma bellum*, *Nephroma resupinatum* und die beiden Stictaceen *Sticta fuliginosa* und *Sticta sylvatica*. Auch am Rießerkopf, im FoA-Bereich Kreuth/Tegernsee und in Reichenhall treten Fragmente des Nephrometum belli auf, oft ist aber nur noch *Lobaria pulmonaria* auf Ahorn vertreten. Im FoA-Bereich Kreuth (Langenau Alm, Glashütte) ist die Lungenflechte auch in jungen Exemplaren noch gut entwickelt und findet sich auch auf jüngeren Bergahornen in lockeren, plenterartig aufgebauten Beständen (die z. T. höhere Baumschäden zeigen als dicht geschlossene Bestände).

Die gesamte Lungenflechtengesellschaft ist jedoch im Vergleich zu Literaturbeschreibungen in den

Untersuchungsgebieten unvollständig und nicht optimal entwickelt. Dies muß vor allem auf das Fehlen geeigneter Trägerbäume zurückgeführt werden, an die ein Teil der Charakterarten gebunden ist. Ihr generelles Zurückgehen in Europa wurde bereits von WILMANNNS (1965/66) und SCHAUER (1965) beschrieben. So wurden bei den vorliegenden Erhebungen einige aus der Literatur bekannte Charakterarten gar nicht (z. B. *Lobaria scrobiculata*, *Lobaria linita*, *Lobaria amplissima*) oder nur in einzelnen Exemplaren (*Sticta fuliginosa*, *Sticta sylvatica*, *Heterodermia speciosa*) an alten, freistehenden Weidebäumen gefunden.

Die weitere für die beschriebenen Waldgebiete wesentliche Flechtengesellschaft – das Pseudevernetium furfuraceae – am Oberstamm und in den Kronen der Fichten, läßt allgemein keine so differenzierten Aussagen zu. Diese acidophytische, nicht besonders artenreiche Flechtengesellschaft ist mit ihren wesentlichen Charakterarten in allen Untersuchungsgebieten vorhanden. Ihr wird keine so empfindliche Zeigerwirkung für Schadbelastung der Luft zugesprochen wie den Gesellschaften des Lobarion, jedoch ist es sicher, daß auch sie stärkeren SO<sub>2</sub>-Verunreinigungen nicht widerstehen kann (BARKMAN 1958; 1966). An vielen Standorten des Untersuchungsgebietes ist der übliche Artenbestand des Pseudevernetium furfuraceae durch Species z. B. aus dem Verband des Usneion filipendulae bereichert. Es treten *Usnea*-Arten, *Alectoria sarmentosa* und *Evernia divaricata* auf. Außerdem finden sich in der Gesellschaft Blattflechten wie *Hypogymnia tubulosa* und *Platismatia glauca*. Derartige Artenkombinationen des Pseudevernetiums sind nicht mit stärkerer SO<sub>2</sub>-Belastung der Luft vereinbar; sie kommen jedoch unmittelbar auf geschädigten Bäumen vor.

#### 4. Ökophysiologische Untersuchungen zur Vitalität der Flechtenindividuen

Um die Erkenntnisse aus den flechtensoziologischen und -floristischen Erhebungen zu sichern bzw. zu erweitern, sollten physiologische Untersuchungen zu einer detaillierten Aufklärung des Lebenszustandes der Flechten in den untersuchten Gebieten dienen. Eine eventuell latente Belastung sollte sich durch erniedrigte Stoffwechselraten früher erkennen lassen als sichtbare Nekrosen an den Flechtenthalli. Daher wurden zwei Flechtenarten bekannter, unterschiedlicher Valenz und Sensitivität gegenüber Luftschadstoffen ausgewählt, nämlich *Lobaria pulmonaria* und *Pseudevernia furfuracea*, um die Leitungsfähigkeit ihres Photosyntheseapparates zu überprüfen. Die CO<sub>2</sub>-Assimilation wurde als Kriterium für die Vitalität herangezogen, weil sie einerseits eine der wichtigsten Lebensfunktionen der grünen Pflanzen darstellt und andererseits als ein empfindlicher Indikator auf äußere Streßwirkung, insbesondere bei Flechten, gilt.

##### 4.1 Untersuchungsmaterial

Bei der Auswahl der Flechtenarten für die physiologischen Untersuchungen mußten verschiedene Kriterien berücksichtigt werden. Das Material sollte in den Untersuchungsgebieten in ausreichender

Menge zur Verfügung stehen, so daß Probenahmen den dortigen Bestand nicht gefährdeten. Es sollten in genügender Anzahl intakt erscheinende Thalli, die offensichtlich nicht von weiteren Faktoren (Überwachsung durch andere Kryptogamen, Tierfraß, Parasitenbefall) beeinflußt waren, vorhanden sein. Außerdem sollten Arten herangezogen werden, deren Vitalitätsbestimmung allgemeine Aussagen zuläßt.

Diese Kriterien trafen auf die in allen Untersuchungsgebieten üppig vorhandene *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf (*Parmelia furfuracea* (L.) Ach.) var. *furfuracea* zu, deren allgemeines Verbreitungsgebiet sich von der borealen Nadelwaldzone bis in die montanen Lagen des Mittelmeerraumes hinein erstreckt (vgl. WIRTH 1980 a).

Entsprechend der Fragestellung der vorliegenden Untersuchungen erschien es wünschenswert, als weiteres Untersuchungsobjekt eine der besonders sensitiven Arten aus dem *Nephrometum belli* heranzuziehen. Nur *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. stand in ausreichender Menge für Vergleichsmessungen zur Verfügung. Diese Flechtenart zeichnet sich, im Gegensatz zu *Pseudevernia furfuracea*, durch eine enge ökologische Amplitude, d. h. speziellere Standortansprüche aus, und man weiß, daß sie empfindlich auf Luftbelastung reagiert. Ihr gesamtes Verbreitungsgebiet erstreckt sich über den borealen bis mediterran-montanen Raum. Die starke Abhängigkeit dieser Flechte vom speziellen Lokalklima und Substrat beschränkt ihr Vorkommen bei uns jedoch auf freistehende Laubbäume mit hoher Wasserkapazität bzw. auf mäßig bis ziemlich licht stehende Bäume in lockeren Wäldern der montanen Region mit hohen Niederschlägen und hoher Luftfeuchte während des gesamten Jahres.

#### 4.2 Probenentnahme, Vorkultur und Gaswechsellmessung

Das Material von *Pseudevernia furfuracea* ist an den verschiedenen Standorten (Vordere Elm, Rießerkopf, Wank/SW, Wank/NW und Reichenhall) stets nur aus dem oberen, äußeren Kronenbereich von stehenden oder gefällten Fichten entnommen worden. Es wurde darauf geachtet, daß für alle Proben möglichst ähnliche mikroklimatische Bedingungen, insbesondere Lichtverhältnisse, herrschten. Die Proben der *Lobaria pulmonaria* entstammen dem Bereich zwischen etwa 1,50 und 2 m Stammhöhe von Bergahornen des Waldrandgebietes in der Vordere Elm und von Bruenst/Elm. Die Thalli waren voll belichtet. Es wurde Wert darauf gelegt, die Flechten nur in so kleiner Menge zu entnehmen, daß stets immer noch mehrere weitere Lager am Baum verblieben.

Die Flechten wurden im lufttrockenen Zustand transportiert und innerhalb von 2 bis 3 Tagen in Würzburg bei  $-18^{\circ}\text{C}$  trocken gelagert. Methodische Vorversuche bestätigten, daß der Gefriervorgang im trockenen Zustand die Photosynthesefähigkeit der Flechten nicht beeinträchtigt (siehe auch LANGE 1966, KAPPEN & LANGE 1972). Vor Beginn der Stoffwechsellmessungen wurden die Thalli langsam erwärmt und in einem Klimaschrank bei 12-stündiger Lichtperiode, hoher Luftfeuchtigkeit und  $15^{\circ}\text{C}$  Lufttemperatur vorkultiviert. Hierbei wurden sie täglich einmal mit deionisiertem Wasser besprüht. In einer vorbereitenden Versuchsserie konnte ermittelt werden, daß eine Kulturperiode von 4 bis 5 Tagen ausreicht, um die Photosyntheseaktivität der Flechten im Anschluß an die Gefrierperiode auf das Ausgangsmaß zu reaktivieren. Diese Behandlung entspricht der Erfahrung, wie sie sich bei entsprechenden Untersuchungen vielfach bewährt hat (siehe z. B. LANGE & REDON 1983).

Zur Messung ihres photosynthetischen und respiratorischen  $\text{CO}_2$ -Gaswechsels wurden die Flechtenthalli (jeweils etwa 1 g Trockengewicht) im Anschluß an die Vorkulturperiode locker mit Metalldraht auf Silberdrahtrahmen gebunden. Diese Träger mit den Flechten kamen in dicht verschließbare Plexiglasskühvetten, deren Temperatur in einem Wasserbad genau eingestellt werden konnte; die Messungen wurden bei  $10^{\circ}\text{C}$  und 95 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Foto 7 zeigt eine Probe von *Lobaria pulmonaria* in der geöffneten Gaswechsellkühvette. In der Regel wurden Messungen mit vier Kühvetten parallel zueinander vorgenommen, die sich im gleichen Wasserbad befanden und mit vier Versuchsflechten besetzt waren. Der  $\text{CO}_2$ -Gaswechsel der eingeschlossenen Flechten wurde im offenen System nach dem Gas-Differenz-Verfahren verfolgt. Als Meßgerät diente ein Infrarotanalysator (Binos, Leybold-Heraeus), der durch einen Gaswechsellschalter mit den Meßkühvetten verbunden war. Die Flechten wurden während der Messung mit Licht unterschiedlicher Intensität beleuchtet, die durch Quantum-Sensoren verfolgt wurde. Dabei durchströmte Luft unterschiedlichen, genau definierten  $\text{CO}_2$ -Partialdrucks die Meßkühvetten; die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen wurden mit einer Mischanlage eingestellt. Alle Daten wurden in 5-minütiger Punktfolge mit Kompensationsschreibern registriert. Zur Auswertung der Ergebnisse wurde im Gleichgewichtszustand jeweils über mindestens 30-minütige Teilabschnitte, d. h. über mindestens sechs einzelne Meßwerte gemittelt. Die Gaswechselraten wurden auf die projizierte Fläche und auf das Trockengewicht der Flechtenthalli bezogen. Eine ausführliche Beschreibung der verwendeten Methoden, ihrer Fehlerquellen und Angaben über Genauigkeitsbereiche findet sich bei LANGE & REDON (1983).

