

# Immissionsbedingte Flechtenzonen im Bundesland Salzburg (Österreich) und ihre Beziehungen zum Problemkreis »Waldsterben«

Helmut Wittmann und Roman Türk

## 1. Einleitung

Immissionsökologische Studien mit Hilfe des »Bioindikators Flechte« haben im Bundesland Salzburg (Lage Abb. 1) eine relativ lange Tradition. So wurden im Gebiet der Landeshauptstadt Salzburg bereits in den Jahren 1948 und 1949 von BESCHEL (1958) Untersuchungen über den epiphytischen, epixylen und epipetrischen Flechtenbewuchs zur Beurteilung der Luftgüte durchgeführt. Im Rahmen eines Umweltgutachtens der Stadt Salzburg erstellte TÜRK (1975) eine Karte der Luftbelastung des Salzburger Beckens, die eine deutliche Verschlechterung der Immissions-situation – verglichen mit den Ergebnissen BESCHEL's – erbrachten. Eine Reihe weiterer immissionsökologischer Studien, z. T. mit verfeinerten und aufwendigeren Methoden (TÜRK & CHRIST 1978, 1980, CHRIST & TÜRK 1981, 1982, TÜRK & ZIEGELBERGER 1982) diagnostizierten eine fortschreitende Beeinträchtigung der epiphytischen Flechtenvegetation, die wiederum ein sicheres Indiz für eine zunehmende Belastung der Salzburger Luft mit sauer reagierenden Schadstoffen darstellt. Der überwiegende Teil dieser Untersuchungen beschäftigt sich mit der Landeshauptstadt Salzburg und deren näheren Umgebung, doch wurden auch Kartierungen im äußeren Salzachtal, im Glemmtal, im Gasteiner Tal (TÜRK in RASSETS et al. 1982) und an der Grenze zu Tirol bei Hochfilzen (KATZMANN et al. 1984, WITTMANN & TÜRK 1988a) durchgeführt.

In den letzten Jahren wurde die Flechtenflora des Bundeslandes Salzburg in floristischer Hinsicht eingehend erforscht (TÜRK & WITTMANN 1987). Im Rahmen dieses Projektes konnte eine große Zahl von immissionsökologischen Daten erarbeitet werden, die nunmehr fundierte großflächige Aussagen über die Belastungssituation des gesamten Bundeslandes auf Bioindikatorbasis erlauben. In gewissen Gebieten war es bereits möglich, auf Ergebnisse derzeit laufender Detailstudien zurückzugreifen (z. B. Salzachtal zwischen Lend und Salzburg – BLIEBERGER in Vorbereitung).

Eine Untersuchung der epiphytischen Flechtenflora war gerade im Bundesland Salzburg in mehrfacher Hinsicht besonders interessant:

1. Durch die Publikationen von HAFELLNER & GRILL (1980), ROSE & HAWKSWORTH (1981), KANDLER & POELT (1984), RABE & WIEGEL (1985) und WITTMANN & TÜRK (1988a) wurde aufgezeigt, daß Flechten relativ schnell auf die Verminderung sauer reagierender Immissionen reagieren. Laut Daten des Amtes der Salzburger Landesregierung ist die Emissionsentwicklung der sauren Luftschadstoffe (Leitsubstanz SO<sub>2</sub>) in Salzburg stark rückläufig (1978 – ca. 17.000 t/a; 1985 – 10.500 t/a; 1987 – prognostizierter Wert 6.500 t/a). Es ergab sich nun die Frage, ob und wie weit sich diese Verbesserung der Luftqualität bereits auf die epiphytische Flechtenvegetation auswirkt.

2. Wie stark ist Salzburg im Vergleich mit anderen großflächig kartierten Bundesländern (Vorarlberg – WITTMANN et al. 1988, Oberösterreich – TÜRK & WITTMANN unpubl.) belastet?

3. Die differenzierte flächenhafte Ausdehnung der Flechtenzonen (unmittelbare Zonierung um Emittenten bzw. großflächig und überregional auftretende Flechtenschäden) sowie charakteristische Schadbilder einzelner Arten (vgl. TÜRK 1985) lassen Rückschlüsse auf den Herkunftsort der einwirkenden Immissionen zu. Im Hinblick darauf war die Frage von Interesse, wieweit die einzelnen Salzburger Landesteile durch Nah- oder Fernimmissionen belastet sind.

4. Wie bereits im Bundesland Vorarlberg (WITTMANN et al. 1988), so sollte auch in Salzburg überprüft werden, wie weit die sauer reagierende Komponente der Luftschadstoffe, deren flächenhafte Ausbreitungen mittels Flechten festgestellt werden kann, für die »neuartigen Waldschäden« in den Salzburger Wäldern verantwortlich ist. Aus diesem Grunde sollte untersucht werden, ob und in welchem Ausmaß die flächenhafte Verteilung der Schäden an Flechten und Bäumen korreliert ist.

## 2. Methode

Für die vorliegende Studie wurde die epiphytische Flechtenvegetation von 20.000 überwiegend freistehenden Trägerbäumen genauer untersucht. Als Phorophyten, die über das gesamte Bundesland mehr oder weniger gleichmäßig verteilt sind, wurden *Picea abies* (Fichte), *Abies alba* (Tanne), *Acer pseudoplatanus* (Bergahorn), *Fraxinus excelsior* (Eiche) sowie *Pyrus* und *Malus* sp. (diverse Birn- und Apfelbäume) herangezogen.

Wie bereits bei WITTMANN et al. (1988) ausgeführt wurde, lassen sich die kleinräumigen, meist urbanen Bereiche betreffenden Kartierungskriterien (z. B.: BESCHEL 1985, TÜRK & ZIEGELBERGER 1958, GOPPEL 1984) nicht unverändert für großflächige Zonierungen verwenden, weshalb die Flechtenzonen zusätzlich durch das Auftreten charakteristischer Schadbilder an einzelnen Zeigerarten präzisiert wurden. Die Kriterien der Flechtenzonen 1 bis 5 lauten demnach:

**Zone 1:** keine Belastung feststellbar: An sämtlichen Arten sind keine äußerlich sichtbaren Schäden erkennbar; Gesellschaftszusammensetzung und Thallusgrößen entsprechen den gegebenen klimatischen und orographischen Verhältnissen.

**Zone 2:** schwach belastete Zone: Deckungsgrad, Vergesellschaftung und Thallusgrößen sind nicht merklich beeinträchtigt. Empfindliche Arten zeigen äußerlich sichtbare charakteristische Schäden:

*Pseudevernia furfuracea*: ausgebleichte, weißlich verfärbte Lobenenden

*Lobaria pulmonaria*: Thallusrand und tlw. die grubigen Vertiefungen des Lagers ausgebleicht bzw. gelbbraun verfärbt

*Evernia prunastri*: weißlich ausgebleichte Lobenenden

*Cetrelia cetrarioides*: punktförmig ausgebleichte Thalluspartien

*Parmelia sulcata*: Ausbleichungen der Lobenenden und oftmals Rotverfärbung des Thalluszentrums (*P. sulcata* ist relativ toxtolerant, zeigt jedoch schon geringe Schadstoffbelastungen an).

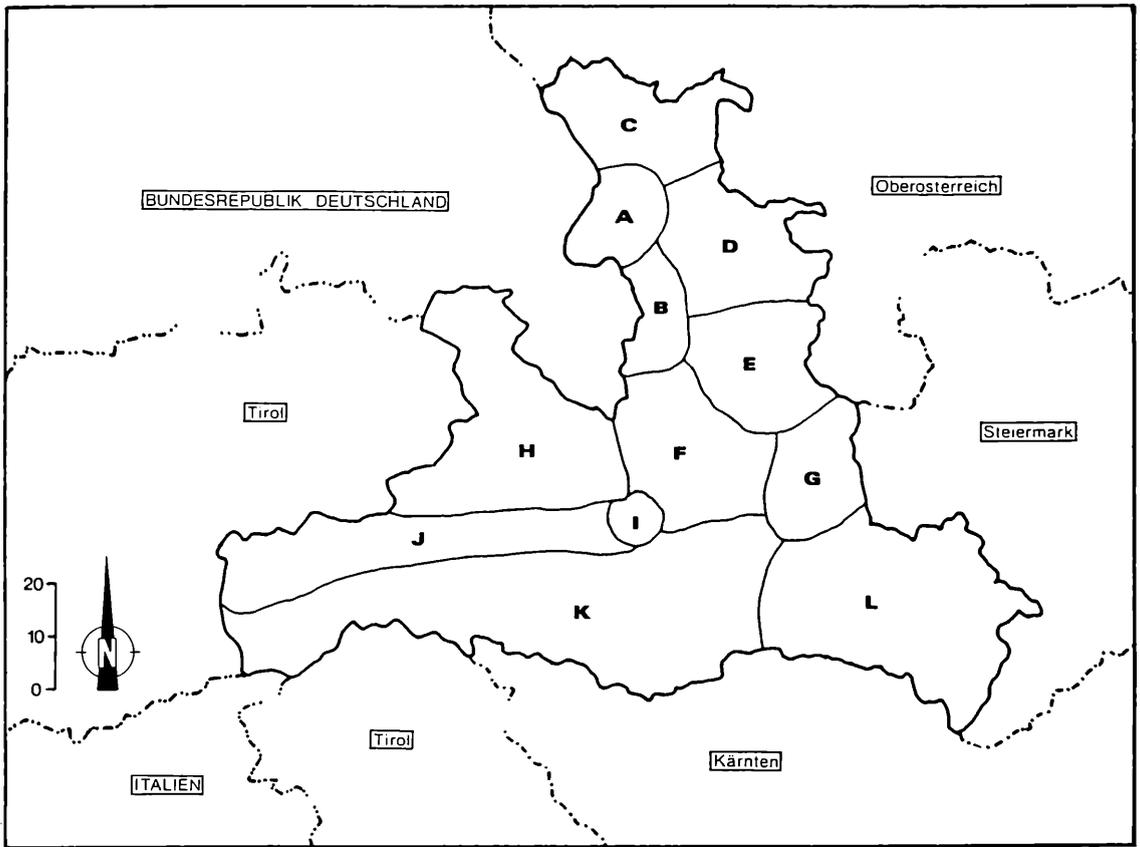


Abbildung 1

Überblick über das Untersuchungsgebiet sowie Lage der besprochenen Landesteile (A bis L, vgl. Text; Maßstab = 20 km).

