Bericht Nr. 1/92

Ergebnisse der Flechtenexpositionen (Oktober 1990 bis Oktober 1991) für die Feststellung der Luftqualität in Linz

Autoren: I. Heber, W. Heber, R. Türk
(Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Salzburg)

INHALTSVERZEICHNIS

1. **Einleitung** 2

2_ **Das Untersuchungsgebiet** **5**
2.1 Lage und Oberflächengestaltung 5
2.2 Das Klima 5
2.2.1 Die Windverhältnisse 6
2.2.2 Nebel und Inversionen 7
2.2.3 Klimavergleich zwischen Linz und anderen Städten Österreichs 7

3. Material und Methode 9
3.1 Flechtenexposition 9
3.2 Bestimmung des Chlorophyllgehalts 18

4. Ergebnisse und Interpretation. **19**
4.1 Flechtenexposition 19
4.2 Chlorophyllmessung 52

5. Diskussion **55**

6. Zusammenfassung. **64**

7. Literaturverzeichnis **65**

1. EINLEITUNG

Im Zuge der zunehmenden Belastung der terrestrischen Ökosysteme mit Luftfremdstoffen aller Art kommt der Bioindikation zur Klärung der Frage nach der biologischen Wirksamkeit von Immissionen eine immer größere Bedeu tu ng zu.

HASELOFF (1982) bezeichnet Bioindikatoren als "Lebewesen, die in sichtbarer Weise auf Umweltbelastungen aufmerksam machen oder die auf Grund von meßbaren Veränderungen Belastungssituationen anzeigen".

Bioindikatoren können die Wirksamkeit von Schadstoffen, die flächenmäßige Ausdehnung von immissionsbelasteten Gebieten und die Intensität von Schadstoff immissionen aufzeigen. Somit ergänzen die Bioindikatoren die Informationen stationärer Meßstationen, die zwar Daten über die Konzentration bestimmter Schadstoffe liefern, nicht aber über deren biologische Wirksamkeit.

Flechten sind als Bioindikatororganismen besonders gut geeignet, da sie im allgemeinen viel empfindlicher auf Luftschadstoffe reagieren als höhere Pflanzen. Diese Tatsache ergibt sich aus ihrer Organisationsform und Lebensweise.

1) Flechten sind durch ein kompliziertes, physiologi sches Gleichgewicht der Symbiosepartner Alge und Pilz charakterisiert. Dieses kann sehr leicht durch den Einfluß von Schadstoffen gestört werden.

2) Flechten haben keine Cuticula, die das Eindringen von Schadstoffen in den Thallus verhindert.

3) Flechten sind langlebige, langsam wachsende Orga nismen ohne Ausscheidungssystem, Schadstoffe können im Thallus akkumuliert werden.

4) Flechten sind poikilohydre Pflanzen und können nur bei entsprechendem Feuchtegehalt der Thalli physiologisch aktiv sein. Besonders in den Wintermonaten, die in unseren Breiten eine erhöhte Luftfeuchtigkeit und die höchsten Luftschadstoff konzentrationen - bedingt durch Heizperiode und

häufige Inversionswetterlagen - aufweisen, ist die physiologische Aktivität erhöht.

Die Empfindlichkeit von Flechten gegenüber Luftschadstoffen ist Gegenstand zahlreicher Arbeiten (Literaturzusammenstellungen u. a. bei LeBLANC & RAO 1973, HASELOFF 1982, TÜRK 1991). Schon NYLANDER (1866) erkannte den Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und der Verarmung der epiphytischen Flechtenvegetation .

In Städten hat die passive Bioindikation mit Flechten (Kartierungen) schon lange Tradition (vgl. DOMRÖS 1967). In Österreich wurden alle größeren Städte immissionsökologisch erfaßt (u.a. Innsbruck: BESCHEL 1958; Graz: EHRENDORFER et al . 1971; Wien: LASOTA-CHRIST & TÜRK 1984; Salzburg: TÜRK 1975, TÜRK & ZIEGELBERGER 1982, ROTH 1988; Klagenfurt: TÜRK & SEGER, 1985).

Die Stadt Linz gehört zu den am stärksten belasteten Industriegebieten Österreichs. Deshalb wird die Luftqualität in diesem Bereich seit Jahrzehnten ständig überwacht. Linz verfügt seit Ende der 70er Jahre über ein Luftüberwachungsnetz der 00 Landesregierung, das wichtige Informationen über die klimatischen Gegebenheiten und die Immissionen im Linzer Raum liefert.

