

Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck

Band 63

S. 91 - 104

Innsbruck, Okt. 1976

Flechtenkartierung im Raum Wörgl - Kufstein (Tirol, Österreich)

von

Peter SIGL*)

Lichen mapping in the Kufstein - Wörgl area (Tyrol, Austria)

Synopsis:

Five different zones were displayed by lichen mapping of the Wörgl-Kufstein area in the summer period of 1975.

Zone I (undisturbed normal area) is — without exception — determined to regions situated above the Inn valley. It is followed by a \pm wide strip of Zone II (which is scarcely influenced) reaching to the bottom of the valley, covering relative large areas. Zone III — a not very seriously disturbed region — expands from the bottom of the valley to its side valleys and is interrupted by dense populated (Wörgl) and industrialized (Kirchbichl, Eibergtal, Kufstein) areas of Zone IV. These Zones include small regions of Zone V, where cement works of Kirchbichl and Eiberg are located. These areas are the most dangerously and heavily polluted parts of the whole region. Indirect measurements of sulphur values on fir needles show SO₂ pollution running parallel to results of lichen mapping. The dependence of these accurately measured sulphur values to the distance of source of emission, wind direction and wind frequency is equally found in lichen zonation. This again confirms the method of lichen mapping as an integral comprehension of air pollution.

I. Einleitung:

Seit der Finne W. NYLANDER 1866 die Empfindlichkeit gewisser Flechtenarten gegen Luftverunreinigungen entdeckte, gewann die Methode der Flechtenkartierung zur Bestimmung des Luftreinheitsgrades in Städten immer mehr an Bedeutung.

Aufgrund ihrer Empfindlichkeit und ihres langsamen Wachstums sind Flechten in der Lage, über mehrere Jahre integrierte Schadwirkungen, verursacht durch Luftverunreinigungen, Trockenheit und Hitze, aufzuzeigen. Wenn auch mit einer Flechtenkartierung niemals die Exaktheit einer physikalischen Meßmethode erreicht werden kann, so hat sie doch den Vorteil, daß

*) Anschrift des Verfassers:

Cand. phil. P. K. Sigl, Niederwängle 72, A-6600 Reutte, Österreich.

- 1) auch ein großes Gebiet relativ rasch zonenmäßig erfaßt werden kann,
- 2) durch die Anzahl der Untersuchungspunkte (Stationen) ein beliebig dichtes Netz über das betreffende Gebiet gezogen und somit ein doch recht scharf begrenzter Verlauf der einzelnen Zonen ermittelt werden kann.

Die von BESCHEL (1958) angewandte Praxis der Zoneneinteilung, die von BORTENSCHLAGER und SCHMIDT (1963) übernommen wurde, liegt auch dieser im Sommer 1975 im Raum Wörgl - Kufstein durchgeführten Flechtenkartierung zugrunde. BESCHEL teilt ein Untersuchungsgebiet — je nach Fehlen oder Vorkommen gewisser epixyler Flechtenarten — in 5 Zonen auf, die einen Gradmesser für die dort herrschenden Umweltsbedingungen darstellen.

II. Die Flechtenzonen im Untersuchungsgebiet:

Z o n e I

Im allgemeinen kommt Zone I im Untersuchungsgebiet durchwegs nur auf Flächen vor, die gegenüber der Talebene erhöht liegen. Am linken Innufer jedoch breitet sie sich zuweilen auch in kleineren Abschnitten auf der Inntalsole aus, wird dabei nördlich von Angath sogar einmal von der Autobahn durchquert und tritt dann jeweils oberhalb des Steilabfalls zum Inntal, von der Mitterangerbergterrasse im Süden bis zum Thierberg im Norden als geschlossenes Gebiet auf.

Am rechten Innufer wird das Gebiet der Zone I durch das Eibergtal und das Brixental in 3 große Areale geteilt:

- 1) das östlich von Kufstein steil ansteigende Gebiet zum Kaiser Gebirge
- 2) die vom Talboden abgesetzte Fläche von Bad Häring bis Schwoich; auf ihr konnte noch — etwas abgelegen und zum Teil schon bis ins Inntal herabreichend — südöstlich von Kirchbichl eine Insel der Zone I festgestellt werden.
- 3) das südöstlich von Wörgl gelegene Gebiet, das ebenfalls gegenüber der Inntalebene erhöht liegt.

Abgesehen von wenigen Ausnahmen, scheint also das Auftreten von Zone I im Gebiet Wörgl - Kufstein an eine Höhenstufe über 550 Meter gebunden zu sein.

Z o n e I I

Charakteristisch für landwirtschaftlich genutzte Flächen, unverbautes Gebiet und kleinere Wälder, erreicht Zone II am linken Innufer im Anschluß an Zone I nun bereits am Talboden eine relativ große Ausdehnung, zieht als mehr oder weniger breiter Streifen in der Tallängsrichtung nach Norden und wird dabei mehrmals von der Inntalautobahn durchquert, und zwar einmal im Gebiet nördlich und südlich von Angath, weiters südlich von Nieder-Breitenbach und schließlich noch einmal bei Kleinholz/Morsbach, westlich von Kufstein.

Auf der rechten Innseite kommt Zone II, hier aber oft nur als schmaler Saum, an manchen Stellen (südlich und östlich von Wörgl im Anschluß an Zone I) eben-

falls schon bis in die Talebene hinunter vor. Noch vor dem Abfall des Plateaus Bad Häring - Schwoich ins Inntal bildet Zone II einen relativ breiten Streifen auf dieser Terrasse. In der Talebene selbst konnte südlich von Kufstein eine größere Insel der Zone II festgestellt werden.