*Platismatia glauca*: punktförmig rot und weiß verfarbte Thalluspartien

**Zone 3:** mittel belastete Zone: Empfindliche Arten wie *Lobaria pulmonaria* und *Cetrelia cetrarioides* sterben ab. *Parmelia caperata*, *P. saxatilis* und *P. sulcata* sind stark geschädigt und oftmals bis zur Mitte ausgebleicht. *Hypogymnia physodes* zeigt auf saurer Borke Schädigungen (Ausbleichungen, Thallusverformungen). Strauchflechten weisen deutlich ausgebleichte Lobenenden und verkümmerte und gestauchte Lagerabschnitte auf (besonders bei *Evernia prunastri*, *Ramalina farinacea* und *Pseudevernia furfuracea* zu beobachten). Auf saurer Borke besteht die Tendenz zu »Einartgesellschaften« mit *Hypogymnia physodes*. Die Deckung der Blatt- und Strauchflechten ist deutlich verringert und oftmals unter 50%.

**Zone 4:** stark belastete Zone: *Parmelia caperata*, *P. sulcata* und *P. saxatilis* absterbend bzw. mit Thallusgrößen unter 1,5 cm; *Pseudevernia furfuracea* und *Evernia prunastri* mit großteils ausgebleichten bzw. rot-verfärbten Lagern mit einer maximalen Thallusgröße von 1 cm. *Hypogymnia physodes* zeigt sowohl auf Nadel- als auch auf Laubbäumen deutliche Schäden (Ausbleichungen und knorpeliger Wuchs). Der Deckungsgrad der Blatt- und Strauchflechten liegt meist deutlich unter 25%.

**Zone 5:** sehr stark belastete Zone: nur mehr wenige resistente Krustenflechten sind vorhanden (*Lecanora conizaeoides*, *Scoliciosporum chlorococcum*, *Buellia punctata* und evtl. *Physcia orbicularis*); die Deckung der Blatt- und Strauchflechten (mit Ausnahme von *Physcia orbicularis*) liegt unter 1%.

Darüber hinaus wurden noch flechtensoziologische Kriterien, wie das Vorhandensein und der

Ausbildungsgrad bestimmter Flechtenvereine, berücksichtigt.

Aus selbstverständlichen Gründen sind die einzelnen Zonen nur in den seltensten Fällen scharf gegeneinander abgegrenzt. Auch ist zur sicheren Beurteilung der Immissionsbelastung eines Gebietes die Untersuchung mehrerer, wenn möglich verschiedener, Trägerbäume sowie die Heranziehung sämtlicher Kriterien notwendig. Besonders in Bereichen mit aufgelockelter Siedlungsstruktur (z. B. Salztal nördlich von Golling, Gebiete im Flachgau) kann eine Zonierung nach den hier verwendeten Kriterien und auch im Hinblick auf die beurteilte, relativ große Fläche nur einen Mittelwert der Belastung angeben. An besonders begünstigten oder benachteiligten Standorten kann lokal durchaus eine um eine Stufe höher oder geringer zu bewertende Flechtenvegetation auftreten.

Die im Zuge der Studien an der Salzburger Flechtenflora erarbeiteten floristischen Daten wurden bereits bei TÜRK & WITTMANN (1987) ausführlich dargestellt. In dieser Publikation sind auch alle bisher aufgefundenen Flechtenarten (1267) aufgelistet, sowie Verbreitungskarten von 896 Taxa – darunter sämtliche epiphytische Makrolichen – enthalten. Aus diesem Verbreitungsatlas geht auch in anschaulicher Weise die Untersuchungsichte und die Fülle des erarbeiteten Datenmaterials hervor.

Die Begehungen für die immissionsökologische Beurteilung erfolgte vor allem in den Jahren 1985 und 1986; einzelne Detailstudien wurden im Jahre 1987 durchgeführt.

Zur Beurteilung des aktuellen Waldzustandes dienten uns die Ergebnisse der jüngsten Waldzustandsinventur (POLLANSCHÜTZ & NEUMANN 1987), unveröffentlichte Daten des Amtes

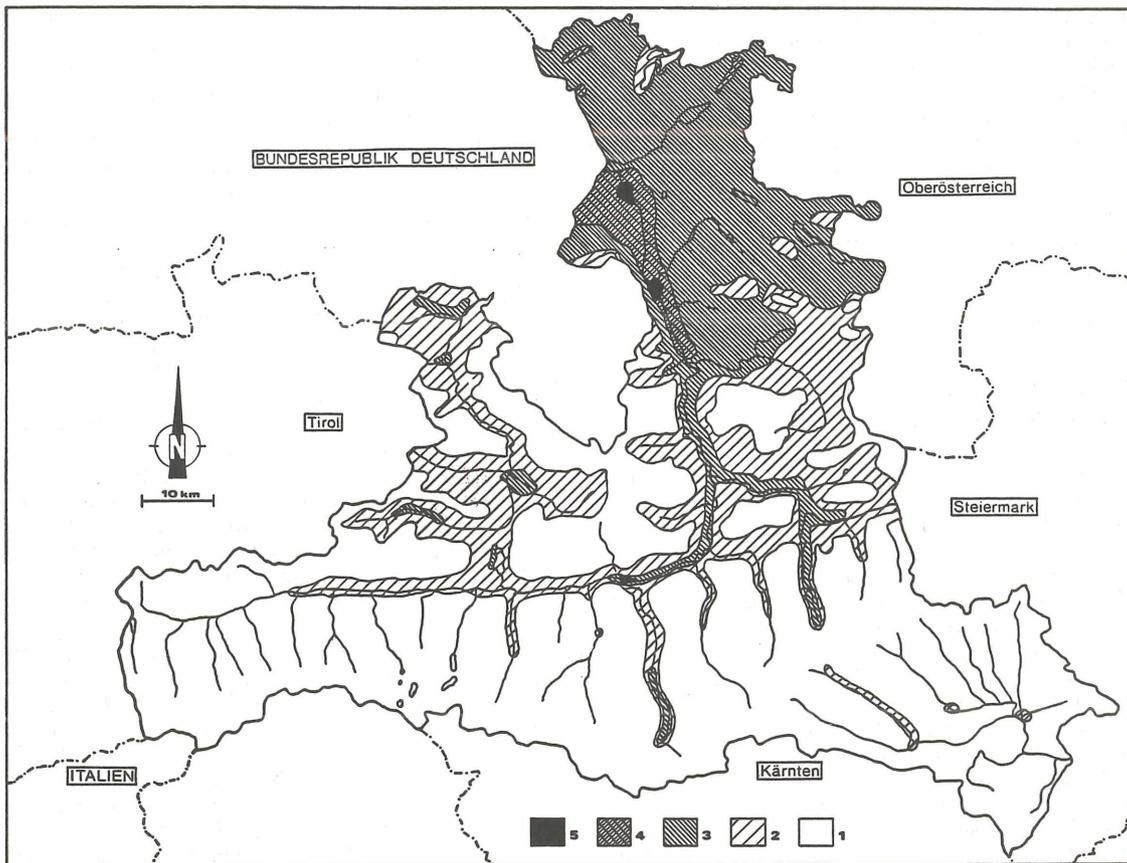


Abbildung 2

Flächenmäßige Verteilung der Flechtenzonen 1 bis 5 im Bundesland Salzburg (einige sehr kleinräumig auftretende Zonen 4 und 5 sind nicht eingezeichnet, vgl. Text).

der Salzburger Landesregierung, Landesforstdirektion sowie eigene, nach den Richtlinien von POLLANSCHÜTZ et al. (1985) durchgeführte Beobachtungen.

### 3. Die Belastungssituation des Bundeslandes Salzburg

#### A. Das Salzburger Becken

Seit den Untersuchungen BESCHEL's (1958) hat sich der Zustand der Flechtenvegetation in der Umgebung der Landeshauptstadt ständig verschlechtert. Konnte BESCHEL noch außerhalb der dichter besiedelten Gebiete Reinluftzonen nachweisen, so war die Zone 1 bei TÜRK & ZIEGELBERGER (1982) bereits zur Gänze verschwunden. Wie aus den in Abb. 2 dargestellten Ergebnissen hervorgeht, hat sich diese Entwicklung bis in die heutige Zeit fortgesetzt. Zwar ist die Zoneneinteilung von BESCHEL (1958) bzw. von TÜRK & ZIEGELBERGER (1982) mit der hier verwendeten nicht völlig identisch – wie erwähnt werden für großflächige Kartierungen etwas andere Kriterien herangezogen – doch ist eine deutliche Verschlechterung des Flechtenzustandes in der Salzburger Umgebung zweifelsfrei gegeben. Die größten Teile des Salzburger Beckens müssen als Zone 4 ausgewiesen werden, d. h. daß ein Großteil der Blatt- und Strauchflechten nur mehr absterbend bzw. stark geschädigt vorkommt. Empfindliche Arten, wie z. B. die bei Hellbrunn noch 1979 vorkommende *Parmelia stippea* (TÜRK 1981) sind von den ehemaligen Wuchsorten nachweislich verschwunden.

Im Zentrum der Landeshauptstadt ist nach wie vor eine Flechtenwüste (Zone 5) ausgeprägt, deren exakte Ausdehnung derzeit im Rahmen einer immissionsökologischen Detailstudie (S. ROTH in Vorber.) erarbeitet wird. Nach Süden werden die Verhältnisse deutlich besser, doch konnten vor allem ozeanische Flechten, wie etwa *Lobaria pulmonaria* und *Cetrelia cetrarioides* in den Wäldern am Fuß des Untersbergmassives nur mehr in stark geschädigten und absterbenden Exemplaren aufgefunden werden.

Eine weiter abnehmende Belastung zeigt die Flechtenvegetation an den Abhängen des Untersberges. Ab etwa 1100 msm sind Deckungsgrad und flechtensoziologische Zusammensetzung (überwiegend *Pseudevernia furfuracea*) den gegebenen Bedingungen entsprechend ausgebildet, doch zeigt vor allem *Pseudevernia furfuracea* stets ausgebleichte Thallusspitzen. In einer Höhe zwischen 1650 und 1750 msm verschwinden auch diese Schadbilder, und so kann der Gipfelbereich des Untersberges – aus Sicht der Flechten – als Reinluftgebiet ausgewiesen werden.

Auch im Osten der Landeshauptstadt zeigt die Flechtenvegetation eine abnehmende Belastung an. So sind die Abhänge des Gaisberges als Zone 3, der Gipfelbereich kleinräumig als Zone 2 einzustufen. Diese Zonierung darf jedoch nicht über die drastische Verschlechterung der Luftqualität in diesem Bereich Salzburgs in den letzten Jahren hinwegtäuschen. Für die Expositionsversuche von CHRIST & TÜRK (1982) konnten aus diesem Gebiet noch gesunde Thalli von *Hypogymnia physodes* und *Parmelia sulcata* entnommen werden (Glasenbachklamm südöstlich der Stadt Salzburg). Heute ist *Parmelia sulcata* an diesen Lokalitäten

durchwegs schwer geschädigt (Rotverfärbungen, knorpeliger Wuchs, absterbende Thallusteile) und auch die toxtolerante Art *Hypogymnia physodes* weist in der Mehrzahl der Fälle deutlich sichtbare äußere Schäden auf. Die Lungenflechte (*Lobaria pulmonaria*), die hier ebenfalls noch vor wenigen Jahren relativ reichlich vorkam, kann nur mehr in Form von toten oder fast toten Individuen aufgefunden werden. Auf der sauren Borke von Fichten fehlt hier fast durchwegs jeder Flechtenbewuchs.