#### 4.3 Lichtabhängigkeit der Netto-Photosynthese, Photosynthesekapazität und Dunkelatmung als physiologische Vitalitätskriterien

Zur vergleichenden Beurteilung des Lebenszustandes der Flechtenproben aus den verschiedenen Waldschadensgebieten ist es notwendig, die Bedingungen, unter denen die Gaswechsellmessungen vorgenommen werden, zu standardisieren und aussagekräftige Parameter für den Vergleich der Stoffwechselaktivitäten heranzuziehen. Die aktuelle Rate der  $\text{CO}_2$ -Assimilation einer Flechte hängt einerseits von der Leistungsfähigkeit des Photosyntheseapparates des Phycobionten unter den gegebenen Bedingungen und der gleichzeitig ablaufenden mitochondrialen Atmung des Mycobionten ab. Andererseits wird die  $\text{CO}_2$ -Fixierung bei natürlicher Außenatmosphäre durch die Diffusionswiderstände bestimmt, die der Thallus dem Transport von Kohlendioxid von der Außenluft zum Ort der Carboxylierung entgegensetzt. Diese Diffusionswiderstände hängen stark vom Wasserzustand der Flechte ab. Während zu niedriger Wassergehalt des Thallus die  $\text{CO}_2$ -Assimilation durch biophysikalische und biochemische Inaktivierung des Photosyntheseapparates limitiert, kommt es bei hohen Gehalten an tropfbarem Wasser im Flechtenthallus zu stark anwachsenden Diffusionswiderständen, die den Zustrom an  $\text{CO}_2$  begrenzen (siehe z. B. LANGE 1980). Da sich der Einquellungsgrad der Flechtenthalli schwer kontrollieren oder standardisieren läßt, liegen hier grundsätzliche, experimentelle Fehlermöglichkeiten. Man kann sie umgehen, wenn man die photosynthetischen Reaktionen der Flechtenthalli mit Kohlendioxid sättigt. Abbildung 3 zeigt die Abhängigkeit der Netto-Photosynthese voll eingequollener Thalli der *Pseudevernia furfuracea* von der externen  $\text{CO}_2$ -Konzentration bei konstanter Temperatur und konstanter Belichtung. Der Kurvenverlauf folgt dem Prinzip

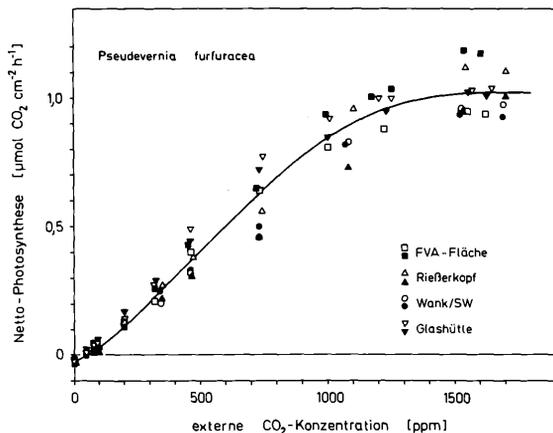


Abbildung 3

**Netto-Photosynthese der Thalli von *Pseudevernia furfuracea* in Abhängigkeit von der externen  $\text{CO}_2$ -Konzentration.** Auf der Ordinate ist die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme positiv aufgetragen. Die Symbole kennzeichnen die verschiedenen Herkünfte des Flechtenmaterials, von jedem Standort wurden zwei Proben (offene und ausgefüllte Zeichen) untersucht.

eines Sättigungsvorganges. Nach dem Überschreiten des  $\text{CO}_2$ -Kompensationspunktes folgt zunächst ein steiler, nahezu linearer Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Assimilation, bis dann oberhalb von etwa 1400 ppm  $\text{CO}_2$  die Sättigung erreicht wird. Während also der Photosyntheseapparat im Bereiche natürlicher  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen um 340 ppm sehr stark auf Schwankungen in der  $\text{CO}_2$ -Versorgung reagiert, ist er oberhalb einer bestimmten Grenze nicht mehr empfindlich gegenüber Änderungen der Konzentration an Kohlendioxid. Diese Tatsache wurde für die folgenden Messungen ausgenutzt; zur Charakterisierung der Flechtenproben wurden die Thalli maximal in Wasser eingequollen, und ihr  $\text{CO}_2$ -Gaswechsel wurde unter  $\text{CO}_2$ -Sättigung (externe Konzentration 1600 ppm) ermittelt.

Die Grundlage für die Beurteilung der photosynthetischen Leistungsfähigkeit der Flechten bildeten Abhängigkeitskurven ihrer  $\text{CO}_2$ -Assimilation von der Belichtung (Quantenflußdichte der photosynthetisch aktiven Strahlung, PAR). Sie wurden durch stufenweise Änderung der Lichtintensität bei konstanter Temperatur im Experiment ermittelt. Abbildung 4 zeigt das Beispiel einer derartigen Messung für *Pseudevernia furfuracea*, zu deren Ermittlung 15 Lichtstufen von 0 bis 900  $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PAR notwendig waren. Auch hier liegt der Typ einer Sättigungskurve vor, die durch vier Parameter charakterisiert werden kann:

Der Lichtkompensationspunkt (LK), d. h. der Schnittpunkt der Abhängigkeitskurve mit der Abszisse hängt vom Verhältnis zwischen Photosynthesefähigkeit bei niedriger Beleuchtung und der gleichzeitigen Atmung ab. Der primäre, lineare Anstieg der Abhängigkeitskurve (a) ist ein Maß für die Lichtausbeute, für die Nutzung der Lichtenergie (siehe BJÖRKMAN 1981) und wird bei Bezug auf die einfallende Quantenflußdichte als »Effizienz der Lichtausnutzung« (siehe BEYSCHLAG 1984) bezeichnet. Das Sättigungsniveau der Lichtabhängigkeitskurve entspricht der maximalen Leistung des Photosyntheseapparates bei sättigendem  $\text{CO}_2$  und sättigendem Licht, der Photosynthesekapazität ( $P_M$ ) der Flechte. Diese Größe wird im wesentlichen durch die Regeneration des

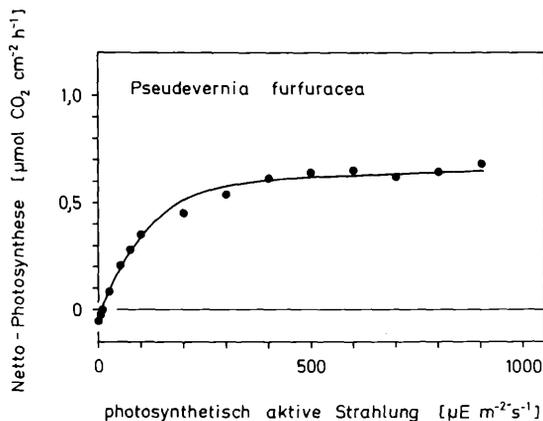


Abbildung 4

**Netto-Photosynthese der Thalli von *Pseudevernia furfuracea* (eine Herkunft) in Abhängigkeit von der Lichtintensität (photosynthetisch aktive Strahlung).** Die Symbole geben die Meßwerte an, die ausgezogene Linie kennzeichnet die Regressionskurve, die sich aus der SMITH-Gleichung unter Verwendung der Parameter a und  $P_M$  errechnet (siehe Text).

$\text{CO}_2$ -Akzeptors im Zuge der photosynthetischen  $\text{CO}_2$ -Assimilation bestimmt (siehe FARQUHAR & VON CAEMMERER 1982). Die Dunkelatmung (DA) schließlich, der Schnittpunkt der Abhängigkeitskurve mit der Ordinate, charakterisiert hauptsächlich die Stoffwechselaktivität des Flechtenpilzes, da seine Masse an atmendem Material diejenige des Algenanteils an der Flechtensymbiose bei weitem überwiegt (siehe LANGE 1953). Das Verhältnis zwischen Dunkelatmung und Photosynthesekapazität ( $\text{DA}/P_M$ ) ergibt einen weiteren, charakterisierenden Parameter, da sich erste Schädigungen im Flechtenstoffwechsel häufig in einer gegenüber der Netto-Photosynthese erhöhten Atmungsrate bemerkbar machen (siehe NOWAK 1973).

Zur Ermittlung einer vollständigen Lichtabhängigkeitskurve der Netto-Photosynthese wird eine erhebliche Versuchszeit benötigt. Dieser Zeitaufwand ist einerseits ungünstig, wenn zur statistischen Absicherung der Ergebnisse eine Vielzahl von Einzelproben untersucht werden muß. Andererseits besteht auch die Gefahr, daß das Flechtenmaterial durch intensive, längerfristige Beleuchtung während des Experimentes geschädigt wird und damit Fehlmessungen eintreten. Es war daher das Bestreben, das Verfahren abzukürzen und die notwendigen Parameter aus einer geringeren Anzahl von Einzelmessungen, d. h. Lichtstufen zu ermitteln. Nach ausführlichen Vorversuchen wurden Routinebestimmungen auf folgende Messungen beschränkt. Der primäre Anstieg der Lichtkurve wurde durch lineare Regression aus drei Messungen bei 10, 50 und 75  $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PAR festgelegt, der Schnittpunkt der Regressionsgerade mit der Abszisse ergab auch den Lichtkompensationspunkt. Die Größen  $P_M$  und DA wurden durch jeweils eine Einzelmessung bei sättigendem Licht und in Dunkelheit ermittelt.

Zur Absicherung, daß die so gewonnenen Parameter den grundsätzlichen Verlauf der Lichtabhängigkeitskurve mit ausreichender Genauigkeit repräsentieren, wurde folgendermaßen verfahren. Aus einer größeren Anzahl von Meßpunkten wurden mit Hilfe nicht-linearer Regression (Computer-

programm BMDX 85, Statistical Laboratory der University of Michigan) Lichtabhängigkeitskurven durch die häufig für diesen Zweck verwendete Funktion von SMITH (1937, 1938, siehe TENHUNEN et al. 1976 a, 1976 b) approximiert. Die sich aus dieser Gleichung anschließend errechnenden Werte von  $a$  und  $P_M$  wurden mit den Größen für diese Parameter verglichen, die durch das verkürzte Verfahren ermittelt waren. Es ergab sich eine befriedigende Übereinstimmung. Für eine Lichtabhängigkeitskurve ist in Abbildung 4 die berechnete Funktion den Meßwerten gegenübergestellt.