Z o n e I I I

Zone III tritt fast nur noch in der Talebene auf, zieht deshalb in der Längsrichtung mehr oder weniger zentral durch das gesamte Inntal und begleitet auch die beiden jeweils in südöstliche Richtung abzweigenden Seitentäler (Eibergtal und Brixental) mit ihren Bundesstraßen. Dabei erreicht sie zu beiden Seiten der Eibergtalbundesstraße ihre im Kartierungsgebiet Wörgl - Kufstein breitenmäßig größte Ausdehnung überhaupt.

Als „natürliche“ Folge der Verbauung kommen kleinere Areale der Zone III aber auch entlang von stärker frequentierten Straßen, sowie in und um kleinere Ortschaften vor, die in ansonsten ungestörten Verhältnissen (Zone I oder II) liegen. Solche punktförmige Vorkommen in Schaftenau, Unterlangkampfen, Nieder-Breitenbach und Angath, weiters in Orten auf der Mitterangerbergterrasse, sowie in Bad Häring und Schwoich und auch in kleineren Ansiedlungen auf diesem Plateau, wurden auf der Zonenkarte jedoch nicht eigens eingetragen.

Z o n e I V

Diese für stark verbautes Gebiet charakteristische Zone tritt im Untersuchungsgebiet 4 mal auf:

- 1) in Wörgl als kleines Areal innerhalb des dicht verbauten Ortsgebietes.
- 2) bei Kirchbichl; sie erfaßt dort beinahe das gesamte verbaute Gebiet, greift jedoch in Richtung Nordosten, entlang der Bundesstraße nach Kufstein, weit darüber hinaus. Eine kleinere Insel ist sogar noch weiter nördlich davon, und zwar bei Hirnbach, abgesetzt.
- 3) Zone IV bildet weiters eine geschlossene Fläche entlang der Eibergtalbundesstraße. In diesem Gebiet liegt zentral das Eiberg-Zementwerk.
- 4) Auch in Kufstein konnte ein großes Gebiet der Zone IV festgestellt werden. Es beginnt etwa 300 Meter südlich des Zellerberges und zieht als mehr oder weniger breites Band nach Norden, bis in den Bereich von Kiefersfelden und darüber hinaus. Dies liegt jedoch bereits außerhalb des Kartierungsgebietes.

Z o n e V

Zone V, flechtenfreie Gebiete also, konnten im Untersuchungsgebiet nur 3 mal festgestellt werden. Davon hat Zone V im Ortskern von Wörgl die kleinste Ausdehnung. Etwas größer tritt sie sowohl um das Zementwerk Kirchbichl als auch um das Zementwerk Eiberg auf.

III. Ursachen der Flechtenschädigung:

In Resistenzversuchen mit Flechten begasten TÜRK, WIRTH und LANGE (1974) verschiedene Flechtenarten jeweils 14 Stunden lang mit Konzentrationen von 0,5 mg, 1 mg, 2 mg und 4 mg SO₂/m³ Luft. Da gerade Photosynthesesysteme gegen SO₂ besonders empfindlich sind, wurden quantitativer CO₂-Gaswechsel und Chlorophyllgehalt nach dem Begasen als Vitalitätskriterien der Flechten herangezogen. An Schäden wurden dabei je nach Konzentration eine Verminderung der Photosynthese, Zerstörung des Chlorophylls und letztlich äußerlich sichtbare Schädigungen festgestellt. Da der Schädigungsgrad bei den verschiedenen Flechtenarten große Schwankungen aufwies, schlossen TÜRK et al. (1974) bei diesen Untersuchungen auf große artspezifische Unterschiede, die ihrer Ansicht nach auf morphologisch-anatomische, physiologische und ökologische Eigenschaften der Flechten zurückzuführen sind.

Diese Resistenzunterschiede aber sind es, die eine Zoneneinteilung überhaupt erst ermöglichen: nur gewisse Flechtenarten können eine bestimmte SO₂-Konzentration überleben, und je nach Vorkommen (= Überleben) oder Fehlen (SO₂-Konzentration ist zu hoch und wirkt daher letal) solcher Arten wird ein Untersuchungsgebiet dann in 5 Zonen eingeteilt. Dies ermöglicht umgekehrt aber wiederum Rückschlüsse von den einzelnen Flechtenarten in einem Gebiet auf die dort herrschenden SO₂-Konzentrationen.

Anhand der Begasungsversuche von TÜRK et al. (1974) bei 4 verschiedenen SO₂-Konzentrationen können demnach für die einzelnen Zonen folgende SO₂-Werte als limitierend angenommen werden:

in Zone I u. II: (sie werden zusammengefaßt, weil die Flechten dieser beiden Zonen zu empfindlich sind, um deutlich differenzierte Schadwirkungen aufzeigen zu können.)

Konzentration bis max. 1 mg SO₂/m³ Luft

in Zone III: Konzentrationen bis max. 4 mg SO₂/m³ Luft

in Zone IV u. V: für diese Zonen lassen sich keine Angaben machen, da TÜRK et al. (1974) für ihre Versuche nur Flechten der Zone I bis III verwendeten.

Solche SO₂-Werte treten in der Natur jedoch kaum oder nur sehr selten auf. Daher stellen die bei diesen Untersuchungen verwendeten Mengen an SO₂/m³ Luft sowie die jeweils 14-stündige Begasungsdauer lediglich eine Simulation kurzzeitiger aber sehr hoher Belastungen dar. Kurzzeitige und hohe SO₂-Belastungen aber werden von den Flechten je nach Vitalitätszustand weitgehend schadlos überstanden und haben keineswegs letale Folgen. Dies zeigt ein Versuch, den HAWKSWORTH (1973) anführt und bei dem Material von *Hypogymnia physodes* für kurze Zeit in ein Gebiet mit hohen SO₂-Verunreinigungen verpflanzt wurde. Nachdem man es wieder in ein relativ unbelastetes Gebiet zurückbrachte, verblieben die Flechten in einem ungeschädigten Zustand.