## B. Das Tennengauer Salzachtal

Die Verhältnisse im Tennengauer Salzachtal sind jenen im Salzburger Becken recht ähnlich. Eine zentrale Stellung nimmt Hallein ein, wo im Stadtzentrum und entlang der Salzachtal-Bundesstraße in Richtung Golling Flechtenwüsten auftreten. In unmittelbarer Salzachnähe können im gesamten Gebiet lokal – so auch im Siedlungsgebiet von Hallein – noch Blattflechtengesellschaften vorkommen. Diese Assoziationen sind jedoch auf kleine, eng begrenzte Gebiete beschränkt, weshalb sie in Abb. 2 nicht berücksichtigt wurden. Der gesamte übrige Talbereich ist großflächig als stark belastete Zone (4) auszuweisen. Nadelbäume sind fast durchwegs flechtenleer und auch Laubbäume weisen neben toxtoleranten und nitrophilen Assoziationen (meist *Physcietum adscendentis*) nur äußerst selten Blattflechtenvereine (Reste von *Parmelietum acetabuli* und *Parmelietum caperatae*) auf. Großlobige Blattflechten (z. B. *Parmelia*-Arten) kommen nur in geschädigten Exemplaren vor, und auch unempfindliche Arten, wie etwa *Physcia adscendens*, haben meist ausgebleichte, krankhaft verformte Lobenenden. Wie schon im Salzburger Becken bessert sich auch hier die Situation mit zunehmender Höhenlage, doch sind bis in eine Seehöhe von ca. 1700 msm noch Beeinträchtigungen (v. a. ausgebleichte Lobenenden an *Pseudevernia furfuracea*) zu beobachten (z. B. Roßfeldstraße, Weg auf den Kleinen Göll, Angeralm/Hagengebirge, Schwarzer Berg, Schlenken). In den westlich gerichteten Seitentälern des Salzachtals (Bluntau- und Weißenbachtal) konnten wir in den letzten Jahren einen wahren »Zusammenbruch« der ozeanischen Flechtenvereine (v. a. *Lobarietum pulmonariae*, *Parmelietum revolutae*) beobachten. Diese Täler, die aufgrund ihres Niederschlagsreichtums von Natur aus optimale Lebensbedingungen für diese anspruchsvollen Flechtenassoziationen bieten, wurden noch im Jahre 1978 im Rahmen einer Tagung der bryologischen Arbeitsgemeinschaft für Mitteleuropa wegen ihres Flechtenreichtums besucht (HEISELMAYER & TÜRK 1979). Heute ist *Lobaria pulmonaria* in den vorderen Talabschnitten abgestorben und verschwunden, und auch in den hinteren Talbereichen zeigen die Makrolichen deutlich die für saure Immissionen typischen Schadbilder.

## C. Das Alpenvorland

Das Alpenvorland ist durchwegs als mittel belastete Zone (3) einzustufen. Die vorherrschenden Assoziationen sind toxtolerante und nitrophile Vereine, wie das *Physcietum adscendentis* und das *Buellietum punctatae*, die Apfel- und Birnbäume vielerorts noch mit relativ guter Deckung bewachsen können. Vor allem an Eichen (*Quercus robur*) tritt mehrfach ein *Parmelietum caperatae* auf. In der westlichen Umgebung von Obertrumer- und Mattsee konnte diese Assoziation relativ häufig nachgewiesen werden. Da auch die Schadbilder an den *Parmelia*-Arten 1987 noch kein für diese

Flechten lebensbedrohendes Ausmaß angenommen hatten, wurde dieser Bereich als Zone 2 klassifiziert. Lokal und kleinräumig treten ähnliche Phänomene auch in den Salzachauen, meist in unmittelbarer Salzachnähe, auf. Im Jahre 1985 konnten Eichen, die deckend mit einem *Parmelietum caperatae* bewachsen waren, auch in den Moorgebieten nördlich von Bürmoos nachgewiesen werden. Bei einer Nachkartierung an dieser Lokalität im Jahre 1987 wies jedoch *Parmelia caperata* fast durchwegs letale Schäden auf, und auch die 1985 noch in mehreren Exemplaren vorhandene *Parmelia perlata* war völlig abgestorben.

Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang auch die Angaben von GOPPEL (1984), der *Parmelia caperata* bereits 1983 in der Umgebung von Laufen im angrenzenden Bayern »nur an ganz wenigen Stellen« ungeschädigt vorfand.

Einige kleinere Gebiete, wie die Umgebung von Oberndorf, Bürmoos–Lamprechtshausen und Straßwalchen–Steindorf mußten aufgrund der weithin fehlenden Blattflechtenvereine – mit Ausnahme des *Physcietum adscendentis* mit teilweise reichlicher *Xanthoria parietina* – als Zone 4 eingestuft werden.

Nadelbäume sind im gesamten Flachgau nur in Ausnahmefällen von Flechten bewachsen, wobei es sich dann durchwegs um resistente Arten (meist nur *Hypogymnia physodes*) handelt. Einzig das Tal des Wallerbaches südlich von Straßwalchen weist relativ gut bewachsene Nadelbäume (*Picea abies*, *Abies alba*) auf. Die Tatsache, daß jedoch auch dort absterbende *Lobaria pulmonaria* und *Parmelia revoluta* gefunden wurden, läßt auch hier keine bessere Einstufung als Zone 3 zu.

## D. Salzkammergut und Osterhorngruppe

Dieser Teil des Bundeslandes bot aufgrund seiner Landschaftsstruktur und seiner klimatischen Verhältnisse noch vor wenigen Jahren für Flechten ideale Lebensbedingungen. So stellen die bachbegleitenden Ahorn-Eschenbestände bei den vorhandenen hohen Niederschlagswerten (stets über 1500 mm) bestens geeignete Lebensräume für eine Reihe von anspruchsvollen Flechtenvereinen aus den Verbänden des *Lobarietum pulmonariae* und des *Parmelion perlatae* dar. Im Jahre 1978 wurden diese noch in der Umgebung des Hintersees im Rahmen einer Exkursion der bryologischen Arbeitsgemeinschaft für Mitteleuropa studiert (vgl. HEISELMAYER & TÜRK 1979).

Heute kann die Lungenflechte in diesem Gebiet nur mehr in abgestorbenen oder schwer geschädigten Exemplaren aufgefunden werden. Gerade in der Umgebung des Hintersees existiert *Lobaria pulmonaria* nur mehr in Form von braunen, algenfreien und schwer erkennbaren Resten der einst äußerst stattlichen und bis 30 cm großen Flechtenart. Auch andere großlobige und empfindliche Lichenen, wie *Nephroma*-, *Parmelia*- und *Sticta*-Arten sind durch die Einwirkung sauer reagierender Immissionen in extremem Maße geschädigt.

Im Herbst 1987 konnten wir ein bemerkenswertes Phänomen im Raume des Hintersees beobachten: Aus fast völlig abgestorbenen und von sauren Immissionen gänzlich zerfressenen Loben von *Lobaria pulmonaria* wuchsen aus einzelnen Abschnitten neue, wenige Millimeter große, gesunde Loben aus. Möglicherweise findet hier also im belastungsärmeren Sommerzeitraum eine – wenn auch geringe – Regeneration der Flechtenvegetation statt.

Mit zunehmender Höhe wird der Zustand der epiphytischen Flechtenvegetation besser, doch ist

auch auf den höheren Erhebungen (Schmittenstein, Postalmgebiet, Schafberg) die meist aspektbildende *Pseudevernia furfuracea* fast durchgehend geschädigt. Einzig die Höhenrücken des Hohen Zinken und des Gamsfeldes können ab einer Seehöhe von 1650–1750 msm als Reinluftzone ausgewiesen werden.

### E. Das Lammertal

Im Bereich des Lammertales ist ein deutlicher West-Ost-Gradient in bezug auf die Beeinträchtigung der Flechtenvegetation festzustellen. So entsprechen die beobachteten Schäden im Bereich von der Mündung bis Oberscheffau (Nordhänge des Tennengebirges, Klausgraben, Lammeröfen) weitgehend jenen in der Osterhorngruppe. Ab ungefähr der Linie Abtenau–Rußbach bessert sich der Zustand der epiphytischen Flechten deutlich. Zwar zeigen empfindliche Arten noch immer Schäden, doch ist die Lichenenvegetation der Laubbäume oftmals schon völlig normal entwickelt.

Die Schadausprägung in der dazwischen liegenden Zone ist relativ heterogen. So reichen die Beeinträchtigungen von *Lobaria pulmonaria* von völlig abgestorben (z. B. Grillseiten südlich von Voglau) bis zu nur marginal geschädigten Exemplaren (Klausgraben).

Die bereits in den anderen Landschaftsteilen beobachtete höhenabhängige Reinluftzone tritt auch im Bereich des Lammertales auf. Am Nordabhang des Tennengebirges liegt sie bei ca. 1700 msm, an der Südabdachung dieses Gebirgsmassives und auch am Gosaukamm sinkt sie auf 1200–1400 msm herab.

### F. Das Pongauer Salzachtal und dessen Seitentäler

Wie aus Abb. 2 hervorgeht, sind die Tieflagen des Pongauer Salzachtals als Zone 3 ausgewiesen. Die Beeinträchtigung der Flechtenvegetation äußert sich hier jedoch anders als z. B. in der ebenfalls als Zone 3 eingestuften Osterhorngruppe. Während dort nämlich Blatflechten noch relativ zahlreich und in großer Artenvielfalt vorkommen und die Einstufung als mittel belastete Zone hauptsächlich von den ausgeprägten Schäden herrührt, sind besonders im Salzachdurchbruch die Makrolichenen lokal fast völlig verschwunden (z. B. Stegenwald–Werfen). Auf saurer Nadelbaumborke können hier oft deckende Überzüge von *Scoliciosporum chlorococcum* beobachtet werden, ein Flechtenverein, der sonst üblicherweise in urbanen Ballungszentren (Zone 4, 5) auftritt. Die wenigen aufgefundenen Arten, wie etwa *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *P. glabrata*, *Pseudevernia furfuracea*, *Physcia adscendens* und *Ph. tenella* weisen jedoch nur Schäden auf, wie sie für die Zone 3 typisch sind (meist marginale Ausbleichungen). Die genaue Höhenabgrenzung der mittel belasteten Zone konnte bisher, vor allem aufgrund der Unzugänglichkeit und der reichen Gliederung des Geländes, noch nicht festgestellt werden (eine Detailstudie ist jedoch in Vorbereitung). Nach bisherigen Beobachtungen liegt die Grenze zur Zone 2 maximal wenige hundert Meter über Talniveau und zeigt sich als relativ plötzlicher Übergang. Die anschließende schwach belastete Zone entspricht wieder völlig den Verhältnissen in der Osterhorngruppe.