#### 4.4 Ergebnisse der Photosynthesemessungen an Proben der verschiedenen Standorte

Tabelle 8 faßt die Meßergebnisse der insgesamt untersuchten 107 Einzelproben beider Flechtenarten, getrennt nach Standorten und in der Reihenfolge zunehmender Waldschädigung der jeweiligen Gebiete, zusammen. In der Tabelle finden sich, jeweils für die untersuchten Flechtenarten und den Entnahmeort, Mittelwerte und Standardabweichung der Einzelmessungen angegeben. Mit Hilfe eines t-Testes (Vergleich zweier Mittelwerte unabhängiger Stichproben, siehe SACHS 1970) wurde die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Meßergebnissen überprüft.

Beim Vergleich der Photosynthesekapazitäten ( $P_M$ ) miteinander ergibt sich bei *Pseudevernia furfuracea* für die Proben von der Vorderen Elmau der höchste Mittelwert; er ist hochsignifikant (0,1%-Niveau) von den Werten der übrigen Entnahmeorte unterschieden. Es ist jedoch keine signifikante Differenzierung der Mittelwerte aller anderen Standortkombinationen untereinander erkennbar. Dies gilt sowohl für die oberflächen- als auch für die trockengewichtsbezogenen Resultate von  $P_M$ .

Auch die Lichtnutzungseffizienz ( $a$ ) von *Pseudevernia furfuracea* ist offensichtlich in der Vorderen Elmau größer als an den übrigen Standorten, und zwar mit hochsignifikanter Differenz zu den Standorten Wank/NW und Wank/SW, mit geringerer Signifikanz (1%-Niveau) der Unterschiede beim Vergleich von Vorderer Elmau mit den Proben von Reichenhall. Die Proben von Rießerkopf und Vorderer Elmau weichen nur auf dem 5%-Niveau voneinander ab. Wendet man den statistischen Test auch auf die Dunkelatmungsrate (DA) an, so ergibt sich keinerlei signifikante Unterscheidung zwischen den einzelnen Entnahmeorten.

Der DA/ $P_M$ -Quotient ist nur zwischen der Vorderen Elmau - Wank/SW und Rießerkopf - Wank/SW auf dem 5%-Niveau zu differenzieren, wobei Wank/SW den absolut ungünstigsten Quotienten aufweist und die Vorderer Elmau den besten, gefolgt von Rießerkopf, Wank/NW und Reichenhall. Der ungünstigste DA/ $P_M$ -Quotient am Wank/SW könnte an einen gewissen Schaden denken lassen. Er ergibt sich aus der relativ hohen DA, da sich  $P_M$  auf dem Niveau der anderen Standorte bewegt. In Anbetracht der hohen Varianz des DA/ $P_M$ -Quotienten an diesem Standort und der Tatsache, daß einzelne Werte durchaus denen der anderen Standorte entsprechen, läßt sich darauf kein bedeutungsvoller Hinweis auf eine generelle, wenn auch geringfügige Schädigung der Flechten von Wank/SW stützen, zumal niedrige Photosynthesekapazität und erhöhte Dunkelatmung der jeweiligen Einzelproben nicht parallel verlaufen. Der Lichtkompensationspunkt (LK) liegt für *Pseudevernia furfuracea* am Wank/SW am höchsten und läßt sich jeweils von dem der Vorderen Elmau, des Rießerkopf und von Reichenhall auf dem 0,1%-Signifikanz-Niveau unterscheiden und vom Wank/NW auf dem 5%-Niveau. Alle anderen Standorte sind diesbezüglich nicht erkennbar voneinander abzugrenzen. Bei Anwendung des t-Testes auf die Ergebnisse von *Lobaria pulmonaria* kann für keinen der 6 aufgeführten Parameter eine Differenzierung getroffen werden, die zumindest dem 5%-Signifikanz-Niveau genügen würde.

sationspunkt (LK) liegt für *Pseudevernia furfuracea* am Wank/SW am höchsten und läßt sich jeweils von dem der Vorderen Elmau, des Rießerkopf und von Reichenhall auf dem 0,1%-Signifikanz-Niveau unterscheiden und vom Wank/NW auf dem 5%-Niveau. Alle anderen Standorte sind diesbezüglich nicht erkennbar voneinander abzugrenzen.

Bei Anwendung des t-Testes auf die Ergebnisse von *Lobaria pulmonaria* kann für keinen der 6 aufgeführten Parameter eine Differenzierung getroffen werden, die zumindest dem 5%-Signifikanz-Niveau genügen würde.

#### 4.5 Diskussion der Ergebnisse der Gaswechsellmessungen

Die Stoffwechsellmessungen an den Flechtenproben aus den verschiedenen Untersuchungsgebieten galten der Frage, ob Vitalitätsminderungen erkennbar sind, die evtl. auf die Einwirkung von Luftverunreinigungen schließen lassen und ob Korrelationen auftreten im Lebenszustand der Thalli und dem Schädigungsgrad der Waldgebiete, aus denen sie entnommen worden sind. Es ist schwierig, absolute quantitative Vergleichsmaßstäbe für den CO<sub>2</sub>-Gaswechsel der untersuchten Flechten zu finden. Die Photosyntheseaktivität kann von Population zu Population erheblichen Schwankungen unterliegen und hängt auch stark von deren klimatischen Bedingungen ab (siehe z. B. BROWN & KERSHAW 1985). Daher ist es kritisch, eine »normale Nullprobe« zu definieren. In der Literatur vorliegende Photosyntheseraten der Versuchsflechten (z. B. TÜRK et al. 1974) lassen nur größenordnungsmäßige Vergleiche zu, die sich allerdings nicht auf den Zustand der CO<sub>2</sub>-Sättigung beziehen. Vergleicht man derartige Angaben mit den Photosyntheseparametern der vorliegenden Messungen und zieht man die Erfahrungen über den Gaswechsel von Flechten mit in die Betrachtung ein, die seit langer Zeit im hiesigen Laboratorium vorliegen, dann gibt es keinerlei begründbare Hinweise darauf, daß die untersuchten Proben von *Pseudevernia furfuracea* und *Lobaria pulmonaria* sich in irgendeiner Hinsicht abnormal verhalten oder einen geschädigten Eindruck machen.

Vergleicht man die Photosyntheseparameter der Thalli aus den einzelnen Waldgebieten miteinander, so schält sich nur die Vorderer Elmau als Standort heraus, an dem Photosynthesekapazität und Effizienz der Lichtnutzung von *Pseudevernia furfuracea* eindeutig besser sind als an allen übrigen Entnahmeorten. Obwohl diese anderen Provenienzen Waldgebieten deutlich unterschiedlichen Schädigungsgrades der Bäume entsprechen, ist es nicht möglich, eine entsprechende Abstufung in den Vitalitätsparametern der epiphytischen Flechten nachzuweisen. Besonders deutlich wird das, wenn man die Photosyntheseaktivität von *Pseudevernia furfuracea* von Reichenhall mit kaum geschädigtem Waldbestand mit den Werten der Art aus den ganz wesentlich stärker geschädigten Wäldern am Wank/SW vergleicht: Es bestehen keine gesicherten Differenzen in den beiden Populationen. Für die Diskrepanz zwischen der deutlich höheren Photosyntheseaktivität von *Pseudevernia furfuracea* in der Vorderen Elmau und der der Proben von den anderen Standorten müssen mit großer Wahrscheinlichkeit klimatische Faktoren verantwortlich gemacht werden. Bedenkt man, daß *Pseudevernia*

*furfuracea* eine Flechtenart weiter ökologischer Amplitude ist, d. h. in einem breiten Spektrum variierender Standortbedingungen existieren kann, können Unterschiede in den mesoklimatischen Voraussetzungen in Betracht gezogen werden, die die Vergleichbarkeit des Photosynthese-Verhaltens im Hinblick auf Luftschadstoffe relativieren. Beispielsweise liegt die Untersuchungsfläche (1200 m NN) um ca. 150 m höher als die anderen Gebiete. Auch die soziologischen Untersuchungen sprechen für die Annahme einer lokalklimatischen Begünstigung. Die Vordere Elmau erhält im Vergleich mit den anderen Gebieten wohl die meisten Niederschläge, verbunden mit häufiger Nebelbildung. Die stoffwechselphysiologische Aktivität von Flechten wird durch regelmäßige Wasserzufuhr und hohe Luftfeuchtigkeit erhöht (RUNDEL 1978), was zumindest teilweise mit stärkerem Wachstum des Phycobionten in Zusammenhang steht. Dies wirkt sich sicher in erster Linie auf ihre Photosynthesekapazität aus.

Da die Lungenflechte *Lobaria pulmonaria* relativ spezifische Standortansprüche stellt, muß angenommen werden, daß die Bedingungen des Mikrohabitats der untersuchten Proben nicht stark voneinander variierten. Beide Entnahmegebiete weisen in ihren Waldbeständen eindeutige Schädigungen auf, die als »schwach« bis »mittelstark« eingeschätzt werden. Trotzdem lassen die Thalli von *Lobaria pulmonaria* keine Beeinträchtigung ihrer Photosyntheseaktivität erkennen. Nicht nur bezüglich ihres Habitus sondern auch hinsichtlich ihres Photosynthese-Stoffwechsels machen sie einen voll lebensfähigen Eindruck. Der Standort Bruenst/Elmau gilt bezüglich der Waldschadensentwicklung als deutlich stärker beeinträchtigt als die Vordere Elmau. Zu den Photosyntheseparametern der Lungenflechte aus diesen beiden Gebieten findet sich dazu keine Parallele. Sowohl die Effizienz der Lichtnutzung und trockengewichts- und flächenbezogene Photosynthesekapazität als auch die Atmungsparameter weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