Für eine Dauerbelastung jedoch kann man annehmen, daß sogar geringere SO₂-Konzentrationen als die bei TÜRK et al. (1974) verwendeten ausreichen, um irreversible bzw. letale Schädigungen an den Flechten hervorzurufen. Aufgrund von tatsächlichen, in der Natur (England und Wales) gemessenen SO₂-Winterdurchschnittswerten lassen sich nämlich nach HAWKSWORTH (1973, Tab. 1), wenn man das bei ihm verwendete 10-Zonensystem analog auf das in dieser Flechtenkartierung verwendete 5-Zonensystem überträgt, folgende naturgetreue SO₂-Werte für die einzelnen Zonen als limitierend annehmen:

Zone I	< 0,040	mg SO ₂ /m ³ Luft
Zone II	0,040 - 0,060	mg SO ₂ /m ³ Luft
Zone III	0,060 - 0,125	mg SO ₂ /m ³ Luft
Zone IV	0,125 - 0,150	mg SO ₂ /m ³ Luft
Zone V	> 0,150	mg SO ₂ /m ³ Luft

Daraus ersieht man, daß die aufgrund der Untersuchungsergebnisse von TÜRK et al. (1974) für die Flechtenzonen I bis III als limitierend angenommenen SO₂-Mengen (sie stellen Spitzen- bzw. Maximalwerte dar) mit den nach HAWKSWORTH (1973) tatsächlich in den Flechtenzonen auftretenden SO₂-Verunreinigungen (hierbei handelt es sich um Durchschnittswerte) nicht in Relation gebracht werden können. Ein Vergleich zwischen prozentuellem Schwefelgehalt in Fichtennadeln und Schädigungsgrad an Flechten soll daher im folgenden einen für dieses Gebiet naturgetreueren Zusammenhang ermöglichen.

Im Auftrag der Landesforstinspektion für Tirol wurden im Untersuchungsgebiet Wörgl - Kufstein an verschiedenen Orten (Tab. I) S-Konzentrationen anhand von Fichtennadelanalysen gemessen. Für diese Analysen wurden jeweils im Herbst der Jahre 1971 bis 1974 ein- und dreijährige Nadeln älterer Fichten gesammelt und auf ihren Schwefelgehalt hin untersucht. Die freundlicherweise zur Verfügung gestellten Werte (sie liegen für manche Orte nicht aus jedem Jahr von 1971 bis 1974 vor) sind in der abgebildeten Tabelle I in % Schwefel der Nadeln trocknenmasse angegeben.

Wie aus den Unterlagen der Landesforstinspektion zu entnehmen ist, reagieren Nadelbäume auf SO₂-Immissionen besonders empfindlich, und zwar wesentlich früher, als es die sichtbaren Schädigungen zu einem späteren Zeitpunkt dann zeigen. Da, wie bereits erwähnt, nach Ansicht von TÜRK et al. (1974) aber auch Flechten an Schadstoffen vornehmlich SO₂ absorbieren, kann ein geeigneter Vergleich zwischen den im Untersuchungsgebiet gemessenen Schwefelwerten (in %) und den an dortigen Flechten auftretenden Schädigungen gezogen werden. Auch nach HUTTER (1973) lassen sich diese beiden Methoden — Nadelanalyse und Flechtenkartierung — vergleichend anwenden, da sie beide als Immissionsnachweis dienen und nur ganz- oder mehrjährig summierte Luftverunreinigungen aufzeigen.

Die Schwefelwerte der Nadelanalysen in den einzelnen Jahren von 1971 bis 1974 weisen zuweilen große Schwankungen auf; daher wurde für die einzelnen Orte im Raume Wörgl - Kufstein der durchschnittliche Prozentgehalt an Schwefel (Tab. I) errechnet, der Rückschlüsse auf den Schädigungsgrad der Flechten erlaubt.

Nadelanalysen

Nr.	Ortsbezeichnung	Lage d. Ortes in Flechtenzone	Herbst 1971 Nadelalter		Herbst 1972 Nadelalter		Herbst 1973 Nadelalter		Herbst 1974 Nadelalter		% S in Durchschnitt
			1-jg. % S	3-jg. % S	1-jg. % S	3-jg. % S	1-jg. % S	3-jg. % S	1-jg. % S	3-jg. % S	
W 12	Wörgl/Annabichl	I	—	—	0,085	0,095	—	—	—	—	0,090
W 13	Angath/Schauferwald	II	—	—	0,070	0,080	—	—	—	—	0,075
W 14	Angath/Breiten	I	—	—	0,054	0,073	—	—	—	—	0,064
W 15	Kirchbichl/Hoaderer Wald	III	0,076	0,070	0,082	0,087	—	—	—	—	0,079
W 16	Kirchbichl/Plattenbichl	IV	0,109	0,117	0,124	0,131	0,127	0,177	0,063	0,071	0,115
W 17	Kirchbichl/Schrollwald	III	0,089	0,143	0,134	0,160	0,119	0,156	0,046	0,054	0,113
W 18	Kirchbichl ob. Fahrmeier	IV	0,143	0,124	0,141	0,126	0,155	0,229	0,106	0,138	0,145
W 19	Einfahrt Hirnbach	III	—	—	0,152	0,159	0,069	0,078	0,056	0,067	0,097
W 20	Kirchbichl/Dr. Lisch	IV	—	—	—	—	0,124	0,176	0,075	0,135	0,128
W 24	Häringer Straße	III	—	—	—	—	—	—	0,065	0,067	0,066
W 28	Kirchbichl/Plattenbichl	IV	—	—	—	—	—	—	0,107	0,109	0,108
2	Schottergrube Ebbs	III	—	—	0,078	0,081	—	—	—	—	0,080
3	Kufstein/Fürhölzl	III	0,135	0,099	0,055	0,087	—	—	—	—	0,094
4	Kufstein/Morsbach	II	0,085	0,085	0,057	0,077	—	—	—	—	0,076
5	Zellerberg Ost + Kuppe	IV	0,154	0,150	0,069	0,113	0,120	0,162	0,101	0,152	0,128
6	Zellerberg Südwest	III	—	—	0,082	0,109	—	—	—	—	0,096
7	Kufstein/Orgeltisch	IV	—	—	0,160	0,219	0,068	0,095	0,100	0,133	0,129
8	Kufsteiner Wald	III	0,085	0,096	0,081	0,079	—	—	—	—	0,085
9	Eiberg West	IV	0,102	0,116	0,076	0,112	0,065	0,133	0,073	0,118	0,099
10	Eiberg/Haberghang	IV	—	—	0,148	0,216	0,080	0,142	0,072	0,107	0,128
11	Eiberg/Mergelbruch	IV	—	—	0,117	0,149	0,073	0,083	0,051	0,083	0,093
12	Kufstein/Kaiserlift	I	—	—	0,114	0,098	0,048	0,069	0,037	0,061	0,071
13	Schaftenau	II	0,074	0,080	—	—	—	—	—	—	0,077