Der Bereich der Südabdachung des Tennengebirges weist eine artenreiche epiphytische Flechtenflora auf; vor allem in der weiteren Umgebung von Werfenweng (Wengerwinkl, Steinergraben) konnte eine Reihe von anspruchsvollen ozea-

nischen Arten (u. a. *Lobaria pulmonaria* und *L. scrobiculata*) nachgewiesen werden. Die beobachteten Schadbilder sind typisch für Zone 2. Ab einer Höhe von 1300–1400 msm wurden auch hier keine Schäden mehr an baumbewohnenden Makrolichenen festgestellt.

Im Fritzbachtal treten ähnliche Phänomene wie im Salzachdurchbruch auf, doch ist die Reduktion der Flechtenvegetation nirgends so drastisch wie zwischen Werfen und Stegenwald. Der Mittelgebirgsstock des Hochgründecks weist trotz geringer Seehöhen großflächige Gebiete ohne Flechtenschäden auf. Der Übergang von Zone 3 zu Zone 1 erfolgt sehr plötzlich und tlw. bereits auf Talniveau (z. B. Iglsbachtal). Die tieferen Lagen im Tal des Wagrainer Baches sind generell bis in eine Höhe von 1000 msm als leicht belastete Zone zu bewerten.

Auch in den westlich des Salzachtals gelegenen Tälern mußte eine – wenn auch geringe – Beeinflussung der Flechtenvegetation diagnostiziert werden. Vor allem empfindliche, ozeanische Lichenen weisen im Blühnbach- und Mühlbachtal Immissionschäden auf, weshalb die Talböden bis zu einer Höhe von 1200–1400 msm als Zone 2 eingestuft wurden.

### G. Die Umgebung von Radstadt

Das Radstädter Becken ist durchschnittlich als mittel belastete Zone zu bewerten. Besonders in den dichter besiedelten Zentren von Radstadt und Altenmarkt sind äußerst blattflechtenarme Vereine (mit Ausnahme von lokal häufigem Auftreten von *Xanthoria parietina*) vorherrschend, die meist von *Physcia adscendens* dominiert werden. Mehrere Phorophyten, vor allem in Radstadt, weisen nur mehr spärliche Überzüge aus diversen Krustenflechten auf. In nördlicher Richtung – an den Abhängen des Roßbrandes – bessert sich der Zustand der Flechtenvegetation zusehends. Knapp außerhalb des besiedelten Gebietes treten bereits blattflechtenreiche Assoziationen auf; die empfindlichen Arten *Evernia prunastri* und *Ramalina fraxinea* sind jedoch an den Lobenenden ausgebleicht bzw. verbraunt. Ab ca. 1100 msm kann jedoch auch hier Zone 1 ausgewiesen werden.

Südlich von Radstadt zeigen die Flechten außerhalb des Siedlungsgebietes nur mehr geringe Schäden. Im Taurachtal bei Untertauern weist *Lobaria pulmonaria* eine schmale ausgebleichte Randzone und selten zentrale Nekrosen auf; ihre Thallusgröße (bis 25 cm!) sowie die große Zahl von empfindlichen ozeanischen Begleitarten wie etwa *Heterodermia speciosa*, *Parmelia arnoldii*, *Pertusaria ophthalmiza* und *Ochrolechia pallescens* (über die interessante Flechtenflora des Taurachtals berichtet bereits SCHAUER 1965) indizieren eine nur geringe Belastung. Die Reinluftzone beginnt hier ebenfalls bei ca. 1100 msm.

Das Zauchbachtal kann – mit Ausnahme des Talausganges bei Altenmarkt – als Zone 1 ausgewiesen werden. Die Tatsache, daß hier *Usnea longissima*, eine in Mitteleuropa fast völlig ausgestorbene Bartflechte, eines ihrer letzten Vorkommen hat (vgl. TÜRK & WITTMANN 1986, 1987), weist zusätzlich auf die äußerst geringe bzw. fehlende Schadstoffbelastung in diesem Tal hin.

Völlig andere Verhältnisse zeigt die Lichenenflora im Ennstal. Hier können ähnliche Phänomene wie im Tennengauer Salzachtal – wenn auch in abgeschwächter Form – beobachtet werden. So fehlen auf Nadelbäumen Bart- und Strauch- und zumeist auch Blatflechten bis in eine Entfernung von ca. 500 Meter von der Tauernautobahn völlig. Außerhalb dieses Bereiches bessern sich die Verhältnisse relativ rasch – der Übergang von Zone

3 zu Zone 1 erfolgt innerhalb weniger hundert Meter. Auf Laubbäumen sind die Beeinträchtigungen weniger deutlich; bemerkenswert ist das häufige Auftreten von stickstoffliebenden *Physcia*- und *Physconia*-Arten. Die beobachteten Schadbilder gehen selten über das für Zone 2 typische Maß hinaus; die auffällige Flechtenarmut rechtfertigt jedoch auch hier eine Einstufung in Zone 3.

## H. Der Mittelpinzgau

In der unteren Montanstufe zeigt dieser Bereich des Bundeslandes ein recht einheitliches Belastungsniveau. Die Grenze zur höhenabhängigen Reinluftzone liegt in der Umgebung von Lofer und Unken bei ca. 1500 msm und fällt über Diesbach (1200 msm) bis in die Umgebung von Saalfelden auf ca. 1000 msm. Auffällig stärkere Schäden treten bei Unken und im Heutal auf, wo vor allem *Lobaria pulmonaria* oft nur mehr in absterbenden Exemplaren aufgefunden werden kann. In diesem Bereich zeigt sich auch ein weiteres Phänomen besonders deutlich: auf Buchen und anderen glattrindigen Bäumen stellen die Regenabflußstreifen wahre »Todeszonen« für epiphytische Flechten dar.

Die Siedlungsbereiche von Lofer und Saalfelden sind ebenfalls Zone 3 zuzuordnen. Überdurchschnittlich belastet ist auch das hintere Glemmtal, wo in den Ortsgebieten von Saalbach und von Hinterglemm lokal sogar Zone 4 auftritt (vgl. TÜRK in RASSETS et al. 1982). Es muß allerdings betont werden, daß sich diese stärkeren Beeinträchtigungen der Flechtenvegetation nur auf das unmittelbare Talniveau beschränken. In den höheren Lagen der Kitzbüheler Alpen und des Hundsteinmassives sind ab ca. 1000 msm keine äußerlich sichtbaren Schäden mehr an Flechten feststellbar.

## I. Der Raum Lend

Der Raum Lend muß – zumindest lokal – als Stufe 5 (sehr stark belastete Zone) ausgewiesen werden. Die tlw. mächtigen Laubbäume (*Acer pseudoplatanus*, *Ulmus glabra*, *Aesculus hippocastanum*) im Ortsgebiet bzw. in der Umgebung der dort ansässigen Industrie sind in der Regel völlig flechtenleer; an einzelnen Stämmen konnten noch Krustenflechten (*Lepraria incana*) und letzte Fragmente von Blattflechten (*Physcia adscendens*, *Cladonia digitata*) nachgewiesen werden. Von der ursprünglichen Flechtenvegetation – aufgrund des engen Talabschnittes, der hohen Luftfeuchtigkeit (Flußnähe) und der zahlreichen mächtigen Laubbäume waren hier ursprünglich sicher ozeanische Flechtenvereine vorhanden – ist nichts mehr übrig. Die überdurchschnittlich hohe Belastung ist hier auf den unmittelbaren Talgrund beschränkt; die Grenzen der einzelnen Flechtenzonen (v. a. 5 bis 3) liegen eng beisammen. Über ihre genaue Ausdehnung in Abhängigkeit von der Lage der Emittenten und der Geländemorphologie wird in einer Detailstudie (E. BLIEBERGER in Vorber.) an anderer Stelle berichtet werden.

## J. Das Pinzgauer Salzachtal

In diesem Abschnitt des Bundeslandes Salzburg ist einzig das Siedlungsgebiet von Zell am See als mittel belastete Zone auszuweisen. Zudem sind die Tallagen durchschnittlich als leicht beeinträchtigt einzustufen. Das Hauptmaß der Schäden konzentriert sich auf die unmittelbaren Ortsbereiche, dazwischen treten jedoch bereits Abschnitte auf, die zu Zone 1 überleiten. Ab Höhe Mühlbach–Hollersbach überwiegen diese unbeeinflus-

ten Gebiete deutlich, weshalb hier bereits großflächig Reinluftgebiete ausgewiesen werden können. Die Höhengrenze zwischen Zone 1 und 2 liegt bei Zell am See bei 900–1000 msm und fällt in Richtung Westen bis Mittersill auf das Talniveau.

## K. Die Seitentäler des Alpenhauptkammes

Abgesehen von wenigen Ausnahmen können alle Tauerntäler der Zone 1 zugerechnet werden – sie stellen somit »noch« Refugien für seltene, bedrohte und oftmals schon großflächig ausgestorbene Flechtenarten dar (vgl. TÜRK & WITTMANN 1986, 1987). Gewisse Beeinflussungen zeigt die Flechtenflora im Fuschertal bis ca. auf Höhe Bärenwerk, wo vor allem die Schadbilder (Rotverfärbungen, Ausbleichungen) an zahlreichen *Parmelia*-Arten eine Einstufung in Zone 1 verhindern. In den Hochlagen dieses Tales sind trotz der relativ stark befahrenen Glocknerstraße keinerlei Beeinträchtigungen an Flechten festzustellen.

In krassem Gegensatz zu den übrigen Tälern des Alpenhauptkammes steht das Gasteiner Tal. Über die massiven Schäden an Flechten, vor allem im hinteren Talabschnitt zwischen Badgastein und Bockstein, wurde schon von TÜRK (in RASSETS et al. 1982) ausführlich berichtet. Bei einer nochmaligen Kartierung im Jahre 1987 zeigte sich ein weitgehend unverändertes Bild. So ist nach wie vor das Gebiet zwischen dem Bahnhof und dem Ort Bockstein sowie die Umgebung des Bahnhofes von Badgastein völlig flechtenfrei. Bemerkenswerterweise finden sich in diesen Flechtenwüsten nicht einmal kleine, geschädigte Thalli, wie sie sonst in Zone 5 noch durchaus anzutreffen sind (so z. B. auch im Gebiet der Landeshauptstadt Salzburg!). Hervorzuheben ist in diesem stark beeinflussten Gebiet noch ein weiteres Phänomen: die Borke fast sämtlicher Fichten im Talgrund ist schwärzlich verfärbt und besitzt eine eigenartige fasrige Struktur.