Nach BORTENSCHLAGER & SCHMIDT (1963) hat HOISLBAUER (1979, 1982) die epiphytische Flechtenvegetation im Großraum Linz unter Berücksichtigung des Einflusses von Luftverunreinigungen untersucht.

In den Jahren 1986 - 1988 wurde im Rahmen der immissionsbezogenen Flechtenkartierung in Österreich eine weitere Untersuchung der Flechtenflora im Stadtgebiet von Linz durchgeführt (TÜRK et al. 1989). Ziel dieser Studie war es, mögliche Veränderungen der Immissionsverhältnisse während der letzten Jahre aufzuzeigen .

1990 wurde in Linz erstmalig ein umfangreiches Projekt in Angriff genommen, das Flechten auf der Basis des aktiven Monitoring einsetzte. Diese Form der Bioindikation mit Hilfe transplantierter Flechten wurde seit BRODO (1961) und SCHÖNBECK (1969) zur Überprüfung der Luftqualität erfolgreich eingesetzt (KLEE 1981). Der Vorteil gegenüber der Flechten-

kartierung, die die Veränderungen der Flechtenvegetation über einen Zeitraum von mehreren Jahren registriert, besteht darin, daß auch lokal wirksame, nur kurzfristig aktive Emissionsquellen erfaßt werden können.

2 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

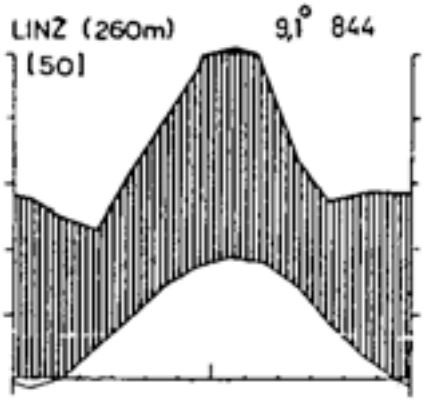
2.1 Lage und Oberflächengestaltung

Linz liegt in einer Seehöhe von ca. 260 m NN und umfaßt eine Fläche von 96 km^2. Das Linzer Becken ist im nördlichen Bereich von den Anhöhen des Mühlviertels umgeben. Dort befinden sich im W der Kürnberg (526 m NN) und der Freinberg (405 m NN), im N der Pöstlingberg (539 m NN) und im E der Pfenningberg (616 m NN). Nach SE erstreckt sich das Stadtgebiet von Linz über die Donau-Auen in die Mündungsebene der Traun.

2.2 Das Klima

Nach geographisch-klimatologischen Gesichtspunkten liegt Linz im feuchttemperierten, warm gemäßigten Regenklima (Buchenklima), das nach der Klimaformel von KÖPPEN (1931) mit Cfb bezeichnet wird (C = warmes Regenklima, f = beständig feucht = genügend Niederschläge in allen Monaten, b = mittlere Temperatur des wärmsten Monats unter 22°, aber mindestens vier Monate über 10°).

Abb. 1 Klimadiagramm für Linz nach Walter (1960)



Klimatische Jahresmittelwerte von Linz (vgl. STARKE 1983)

Temperaturmittel:
Jahr .....+8,9°C
Jänner.....-1,7°C
Juli .....+18,9°C

Rel. Luftfeuchte...77%
Niederschlag
pro Jahr ..... . .844 mm
Luftdruck.... 1014 mbar

Linz weist jedoch ein typisches Stadtklima auf, das heißt, die Temperaturen in der Stadt sind höher als die in der locker oder unverbauten Umgebung, die Luftfeuchtigkeit ist geringer, und es herrscht eine größere Trockenheit. Die Ursachen dieser Erwärmung sind die Zufuhr von Wärme und Ruß durch Industrie und Hausbrand beim Verheizen von Kohle und Heizöl. Weiters bildet sich über der Stadt durch aufgewirbelten Staub und die Abgase von Verkehr und Industrie eine Dunsthaube, die die nächtliche Ausstrahlung vermindert. Und 3. absorbieren die dunklen Flächen von Gebäuden, Asphalt- und Betondecken mehr Wärme als vergleichsweise Wiesenflächen des freien Landes (HOISLBAUER 1979).