## 5. **Schlußfolgerungen**

Weder die floristisch-pflanzensoziologischen Untersuchungen noch die physiologischen Stoffwechselformen lassen einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen der Flechten bzw. ihrer Vitalität in den Untersuchungsgebieten und der Schädigung der Fichtenwälder deutlich werden. Auch im Bereiche von Fichtenbeständen, die bei Ausbildung von Chlorosen und beginnender Entnadelung der Triebe von forstlicher Seite her einer Kronenschädigung zwischen »schwach geschädigt« und »mittelstark geschädigt« zugeordnet werden und wo sich im Sommer Olivfärbung und »Schiffchenbildung« an den Blättern der Buchen zeigten (wie am Probenentnahmeort Bruenst/Elmau), kommt die empfindliche Lungenflechte vor. Im Gebiet Vordere Elmau, das der Schadklasse 1 angehört, wächst das *Nephrometum belli* auf Ahornbäumen in hoher Artenzahl mit weiteren Flechten wie Vertretern der Gattungen *Sticta* und *Nephroma*, die als sehr SO<sub>2</sub>-sensitiv eingestuft werden. Hier und in den anderen Waldschadensgebieten treten mit reicher Artengarnitur auch Bartflechtengesellschaften auf, die als wenig resistent gegen Luftschadstoffe bekannt sind. In allen der untersuchten

Gebiete ist das *Pseudevernetum furfuraceae* im Kronenraum von Fichte, Tanne und Buche verbreitet, und zwar auch unter häufiger Beteiligung von empfindlicheren Arten der bartförmigen Lebensform. Der Lebenszustand der stoffwechselmäßig untersuchten Proben von *Lobaria pulmonaria* und *Pseudevernia furfuracea* läßt keine Beeinträchtigung erkennen. Die einzelnen ermittelten Parameter des Photosynthesevermögens sind nicht korreliert mit den verschiedenen Schädigungsstufen der Waldbereiche, aus denen die Proben entnommen wurden. All diese Tatsachen sprechen dafür, daß die Belastung der untersuchten Waldschadensgebiete mit SO<sub>2</sub> generell gering sein muß, und zwar so gering, daß selbst die als empfindlich eingestuft Zeigerpflanzen unter den Flechten noch existieren können.

Allerdings muß betont werden, daß der allgemeine Deckungsgrad der Flechten an den epiphytischen Standorten in den untersuchten Waldgebieten nicht immer hoch ist. Der durch die forstliche Bewirtschaftung bedingte Mangel an geeigneten Phorophyten schränkt die Flechtenbestände auch hier erheblich ein. So finden sich die in diesem Zusammenhang besonders aussagekräftigen Arten aus dem *Nephrometum belli* und aus dem *Usnetum florido-neglectae* nicht weit verbreitet, sondern in der Regel auf spezielle Standorte beschränkt. Die *Sticta*- und *Nephroma*-Arten wachsen beispielsweise vornehmlich an älteren Ahornbäumen über Moosrasen, die die Feuchtigkeit halten (siehe Foto 5). Man könnte also einwenden, daß derartige Standorte von einer Schadstoffbelastung weniger betroffen wären und damit der Zeigerwert der Flechten nicht repräsentativ für den Baumbestand ist. Gegen dieses Argument spricht, daß sich *Lobaria pulmonaria* häufig auch im höheren, stärker ventilierten Stammbereich findet. Die Bartflechten der Gattungen *Usnea*, *Bryoria* und *Alectoria* wachsen vornehmlich in den Kronen von Nadel- und Laubhölzern, wo sie der Außenatmosphäre frei exponiert sein können. Das gleiche gilt für die Gesellschaft des *Pseudevernetum furfuraceae*. In diesen Fällen kann auf keinen Fall damit gerechnet werden, daß die Flechten im Vergleich zur assimilierenden Biomasse der Bäume vor dem Zutritt eventueller Luftschadstoffe geschützt sein könnten.

Besonders deutlich wird die Diskrepanz im Lebenszustand zwischen Flechte und Trägerbaum, wenn die Epiphyten unmittelbar auf Ästen und Zweigen wachsen, die deutliche Symptome der Baumschädigung (Gelbverfärbung der Nadeln, Nadelverlust) aufweisen. Die Fotos 2 und 3 zeigen Beispiele für diese Erscheinung mit der Bartflechtengesellschaft und mit dem *Pseudevernetum* auf geschädigten Fichtenästen. Man gewinnt den Eindruck, daß die Flechten oft sogar von der reduzierten Wüchsigkeit und dem Nadelverlust des Trägerbaumes geradezu profitieren, weil ihnen ohne Beschattung von dichten Zweigen günstigere Lichtverhältnisse geboten werden. Das scheint insbesondere für *Evernia divaricata* zu gelten. In diesen Fällen kann kein Zweifel bestehen, daß Flechten und Fichtennadeln der gleichen Atmosphäre, also der gleichen möglichen Einwirkung von Luftschadstoffen ausgesetzt sind. Wenn dann die Fichtennadeln Schädigungssymptome aufweisen, während die SO<sub>2</sub>-empfindlichen Flechten unter den gleichen Bedingungen wachsen und in ihrem sensitiven photosynthetischen Stoff-

wechselsapparat keine Beeinträchtigung zeigen, kann nach dem heutigen Stande unserer Erkenntnis nur der Schluß daraus gezogen werden, daß bei niedriger  $\text{SO}_2$ -Belastung die Schädigung der Bäume nicht auf einer direkten Einwirkung von Schwefeldioxid beruhen kann. Dieser Faktor ist also mit großer Wahrscheinlichkeit zumindest in seiner Wirkung auf die oberirdischen Organe als Ursache der Baumschädigung auszuschließen. (Über synergistische Wirkung sehr geringer  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen mit anderen Schadfaktoren kann hierdurch nichts ausgesagt werden.) Dabei ist selbstverständlich, daß diese Folgerungen auf das Untersuchungsgebiet beschränkt sein müssen.

Die Schlußfolgerungen aus dem Vorkommen und dem Verhalten der Flechten werden durch Messungen bestätigt, die über die  $\text{SO}_2$ -Belastung des Bayerischen Nordalpenraumes vorliegen. Nach Registrierungen des Fraunhofer-Instituts für Atmosphärische Umweltforschung in Garmisch-Partenkirchen (REITER 1983) reichen die  $\text{SO}_2$ -Spitzen in Garmisch (740 m ü. NN) im Winter kaum über 10 ppb (ca. 27  $\mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$ ) hinaus und lagen im Mittel in den Jahren 1981 und 1982 zwischen 2 bis 4 ppb (ca. 5 bis 11  $\mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$ ). An der Meßstation Wank (1780 m über NN) werden für die Jahre 1980 bis 1982 Jahresmittelwerte von ca. 3 ppb mit maximalen Monatsmitteln bis knapp 8 ppb  $\text{SO}_2$  (ca. 22  $\mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$ ) gemessen. Im Vergleich dazu geben HAWKSWORTH & ROSE (1970) für das Vorkommen von *Lobaria pulmonaria* eine obere Belastungsgrenze von etwa 30  $\mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$  an. TÜRK et al. (1974) fanden bei Begasungsversuchen mit einer kurzfristigen Expositionsdauer von 14 Stunden erste Schädigungen des Photosyntheseapparates der Lungenflechte bei 500  $\mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$ . Es ist schwer möglich, aus derartigen Vergleichen quantitative Schlüsse zu ziehen, weil die Zeitdauer der Belastung wichtig ist, der Wasserzustand der Flechte während der  $\text{SO}_2$ -Einwirkung eine große Rolle spielt und weil unter Freilandbedingungen andere Komponenten, wie etwa die Pufferkapazität des Substrates, auf dem die Flechte wächst, die Schädigung modifizieren kann. Immerhin wird die niedrige Größenordnung der  $\text{SO}_2$ -Belastung im Nordalpenraum erkennbar. Das wird noch deutlicher wenn man bedenkt, daß (laut lufthygienischem Jahresbericht 1981, Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 52) im nordbayerischen Raum die Jahresdurchschnittswerte bei 20 bis 70  $\mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$  liegen und im Raum Fichtelgebirge/Frankenwald Tagesspitzen um 1000  $\mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$  gemessen worden sind.

Als weiterer wichtiger atmosphärischer Schadfaktor werden im Zusammenhang mit den Waldschäden in den sogenannten Reinluftgebieten die Photooxidantien diskutiert. Ozon, Stickoxide und deren photooxidative Reaktionsprodukte wie Peroxyacetylnitrat (PAN) verursachen Schäden an Laubbäumen und an Koniferen beispielsweise in den San Bernardino Mountains in Kalifornien und müssen auch in Mitteleuropa in Betracht gezogen werden (siehe z. B. PRINZ et al. 1982, GUDERIAN 1985). Inwieweit Flechten auch für diese Schadstoffe praktisch verwendbaren Zeigerwert besitzen, ist zweifelhaft. Bei Begasungsversuchen unter Laboratoriumsbedingungen werden Flechten irreversibel geschädigt, die applizierten Konzentrationen bei diesen Kurzzeitversuchen lagen aber meist bei weitem über den für das Freiland bekannten Meß-

werten (siehe z. B. NASH 1976, BROWN & SMIRNOFF 1978, SIGAL & TAYLOR 1979, DÉRUELLE & PETIT 1983). Immerhin konnten NASH & SIGAL (1979, 1980) bei experimenteller Behandlung mit Ozon bei *Parmelia sulcata* signifikante Depressionen der Photosynthese bei 0,5 und 0,8 ppm  $\text{O}_3$  feststellen, die einige Stunden nach der Applikation auftraten. Bei Freilandstudien in den San Bernardino Mountains untersuchten die beiden Autoren (SIGAL & NASH 1983) Häufigkeit und Deckungsgrad zweier Flechtenarten (*Letharia vulpina* und *Hypogymnia enteromorpha*). Hierbei und bei Transplantationsversuchen mit *Hypogymnia enteromorpha* ergaben sich eindeutige Parallelen zwischen den durch unterschiedliche Konzentrationen an Photooxidantien geschädigten Waldregionen und dem Rückgang bzw. der Schädigung dieser beiden Flechten. Verschiedene andere Flechtenarten waren durch die Schadstoffbelastung unbeeinflusst, so daß erhebliche Unterschiede in der Toxizität der verschiedenen Spezies auch unter Freilandbedingungen zu bestehen scheinen. Entsprechende Untersuchungen aus Mitteleuropa sind nicht bekannt. Insgesamt sprechen die Angaben in der Literatur dafür, daß im Gegensatz zum Schwefeldioxid die Schädigungsschwelle durch Oxidantien für Flechten nicht niedriger, sondern vielleicht in manchen Fällen sogar noch höher als für Phanerogamen liegt, siehe hierzu auch die vergleichenden Untersuchungen von GUDERIAN et al. 1985. (Intensive lichenologische Untersuchungen sind hierzu aber noch notwendig). Während in  $\text{SO}_2$ -belasteten Gebieten die allermeisten Flechten daher früher leiden als die Höheren Pflanzen, scheint das bei Belastung durch Ozon nicht der Fall zu sein.