Der Übergang in die Reinluftzone erfolgt hier sehr rasch, und bereits 50 bis 100 Meter über Talniveau sind keine Schäden an Flechten mehr feststellbar. Auch in horizontaler Richtung ist im Bereich der Naßfelder Ache und im Anlaufstal schon 500 bis 1000 Meter außerhalb des besiedelten Gebietes Zone 1 gegeben.

Die östlich anschließenden Täler (Großarl- und Kleinartal) sind nur an den Talausgängen und in dichter besiedelten Bereichen leicht beeinflusst – ansonsten können sie großflächig als Reinluftzonen ausgewiesen werden.

## L. Der Lungau

Im südöstlichsten Gau des Bundeslandes Salzburg ist die epiphytische Flechtenvegetation nur in sehr geringem Maße beeinträchtigt. Das einzige größere Gebiet mit eingeschränkter Flechtenflora ist das Zederhaustal, in dem ähnliche Phänomene wie im Ennstal auftreten. Bemerkenswert ist hier das völlige Fehlen von Band- und Bartflechten (*Evernia prunastri*, *Ramalina*-Arten, *Pseudevernia furfuracea* und *Usnea*-Arten) im Talgrund und in der Umgebung der Tauernautobahn. Dies ist umso auffälliger, als daß im südlichen und im nördlichen Paralleltal (Taurach- und Murwinkel) sämtliche dieser Arten sogar relativ reichlich vorhanden sind; auch ein Mangel an geeigneten Phorophyten ist im Zederhaustal sicherlich nicht der Grund für die Flechtenverarmung – eine Fülle von stattlichen Laub- und Nadelbäumen würde den erwähnten Arten hier optimale Lebensbedingungen bieten. Der Übergang in Zone 1 erfolgt in Vertikalrichtung 100 bis 200 Meter über Tal-

niveau, in Horizontalrichtung maximal in 1 Kilometer Entfernung von der Autobahn.

Die übrigen zwei kleinräumig belasteten Gebiete des Lungaus sind die Umgebung von Mauternsdorf und von Tamsweg, allerdings sind die Beeinflussungen nur auf besiedeltes Gebiet beschränkt und auch das Ausmaß der Schädigung ist sehr gering. Die übrigen Bereiche dieses Gaues sind großflächig Zone 1, und der oftmals deckende Bewuchs mit empfindlichen Bart- und Blattflechtengesellschaften – auch auf saurer Nadelbaumborke – ist ein sicherer Indikator für die geringe Belastung der Luft mit sauer reagierenden Abgasen in diesem Teil des Bundeslandes Salzburg.

#### 4. Diskussion

Wie bereits die Untersuchungen im Bundesland Vorarlberg (WITTMANN et al. 1988) gezeigt haben, lassen sich unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien wie Schadbilder einzelner Arten, Arteninventar, Thallusgrößen und soziologische Zusammensetzung der Flechtencönosen immissionsbezogene Flechtenkartierungen auch für größere Gebiete durchführen. Selbst in einem so reich gegliederten Land wie Salzburg mit seinen unterschiedlichsten Vegetationseinheiten, Klimatypen und Höhenstufen sind vor allem die beobachteten Schadbilder an einigen weit verbreiteten und häufigen Arten wie etwa *Pseudevernia furfuracea*, *Hypogymnia physodes* oder *Evernia prunastri* ein untrügliches Indiz für die Einwirkung sauer reagierender Schadgase. Oftmals läßt sich anhand der charakteristischen Schäden schon eine gute Einstufung in eine der fünf Flechtenzonen vornehmen. Es sollten jedoch, um Fehlinterpretationen durch lokale Effekte (zu dichte Bestandesstruktur, kleinräumiger extremer Nitratreintrag in Weidegebieten, direkte und oftmals äußerst kleinräumig wirkende Schädigung durch Hausbrand etc.) zu vermeiden, stets mehrere Phorophyten – wenn möglich mit unterschiedlichem Borken-pH-Wert (Nadel- und Laubbäume) – sowie alle erwähnten Kriterien herangezogen werden (zur Problematik vgl. auch BESCHEL 1958, MÜLLER et al. 1981, WIRTH 1983).

Eine wichtige Voraussetzung für die hier vorliegende Untersuchung – vor allem in bezug auf die Feststellung und Interpretation der Veränderung der Flechtenvegetation ist die langjährige intensive Beschäftigung der Autoren mit der Salzburger Lichenenflora (z. B.: TÜRK 1975, 1976, 1984, TÜRK & WITTMANN 1987, WITTMANN & TÜRK 1986). Besonders der drastische Zusammenbruch in zahlreichen Biotopen konnte nur durch permanente Beobachtung in relativ kurzen Zeitabschnitten erkannt werden. Dieser Verfall der Flechtengesellschaften geht nämlich oftmals so rasch und so weitreichend vor sich, daß die verbleibende Artenkombination kaum mehr Rückschlüsse auf den ehemals reichen Flechtenbewuchs bietet. So läßt das sukzessive Aussterben von empfindlichen Arten, wie *Lobaria pulmonaria*, *Parmelia stippea*, *P. perlata* und *P. revoluta* im Alpenvorland vermuten, daß diese Lichenen die letzten Reste der einst sicherlich reichlich vorhandenen ozeanischen Flechtengesellschaften in diesem Bereich des Bundeslandes darstellen. Bei weiter fortschreitender Belastung ist jedoch damit zu rechnen, daß auch diese letzten »Zeugen« der ehemaligen epiphytischen Flechtenflora hier völlig aussterben.

Die festgestellte drastische Verarmung der Lichenenflora steht im Gegensatz zu der vom Amt der Salzburger Landesregierung gemessenen deutlichen Verminderung der  $\text{SO}_2$ -Emissionsbelastung

der Salzburger Luft. Dieser offensichtliche Widerspruch dürfte hauptsächlich auf drei Ursachen zurückzuführen sein:

1. Die überwiegend in Ballungszentren registrierte Verminderung der Schwefeldioxid-Belastung ist in emittentfernen Gebieten (noch) nicht wirksam. Ähnliche Phänomene sind auch in der Bundesrepublik Deutschland beobachtet worden: während nämlich im Ruhrgebiet in den Jahren 1965 bis 1984 die Schwefeldioxid-Belastung auf etwa ein Drittel zurückgegangen ist – diese Tendenz zeigte sich auch in einer Wiederbesiedlung der ehemals extrem belasteten Gebiete durch Flechten (RABE & WIEGEL 1985) – ist in quellenfernen Regionen noch keine generelle Tendenz in Richtung  $\text{SO}_2$ -Abnahme zu erkennen (PRINZ et al. 1985).

2. Die Schäden an Flechten werden durch kurzzeitige Spitzenkonzentrationen ausgelöst, die jedoch für die Jahres- und Monatsmittelwerte nur untergeordnete Bedeutung haben. Derartige hochkonzentrierte Schadstoffwolken wurden auch vom Luftmeßnetz des Amtes der Salzburger Landesregierung (Referat für Umweltschutz) erfaßt und können aufgrund ihrer räumlichen und zeitlichen Ausbreitung (Registrierung durch mehrere Meßstellen im Alpenvorland und im Salzachtal) eindeutig dem Problemkreis Fernimmissionen zugeordnet werden. Die gemessenen Maximalkonzentrationen lagen z. B. im Februar 1986 für mehrere Tage über  $200 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ . In den Untersuchungen von TÜRK et al. (1974) wurde gezeigt, daß gerade *Lobaria pulmonaria* schon bei kurzzeitigen Begasungen mit relativ geringen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen ( $500 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  für 14 Stunden) deutliche Schädigungen des Photosyntheseapparates aufweist. Auch HAWKSWORTH & ROSE (1970) geben für das Vorkommen von *Lobaria pulmonaria* eine obere Belastungsgrenze von nur  $30 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  an. Es ist demnach nicht verwunderlich, daß die Lungenflechte und mit ihr sämtliche empfindlichere Lichenen derart drastische Schäden aufweisen bzw. in weiten Gebieten aussterben.

3. Da Flechten kein Ausscheidungssystem besitzen und ihr Thallus einen langlebigen und langsam wachsenden Pflanzenkörper darstellt, speichern sie die unter Umständen über längere Zeiträume eingetragenen Schadstoffe bis zur letalen Dosis. Es ist also denkbar, daß sich eine Verminderung der Immissionen, vor allem bei schon vorbelasteten Thalli, nicht sofort positiv auswirkt. Dieser Annahme entspricht auch die Beobachtung, daß im Raume des Hintersees bei *Lobaria pulmonaria* nicht alte Loben wieder ergrünen, sondern daß aus den geschädigten Lagern im Jahre 1987 neue, gesunde Thallusabschnitte ausgewachsen waren. Ob es sich bei diesem Phänomen um einen generellen Trend handelt oder ob die Flechten nur das immissionsärmere Sommerhalbjahr kurzfristig ausnutzen konnten, bleibt abzuwarten.

Andererseits zeigen einige Untersuchungen in den letzten Jahren, daß Lichenen relativ rasch – meist innerhalb weniger Jahre – auf eine Verbesserung der Luftqualität reagieren. Neben der bereits erwähnten Studie von RABE & WIEGEL (1985) aus dem Ruhrgebiet konnte auch in Leoben (HAFELLNER & GRILL 1980), in London (ROSE & HAWKSWORTH 1981), in München (KANDLER & POELT 1984, KANDLER 1987) und im Raume Hochfilzen (WITTMANN & TÜRK 1988a) eine Regeneration der Flechtenvegetation – korrelierend mit einer Verbesserung der Luftqualität – festgestellt werden.

Die in Abb. 2 dargestellte Flechtenzonierung läßt eindeutige Schlüsse über die Herkunft der Luftschadstoffe zu. So sind die weitreichenden und

meist völlig unabhängig von der Lage der Lokalemittenten auftretenden Schäden im Alpenvorland und in der Osterhorngruppe sicherlich auf Immissionen durch Ferntransport zurückzuführen. Durch Stauregen im Bereich der Kalkvor- und Kalkhochalpen sind hier die Phänomene des »Sauern Regens« in hohem Maße wirksam. Aber auch die trockene Deposition trägt sicherlich einen wesentlichen Teil zum Flechtensterben in dieser Region des Bundeslandes Salzburg bei. Die auf Ästen, Nadeln und Blättern deponierten Luftschadstoffe werden bei Regen oder Nebel abgewaschen und können in konzentrierter Form in die Flechtenthalli gelangen. In einigen Gebieten Österreichs konnten sogar schwere Beeinträchtigungen des Bodens und der Waldbodenflora durch saure Stammabläufe festgestellt werden (Wienerwald – GLATZEL et al. 1983, PUXBAUM et al. 1983, Brixlegg – ZTW 1987) – es ist demnach nicht überraschend, daß gerade die Regenabflußstreifen oftmals wahre »Todeszonen« für Flechten darstellen.