2.2.1 Die Windverhältnisse

Der Wind bestimmt den Transport von Schadstoffen und damit die Gebiete mit Immissionsbelastung (WEISS & FRENZEL 1961, HOISLBAUER 1979). Ausschlaggebend für die Ausdehnung und Lage der Immissionsfelder sind die Windrichtungen bzw. die Windgeschwindigkeit. Vorherrschend sind W-Winde bis NW-Winde. Nur die Westwinde können wegen der großen Windstärken in der Linzer Bucht durchgreifen, während die anderen Winde durch die Oberflächengestaltung der Landschaft (Kürnberg, Freinberg, Pöstlingberg und Pfenningberg) umgelenkt werden. Im Winterhalbjahr erlangen S- und SE-Winde größere Bedeutung.

Neben den Umlenkungen durch die Geländeform trägt auch das dichtverbaute Gebiet zu einer weiteren Bremsung und Kanalisierung des Windes bei. Damit ist der Luftaustausch mit dem Umland behindert, die Schadstoffe können sich anhäufen.

Bei Wetterlagen mit S- und SE-Winden oder Windflauten treiben die Abgase aus dem südöstlich gelegenen Industriegebiet in das Innere des Linzer Beckens. Dort kommt es zur langsamen und gleichmäßigen Ausbreitung der schadstoffbeladenen Luftmassen (WEISS & FRENZEL 1961).

2.2.2 Nebel und Inversionen

Die Beckenlage begünstigt die Bildung von Dunst-, Nebel- und Hochnebelfeldern, in denen eine Anreicherung von Schadstoffen stattfinden kann. Weiters fördert die Beckenlage vor allem im Winter die Ausbildung von Kaltluftseen mit Temperaturinversionen. Gleiten wärmere Luftmassen auf diese Kaltluftseen auf, ist der Luftaustausch mit höheren Luftschichten gehemmt. Die Obergrenze der Inversion bildet eine Sperrschicht für die Emissionen von Industrie, Hausbrand und Verkehr. Die mittlere Obergrenze dieser Sperrschicht wurde über Linz in ca. 230 m Höhe über Talniveau ermittelt (vgl. HOISLBAUER 1979).

2-2-3 Klimavergleich zwischen Linz ui. anderen Städten Österreichs

	Lufttemperatur (°C)			Relative Feuchte (%)			Niederschlag (mm)			Bewölkung		
	1	VII	Jahr	I	VII	Jahr	I	VII	Jahr	I	VII	Jahr
Unz	-1,7	18,9	8,9	83	71	77	56	120	844	7,3	5,3	6,2
Salzburg	-2,5	17,7	8,2	79	74	78	65	193	1271	7,4	6,2	6,6
Bregenz	-0,7	17,8	8,6	82	75	78	79	196	1428	7,1	5,5	6,4
Innsbruck	-2,7	18,0	8,5	78	70	71	53	121	855	5,2	5,9	5,8
Wien	-0,9	19,5	9,6	79	65	71	40	84	685	7,6	5,6	6,5
Klagenfurt	-4,6	19,3	8,2	85	70	77	41	115	1001	6,4	5,2	6,1
Graz	-2,1	19,1	9,0	78	68	73	31	131	873	6,5	5,4	6,1

Tabelle 1: Klimadaten verschiedener Städte Österreichs im Vergleich zu Linz

	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit	gkeit windstiller Lagen
Linz	1,6 m/s	39%
Salzburg	2,0 m/s	17%
Wien	3,0-4,0 m/s	11%
Alpenvorland	2,5-3,5 m/s	16%
Innere Alpenbecken	1,0-1,5 m/s	57%

Tabelle 2: Die Durchlüftung des Stadtgebietes von Linz im Vergleich zu anderen Gebieten Österreichs

	Schnee-decke	Nieder-schlagstage > 1mm	Nebel	Gewitter	heitere Tage	trübe Tage	Sonnen-stunden
Linz	49	122	72	22	55	144	1.709
Salzburg	67	145	56	37	47	167	1.730
Innsbruck	75	118	16	26	51	131	1.762
Wien	41	96	52	26	46	124	1.913
Graz	60	97	120	34	35	124	1.933
Klagenfurt	88	100	89	35	31	124	1.893

Tabelle 3: Häufigkeit verschiedener Wettererscheinungen (Zahl der Tage pro Jahr) in verschiedenen Städten Österreichs

Nach den Tabellen 1 - 3 (MAHRINGER 1978) lassen sich folgende Aussagen treffen:

+ Beim Vergleich der jährlichen Mittelwerte der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und des Niederschlages liegt Linz im Mittelfeld der österreichischen Städte.