Tabelle I: Durchschnittlich gemessener Schwefelgehalt in Fichtennadeln in % der Nadelrockenmasse [Meßwerte der Landesforstinspektion für Tirol]

Während dieser Zeit waren aber auch die Flechten in diesem Gebiet den selben Konzentrationsschwankungen ausgesetzt. Es müßte daher bei ihnen die über diesen Zeitraum integrierte Schädigung mit der an den Fichtennadeln gemessenen Schädigung ident sein. Dies trifft auch weitgehend zu, wenn man die durchschnittlich errechneten Schwefelwerte der Untersuchungspunkte (Tab. I) mit ihrer Lage in den einzelnen Flechtenzonen vergleicht:

Zone I und II ‰ S	Zone III ‰ S	Zone IV ‰ S
0,090**)	0,079	0,115
0,075	0,113**)	0,145**)
0,064*)	0,097	0,128
0,076	0,066*)	0,108
0,071	0,080	0,128
0,077	0,094	0,129
<hr/>	0,096	0,099
<0,080%	0,085	0,128
	<hr/>	0,093*)
	0,080 - 0,100%	<hr/>
		0,100 - 0,130%

Tabelle II: Zusammenfassung der Schwefel-Durchschnittswerte der Untersuchungspunkte entsprechend ihrer Lage in den Flechtzonen.

Betrachtet man (Tab. II) für jede Flechtzone die in ihr vorkommenden Durchschnittswerte an ‰ Schwefel (Maximal- und Minimalwerte werden jeweils gestrichen), so liegen die Orte mit einem durchschnittlichen S-Gehalt von 0,100% bis 0,130% durchwegs in Zone IV, während die Untersuchungspunkte in Zone III S-Werte von 0,080% bis 0,100% aufweisen. Punkte mit Schwefelwerten unter 0,080% liegen bereits in Zone I oder II. Der bei HUTTER (1973) mit 0,080% (bei einer jährlichen Schwankung von $\pm 0,020\%$) als in Fichtennadeln „natürlich“ vorkommende Schwefelgehalt stimmt also mit dem für die ungeschädigten Zonen (I und II) errechneten Schwefelwert überein.

Neben der Luftverunreinigung wirkt sich aber auch das trocken warme Kleinklima in dicht verbauten Ortschaften, vornehmlich in Städten, schädigend auf die Flechtenvereine aus. FOLLMANN (1960) sieht die trockeneren kleinklimatischen Verhältnisse in Städten als eine Folge der modernen Kanalisation. Durch ein Kanalisationsnetz nämlich werden (nach STEINER und SCHULZE-HORN(1955)) etwa 60% der Niederschläge jeder Art sofort abgeleitet. Es kommt also zu einer Minderung der relativen Luftfeuchte und zugleich auch zu einer Überhitzung, die durch die Reflexionswirkung heller Bauten noch verstärkt wird. Durch diese ungünstigen kleinklimatischen Faktoren werden die Lebensmöglichkeiten der Flechtenvereine in diesen stark besiedelten und intensiv bewirtschafteten Lebensräumen des Menschen derart erschwert, daß ihre Thalli verkümmern und sie letzten Endes absterben.

*) Gestrichener Minimalwert

***) Gestrichener Maximalwert

IV. Zonenbeeinflussung durch den Wind:

Für die Ausdehnung der Zonen ist unter anderem der Wind ein sehr entscheidender Faktor. Sehr deutlich und prägnant ist dies bei der flächenmäßigen Ausbreitung der Zone IV zu sehen. Der Wind verbreitet nämlich, je nach Windrichtung, die Schadstoffe eines Emittenten in benachbarte Gebiete (= Immission) ohne selbst schädigend auf die Flechten einzuwirken. Das quantitative Ausmaß dieser Schadstoffverbreitung hängt jedoch von der Windrichtungshäufigkeit, der Windgeschwindigkeit und zum Teil auch von der Höhe des emittierenden Schlottes ab.

Meßwerte über Windrichtungshäufigkeiten in Kufstein und Kirchbichl stellte die Landesforstinspektion für Tirol bereitwillig zur Verfügung. In Abbildung I sind jedoch nur die Windrichtungshäufigkeiten während der Winterperiode vom November 1974 bis März 1975 berücksichtigt und in Form von Windrosen graphisch dargestellt.