Die vorliegenden Untersuchungen lassen im Gegensatz zum Schwefeldioxid daher keinerlei Schlüsse zu über die mögliche Rolle von Photooxidantien für die Baumschädigungen. Außerdem können aus den Studien an Flechten, die nicht mit dem Boden verhaftet sind, selbstverständlich auch keine Aussagen über Schadfaktoren gemacht werden, die über den Wurzelraum der Bäume wirken und möglicherweise ihre Mineral- oder Wasserversorgung stören.

## 6. Zusammenfassung

In Waldschadensgebieten des Bayerischen Nordalpenraumes wurden die epiphytische Flechtenflora und -vegetation untersucht. Die ausgewählten Waldbestände liegen schwerpunktmäßig im Forstamtsbezirk Garmisch-Partenkirchen und repräsentieren unterschiedliche Kronenschadklassen der Fichte. Mit Hilfe pflanzensoziologischer Stamm- und Astaufnahmen an Fichte, Bergahorn und Tanne werden Flechtengesellschaften beschrieben. Aufnahmen an Bergahorn können einer Assoziation aus dem Verband des *Lobarion pulmonariae*, dem *Nephrometum belli* und dem *Usneetum florido-neglectae* zugeordnet werden. Die Unterstämme der Fichten und Tannen tragen Flechtengesellschaften, die zum *Parmeliopsidetum ambiguae* gehören, und ihre Baumkronen sind durch Vergesellschaftungen des *Pseudevernetum furfuraceae* charakterisiert. Insgesamt werden 76 Flechtentaxa nachgewiesen.

Von zwei Flechtenarten, *Pseudevernia furfuracea* mit weiter ökologischer Amplitude und *Lobaria*

*pulmonaria* mit spezifischen Standortsansprüchen wurden Proben aus den verschiedenen Waldschadensgebieten entnommen, und ihre Lebenszustand wurde durch CO<sub>2</sub>-Gaswechselfmessungen im Laboratorium getestet. Als kennzeichnende Parameter galten neben der Dunkelatmung der Lichtkompensationspunkt, der primäre Anstieg der Licht-Abhängigkeitskurve der Netto-Photosynthese sowie die Photosynthesekapazität bei sättigendem Licht, wobei alle Messungen bei sättigender externer CO<sub>2</sub>-Konzentration ausgeführt wurden.

Flechten sind als Zeigerpflanzen für Schadstoffbelastung der Luft, insbesondere durch ihre Sensitivität gegenüber SO<sub>2</sub> bekannt, was in der Literatur durch Korrelationen im Gelände und durch Begasungsexperimente gesichert ist. Weder die floristisch-pflanzensoziologischen Erhebungen noch die physiologischen Stoffwechselfmessungen lassen einen Einfluß von Schwefeldioxid auf Existenz und Verbreitung der Flechten oder auf ihren Lebenszustand in den untersuchten Waldschadensgebieten erkennen. Es kommen Arten und Flechtengesellschaften vor, die sehr empfindlich auf SO<sub>2</sub> reagieren, und die ausgewählten Proben lassen keine Schädigung ihrer photosynthetischen Leistungsfähigkeit erkennen. Es existiert keine Korrelation zwischen den Stoffwechselfparametern und dem Grad der Baumschädigung am Standort der Flechten. Eine Vegetation aus SO<sub>2</sub>-empfindlicher Flechten findet sich unmittelbar auf Fichtenästen, die typische Symptome der »neuartigen Waldschäden« tragen, nämlich Chlorosen der Nadeln und Nadelverlust.

Da die gegenüber Höheren Pflanzen empfindlicheren epiphytischen Flechten nicht durch SO<sub>2</sub> beeinträchtigt sind, wird aus den Ergebnissen gefolgert, daß eine oberirdische Beeinflussung der Assimilationsorgane durch Schwefeldioxid auch nicht die Ursache der Baumschädigungen sein kann. Diese Aussage ist selbstverständlich auf das Untersuchungsgebiet beschränkt; in anderen Waldschadensgebieten können die Verhältnisse anders liegen. Die Untersuchungen an Flechten lassen auch keine Schlüsse über die mögliche Rolle von Photooxidantien für die Baumschädigungen zu.

## Summary

The flora and vegetation of epiphytic lichens were investigated in forests of the Bavarian Alps (around Garmisch-Partenkirchen) in which the spruce trees (*Picea abies*) exhibit different degrees of the characteristic symptoms of forest damage reputed to be associated with air pollution. Characteristic lichen communities were: the *Nephrometum belli* on the lower trunks of maple trees (*Acer pseudoplatanus*), the *Parmeliopsidetum ambiguae* on the lower trunks, primarily on spruce, and the *Pseudevernetium furfuraceae* and the *Usneetum florido-neglectae* predominantly on the upper crowns of the trees. Seventy-six taxa of lichens were identified.

Samples of two species, namely of the widely distributed *Pseudevernia furfuracea* and of *Lobaria pulmonaria*, which has a very specific habitat preference, were collected from different areas and their physiological activity was tested by means of CO<sub>2</sub>-exchange measurements in the laboratory. Metabolic activity was characterized by parameters such as dark respiration, light compensation point, initial slope of the light response curve of net

photosynthesis, and photosynthetic capacity at saturating photon flux density. All measurements were conducted at saturating external CO<sub>2</sub> partial pressure.

Lichens are known as useful bioindicators of air pollution, being especially sensitive to SO<sub>2</sub>. This has been reported in the literature in field correlations as well as in laboratory fumigation experiments. In the present study, there were no indications of any impact of sulphur dioxide on the viability or physiological activity of the epiphytic lichens. Lichen species and communities in these forests occur which are known to be very SO<sub>2</sub>-sensitive. Photosynthetic activity of selected species did not show any correlation with the degree of damage of the forests where they had been sampled (damage classes 0-1 to 1-2). A rich vegetation of lichens, including sensitive species, was found growing even directly on branches of spruce trees which were damaged, as indicated by chlorosis and loss of needles (Picts. 2 and 3).

Since lichens in these habitats are apparently not affected by SO<sub>2</sub> and since it is known that specific lichens respond more sensitively to SO<sub>2</sub> than higher plants, it is concluded from these findings, that a direct influence of atmospheric sulphur dioxide is likely not the cause of the observed tree damage. Naturally, this conclusion must be restricted to the area of this study. Conditions certainly may be different in other areas of forest damage. The present study with lichens also does not necessarily have any bearing on the possible role of air-born photochemical oxidants for the tree damage in this study area.

## 7. Danksagung

Wir sind Herrn Prof. Dr. H. ZIEGLER (München) zu Dank verbunden, der uns auf das Phänomen der reichen Flechtenflora in seinem Untersuchungsgebiet in den Voralpen aufmerksam gemacht hat und uns ebenso wie Herr Prof. Dr. REHFUESS (München) und seine Mitarbeiter durch Erfahrungsaustausch half. Die Herren Ltd. Ministerialrat WILD (Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) und Ministerialrat MAGERKURTH (Bayer. Staatsministerium für Unterricht und Kultus) unterstützten Planung und Durchführung der Arbeiten. Herr Dr. V. WIRTH beriet uns in geobotanischen Fragen, begutachtete die pflanzensoziologischen Tabellen und half bei der Bestimmung kritischer Flechten; Herr Dr. BIBINGER bestimmte und revidierte die Bartflechten. Beiden Herren sei hierfür herzlich gedankt. Die Untersuchungen wurden weiterhin in dankenswerter Weise durch die Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt unter Leitung von Herrn FD Dr. GOETTLING unterstützt, und die Geländearbeiten wären nicht möglich gewesen ohne die freundliche und wirkungsvolle Hilfe der Forstamtsleiter in Garmisch-Partenkirchen und Kreuth, den Herren FD Dr. EHRHARDT und FD BÖHM nebst ihren Mitarbeitern. Für Unterstützung bei der Durchführung der Arbeiten im Rechenzentrum der Universität Würzburg sind wir Herrn G. RADERMACHER und bei den technischen Arbeiten den Damen D. FALTENBACHER, W. FIRNSCHILD, E. KILIAN und W. SAMFASS verbunden.

Durch Beihilfen wurden die floristisch-soziologischen Untersuchungen im Rahmen der »Bayerischen Forschungsgruppe Forsttoxikologie« durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus und die ökophysiologischen Messungen durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