+ Die größten Unterschiede zu anderen Städten und Gebieten bestehen bei den Jahresmitteln der Windgeschwindigkeiten und der Häufigkeit der

windstillen Lagen (= Anzahl der Calmen). Dabei werden die Werte von Linz nur von denen innerer Alpenbecken übertroffen, die auf verminderte Durchlüftungsverhältnisse hinweisen.

Bezüglich der Bewölkung liegt Linz sehr günstig, mit der Zahl der heiteren Tage sogar an der Spitze. Die Zahl der Nebeltage ist mit 72 relativ hoch.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1 Flechtenexposition

Für das vorliegende Projekt wurde die Flechte *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl . verwendet. Im europäischen Raum zählt sie zu den am häufigsten vorkommenden Blattflechten, ihre Verbreitung erstreckt sich von der arktischen bis in die mediterrane Zone und von den Niederungen bis in eine Seehöhe von über 3.000 m. Ihr Hauptvorkommen konzentriert sich auf saure, nährstoffarme Substrate wie Rinde, Rohhumus, Silikatgestein und silikatbewohnende Moose.

Diese azidophile und relativ toxitolerante Flechtenart hat sich für die Exponierung im Rahmen des aktiven Monitoring vielfach bewährt. Die allgemein übliche Methode zur Flechtenexposition wurde von SCHÖNBECK (1969) entwickelt und standardisiert und vom Verein Deutscher Ingenieure in seine Richtlinien (VDI 3799: Messen von Immissions-Wirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten. Verfahren der standardisierten Flechtenexposition.) aufgenommen.

Die Flechtenproben wurden im Bereich des Hintersees bei Mittersill (Land Salzburg) entnommen. Dieses Gebiet im Randbereich des Nationalparks Hohe Tauern weist nur eine geringe Belastung durch Industrie-Immissionen auf.

Da die Flechten samt ihrer Borkenunterlage exponiert wurden, mußten diese mit einem handelsüblichen Henkellocheisen (Durchmesser 40 mm) von gefällten bzw. abgestorbenen Bäumen, vorwiegend Fichten und Lärchen, ausgestanzt werden.

Eine Akklimatisation der Proben vor der Exposition erschien nicht sinnvoll, da die Luftbelastung im Raum Linz zeitweise so hohe Werte erreichen kann, daß eine Vorschädigung der Flechten im Bereich der Möglichkeiten lag.

Exponierung der Flechtentafeln

Die verwendeten Flechtentafeln (Abb. 2) waren 29 cm x 17 cm x 2,5 cm groß und wiesen jeweils 10 zylindrische Bohrungen von 1,5 cm Tiefe und einem Durchmesser von 4,2 cm auf.

Die Borkenstückchen wurden mittels Baumwachs (Marke Avenarius) derart in die Vertiefungen geklebt, daß die Borke bündig mit dem Holz abschloß und lückenlos vom Wachs umgeben war. Jede Tafel wurde mit einer Nummer der 82 Standorte versehen und die 10 Flechtenproben jeweils mit den Buchstaben A - K individuell gekennzeichnet. Die Beschriftung erfolgte direkt auf der Tafel mittels Bleistift, sie mußte im Laufe der Expositionszeit mehrmals erneuert werden.

An der Oberseite der Tafeln wurden kunststoffummantelte Nägel eingeschlagen, um das Aufsitzen von Vögeln und die damit verbundene Verschmutzung der Flechtentafeln zu verhindern.

Abb. 2: Flechtentafel

Die derart vorbereiteten Flechtentafeln wurden an den 82 Stationen im Stadtgebiet von Linz exponiert. Sie wurden an einem Stahlrohr in einer Höhe von ungefähr 1,60 m über dem Erdboden befestigt. Dabei war zu beachten, daß sich die Meßstelle nicht unmittelbar neben einem Gebäude oder einer Hecke befand. Diese und ähnliche Hindernisse können die freie Anströmung stören und somit zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen. Aufgrund der hohen Anzahl an Meßstellen auch im dichtbesiedelten Stadtgebiet war es nicht immer möglich, den geforderten Mindestabstand einzuhalten. Alle Flechtentafeln wurden nach Norden ausgerichtet.

Die Expositionszeit betrug 12 Monate, beginnend mit 2. Oktober 1990.