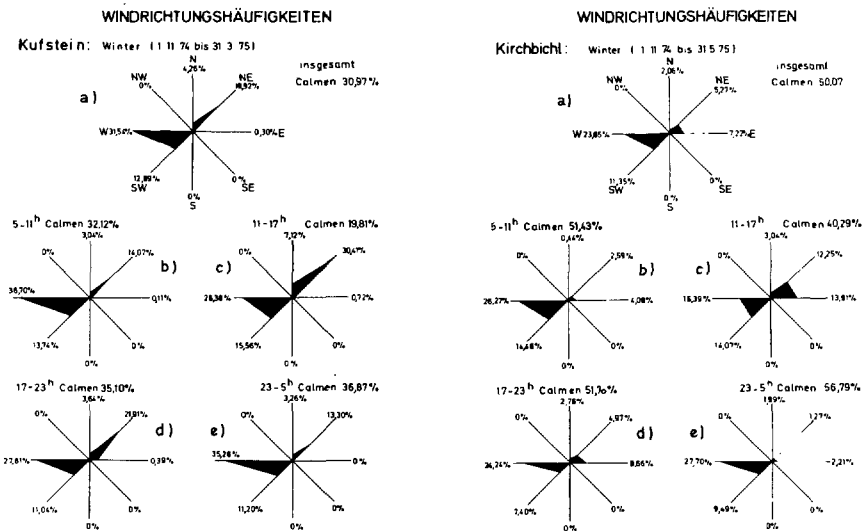


Abb. 1: Durchschnittliche, während des Winterabschnitts 1974/75 gemessene Windrichtungshäufigkeiten (Windhäufigkeit aller Richtungen + Calmen = 100 %) a) mittlere tägliche Gesamtwindrichtungshäufigkeit (24 h) b) mittlere tägliche Windrichtungshäufigkeit in der Zeit von 5.00 - 11.00 Uhr; c) von 11.00 - 17.00 Uhr; d) von 17.00 - 23.00 Uhr; e) von 23.00 - 5.00 Uhr; (nach Unterlagen der Landesforstinspektion für Tirol)

Der Grund, warum ausgerechnet Meßwerte eines Winterabschnittes herangezogen werden, ist folgender:

Die Flechten besitzen im Jahreszyklus eine Ruhe- und eine Aktivitätsperiode (BORTENSCHLAGER und SCHMIDT (1963)). Im Sommer machen sie infolge größerer Trockenheit und Wärme ein Ruhestadium durch, während sie in den Jahreszeiten mit größerer relativer Luftfeuchte, also besonders im Herbst, Winter und Frühjahr, ihre Aktivitätsperiode und ihr Lebensoptimum haben. Man muß daher für die Auswirkungen von windverbreiteten Emissionsstoffen auf die Flechtenvereine vornehmlich die Windmessungen im Zeitraum des aktiven Flechtenstadiums, also im Winter, berücksichtigen.

Anhand der Windrosen (Abb. I) läßt sich in Kufstein im Tagesdurchschnitt (Abb. I, Kufstein/a) eine deutliche SW - NO Komponente erkennen. Die Windrichtungen werden hier also von der Inntalfurche kanalisiert und verlaufen mehr oder weniger in der Tallängsrichtung, wodurch sich auch die in nördliche Richtung ziehende Zone IV in Kufstein erklären läßt. Die starke Westkomponente (31,5%) herrscht nach FLIRI (1975) im Gesamttraum von Tirol ohne wesentliche jahreszeitliche Änderung vor; ihr überlagern sich jahreszeitlich und im Tagesgang die übrigen Zirkulationen.

In Kirchbichl (Abb. I, Kirchbichl/a) ist die tagesdurchschnittliche NO-Komponente gegenüber Kufstein wesentlich kleiner und es tritt hier eine zusätzliche, relativ große Windhäufigkeit aus Richtung O mit 7% auf. Die Winde verlaufen hier also sowohl in der Tallängsrichtung, wo sie die schlauchförmige Ausdehnung der Zone IV in nördliche Richtung bedingen, als auch in der Talquerrichtung, wo sie die relativ breite Ost-West Ausdehnung der Zone IV im Ort Kirchbichl selbst erklären.

Die Windrichtungshäufigkeiten üben ihren stärksten Einfluß zu den lichtstarken Tageszeiten aus, in denen die Flechtenvereine assimilieren und demzufolge Schadstoffe aus der Luft in erhöhtem Maße aufnehmen. Diese Aufnahme von Abgasen, insbesondere von SO₂, im Zuge der Photosynthese wurde, wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, in Untersuchungen von TÜRK et al. (1974) experimentell nachgewiesen.

Die lichtmäßig günstigste Periode der 4 von der Landesforstinspektion täglich durchgeführten Meßintervalle liegt im Winter in der Zeit von 11.00 bis 17.00 Uhr (Abb. I/c). Gegenüber dem jeweiligen Gesamttagesdurchschnitt der Windrichtungshäufigkeiten (Abb. I/a) sind die Windanteile — ausgenommen die Westwinde — zu diesen Zeiten sogar größer. Dadurch kommt es in diesen Tagesabschnitten einerseits zu einer erhöhten Verbreitung der Emissionen, andererseits begünstigt die Photosynthese zu dieser Zeit eine größere Aufnahme von Schadstoffen durch die Flechte.

V. Interpretation der Flechtenkartierung:

Die sehr kleine Insel von Zone V im Ortszentrum von Wörgl läßt sich aus der großen Belastung durch Staub, Auto- und Heizungsabgase erklären. Ihre Konzentrationen werden hier nur schwach verdünnt, da einerseits als Folge der dichten Verbauung die Ventilation stark eingeschränkt ist und andererseits selbst im Winter, der stoffwechselaktivsten Zeit der Flechten, durch gelegentliche Temperaturinversionen eine Konzentrationsverdünnung zusätzlich unterdrückt wird. Dies stellten auch EHRENDORFER et al. (1970) bei ihren Flechtenuntersuchungen für Graz fest. Zudem dürfte auch das durch den Stadtcharakter bedingte Kleinklima im Ortszentrum mit seiner Trockenheit und Überwärmung zur Verdrängung der Flechten in diesem Teil von Wörgl beigetragen haben.