Im Salzburger Becken und im Tennengauer Salzachtal werden die Fernimmissionen massiv durch die Wirkung von Lokalemittenten überlagert. In den erwähnten kleinräumig begünstigten Gebieten (Obertrumer See, Salzachauen etc.) dürfte das vorteilhafte Lokalklima und die Versorgung mit wenig belasteter Feuchtigkeit aus der Verdunstung der Gewässeroberfläche einen positiven Einfluß auf die Flechtenflora ausüben. Ähnliche Phänomene wurden auch schon bei urbanen Kartierungen (BESCHEL 1958, TÜRK & ZIEGELBERGER 1982, GOPPEL 1984) beobachtet.

Bemerkenswert ist, daß auch im Salzburger Alpenvorland, trotz seiner starken Schadstoffbelastung, ab einer Höhe von ca. 1700 msm keinerlei Schäden an Flechten festzustellen sind. Diese Beobachtung deckt sich weitgehend mit unseren Ergebnissen aus Vorarlberg (WITTMANN et al. 1988). Diese Übereinstimmung legt den Schluß nahe, daß zumindest die sauer reagierenden Komponenten der Luftschadstoffe – für diese sind die Flechten ja besonders empfindlich – generell nur bis in diese Höhe emittiert, transmittiert und immittiert werden.

Südlich der Kalkalpen nimmt der Einfluß der Fernimmissionen merklich ab: die Verteilung der Schäden an Flechten konzentriert sich auf Talagen mit hoher Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsdichte. Vor allem im Bereich des Pinzgauer Salzachtales und den Tälern des Alpenhauptkammes sind offensichtlich nur mehr lokale Emissionen von Bedeutung. Mit Sicherheit gilt dies auch für den Lungau; diese Region ist durch seine zweifache Abschirmung im Norden (Kalkalpen, Tauernhauptkamm) gegenüber Ferntransporten aus dem Alpenvorland bzw. aus unseren Nachbarländern – zumindest bisher – völlig geschützt. Da zudem die Nahemissionen aufgrund der Kleinheit der Lokalemittenten von nur geringer Bedeutung sind, kann der Lungau fast durchgehend als Reinluftgebiet ausgewiesen werden.

Diese anhand von Flechten gewonnenen Luftdaten korrelieren sehr gut mit den Ergebnissen des österreichweiten Biindikatornetzes (Nadelanalysen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien; vgl. POLLANSCHÜTZ & NEUMANN 1987:33). Es stimmen z. B. jene Gebiete, in denen erhöhte Schadstoffgehalte in Nadeln nachgewiesen wurden (Salzburger Becken, Tennengauer Salzachtal, Salzachtal zwischen Bischofs-hofen und Lend, Badgastein), in hohem Maße mit der Verteilung der Flechtenzonen 4 und 5 überein. Sogar die höhenabhängige Verteilung der Luftschadstoffe zeigt diese Untersuchung in ähnlichem Maße wie die Flechtenkartierung auf: so

sind auch im Hinblick auf die Nadelanalysen z. B. die Hochlagen des Untersbergstockes – im Gegensatz zu den talnahen Bereichen – völlig unbelastet.

Ein eigentlich unerwartetes Ergebnis war die drastische Verarmung der Flechtenflora entlang der Tauernautobahn. Während nämlich in mehreren Publikationen (z. B. BESCHEL 1958) dem Straßenverkehr in bezug auf die Schädigung von Flechten eine nur untergeordnete Bedeutung zugemessen wird, ist er im Ennstal, im Zederhaustal und in Bereichen des Salzachtales die dominierende Schadursache. Vor allem der Vergleich mit »autobahnfreien« Paralleltälern zeigt, wie massiv diese Beeinflussungen sind. Während die Veränderungen der Flechtenflora oftmals nur vom Fachmann erkannt werden können, ist das völlige Fehlen von Band- und Bartflechten in Autobahn-nähe – im Vergleich mit dem dichten Epiphytenbewuchs der Nachbartäler – hier auch für einen Laien offensichtlich.

Bemerkenswert ist die geringe horizontale und vertikale Ausdehnung des durch die Tauernautobahn beeinträchtigten Gebietes (ca. 300 bis 1000 Meter horizontal und maximal wenige hundert Meter vertikal). Möglicherweise sind die sauer reagierenden Komponenten der Autoabgase und deren Reaktionsprodukte (z. B. Salpetersäure) nur kurze Zeit wirksam bzw. in entsprechender Konzentration vorhanden oder es üben Vertreter einer anderen Stoffklasse (z. B. Schwermetalle) in einer instabilen und leicht umsetzbaren Form direkte toxische Wirkungen auf die Lichenenvegetation aus. Nach unseren bisherigen Erfahrungen treten diese Schadzonen erst ab einer gewissen Verkehrsdichte auf – also dann, wenn ein Grenzwert der Belastung überschritten wird. So zeigt ja die Flechtenvegetation im Zauchbachtal, trotz der im Winter relativ stark befahrenen Straße (Wintersportgebiet!) keinerlei Beeinträchtigungen, eine Tatsache, die durch das Vorkommen der heute äußerst seltenen Bartflechte *Usnea longissima* ein-drucksvoll untermauert wird.

Verglichen mit anderen bereits untersuchten österreichischen Bundesländern nimmt Salzburg in bezug auf die Beeinträchtigung der Flechtenvegetation eine Mittelstellung ein. So ist Vorarlberg deutlich weniger belastet: »Flechtenwüsten« fehlen in diesem Bundesland völlig, und auch die flächenmäßige Ausbreitung der Flechtenzonen 2 und 3 ist relativ gering (WITTMANN et al. 1988). In Oberösterreich hingegen (KRIEGER & TÜRK 1986, TÜRK & WITTMANN unpubl., WITTMANN & TÜRK 1988b) geht das Belastungsniveau noch deutlich über die Salzburger Verhältnisse hinaus; hier sind Reinluftgebiete im montanen Bereich bereits völlig verschwunden.

Interessante Ergebnisse erbrachte auch ein Vergleich der Flechtenzonen mit den Daten der Waldzustandsinventur. So ist laut POLLANSCHÜTZ & NEUMANN (1987) der Tennengau mit einem durchschnittlichen Verlichtungsgrad von 1,41 jener Landesteil Salzburgs, in welchem die Wälder am stärksten geschädigt sind. Am zweitenschlechtesten wurden jedoch bereits die Waldflächen des Lungaus taxiert (Verlichtungsstufe 1,28), jener Region also, in der die Flechten eine äußerst geringe und nur lokal wirksame Belastung der Luft mit sauer reagierenden Abgasen anzeigen! Die übrigen Gaue (Flachgau 1,23; Pongau 1,22; Pinzgau 1,21) weisen nur geringe Abstufungen hinsichtlich ihrer Verlichtungsstufen auf – eine großflächige Korrelation zwischen Flechtenzonen und Waldschäden ist demnach nicht gegeben.

Auch im Hinblick auf ihre vertikale Ausbreitung zeigen die beiden Phänomene (Wald- und Flech-

tenschäden) nur wenig Parallelen. Während nämlich die ersten großflächigen Waldschäden in Salzburg – wie auch in weiten Bereichen Mitteleuropas (SCHÜTT 1984) – vor allem in Höhenlagen zwischen 800 und 1200 msm auftraten, sind die Flechten seit jeher in den Tallagen am stärksten beeinträchtigt. Mit zunehmender Seehöhe werden die Schäden an Flechten stets geringer, jene an Bäumen nehmen jedoch oftmals zu. Besonders deutlich sind diese Verhältnisse am Gaisberg in der direkten Umgebung der Stadt Salzburg. Hier zeigen die Flechten mit zunehmender Entfernung vom Stadtgebiet eine Verbesserung der Luftqualität an, während die Schäden an Bäumen zunehmen. Die Wälder sind also in den stärker belasteten Gebieten gesünder als in der Gipfelregion des Gaisberges, in der die Atmosphäre – zumindest in bezug auf die saure Komponente der Luftschadstoffe – wesentlich weniger kontaminiert ist\*.

Es treten also in Salzburg, wie auch in anderen Regionen Mitteleuropas (Bayern – KÖSTNER & LANGE 1986, süddeutsche Mittelgebirge – PRINZ 1985, PRINZ et al. 1987, Vorarlberg – WITTMANN et al. 1988) deutliche Widersprüche zwischen der flächenhaften Ausbreitung saurer reagierender Luftschadstoffe und dem Auftreten von Waldschäden auf. *Daraus folgt jedoch, daß die saure Komponente der Luftverschmutzung – zumindest als Hauptursache – für die »neuartigen«, großflächigen Waldschäden ausgeschlossen werden kann.*

Die Wirkung von Photooxidantien (Ozon und verwandte Stoffe) auf die Flechtenvegetation ist noch immer nicht völlig abgeklärt. Nach den bisher vorliegenden Untersuchungen (NASH 1976, ROSENTERER & AHMADJIAN 1977, BROWN & SMIRNOFF 1978, SIGAL & TAYLOR 1978, NASH & SIGAL 1979, 1980, DERUELLE & PETIT 1983, GUDERIAN et al. 1985) dürfte jedoch ein Großteil der Flechtenarten nicht wesentlich empfindlicher gegenüber der Einwirkung von Ozon sein als verholzte Gefäßpflanzen. Diese Stoffklasse könnte demnach durchaus als Hauptursache für die »neuartigen« Waldschäden in Frage kommen, ohne daß eine enge Korrelation zwischen der flächenhaften Ausbreitung der Schäden an Waldbäumen und an Flechten gegeben sein muß.

*Die erwähnten Widersprüche zwischen der Einwirkung saurer Luftschadstoffe auf Flechten und dem Auftreten von Waldschäden können bei der Annahme von Photooxidantien als Schadursache für unsere Bäume recht zwanglos erklärt werden.* So ist die Bildung von Photooxidantien ein Reaktionsgefüge mit mehreren lichtabhängigen Reaktionsschritten (vgl. OSSWALD & ELSTNER 1986, 1987) weshalb hohe Ozonkonzentrationen im sonnenscheinreichsten Gebiet Salzburgs – dem Lungau (SEEFELDNER 1961) und in Lagen über der Talinversion (Gaisberg!) durchaus wahrscheinlich sind. Leider liegen aus Salzburg keine Daten über Ozonkonzentrationen vor, doch zeigen die bisher publizierten Messungen (PUXBAUM & OBER 1987) Werte, die für gewisse Pflanzen durchaus als toxisch anzusehen sind (z. B. Juli 1986: mehrere Tagesmittelwerte über 80 ppb).