Lage der Flechtenmeßstationen

Bereits 1988/89 wurden in der Stadt Linz für die Messung des Staubniederschlages Staubsammelbecher an den Kreuzungspunkten eines km^2-Rasters exponiert. Unsere Flechtenstationen (Tabelle 4) wurden nun ebenfalls im Bereich dieser Staubsammelstellen eingerichtet.

Tabelle 4: Lage der 82 Flechtenstationen

Legende: ~~~~~~~~~~~~Flechtenstation, die monatlich zu fotografieren war

********* Flechtenstation mit zusätzlicher Chlorophylluntersuchung

	Nr.	Meßstellen-bezeichnung	Seehöhe (msm)
54/71	31	Ferihumerstraße	250
~~			
53/72	6	Holzstraße	260
~~			
54/72	3	Am Winterhafen	250
54/73	27	Am Winterhafen	250
~~			
53/73	5	Hafenbecken 3	250

53/74	24	Saxingerstraße	250
52/74	7	Kreuzung Prinz-Eugen-Straße	250
52/73	8	Industriezeile	250
51/74	9	Shell-Tanklager	250
51/73	10	Ing.-Stern-Straße	260
51/72	11	Raimundstraße/Gürtelstraße	250
50/73	12	VÖEST-Haupteinfahrt	250
50/72	2	Landwehrstraße	260
49/72	12	Hausleitnerweg	270
48/72	4	Müller-Guttenbrunn-Straße	260
49/73	16	Neue Welt	260
48/73	17	Peteanistraße 4	260
48/74	18	Gaisbergerstraße 73	250
46/73	20	Traunauweg 22	250
46/74	1	Panholzerweg	260
46/75	22	Traundorferstraße 8	280
47/75	23	Neufelderstraße 36	260
48/76	13	Forellenweg	250
47/76	25	Neufelderstraße 116	250
48/77	26	Weikerlseestraße 80	250
47/77	15	Traundorferstraße 226	250
47/78	29	Klettfischerweg	250
46/78	29	Traundorferstraße/ Schwaigaustraße	250

46/77	30	Oidener Straße 91	250
46/76	21	Rabenweg 13	260
45/77	40	Mönchgrabenstraße	260
45/74	36	Pergheimerweg	280
44/74	37	Wambacherstraße 96	300
45/73	32	Kremsmünsterer Straße 89	260
47/73	41	Zeppelinstraße 37	260
47/72	42	Am langen Zaun 20b	260
46/72	50	Schörgenhubstraße	260
47/71	44	Im Hütterland	260
46/71	45	Neubauzeile 37a	260
47/70	47	Wegscheider Straße 58	270
48/71	48	Landwiedstraße 164	280
49/70	49	Landwiedstraße, Gasthaus Keferfeld	280
49/71	61	Koref-Schule	270
50/71	51	Westbrücke	270
50/70	52	Waldeggstraße	270
51/70	53	Hugo-Wolf-Straße 4	310
51/71	54	Hauptbahnhof	260
51/69	55	Koppelweg 10	320
52/69	64	Margarethenweg 9	400
52/70	57	Mariahilfgasse 27	300
52/71	58	Bischofstraße 5	260
52/72	59	Krankenhausstraße	260

53/71	60	DDSG Schiffsanlegestelle	260
53/70	43	Bergbahnhof	270
53/69	62	Windflachweg 15	360
55/69	63	Samhaberstraße 60	490
54/69	56	Dannerweg 1	340
54/70	65	Steinbauerstraße 11	290
56/69	66	Dießenleitenweg 188	400
55/70	67	Bachlbergweg 44	280
56/70	68	Pachmayrstraße 86	350
57/70	69	Kühreiterweg 70	400
56/71	70	Kampmüllerweg	280
57/71	71	Klausenweg 30	320
58/71	72	Leonfeldner Straße 340	320
56/72	73	Donauerweg 18	320
57/72	74	Maderleithnerweg 38	450
58/72	75	Maderleithnerweg 136	530
58/73	76	Oberbairinger Straße 300	560
57/73	77	Hofbauerweg 40	460
57/74	78	Elmberg: Mittelschule für Landwirtschaftliche Berufe	400
56/74	79	Koglerweg 60	300
56/75	80	Kalkgruberweg 40	360
55/75	81	Esterbachweg 45	300
55/74	82	Ahornweg 7	260

55/73	83	Further Straße	255
56/73	84	Mengerstraße 13	265
55/72	85	Freistädter Straße 232	255
55/71	86	Wasserwerk Heil harn	260
50/76	87	Steyregg, Meßstation	340
51/72	88	ORF-Zentrum	260
54/72	89	24er-Turm	255

Sämtliche Stadtpläne von Linz, auf denen die Flechtenmeß-stationen eingezeichnet sind, basieren auf Plänen des Magistrates Linz - Vermessungsamt im Maßstab 1 : 50 000, die auf 90% verkleinert wurden (1 km = 1,8 cm).