## 8. Literaturverzeichnis

- ANDERS, J. (1928):  
Die Strauch- und Laubflechten Mitteleuropas. - Fischer, Jena, 218 S.
- BARKMAN, J. J. (1958):  
Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. - Van Gorcum & Com., Assen, 628 S.
- (1966):  
Menschlicher Einfluß auf die Epiphyten-Vegetation West-Europas. - In: TÜXEN, R. (Hg.): Anthropogene Vegetation; W. Junk, Den Haag.
- BEYSCHLAG, W. (1984):  
Photosynthese und Wasserhaushalt von *Arbutus unedo* L. im Jahreslauf am Freilandstandort in Portugal. Gaswechselformen unter natürlichen Bedingungen und experimentelle Faktorenanalyse. - Dissertation; Würzburg.
- BIBINGER, H. (1970):  
Soziologische Gliederung der bartflechtenreichen Epiphytenvereine des Südschwarzwaldes. - *Herzogia* 2: 1-24.
- BJÖRKMAN, O. (1981):  
Responses to different quantum flux densities. - In: LANGE, O. L., NOBEL, P. S., OSMOND, C. B. & ZIEGLER, H. (Hg.): Physiological plant ecology I. Responses to the physical environment. - Encyclopedia of plant physiology, Volume 12 A; Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- BOWEN, H. J. M. (1970):  
Air pollution and its effects in plants. - Zitiert nach HAWKSWORTH, D. L. in: FERRY, B. W., BADDELEY, M. S., HAWKSWORTH, D. L. (1973): Air pollution and lichens. - Athlone Press, London.
- BROWN, D. & KERSHAW, K. A. (1985):  
Electrophoretic and gas exchange patterns of two populations of *Peltigera rufescens*. - In: BROWN, D. H. (Hg.): Lichen physiology and cell biology, 111-128. - Plenum Press; New York, London.
- BROWN, D. H. & SMIRNOFF, N. (1978):  
Observations on the effect of ozone on *Cladonia rangiformis*. - *The Lichenologist* 10: 91-94.
- DÉRUELLE, S. & PETIT, P. J. X. (1983):  
Preliminary studies on the net photosynthesis and respiratory responses of some lichens to automobile pollution. - *Chrytogamie, Bryol. Lichenol.* 4, 3: 269-278.
- DE SLOOVER, J. & LE BLANC, F. (1968):  
Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity. - In: MISRA, R. & GOPAL, B. (Hg.). - Proc. symp. recent advan. trop. ecol.: 42-56; Varanasi, India.
- FARQUHAR, G. D. & VON CAEMMERER, S. (1982):  
Modelling of photosynthetic responses to environmental conditions. - In: LANGE, O. L., NOBEL, P. S., OSMOND, C. B. & ZIEGLER, H. (Hg.): Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimilation; Encyclopedia of plant physiology, Volume 12 B; Springer; Berlin, Heidelberg, New York.
- FERRY, B. W., BADDELEY, M. S., HAWKSWORTH, D. L. (1973):  
Air pollution and lichens. - Athlone Press; London, 389 S.
- FREY, E. (1933):  
Die Flechtengesellschaften der Alpen. - *Ber. Geobot. Inst. Rübel*: 36-51.
- (1952):  
Die Flechtenflora und Vegetation des Nationalparks im Unterengadin. I. Teil: Die diskokarpen Blatt- und Strauchflechten. - *Ergebn. wiss. Unters. schweiz. Nationalparks* 3: 361-503.
- (1957):  
Die anthropogenen Einflüsse auf die Flechtenflora und -vegetation in verschiedenen Gebieten der Schweiz. Ein Beitrag zum Problem der Ausbreitung und Wanderung der Flechten. - *Ber. Geobot. Inst. Rübel* 33: 91-107.
- GUDERIAN, R. (1977):  
Air Pollution. Phytotoxicity of acidic gases and its significance in air pollution control. *Ecological studies* 22. - Springer; Berlin, Heidelberg, New York, 127 S.
- (1985):  
Air pollution by photochemical oxidants. Formation, transport, control and effects on plants. *Ecological studies* 52. - Springer; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 346 S.
- GUDERIAN, R., KÜPPERS, K. & SIX, R. (1985):  
Wirkungen von Ozon, Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid auf Fichte und Pappel bei unterschiedlicher Versorgung mit Magnesium und Kalzium sowie auf die Blattflechte *Hypogymnia physodes*. - *VDI-Berichte* 560: 657-701.
- HAWKSWORTH, D. L. & ROSE, F. (1970):  
Qualitative scale for estimating sulfur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. - *Nature* 227 (11): 145-148.
- JAMES, P. W., HAWKSWORTH, D. L. & ROSE, F. (1977):  
Lichen communities in the British Isles. - A preliminary conspectus. Chap. 10: 296-413. - In: SEAWARD, M. (Hg.): Lichen ecology. - Academic Press; London, New York, San Francisco.
- JÜRGING, P. (1975):  
Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung. - *Bibl. Lichenologica* 4; Cramer; Vaduz, 164 S.
- KANDLER, O. & POELT, J. (1984):  
Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. - *Naturwissenschaftl. Rundschau* 3: 90-95.
- KAPPEN, L. & LANGE, O. L. (1972):  
Die Kälteresistenz einiger Makrolichenen. - *Flora* 161: 1-29.
- KLEMENT, O. (1951):  
Der ökologische Zeigerwert der Flechten in der Forstwirtschaft. - *Forstarchiv* 22: 138-139.
- (1955):  
Prodromus der mitteleuropäischen Flechtengesellschaften. - *Feddes Rep. Beih.* 135: 5-194.
- LANGE, O. L. (1953):  
Hitze- und Trockenresistenz der Flechten in Beziehung zu ihrer Verbreitung. - *Flora* 140: 39-97.
- (1966):  
CO<sub>2</sub>-Gaswechsel der Flechte *Cladonia alpicornis* nach langfristigem Aufenthalt bei tiefen Temperaturen. - *Flora B* 156: 500-502.
- (1980):  
Moisture content and CO<sub>2</sub> exchange of lichens. I. Influence of temperature and moisture-dependent net photosynthesis and dark respiration in *Ramalia maciformis*. - *Oecologia (Berl.)* 45: 82-87.
- LANGE, O. L. & REDON, J. (1983):  
Epiphytische Flechten im Bereich einer chilenischen »Nebeloase« (Fray Jorge). II. Ökophysiologische Charakterisierung von CO<sub>2</sub>-Gaswechsel und Wasserhaushalt. - *Flora* 174: 245-284.
- LAUNDON, J. R. (1973):  
Urban lichen studies. - In: FERRY, B. W., BADDELEY, M. S., HAWKSWORTH, D. L.: Air pollution and lichens, 109-123. - Athlone Press; London.
- NASH, TH. (1976):  
Sensitivity of lichens to nitrogen dioxide fumigations. - *The Bryologist* 79 (1): 103-106.
- NASH, TH. & SIGAL, L. L. (1979):  
Gross photosynthetic response of lichens to short-term ozone fumigations. - *The Bryologist* 82 (2): 280-285.
- (1980):  
Sensitivity of lichens to air pollution with an emphasis on oxidant air pollutants. - *Proceedings of the symposium on effects of air pollutants on Mediterranean and temperate forest ecosystems, June 22-27, 1980; Riverside; California.*
- (1981):  
Ecological approaches to the use of lichenized fungi as indicators of air pollution. - *The Fungal Community* 25: 480-497.
- NOWAK, R. (1973):  
Vegetationsanalytische und experimentell-ökologische Untersuchungen über den Einfluß der Luftverunreinigung auf rindenbewohnenden Flechten. - Dissertation, Tübingen.

- NYLANDER, W. (1866):  
Les Lichenes du Jardin du Luxembourg. – Bull. Soc. Bot. Fr. 13: 364–372.
- POELT, J. (1969):  
Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. – Cramer; Lehre; 757 S.
- PRINZ, B., KRAUSE, G. H. M. & STRATMANN, H. (1982):  
Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. – LIS des Landes Nordrhein-Westfalen (Hg.), LIS-Berichte Nr. 28, 154 S.
- RABE, W. & WIEGEL, H. (1985):  
Wiederbesiedlung des Ruhrgebietes durch Flechten zeigt Verbesserung der Luftqualität an. – Staub-Reinhaltung der Luft 45: 124–126.
- REDON, J. (1982):  
Epiphytische Flechten im Bereich chilenischer »Nebeloasen«: Floristisch-vegetationskundliche Gliederung, Standortsbedingungen und ökologisches Verhalten. – Dissertation; Würzburg.
- REICHEL, G. (1983):  
Der sterbende Wald in Südwestdeutschland und Ostfrankreich. – Veröffentlichungen der Aktionsgemeinschaft Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg e. V. 13; Stuttgart, 50 S.
- REITER, R. (1983):  
Basiserarbeitung zum Problem »Waldschäden im bayerischen Nordalpenraum«. – Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hg.), Materialien 28.
- RITSCHEL, G. (1977):  
Verbreitung und Soziologie epiphytischer Flechten in Nordwestbayern. – Bibl. Lichenologica; Cramer; Vaduz, 192 S.
- ROSE, C. I. & HAWKSWORTH, D. L. (1981):  
Lichen recolonization in London's cleaner air. – Nature 289–292.
- ROSS, L. J. & NASH, TH. (1983):  
Effect of ozone on gross photosynthesis of lichens. – Environ. Exp. Bot. 23: 71–77.
- RUNDEL, P. W. (1978):  
Ecological relationships of desert fog zone lichens. – Bryologist 81: 227–293.
- SACHS, L. (1970):  
Statistische Methoden. Ein Soforthelfer. – 3. Aufl., Springer; Berlin, Heidelberg, New York, 44–56.
- SCHAUER, TH. (1965):  
Ozeanische Flechten im Nordalpenraum. – Separata de Portugaliae Acta Biol. (B) 8 (1): 229 S.
- SCHUBERT, R. & SCHUH, J. (1980):  
Bioindikation, Teil 1 bis 5. – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Wissenschaftl. Beiträge 24–28, 499 S.
- SIGAL, L. L. & NASH, TH. (1983):  
Lichen communities on conifers in Southern California Mountains: an ecological survey relative to oxidant air pollution. – Ecology 64 (6): 1343–1354.
- SIGAL, L. L. & TAYLOR, O. L. (1979):  
Preliminary studies of the gross photosynthetic response of lichens to peroxyacetyl nitrate fumigations. – Bryologist 82: 564–575.
- SMITH, E. (1937):  
The influence of light and carbon dioxide on photosynthesis. – Gen. Physiol. 20: 807–830.
- (1938):  
Limiting factors in photosynthesis: Light and carbon dioxide. – Gen. Physiol. 22: 21–35.
- STEINER, M. & SCHULZE-HORN, D. (1955):  
Über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn. – Decheniana 108: 1–16.
- STUEBING, L. & JÄGER, H.-J. (1982):  
Monitoring of air pollutants by plants. Methods and problems. Tasks for vegetation science 7. – Junk; The Hague, Boston, London, 161 S.
- STUEBING, L., KIRSCHBAUM, U., POOS, F. & CORNELIUS, R. (1983):  
Ökologie und Planung in Verdichtungsgebieten. UNESCO Man and the Biosphere Project 11, Bericht: Monitoring mittels Bioindikatoren in Belastungsgebieten. – Umlandverband; Frankfurt a. M., 178 S.
- STUEBING, L. & MACHER, M. (1985):  
Waldschadensstufen und Flechtenvitalität. – VDI-Berichte 560: 35–51.
- TENHUNEN, J. D., WEBER, J. A., YOCUM, C. S. & GATES, D. M. (1976 a):  
Development of a photosynthesis model with an emphasis on ecological applications. I. Theory. – Oecologia (Berl.) 26: 89–100.
- (1976 b):  
Development of a photosynthesis model with an emphasis on ecological applications. II. Analysis of a data set describing the P<sub>M</sub>-surface. – Oecologia (Berl.) 26: 101–119.
- TÜRK, R., WIRTH, V. & LANGE, O. L. (1974):  
CO<sub>2</sub>-Gaswechseluntersuchungen zur SO<sub>2</sub>-Resistenz von Flechten. – Oecologia (Berl.) 15: 33–64.
- TÜRK, R. & WITTMANN, H. (1984):  
Atlas der aktuellen Verbreitung von Flechten in Oberösterreich. – Stapfia 11: 1–29.
- WALGATE, R. (1983):  
Too late for Black Forest? Acid rain research. – Nature 303 (6): 742.
- WILMANN, O. (1962):  
Rindenbewohnende Epiphytengemeinschaften in Südwestdeutschland. – Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland 21 (2): 87–164.
- (1965/66):  
Anthropogener Wandel der Kryptogamen-Vegetation in Südwestdeutschland. – Ber. Geobot. Inst. Rüb. 37: 74–87.
- WIRTH, V. (1968):  
Soziologie, Standortsökologie und Areal des Lobarion pulmonariae im Südschwarzwald. – Bot. Jb. 88: 317–365.
- (1972):  
Die Silikatflechten-Gemeinschaften im außeralpinen Zentraleuropa. – Diss. Bot. 17; Cramer; Lehre, 306 S.
- (1976):  
Veränderungen der Flechtenflora und Flechtenvegetation in der Bundesrepublik Deutschland. – Schriftenreihe für Vegetationskunde 10: 177–202.
- (1980 a):  
Flechtenflora. – Ulmer; Stuttgart, 552 S.
- (1980 b):  
Flechten. – Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde C 12, 36 S.
- (1983):  
Zum Nachweis der Ozonwirkung durch Flechten. – Allg. Forst-Zeitschrift (AFZ): 204–205.
- WIRTH, V. & FUCHS, M. (1980):  
Zur Veränderung der Flechtenflora in Bayern. Forderungen und Möglichkeiten des Artenschutzes. – Schriftenreihe Naturschutz und Landschaftspflege 12: 29–43.
- WIRTH, V. & RITSCHEL, G. (1977):  
Die floristische Kartierung der Flechten in der Bundesrepublik Deutschland, insbesondere in Süddeutschland. – Mitt. flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. 19/20: 35–45.