Es soll jedoch erwähnt werden, daß auch im Hinblick auf die »Ozontheorie« einige recht krasse Widersprüche bestehen. So ist z. B. die heute am stärksten bedrohte Baumart, die Tanne (*Abies al-*

*ba*), gegenüber Ozon wesentlich resistenter als die Fichte (*Picea abies*) und als sämtliche Laubbäume, eine Tatsache, die zum beobachteten Schadverlauf und -ausmaß völlig konträr ist! Auch die bei Ozonbegasung im Laborversuch beobachtete Pigmentzerstörung stimmt nicht mit den Veränderungen der Pigmentmuster geschädigter Waldbäume im Freiland überein (vgl. PRINZ et al. 1985, SENSER et al. 1987). *Es sollten daher bei der Waldschadensforschung neben der Berücksichtigung diverser Kombinationswirkungen (z. B. GLATZEL et al. 1987) auch andere mögliche Ursachen in Betracht gezogen werden.* Gerade die Tatsache, daß sich sowohl am Gaisberg als auch im Lungau größere Sendeanlagen befinden, lassen es nicht unmöglich erscheinen, daß die von diesen emittierte langwellige Strahlung einen Einfluß auf den Zustand unserer Wälder hat. VOLKRODT (1987a) sieht in der Umweltbelastung durch Mikrowellen die primäre Ursache für die »neuartigen« Waldschäden. Da dieser »Stressor« mindestens ebensogut wie die bisher angenommenen Verursacher des Waldsterbens mit den beobachteten Phänomenen korreliert (vgl. VOLKRODT 1987b), sollte er mit derselben wissenschaftlichen Akribie auf seine mögliche Bedeutung für den Gesundheitszustand unserer Wälder untersucht werden, wie die diversen Luftschadstoffe.

Abschließend muß jedoch betont werden, daß schon der drastische Rückgang der Flechten »allein« Alarmsignal genug sein sollte, endlich daran zu gehen, der Verpestung unserer Atmosphäre Einhalt zu gebieten. Er sollte uns auch zusätzlich anregen, gerade in jenen Gebieten, in denen die Flechten »noch« nicht unter dem Einfluß saurer reagierender Luftschadstoffe stehen (z. B. in den Tauerntälern) sämtliche anderen für die Lichenen negativen Faktoren (forstwirtschaftliche, verkehrstechnische, energie- und fremdenverkehrsrechtliche Eingriffe – vgl. TÜRK & WITTMANN 1986) auf ein Minimum zu beschränken. In derartigen, möglichst großflächigen Schutzgebieten bestünden berechnete Chancen, wenigstens einen Teil der Artenvielfalt dieser interessanten Organismengruppe zu erhalten.

## 5. Zusammenfassung

Im Bundesland Salzburg (Österreich) wurde eine großflächige immissionsbezogene Flechtenkartierung durchgeführt.

Als Kriterien für die Zuteilung zu einer der fünf Flechtenzonen wurden Schadbilder, Thallusgrößen und relativer Deckungsgrad einzelner Flechtenarten sowie deren soziologische Zusammensetzung herangezogen. Die flächenhafte Ausbreitung der einzelnen Belastungszonen wird in Kartenform dargestellt; zusätzlich wird die Immissionsituation in den einzelnen Landschaftsteilen des Bundeslandes besprochen.

Stark belastete Zonen müssen im Salzburger Becken, im Tennengauer Salzachtal, im Raum Lend und im hinteren Gasteiner Tal ausgewiesen werden. »Flechtenwüsten« (Zone 5) treten in den Stadtgebieten von Salzburg und Hallein, in Lend und in Badgastein auf. Das Alpenvorland und die Kalkvorpalpen bis hin zu den Kalkhochalpen sind als Stufe 3 (mittel belastete Zone) einzustufen. Die Flechten zeigen eine abnehmende Belastung mit zunehmender Höhenlage an; ab ca. 1700 msm ist im Nordstau der Kalkalpen kein negativer Einfluß anhand der Flechten feststellbar. Südlich der Kalkalpen ist die Beeinträchtigung der Lichenenvegetation wesentlich geringer und überwiegend auf Tallagen beschränkt. Der Lungau ist bis auf wenige lokale Ausnahmen als Reinluftgebiet auszuweisen.

\*) Die Walddaten wurden uns in dankenswerter Weise von Herrn Dipl.-Ing. Dr. G. SCHLAGER (Magistrat Salzburg) bestätigt.

Die festgestellte Zonierung läßt den Schluß zu, daß Fernimmissionen im Norden des Bundeslandes einen großen, südlich der Kalkalpen einen geringen und im Lungau keinen Einfluß auf die Flechtenvegetation ausüben. Nördlich der Kalkalpen werden die Ferntransporte von Luftschadstoffen massiv von Nahimmissionen überlagert.

Die Veränderungen der Flechtenflora zeigen nach wie vor eine Verschlechterung der Luftgüte im Bundesland Salzburg an. Der Widerspruch mit den bisher vorliegenden Meßdaten des Amtes der Salzburger Landesregierung wird diskutiert.

Ein Vergleich der Flechtenzonen, die die Belastung der Atmosphäre mit sauer reagierenden Luftschadstoffen widerspiegeln, mit den Daten der Waldzustandsinventur erbrachte zahlreiche konträre Ergebnisse. So korrelieren weder das horizontale noch das vertikale Auftreten von Schadbildern an beiden Organismengruppen Flechten und Waldbäumen. *Somit kann die sauer reagierende Komponente der Luftschadstoffe im Bundesland Salzburg – zumindest als Hauptursache – für die »neuartigen« Waldschäden ausgeschlossen werden.* Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit mehreren Untersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland und in Österreich. Andere mögliche Ursachen für das Phänomen »Waldsterben« werden diskutiert.

Die Errichtung großflächiger Schutzgebiete für Flechten in noch nicht durch Luftschadstoffe beeinflussten Gebieten (z. B. in den Tälern des Alpenhauptkammes) wird angeregt.

## Summary

Mapping studies on lichens with respect to air pollution were carried out in the province of Salzburg (Austria).

The criteria for delineating the five pollution zones by lichens were: the visible damage, the diameter or the length and the relative percentage of coverage of foliose and fruticose lichens as well as the alteration of the occurring lichen communities. The zones of different levels of air pollution – indicated by lichens – are represented as a map.

Heavily polluted areas were found in the Salzburger basin, in the Salzach-valley of the Tennengau, the areas around Lend and the inner parts of the Gastein-valley. Lichen-deserts occur locally in the cities of Salzburg and Hallein, in Lend and in Badgastein. The regions, north of the Limestone Alps (Kalkhochalpen) generally belong to the zone of medium pollution. In this area visible damage on lichens can be observed to an altitude of 1700 m.

South of the Northern-Limestone Alps the impact of air pollution on lichen vegetation is by far lower and mainly restricted to the valley-bottoms. The greater part of the Lungau belongs to the non-polluted area.

The observed zones of different damage indicate, that far range immissions have a great effect North of the Limestone Alps. In the surroundings of the city of Salzburg and in the Salzach-valley of the Tennengau lichens are additionally damaged by short range immissions.

Compared with previous investigations the lichens show a decrease of the air quality in Salzburg. These results are in contrast to the SO<sub>2</sub>-immission-data, registered by the "Amt der Salzburger Landesregierung".

A comparison of the lichen zones, which represents the pollution of the atmosphere with acidic components, with different zones of forest damage shows contrary results in many cases. There is no

correlation between the horizontal and vertical distribution of damage, both of lichens and trees. *This would indicate, that the acidic components of air pollution are not the main nor the sole cause of the "novel forest decline".*

The installation of large areas for protecting lichens in regions with clean air is suggested.

## 6. Danksagung

Wir danken dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung für die Unterstützung des Kartierungsprojektes (P 5764).

Herrn Dipl.-Ing. Dr. E. MUSIOL (Amt der Salzburger Landesregierung, Landesforstdirektion) und Herrn Oberamtsrat P. BIEBL (Amt der Salzburger Landesregierung, Referat für Umweltschutz) sind wir für die bereitwillige Überlassung von Waldzustands- und Luftdaten zu großem Dank verpflichtet. Für die Mitteilung von immissionsbezogenen Kartierungsdaten danken wir Frau E. BLIEBERGER, Frau S. RÖTH und Frau Ch. SCHWARZ (alle Salzburg) recht herzlich.

## 7. Literatur

BESCHEL, R. (1958): Flechtenvereine der Städte, Stadtflechten und ihr Wachstum. – Ber. Naturwiss.-Med. Ver. Innsbruck 52: 1–158

BROWN, D. H. & SMIRNOFF, N. (1978): Observations on the effect of ozone on *Cladonia rangiformis*. – Lichenologist 10: 91–94

CHRIST, R. & TÜRK, R. (1981): Die Indikation von Luftverunreinigungen durch CO<sub>2</sub>-Gaswechselformen an Flechtentransplantaten. – Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien 137: 145–150

CHRIST, R. & TÜRK, R. (1982): CO<sub>2</sub>-Gaswechselformen an Flechtentransplantaten zur Indikation der SO<sub>2</sub>-Belastung im Stadtgebiet von Salzburg. – Schriften. Luftgüteuntersuchung, Amt der Salzburger Landesreg. 7: 36–77

DERUELLE, S. & PETTIT, P. J. X. (1983): Preliminary studies on the net photosynthesis and respiration responses of some lichens to automobile pollution. – Cryptogamie, Bryol. Lichenol. 4: 269–278

GLATZEL, G., SONDEREGGER, M., KAZDA, M. & PUXBAUM, H. (1983): Bodenveränderungen durch schadstoffangereicherte Stammablaufniederschläge in Buchenbeständen des Wienerwaldes. – Allgem. Forstzeitschr. 38: 693–694

GLATZEL, G., KAZDA, M., GRILL, D., HALBWACHS, G. & KATZENSTEINER, K. (1987): Ernährungsstörungen bei Fichte als Komplexwirkungen von Nadelschäden und erhöhter Stickstoffdeposition – ein Wirkmechanismus des Waldsterbens? – Allg. Forst-Jagdzt. 158: 91–97

GOPPEL, Ch. (1984): Emittentenbezogene Flechtenkartierung im Stadtgebiet von Laufen (Salzach). – Berichte der ANL 8, 4–21

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-BER. 560: 657–701

HAFELLNER, J. & GRILL, D. (1980): Die Wiedereinwanderung von epiphytischen Flechten im Raum Leoben-Hinterberg nach Stilllegung des Hauptemittenten. – Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien 131: 83–87

HAWKSWORTH, D. L. & ROSE, F. (1970): Qualitative scale for estimating sulfur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. – Nature 227: 145–148