Fotografische Dokumentation

Für das Erfassen der äußerlich sichtbaren Schädigungen an den Flechtenthalli wurden Farbdiapositive angefertigt. Zu diesem Zweck wurde die mit einem Makro-Objektiv versehene Kamera (Canon AE-1) auf einem Reprostativ befestigt, sodaß bei den einzelnen Aufnahmen nur noch die Bildschärfe durch Verändern des Abstandes zwischen Flechtenprobe und Objektiv einzustellen war. Ein Ringblitz der Marke SOLIGOR AR-30T garantierte eine gleichbleibende Lichtqualität und die gleichmäßige Ausleuchtung des zu fotografierenden Objektes. Das verwendete Filmmaterial bestand aus Kodak-Ektachrome 100 HC Farbdiapositivfilme mit jeweils 36 Aufnahmen, der Abbildungsmaßstab bet rüg 1:1.

Alle Flechtenexponate wurden unmittelbar vor und am Ende der Expositionszeit fotografiert. Dazwischen fertigten wir monatlich von 44 Stationen Diapositive an, während Anfang April 1991 und Anfang September 1991 zusätzlich die restlichen 38 Vergleichsstationen von uns fotografisch erfaßt wurden.

Vor jeder Aufnahme mußten die Flechtenproben durch das Besprühen mit destilliertem Wasser in optimalen Quellungszustand gebracht werden (Abb. 3 und 4). Um eine Reflexion beim Fotografieren zu vermeiden, wurden nach einigen Minuten noch vorhandene Wassertropfen vorsichtig abgetupft. Alle diese Tätigkeiten führten wir direkt am jeweiligen Meßort im Dienstwagen des Umweltamtes Linz durch.

Abb. 3

Abb. 4

Auswertung

Mit Hilfe der angefertigten Diapositive konnte durch Schätzung der Fläche der abgestorbenen Thalluspartien für jede Flechtenprobe der Schädigungsgrad in Prozent ermittelt werden. Dies erfolgte durch den Vergleich des jeweils zu beurteilenden Flechtenthallus mit

seinem Zustand zum Zeitpunkt des Versuchsbeginns. Dabei wurden die beiden Aufnahmen nacheinander mittels eines Diaprojektors auf einen Tisch projiziert und die sichtbar geschädigten Thallusteile mit Hilfe eines Rasters prozentuell erhoben. Der arithmetische Mittelwert der Flechtenschädigung einer Meßstelle wurde anhand von 10 Parallelproben errechnet.

Für diese Auswertung kamen nur jene Flechtenproben in Frage, von denen im Vergleich zur Ausgangsaufnahme noch mindestens 50 % des Thallus vorhanden waren. Traf dies auf weniger als die Hälfte der 10 Flechtenproben einer Meßstelle zu, wurde diese Station als Ausfall registriert.

Tabelle 5: Schädigungskategorien nach VDI-Richtlinie 3799

KATEGORIE	SCHÄDIGUNGS-GRAD	RISIKOABSCHÄTZUNG FÜR HÖHERE PFLANZEN
	0 - 10	Immissionseinfluß nicht nachweisbar
II	11 - 35	nachweisbarer Immissionseinfluß unterhalb des akuten Schädigungsbereiches höherer Pflanzen
III	36 - 60	Schädigungsbereich für sehr empfindliche winteraktive Pfl. (Koniferen)
IV	61 - 85	Schädigungsbereich für empfindliche winteraktive Pflanzen (Koniferen)
V	> 85 %	Schädigungsbereich für weniger empfindliche winteraktive Pflanzen und andere empfindliche Zier- und Nutzpflanzen

3.2 Bestimmung des Chlorophyllgehalts

Als begleitende Untersuchung zur Flechtenexposition wurde monatlich von Jänner 1991 bis Oktober 1991 der Gehalt an Chloroplasten-Pigmenten in zusätzlich exponierten Proben von *Hypogymnia physodes* bestimmt.