## 9. Tabellen (siehe Anhang)

### Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Biologin B. Köstner und  
Prof. Dr. O. L. Lange  
Lehrstuhl für Botanik II  
der Universität Würzburg  
Mittlerer Dallenbergweg 64  
D-8700 Würzburg

## Anhang

Tabelle 1

Aufnahmen (*Parmeliopsisidatum ambiguae*) am unteren Stammbereich von Fichte und Tanne am Standort Rießerkopf (FoA Garmisch-Partenkirchen).

Aufnahme-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Baumart	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Ab	Ab	Ab		
Stamm Ø	50	60	60	40	45	50	50	65	50	42	50	43	34	65	48	47	40	40		
Borke	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	mr	fr	fr	FR		
Exposition	S	SW	NE	W	SW	W	W	N	S	E	N	W	W	SE	N	W	SW	W		
Aufn.-Fläche	160	70	80	100	100	100	110	60	80	100	60	100	70	80	50	110	70	150		
Höhe	220	120	140	150	150	150	160	120	160	150	120	150	120	160	110	160	120	200		
Breite	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	20	20	20		
Gesamtdeckung	60	50	60	40	50	70	50	80	30	20	40	50	50	50	60	70	60	80	Ø 54%	
Artenzahl	6	9	8	7	5	8	6	7	5	5	6	4	7	8	8	8	8	6	Ø 6,7	
Arten																			St Fr %	
<u>Ch.a.d.Parmeliopsisidatum ambiguae:</u>																				
1	Parmeliopsis ambigua	2a	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	IV 67	
2	Cetraria pinastri	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	+	+	+	+	+	V 89	
3	Parmeliopsis aleurites	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	II 22	
4	Parmeliopsis hyperopta	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 17	
<u>Ch.a.d.Parmelion saxatilis u.d.Hypogymnietalia physodo-tubulosae:</u>																				
5	Parmelia saxatilis	.	1	1	.	.	+	.	+	.	.	+	.	1	+	1	2a	2b	2b	IV 61
6	Hypogymnia physodes	3	2b	3	2b	3	2b	3	2b	2a	1	2b	2b	2a	2a	2a	3	2a	2b	V 100
7	Platismatia glauca	.	+	.	.	.	+	.	1	.	.	.	.	.	+	+	+	+	1	III 44
8	Usnea filipendula	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	II 33
9	Pseudevernia furfuracea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	I 6
<u>Sonstige:</u>																				
10	Haematomma elatinum	2a	3	2b	1	+	2b	2a	.	2a	1	+	1	2a	2a	3	2a	1	3	V 94
11	Evernia prunastri	.	.	+	.	.	+	+	+	+	2a	+	+	+	1	.	1	+	2a	IV 72
12	Cladonia digitata	.	1	+	2a	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	1	+	1	.	III 50
13	Parmelia sulcata	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 6
14	Menegazzia pertusa	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I 6
15	Lepraria incana	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	I 6

Tabelle 2

Aufnahmen (*Parmeliopsidetum ambiguae*) am unteren Stammbereich von Fichten am Standort Wank/SW (FoA Garmisch-Partenkirchen).

Aufnahme-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Baumart	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc	Pc		
Stamm Ø	cm	40	50	21	25	40	34	35	33	28	20	
Borke		mr										
Exposition		N	W	N	N	W	E	N	N	W	NW	
Aufn.-Fläche		60	40	80	80	80	80	80	80	80	40	
Höhe	cm	130	120	140	140	150	150	140	150	150	120	
Breite	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Gesamtdeckung	%	20	70	20	35	40	60	30	30	90	15	Ø 41%
Artenzahl		8	5	7	4	4	8	7	4	3	3	Ø 5,3
Arten												St Fr %
<u>Ch.a.d.Parmeliopsidetum ambiguae:</u>												
1	<i>Parmeliopsis ambigua</i>	2a	1	+	+	+	+	+	+	+	+	V 100
2	<i>Cetraria pinastri</i>	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	III 50
3	<i>Parmeliopsis aleurites</i>	+	.	+	.	.	+	+	.	.	.	II 40
4	<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	+	.	.	.	.	+	+	.	.	.	II 30
<u>Ch.a.d.Parmelion saxatilis u.d. Hypogymnietalia physodo-tubulosae:</u>												
5	<i>Parmelia saxatilis</i>	.	.	+	.	.	+	1	.	.	.	II 30
6	<i>Hypogymnia bitteriana</i>	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	I 20
7	<i>Hypogymnia physodes</i>	1	4	2a	2a	2a	4	2a	2b	1	.	V 90
8	<i>Platismatia glauca</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I 10
<u>Sonstige:</u>												
9	<i>Haematomma elatinum</i>	1	2a	1	2a	2a	.	1	1	5	2a	V 90
10	<i>Cladonia digitata</i>	.	+	.	.	.	+	+	.	.	+	II 40
11	<i>Lepraria incana</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 20
12	<i>Parmelia glabratula</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 10



Tabelle 4

**Astaufnahmen (Pseudevernetium furfuraceae) an gefällten Fichten am Standort Vordere Elmau.**

Jede Aufnahme stellt den durchschnittlichen Deckungswert aus 5 Einzelaufnahmen (jeweils 10 cm-Abschnitte) eines 50 cm langen Fichtenastes dar.

Aufnahme-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Astlänge	cm	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Ast, Ø	cm	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	
Aufn.-Fläche	cm <sup>2</sup>	628	628	628	628	628	982	628	628	628	628	
Gesamtdeckung	%	50	40	40	30	40	60	60	40	50	30	Ø 44%
Artenzahl		9	7	6	7	5	4	5	7	6	3	Ø 5,9

Arten

St Fr  
%Ch.a.d.Pseudevernetium  
furfuraceae u. Diff.a.d.  
montan-orealen Form:

1	Pseudevernia furfur.	2b	2b	2b	3	2b	.	3	2a	2b	2b	V 90
2	Hypogymnia tubulosa	.	.	.	.	.	.	1	+	.	.	I 20
3	Usnea filip.f.hirtella	2a	1	1	+	1	1	+	+	+	.	V 90
4	Evernia divaricata	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	I 20

Ch.taxa d.Parmelietalia  
physodo-tubulosae:

5	Hypogymnia physodes	2b	2a	2a	2b	2a	+	2b	2a	2a	2a	V 100
6	Platismatia glauca	2a	3	2b	2b	2a	3	2b	3	2b	2a	V 100
7	Bryoria fusc.v.canes.	+	1	+	.	.	.	.	.	.	.	II 30
8	Usnea perplex.f.fulv.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	I 20
9	Parmelia saxatilis	2a	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	I 20

Sonstige:

10	Cetraria laureri	+	1	1	2a	1	.	2a	.	.	.	IV 60
11	Parmelia sulcata	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	I 20

Tabelle 5

## Aufnahmen (Nephrometum belli) am unteren Stammbereich von Bergahornen in der Vorderen Elmau (FoA Garmisch-Partenkirchen).