- HEISELMAYER, P. & TÜRK, R. (1979): Die Tagung der Bryologisch-lichenologischen Arbeitsgemeinschaft für Mitteleuropa vom 24.–27. August 1978 in Salzburg. – *Florist. Mitt. Salzburg* **6**: 3–23
- KANDLER, O. (1987): Lichen and conifer recolonisation in Munich's cleaner air. – Reprint from: Symposium of the commission of the European communities on "Effects of Air pollution on terrestrial and aquatic ecosystems" Grenoble (France) 18.–22. May 1987, 7 pp.
- KANDLER, O. & POELT, J. (1984): Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. – *Naturwiss. Rundschau* **37**: 90–95
- KATZMANN, W., BORTENSCHLAGER, S., POLANSCHÜTZ, J. & RUZIKA, L. (1984): Erhebung von Waldschadensgebieten Tirols mit Hilfe der Fernerkundung und vergleichenden Bodenuntersuchungen. – In: *Umweltbestandsaufnahme durch Fernerkundung und Bodenmessung*, Österr. Bundesinst. f. Gesundheit u. Umweltschutz: 115–170
- KÖSTNER, B. & LANGE, O. L. (1986): Epiphytische Flechten in bayerischen Waldschadensgebieten des nördlichen Alpenraumes: floristisch-soziologische Untersuchungen und Vitalitätstests durch Photosynthesemessungen. – *Ber. ANL* **10**: 185–210
- KRIEGER, H. & TÜRK, R. (1986): Floristische und immisionsökologische Untersuchungen an Rindenflechten im Unteren Mühlviertel, Oberösterreich. – *Linzer. Biol. Beitr.* **18**: 241–337
- MÜLLER, J., SCHNEIDER, K. & KREEB, H. K. (1981): Zur ökologischen Analyse des Flechtenvorkommens: Die Bedeutung von synergistischen Wirkungen. – *Angew. Botanik* **55**: 227–236
- NASH, Th. (1976): Sensitivity of lichens to nitrogen dioxide fumigations. – *Bryologist* **79**: 103–106
- NASH, Th. & SIGAL, L. L. (1979): Gross photosynthetic response of lichens to short-term ozone fumigations. – *Bryologist* **82**: 280–285
- NASH, Th. & SIGAL, L. L. (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
- OSSWALD, W. F. & ELSTNER, E. F. (1986): Fichtenerkrankungen in den Hochlagen der Bayerischen Mittelgebirge. – *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **99**: 313–339
- OSSWALD, W. F. & ELSTNER, E. F. (1987): Vergleichende Untersuchungen der Fichtenerkrankungen in den Bayerischen Mittelgebirgen. – *Allgem. Forstzeitschr.* **27/28/29**: 693–694
- POLLANSCHÜTZ, J. & NEUMANN, M. (1987): Waldzustandsinventur 1987 – Erhebung Sommer 1987. – *Forstl. Bundesversuchsanst. Wien*, 40 pp. & Tabellen
- POLLANSCHÜTZ, J., KILIAN, W., NEUMANN, M. & SIEGEL, G. (1985): Instruktionen für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur nach bundeseinheitlichen Richtlinien 1984–1988. – *Forstl. Bundesversuchsanst. Wien*, 69 pp.
- PRINZ, B. (1987): Waldschäden in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland – Betrachtungen und Ursachen. – *VGB Kraftwerkstechnik* **65**: 930–938
- PRINZ, B., KRAUSE, G. H. M. & JUNG, K. D. (1985): Untersuchungen der LIS Essen zur Problematik der Waldschäden. – In: *Waldschäden – Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten*, Oldenburg Verl., München-Wien: 143–194
- PRINZ, B., KRAUSE, G. H. M. & JUNG, K.-D. (1987): Development and causes of novel forest decline in Germany. – *NATO ASI Series* **16** (Effects of atmospheric pollutants on forests, wetlands and agricultural ecosystems): 1–24
- PUXBAUM, H. & OBER, E. (1987): Backgroundstation Exelberg. – Herausg. vom Umweltbundesamt Wien, 141 pp.
- PUXBAUM, H., ELLINGER, R., BAUMANN, H. & WOPENKA, B. (1983): Untersuchungen über die Schadstoffvorbelastung für Wien. – In: *Luftreinhaltung, Band II: die Luft in und über Wien*, TU Wien, p. 42–53
- RABE, W. & WIEGEL, H. (1985): Wiederbesiedlung des Ruhrgebietes durch Flechten zeigt Verbesserung der Luftqualität an. – *Staub-Reinhaltung der Luft* **45**: 124–126
- RASSETS, R., BIEBL, P. & TÜRK, R. (1982): Allgemeines zu Bioindikation. – In: *Luftgüteuntersuchungen mit Bioindikatoren im Lande Salzburg. Ergebnisse der Untersuchungen 1975–1981. Schriftenr. Luftgüteuntersuchung, Salzburger Landesreg.* (ed.): 8–35
- ROSE, C. I. & HAWKSWORTH, D. L. (1981): Lichens recolonization in London's cleaner air. – *Nature* **289**: 289–292
- ROSENTRETER, R. & AHMADJIAN, V. (1977): Effect of ozone on the lichen *Cladonia arbuscula* and the *Trebouxia* phycobiont of *Cladonia stellaris*. – *Bryologist* **80**: 600–605
- SCHAUER, Th. (1965): Ozeanische Flechten im Nordalpenraum. – *Portugaliae Acta Biol (B)* **8**: 229 pp.
- SEEFELDNER, E. (1961): Salzburg und seine Landschaften. – *Verl. »Das Bergland-Buch«*, Salzburg-Stuttgart, 573 pp.
- SENER, M., HÖPKER, K.-A., PEUKER, A. & GLASHAGEN, B. (1987): Wirkungen extremer Ozonkonzentrationen auf Koniferen. – *Allgem. Forstzeitschr.* **27/28/29**: 709–714
- SIGAL, L. L. & TAYLOR, O. L. (1978): Preliminary studies of the gross photosynthetic response of lichens to peroxyacetyl nitrate fumigations. – *Bryologist* **82**: 564–575
- TÜRK, R. (1975): Die Veränderung der Flechtenzonen und der Luftqualität im Stadtgebiet von Salzburg in den Jahren 1948/49 bis 1974/75. – In: *Studie über die umwelthygienisch-ökologische Situation in der Stadt Salzburg*, Bundesmin. Ges. u. Umweltschutz: 131–135
- (1976): Beitrag zur epiphytischen und epigäischen Flechtenflora von Salzburg II: Henndorfer Wald, Fuschler Tal und Fuschlsee. – *Florist. Mitt. Salzburg* **3**: 26–34
- (1981): Beiträge zur Flechtenflora von Salzburg IV: Neue und seltene Flechten im Bundesland Salzburg. – *Florist. Mitt. Salzburg* **7**: 26–29
- (1984): Beiträge zur Flechtenflora von Salzburg V: Neue und seltene Flechten im Bundesland Salzburg. – *Florist. Mitt. Salzburg* **9**: 39–42
- (1985): Befunde der Flechtenuntersuchungen in den FIW-Versuchsflächen Schöneben, Wurzeralm, Judenburg und Ofenbach/Rosalia. – In: *Forschungsinitiative gegen das Waldsterben – Bericht 1985* (herausgeg. vom Bundesministerium f. Wissenschaft u. Forschung, E. FÜHRER): 112–119
- TÜRK, R. & CHRIST, R. (1978): Untersuchungen über den Flechtenbewuchs an Eichen im Stadtgebiet Salzburgs und über den Wasserhaushalt einiger charakteristischer Flechten. – *Phyton (Austria)* **18**: 107–126
- (1980): Untersuchungen über den CO<sub>2</sub>-Gaswechsel von Flechtenepiphyten zur Indikation von SO<sub>2</sub>-Belastung im Stadtgebiet von Salzburg. – In: *Bioindikation auf subzellularer und zellularer Ebene* (Ed.: R. SCHUBERT, J.

SCHUH), Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Wiss. Beitr. 1980: 39–45

TÜRK, R. & WITTMANN, H. (1986):  
Rote Liste gefährdeter Flechten (Lichenes) Österreichs. – In: Rote Liste gefährdeter Pflanzen Österreichs. – Grüne Reihe d. Bundesmin. f. Gesundheit u. Umweltschutz 5: 163–176

— (1987):  
Flechten im Bundesland Salzburg (Österreich) und im Berchtesgadener Land (Bayern, Deutschland) – die bisher beobachteten Arten und deren Verbreitung. – Sauteria 3: 1–313

TÜRK, R. & ZIEGELBERGER, G. (1982):  
Die Luftqualität im Stadtgebiet von Salzburg – dargestellt anhand der Verbreitung epiphytischer Flechten. – In: Luftgüteuntersuchungen mit Bioindikatoren im Lande Salzburg. Amt Salz. Landesreg. Schriftenr. Luftgüteuntersuchung 7: 78–141

TÜRK, R., WIRTH, V. & LANGE, O. L. (1974):  
CO<sub>2</sub>-Gaswechseluntersuchungen zur SO<sub>2</sub>-Resistenz von Flechten. – Oecologia (Berlin)

VOLKRODT, W. (1987a):  
Wurde die Waldsterbensforschung in die Irre geleitet? – Holz-Zentralbl. 102: 1407–1409

VOLKRODT, W. (1987b):  
Das Waldsterben wird durch Fernsehen, Richtfunk und Radar verursacht. – Mikrowellen Magaz. 13: 256–259

WIRTH, V. (1983):  
Zum Nachweis der Ozonwirkung durch Flechten. – Allg. Forst-Zeitschr. 1983: 204–205

WITTMANN, H. & TÜRK, R. (1988a):  
Immissionsökologische Untersuchungen über den epiphytischen Flechtenbewuchs in der Umgebung des Magnesitwerkes in Hochfilzen (Tirol/Österreich). – Zentralbl. ges. Forstw.: in Druck

WITTMANN, H. & TÜRK, R. (1988b):  
Flechten im Mühlviertel und ihre Gefährdung. – Das Mühlviertel – Natur, Kultur, Leben; Katal. oberöst. Landesausstellung; in Druck

WITTMANN, H., TÜRK, R., BLIEBERGER, E. & KUPFER-WESELY, E. (1988):  
Immissionsökologische Studie über die epiphytische Flechtenvegetation in den geschädigten Wäldern Vorarlbergs (Österreich). – Lebensraum Vorarlberg, Grundlagenarbeit zu Natur und Umwelt: in Druck

ZTW (1987):  
Zustand der Tiroler Wälder, Bericht an den Tiroler Landtag. – Amt der Tiroler Landesregierung, 225 pp.

**Adresse der Verfasser:**

Dr. Helmut Wittmann  
Dr. Roman Türk  
Institut für Pflanzenphysiologie  
Universität Salzburg  
Hellbrunner Straße 34  
A-5020 Salzburg

# 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: 1988

Band/Volume: [12\\_1988](#)

Autor(en)/Author(s): Wittmann Helmut, Türk Roman

Artikel/Article: [Immissionsbedingte Flechtenzonen im Bundesland Salzburg \(Österreich\) und ihre Beziehungen zum Problemkreis "Waldsterben" 247-258](#)