Zone V in Kirchbichl und Eiberg deckt sich jeweils mit der engeren Umgebung der dortigen Zementwerke. Es treten hier keine oder durch dicke Staubschichten zum Absterben gebrachte Flechten auf. BORTENSCHLAGER und SCHMIDT (1963) nennen zwei Gründe für die schädigende Wirkung von Staub:

- 1) setzen Staubschichten die Photosynthesetätigkeit der Flechten infolge Lichtintensitätsverminderung fast auf Null herab,
- 2) bedingt der Staub eine Änderung der Wasserstoffionenkonzentration (pH-Wert) auf dem Substrat. Da Flechten jedoch an einen ganz bestimmten pH-Wert ihrer Unterlage gebunden sind, ist es bei Änderung des pH um 2 bis 3 Stufen den meisten Flechten bereits nicht mehr möglich, diese Unterlage zu besiedeln.

Direkt um das Zementwerk Kiefersfelden konnte keine Zone V festgestellt werden. Die Ursache dafür dürfte wohl in der großen Windhäufigkeit (Abb. I, Kufstein/a) liegen, durch die die Emissionen sofort stark verdünnt werden. Dafür ist in diesem Gebiet Zone IV dementsprechend größer ausgebildet.

Zone IV ist in Wörgl wesentlich kleiner als das verbaute Gebiet. Da sie sich nur auf den Ortskern und dessen unmittelbare Umgebung beschränkt, kann Zone IV hier einerseits als eine „normale“ Folge der dichten Verbauung angesehen werden, andererseits dürfte für ihre geringe Ausdehnung der industriefreie Raum um Wörgl mitentscheidend sein.

Die Annahme, daß im Raum Kirchbichl die dortige Zementindustrie mit ihren Emissionen an der wesentlich größeren Ausdehnung der Zone IV — sie deckt sich im Ort selbst weitgehend mit dem verbauten Gebiet — mitbeteiligt sein dürfte, wird durch die auffallende Längsausbreitung dieser Zone in Richtung Nordosten noch bekräftigt. Durch die relativ starke Windrichtungshäufigkeit aus Westen (23%) und Südwesten (11%) (Abb. I, Kirchbichl/a) wird nämlich der zum Plateau Bad Häring-Schwoich ansteigende Wald jeweils bis hin zur Geländekante in seiner nordöstlichen Längsausdehnung größtenteils zu einem Prallhang für Emissionen. Es konnten hier neben wenigen Lepraria-Arten zwar an einigen Stellen noch Hypogymnia physodes und Cladonia sp. — beides Flechten der Zone I —

gefunden werden, jedoch wiesen diese Flechten schwere Thallusschädigungen auf, sodaß dieses Gebiet in Zone IV eingestuft wurde. Auf der Anhöhe des Plateaus konnten bereits wieder bessere Verhältnisse festgestellt werden.

In Kirchbichl selbst waren die Flechten teilweise von einer Staubschicht bedeckt. Beim Vergleich mit den Schwefelwerten der Nadelanalysen (Kap. III, Tab. I) scheinen sich die im Raum Kirchbichl durch Zone IV angezeigten Schädigungen, die wahrscheinlich auf Emissionen des Zementwerks Kirchbichl zurückzuführen sind, zu bestätigen. Es wurden hier nämlich durchschnittliche Schwefelwerte von 0,079% bis 0,145% S gemessen.

Entlang der stark frequentierten Eibergtalbundesstraße tritt ebenfalls großflächig Zone IV auf, deren schlauchförmige Ausdehnungsform durch die Topographie (Talverlauf) und die Winde (Verbreitung der Emissionskonzentrationen) bewirkt wird. Verantwortlich für die negative Beeinflussung der Flechtenvegetation in diesem Gebiet dürften neben dem relativ starken Straßenverkehr mit seinen Abgasen vor allem die Emissionen des zentral in dieser Zone liegenden Eiberg-Zementwerks sein. Denn auch die für dieses Gebiet durchschnittlich gemessenen Schwefelwerte der Nadelanalysen (Tab. I) — sie liegen zwischen 0,093% und 0,128% — zeigen eine erhöhte Belastung.







In Kufstein ist Zone IV einerseits sicherlich durch die dichte Stadtverbauung im Zentrum und der damit verbundenen lokalklimatischen Änderung gegeben. Andererseits aber dürfte der in Richtung Norden ziehende Teil dieser Zone durch Emissionen des Zementwerks Kiefersfelden gegeben sein. Dabei läßt sich gerade hier die große Bedeutung des Windes bei der Verbreitung von Abgasen und Schadstoffen erkennen (Kap. IV):