Aufnahme-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
Baumart	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps	Aps		
Stamm Ø	35	50	48	48	80	80	35	30	80	60	60	60	60	50	50	80	60	90	90	40	60	40	40			
Borke	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab		
Exposition	S	N	NW	N	E	N	E	E	E	E	E	E	NW	E	E	SE	SE	SE	SE	NW	SE	E				
Neigung	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓			
Aufn.-Fläche	120	150	70	10	100	10	150	110	80	150	100	30	70	130	30	100	10	10	110	110	100	100	150			
Höhe	190	200	150	60	200	50	200	200	140	200	170	80	100	210	70	200	50	50	180	150	150	150	200			
Breite	30	30	30	30	40	30	30	20	40	40	30	20	30	40	30	30	30	35	35	30	30	30	30			
Gesamtdeckung	95	90	100	100	95	95	100	100	95	80	90	80	95	80	100	95	90	90	70	95	25	100	80		Ø 89%	
Artenzahl	17	11	11	6	15	5	11	7	13	12	14	6	7	19	5	12	4	8	16	8	9	18	7		Ø 10,5	
Arten																									St Fr %	
<u>Ch.a.d.Nephrometum belli:</u>																										
1	Neproma bellum	+	1	2b	2a	1	+	.	+	1	+	+	2a	2a	1	2a	1	2b	2b	2a	.	.	.	.	IV 78	
2	Neproma resupinatum	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 13	
3	Peltigera collina	.	1	+	1	.	+	2a	1	1	2a	.	1	.	1	.	1	+	.	.	.	.	.	III 52		
4	Sticta fuliginosa	.	.	2a	1	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	2b	.	.	.	.	.	.	II 26		
5	Sticta cf.sylvatica	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 9	
<u>Ch.taxa d.Lobario-Anti-trichion:</u>																										
6	Lobaria pulmonaria	1	1	1	.	2b	.	1	2b	2a	2a	2b	+	+	2a	.	2b	.	+	1	2a	1	2b	1	V 83	
7	Pterygandrum filiforme	.	2b	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	2b	.	II 26	
<u>Ch.taxa d.Neckeretalia pumile:</u>																										
8	Frullania tamarisci	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 4	
9	Collema flaccidum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	I 4	
<u>Sonstige:</u>																										
10	Pylaisia polyantha	.	.	5	5	4	5	4	.	3	3	2a	4	3	2a	5	2b	3	3	1	2a	.	+	.	IV 78	
11	Leucodon sciuroides	2a	2b	2a	.	1	.	2a	5	3	2b	4	.	.	1	.	3	.	1	2a	4	1	1	3	IV 74	
12	Lepraria incana	.	3	1	.	1	.	2a	2a	+	+	+	.	.	.	+	1	.	2b	.	.	.	.	.	III 48	
13	Hypnum cupressiforme	.	2a	.	.	2a	.	2a	.	2b	2a	.	.	.	.	.	2a	2a	3	2a	2a	.	.	.	III 44	
14	Cladonia chlorophaea	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	III 44	
15	Lecanora expallens	3	2b	.	1	.	2a	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	2a	2a	1	2a	III 44	
16	Frullania dilatata	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II 39	
17	Peltigera praetextata	.	.	2b	2b	.	2b	.	2a	2a	.	3	2b	.	2b	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	II 39	
18	Phlyctis argena	3	2b	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	2a	2a	1	2a	II 35	
19	Parmelia sulcata	+	.	.	.	.	2b	.	.	.	.	2a	.	.	2a	.	.	.	.	1	.	2a	1	.	II 30	
20	Cetrelia olivet.v.cetr.	1	.	.	.	.	1	.	.	+	2a	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	II 26	
21	Evernia prunastri	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II 22	
22	Radula complanata	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2a	2a	1	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II 22	
23	Lecanora subfuscata	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II 22	
24	Parmelia glabratula	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	I 17	
25	Hypogymnia physodes	.	+	.	.	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 17	
26	Pertusaria albescens v.alb.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2a	I 13
27	Leptogium saturninum	+	.	+	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 13	
28	Lepraria candelaris	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	I 13	
29	Opegrapha lichenoides	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	+	I 13	
30	Lecanora subrugosa	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I 13	
31	Caloplaca herbidella	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 9	
32	Ramalina pollinaria	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	.	I 9	
33	Pertusaria amara	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 9	
34	Lecanora subfuscata	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 4	
35	cf.Pterygandrum	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 4	
36	Hypnum fertile	.	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 4	
37	Madotheca cf.baueri	.	.	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 4	
38	Ramalina obtusata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 4	
39	Physconia detersa	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 4	
40	Parmelia saxatilis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	I 4	
41	Ramalina farinacea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I 4	
42	Telotrema lepadinum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2a	I 4
43	Lecanora leptyroides	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I 4
44	Buellia griseovirens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	I 4	



Tabelle 7

## Artenliste der Flechtenfunde aus allen Untersuchungsgebieten (Fi = Fichte, Ah = Bergahorn, Ta = Tanne).

A r t	Vord. Elmau (FVA-Fl.)		Rießer- kopf		Wank	Reintal/ Bruenst	FoA Kreuth			Reichen- hall
	Fi	Ah	Fi	Ah	Fi	Ah	Fi	Ah	Ta	Fi
1. Alectoria sarmentosa	*						*			*
2. Arthonia leucopellaea	*									
3. Bacidia rubella		*								
4. Bryoria cf. bicolor		*								
5. capillaris							*			*
6. fuscescens							*	*		*
7. v. canescens	*									
8. v. positiva	*									
9. cf. nadvornikiana		*								
10. spec.		*								
11. Buellia griseovirens		*								
12. Caloplaca herbidella		*								
13. Cetraria laureri	*						*			*
14. pinastri	*		*		*		*			*
15. Cetraria olivetorum v. cetr.		*	*			*		*		
16. v. olivet.		*								
17. Cladonia chlorophaea		*				*		*		
18. digitata	*		*		*	*	*			*
19. Collema flaccidum		*								
20. nigrescens								*		
21. Evernia divaricata	*						*			*
22. prunastri	*	*	*	*		*		*		
23. cf. Haematomma ochroleucum	*									
24. Heterodermia speciosa								*		
25. Haematomma elatinum	*		*		*					
26. Hypogymnia bitteri							*			
27. bitteriana			*		*		*			*
28. physodes	*	*	*	*	*	*	*	*		*
29. tubulosa	*		*		*		*			*
30. Lecanora expallens		*								
31. leptyroides		*								
32. nemoralis		*								
33. subrugosa		*								
34. subfuscata		*								
35. Lepraria candelaris		*								
36. incana	*	*	*	*	*	*	*			
37. Lobaria pulmonaria		*				*	*	*		
38. Menegazzia pertusa	*	*	*	*		*	*	*		*
39. Nephroma bellum		*					*			
40. resupinatum		*				*	*			
41. Opegrapha lichenoides		*								
42. Ochrolechia pallescens		*								
43. Parmelia caperata			*			*		*		*
44. contorta								*		
45. glabratula		*	*			*		*		
46. saxatilis	*	*	*	*	*	*	*	*		*
47. sulcata	*	*	*	*		*	*	*		*
48. Parmeliopsis ambigua	*		*		*		*			*
49. aleurites	*		*		*		*			*
50. hyperopta	*		*		*		*			*
51. Peltigera collina		*								
52. praetextata		*				*		*		
53. Pertusaria amara		*	*			*	*			
54. albescens v. alb.		*				*				
55. Phlyctis argena		*				*				
56. Physconia detera		*								
57. Platismatia glauca	*	*	*		*	*	*	*		*
58. Pseudevernia furfuracea	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
59. Ramalina farinacea		*						*		
60. fastigiata								*		
61. obtusata		*								
62. pollinaria		*								
63. Sticta fuliginosa		*								
64. cf. sylvatica		*								
65. Telotrema lepadinum		*								
66. Usnea filipendula typica		*	*	*		*	*			*
67. f. bicolor										*
68. f. hirtella	*									
69. f. sublaxa		*								
70. f. stramineola										*
71. florida		*						*		
72. glabrescens									*	
73. hirta typica					*					
74. cf. montana									*	
75. subfloridana	*	*	*							
76. tortuosa								*		

Tabelle 8

**Zusammenfassung der Messergebnisse** in Form der Mittelwerte der insgesamt 107 Einzelproben beider Flechtenarten. Die aufgeführten Werte sind von oben nach unten nach dem zunehmenden Waldschädigungsgrad am Entnahmeort angeordnet.

a : Effizienz der Lichtnutzung ( $\text{mol CO}_2\text{E}^{-1}\times 10^{-3}$ )

$P_M$  : Photosynthesekapazität

- bezogen auf die Oberfläche der Flechte ( $\mu\text{mol CO}_2\text{ cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ )

- bezogen auf das Trockengewicht der Flechte ( $\text{mg CO}_2\text{ g}^{-2}\text{ h}^{-1}$ )

DA: Dunkelatemungsrate

- bezogen auf die Oberfläche der Flechte ( $\mu\text{mol CO}_2\text{ cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ )

DA/ $P_M$ : Prozentuales Verhältnis der Dunkelatmung zur Photosynthesekapazität (%)

LK : Lichtkompensationspunkt ( $\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}\text{ PAR}$ )

n : Anzahl der Einzelmessungen für jeden Entnahmeort

m : Mittelwert der Einzelmessungen

s : Standardabweichung des Mittelwertes

s (%) : prozentuale Standardabweichung

Entnahmeort	Schad- klasse	a			$P_M$			DA			DA/ $P_M$			LK						
		n	m	s	$\cdot 10^{-3}(\text{mol E}^{-1})$	( $\mu\text{molCO}_2\text{ cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ )	( $\text{mgCO}_2\text{ g}^{-1}\text{ h}^{-1}$ )	( $\mu\text{molCO}_2\text{ cm}^{-2}\text{ h}^{-1}$ )	(%)	m	s	s(%)	( $\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ )	m	s	s(%)				
Pseudevernia furfuracea																				
Reichenhall	0-1	20	14,0	2,4	17,3	0,845	0,163	19,3	3,72	0,86	23,1	0,074	0,016	21,5	9,0	2,3	25,6	9,7	3,5	36,4
Vord. Elmau	1	18	17,5	3,5	20,2	1,225	0,216	17,6	5,71	1,25	21,8	0,081	0,018	21,6	6,9	1,9	27,1	10,4	4,7	45,0
Wank/NW	1	14	12,4	2,0	16,3	0,893	0,152	17,0	3,88	0,78	20,0	0,080	0,018	22,0	9,1	2,4	26,4	13,0	5,4	41,3
Rießerkopf	1-2	14	14,0	2,8	20,2	0,908	0,177	19,5	4,04	0,71	17,6	0,068	0,012	17,5	7,6	1,3	16,4	10,8	3,8	35,2
Wank/SW	2	13	13,2	3,0	22,8	0,894	0,222	24,8	4,17	0,72	17,3	0,090	0,032	35,4	10,4	4,0	38,2	18,6	7,3	39,3
Lobaria pulmonaria																				
Vord. Elmau	1	14	23,1	4,4	19,0	0,747	0,197	26,4	2,93	0,74	25,3	0,100	0,018	17,9	14,3	4,6	31,9	11,3	3,9	34,1
Bruenst/EI.	1-2	14	20,9	5,3	25,5	0,633	0,155	24,5	2,67	0,82	30,8	0,100	0,016	15,5	16,5	4,1	24,6	12,5	4,7	37,4

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege \(ANL\)](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [10\\_1986](#)

Autor(en)/Author(s): Köstner Barbara, Lange Otto Ludwig

Artikel/Article: [Epiphytische Flechten in bayerischen Waldschadensgebieten des nördlichen Alpenraumes: Floristisch-soziologische Untersuchungen und Vitalitätstests durch Photosynthesemessungen 185-210](#)