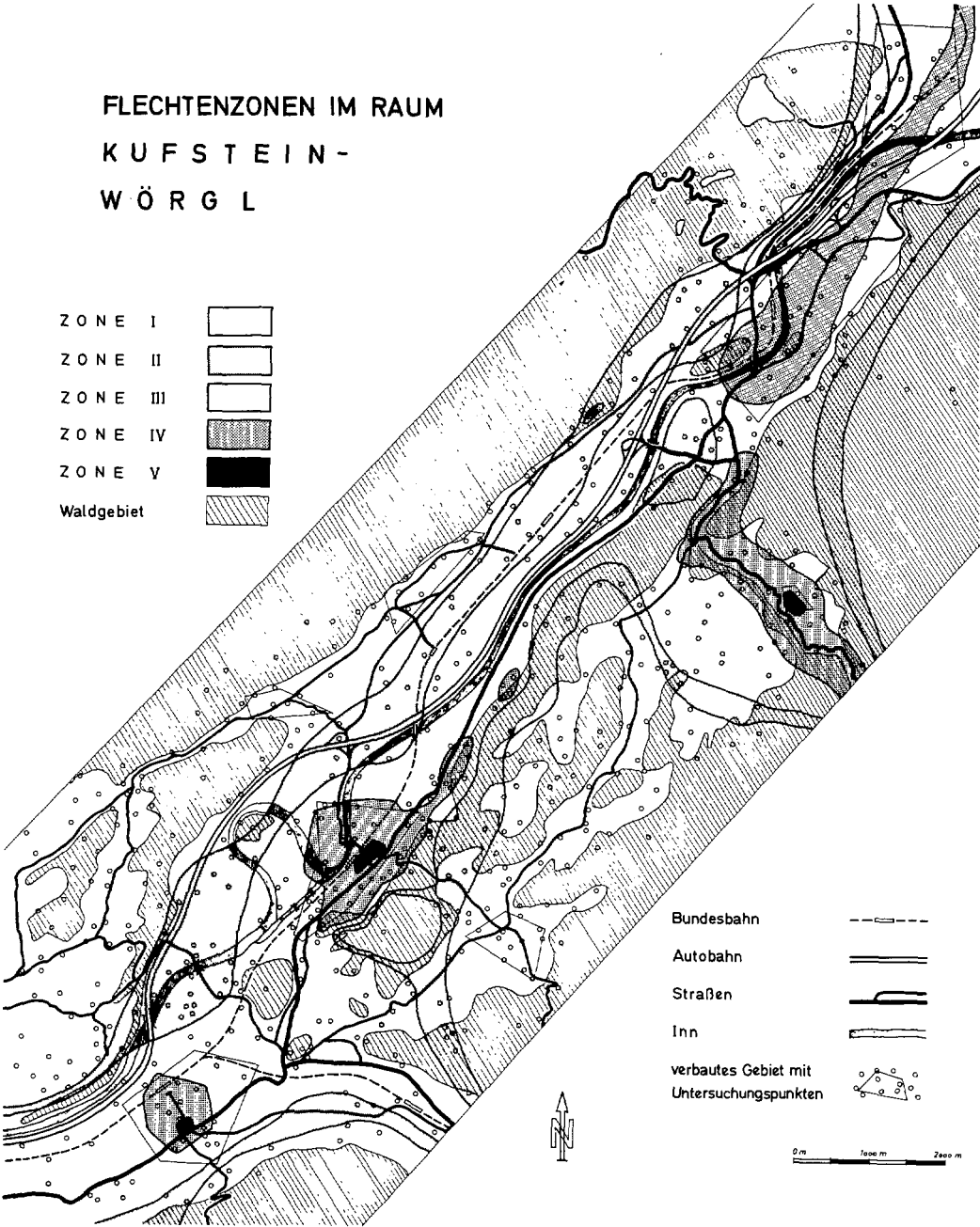
Die Ausbreitung der Kiefersfeldener Emissionen vom Werk aus erfolgt nämlich aufgrund der großen West- und Südwestwindkomponenten (beide zusammen nehmen etwa 43% ein gegenüber nur 24% aus Richtung Norden und Nordosten (Abb. I, Kufstein/a)) hauptsächlich in nördliche Richtung, was die breite Bandform der Zone IV nach Norden auch bestätigt. Da aber am Zellerberg an seiner Süd- und Südostseite stärkere Verunreinigungen (Zone IV) auftraten, während an seiner (gegen Einflüsse aus S und SO) geschützten Nordwestseite mit dem Auftreten von *Cladonia* sp. wieder bessere Verhältnisse vorgefunden wurden, können aufgrund dieser Beobachtungen Immissionen aus dem Zementwerk Kiefersfelden ausgeschlossen werden. Vielmehr müssen hier windverbreitete Emissionseinflüsse aus Süden bzw. Südosten (Eibergtal) vermutet werden.






Die Ausdehnung der Zone III — sie verläuft zentral durch das Inntal und seine Nebentäler — wird besonders stark geprägt durch den Verlauf von Straßen, denen sie infolge der Belastung durch die Autoabgase oft bis weit in Zone II oder I hinein als schmaler Streifen folgt. So gesehen ist auch im Inntal die Ausbreitung der Zone III mehr oder weniger durch den Verlauf der Bundesstraßen gegeben.

Eine interessante Erscheinung — es wurde auch schon in Kapitel II darauf hingewiesen — ist das Auftreten von Inseln der Zone III in und um kleinere

FLECHTENZONEN IM RAUM KUFSTEIN- WÖRGL

- ZONE I 
- ZONE II 
- ZONE III 
- ZONE IV 
- ZONE V 
- Waldgebiet 



- Bundesbahn 
- Autobahn 
- Straßen 
- Inn 
- verbautes Gebiet mit
Untersuchungspunkten 

Ortschaften, die in ansonsten ungestörten Verhältnissen liegen (Zone I oder II). Solche punktförmige Vorkommen von Zone III müssen keineswegs eine Verunreinigung darstellen, denn es handelt sich dabei meist um eine „natürliche“ Erscheinung (BORTENSCHLAGER und SCHMIDT (1963)), die bedingt ist durch Besiedlung und Verbauung — auch wenn sie von kleinem Ausmaß sind — und der damit verbundenen Änderung des Kleinklimas.

Zone I — sie beschränkt sich im allgemeinen auf gegenüber dem Inntal erhöhte gelegene Gebiete — kann als ungeschädigte Normalzone, II als nicht nennenswert beeinflusste Zone angesehen werden. Beide Zonen werden von der Inntalautobahn durchquert, was darauf schließen läßt, daß die Autobahn seit ihrer Fertigstellung die Zonen I und II nicht nachhaltig beeinflussen konnte.

Auffallend ist auch eine große Insel von Zone II bei der Autobahnausfahrt Kufstein Süd, die sich hier wahrscheinlich deshalb behaupten kann, weil sie durch den nördlichen Ausläufer des Kufsteiner Waldes gegen negative Einflüsse aus dem südöstlich gelegenen Eibergtal (Zone IV) geschützt ist.

Emissionseinflüsse durch die Zementfabrik Kirchbichl konnten auf dem Plateau Bad Häring-Schwoich nicht festgestellt werden, da die gegenüber dem Werk erhöhte Lage dieses Gebiet vor Immissionen schützt.

Als einflußreiche und günstige Faktoren für die Ausbildung der relativ großen Insel der Zone I südöstlich von Kirchbichl müssen die in diesem Raum großen Anteile an West-, Südwest- und Ostwinden, mit zusammen 42% gegenüber nur 7% aus Richtung Nord und Nordost (Abb. I, Kirchbichl/a), in Betracht gezogen werden, da sie mit ziemlicher Sicherheit die Emissionen des Zementwerks Kirchbichl von diesem Gebiet fernhalten.

Zusammenfassung:*)

Bei der im Sommer 1975 im Raum Wörgl-Kufstein durchgeführten Flechtenkartierung konnte Zone I — ungeschädigte Normalzone — durchwegs nur auf Flächen festgestellt werden, die gegenüber dem Inntal erhöht liegen. Ihr schließt sich als mehr oder weniger breiter Streifen die kaum nennenswert beeinflusste Zone II an, die auch in der Talebene bereits eine relativ große Ausdehnung erreicht. Zone III — noch nicht gefährlich verunreinigtes Gebiet — erstreckt sich in der Talebene durch das Inntal und seine Nebentäler und wird in dichter verbauten Ortschaften (Wörgl) oder Industrieräumen (Kirchbichl, Eibergtal, Kufstein) von Zone IV — sie gilt als bereits stark beeinflusst und verunreinigt — unterbrochen.

*) Besonderer Dank gebührt dem Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen in Wien, das diese Arbeit in Auftrag gegeben hat, für die finanzielle Unterstützung. Auch der Landesforstinspektion für Tirol sei für die freundlicherweise zur Verfügung gestellten Werte über SO₂- und Windmessungen gedankt.

Innerhalb der Zone IV tritt im Zentrum von Wörgl und jeweils um die Zementwerke Kirchbichl und Eiberg ein kleines Areal der Zone V — sie gilt als gefährlich und stärkstens verunreinigt — auf.

Indirekt über Schwefelwerte in Fichtennadeln gemessene SO₂-Verunreinigungen im Untersuchungsgebiet Wörgl-Kufstein ergaben parallele Ergebnisse zur Flechtenkartierung. Die Abhängigkeit dieser exakt gemessenen Schwefelwerte von der Entfernung der Emissionsquelle, der Windrichtung und Windhäufigkeit läßt sich bei den Flechtenzonen wiederfinden. Dies bestätigt erneut die Methode der Flechtenkartierung zur integrierten Erfassung der Luftverunreinigung.

VI. Literatur:

- BESCHEL, R. E. (1950): Stadtflechten und ihr Wachstum.-Diss. Innsbruck (mit Karten von Innsbruck, Salzburg, Dornbirn, Landeck und Bregenz) 340 S.
- BESCHEL, R. E. (1957/58): Flechtenvereine der Städte. Stadtflechten und ihr Wachstum.-Ber. naturw.-med. Ver. Innsbruck, **52**: 7 - 158.
- BORTENSCHLAGER, S. und H. SCHMIDT (1963): Untersuchung über die epixyle Flechtenvegetation im Großraum Linz.-Naturkundl. Jahrbuch Stadt Linz, **1963**: 19 - 35.
- EHRENDORFER, F., W. MAURER, R. und E. KARL (1970): Rindenflechten und Luftverunreinigung im Stadtgebiet von Graz.-Mitt. nat.-wiss. Ver. Stmk., Graz 1971, **100**: 151 - 189.
- FLIRI, F. (1975): Das Klima der Alpen im Raum Tirol.-Monographien zur Landeskunde Tirols, Folge I (Herausg.: Univ. Prof. Dr. A. Leidmair und Univ. Prof. Dr. F. Huter); 453 S.
- FOLLMANN, G. (1960): Flechten (Lichenes)-Sammlung: Einführung in die Kleinlebewelt. Kosmosverlag Stuttgart: 67 S.
- HAWKSWORTH, D. L. (1973): Mapping studies, S. 38 - 76, in B. W. FERRY et al. (1973) Air Pollution and Lichens: 389 S.
- HUTTER, M. (1973): Die Pflanze als Indikator für Luftverunreinigungen. — Hausarbeit im Rahmen des Lehramtsstudiums am Institut für Allgemeine Botanik der Universität Innsbruck: 72 S.
- NYLANDER, M. W. (1866): Les Lichens du Jardin de Luxembourg.-Bull. Soc. Bot. de France, **13**: 364 - 372.
- STEINER, M. und D. SCHULZE-HORN (1955): Über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn.-Decheniana, **108**: 1 - 16.
- TÜRK, R., V. WIRTH und O. L. LANGE (1974): CO₂-Gaswechsel-Untersuchungen zur SO₂-Resistenz von Flechten.-Oecologia (Berl.), **15**: 33 - 64.
- WEISS, E. und J. W. FRENZEL (1959): Witterung und Klima von Linz. III. lokalklimatische und luftchemische Untersuchungen im Raume von Linz. — Witterung und Klima von Linz, Wien, **1959**: 153 - 174.