Das erforderliche Flechtenmaterial stammte aus dem Bereich des Ebenberges in Zeil am See (Land Salzburg). Die Flechtenproben wurden samt ihrer Borkenunterlage von den Bäumen *(Picea abies)* entnommen und auf insgesamt 25 Gaze-Säckchen (Größe ca. 10 cm x 15 cm; vgl. TÜRK & CHRIST 1980) verteilt.

Jeweils fünf dieser Säckchen wurden für die Dauer von ca. vier Wochen an einem der fünf für diese Untersuchungen ausgewählten Sonderstandorte (ORF, 24er-Turm, Elmberg, Steyregg, Traundorferstraße) aufgehängt. Zum Befestigen diente Blumendraht. Nach Ablauf der Expositionszeit wurden die Säckchen eingesammelt und durch neue ersetzt. Der Chlorophyllgehalt der exponierten Flechtenproben wurde anschließend bestimmt.

Die Flechtenstücke aus den Gaze-Säckchen wurden zuerst sehr sorgfältig von allfälligen Borkenresten, Fichtennadeln, Moosen und anderen Verunreinigungen gesäubert. Von jeweils drei Säckchen pro Standort wurde das Gewicht des zu untersuchenden, lufttrockenen Flechtenmaterials bestimmt. Es belief sich meist auf 500 - 800 mg Frischgewicht. Material, das nicht sofort verarbeitet werden konnte, wurde zwischenzeitlich im Gefrierschrank aufbewahrt.

Für die vorliegenden Untersuchungen diente 85% Aceton p.A. als Extraktionsmittel. Pigmentbestimmungen mit den unterschiedlichsten Lösungsmitteln wurden bereits von mehreren Autoren beschrieben (WILHELMSEN 1959, ECKL 1978, URBACH et al. 1983 u.a.).

Sowohl die Extraktion als auch die anschließende spektralphotometrische Messung wurden bei geringer Lichtintensität und kühler Temperatur ausgeführt. Das vorbereitete Flechtenmaterial wurde mit einigen Gramm gereinigtem und geglühtem Seesand und einer Spatelspitze Calciumcarbonat versetzt und unter Zusatz von flüssigem Stickstoff in einem Mörser zu einem feinen Pulver zermahlen. Nach Zugabe von einigen Millilitern

85% Aceton wurde das Zerreiben noch fortgesetzt und das Gemisch anschließend in Zentrifugenröhrchen überführt. Bei 4°C und ca. 4000 Umdrehungen pro Minute wurde drei Minuten lang zentrifugiert. Der überstand wurde dekantiert, der Meßkolben im Kühlschrank aufbewahrt und das Pellet erneut mit 85% Aceton versetzt. Dies wiederholte sich bis zur Farblosigkeit des Überstandes.

Die gesammelten überstände wurden mit 85% Aceton auf 50 ml aufgefüllt und anschließend in einem Spektralphotometer die Absorption bei 663, 644, 452, 560 und 750 nm Wellenlänge gemessen.

Berechnung des Pigmentgehaltes:
Nach RÖBBELEN in 85% Aceton (URBACH et al. 1983):

Chlorophyll a = 10.3.A663 - 0.918.A644 (rng.l-^{1})
Chlorophyll b = 19.7.A644 - 3.87.A663 (mg.l-^{1})
Carotin(gesamt) = 4,76.A452,s - 0,226.C_a+b (mg.l-^{1})

Der Absorptionswert bei einer Wellenlänge von 750 nm stellte den Trübungsgrad aufgrund der Calciumcarbona t reste, die sich bei *der* Zent rif ugation nicht vollständig absetzten, dar. Bei dieser Wellenlänge absorbieren die Photosynthese-Pigmente nicht mehr, der erhaltene Wert wurde bei der Berechnung des Pigmentgehalts subtrahiert (ZIEGLER & EGLE 1965). Alle so berechneten Werte wurden auf das Trockengewicht der Flechten bezogen. Das Trockengewicht wurde nach einer 24stündigen Trocknung bei 105°C ermittelt.

4. ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

4.1 Flechtenexposition

Nach einer ca. vierwöchigen Expositionszeit waren die am 2. Oktober 1990 exponierten Flechten zum Großteil sehr stark geschädigt. Die Tabelle 6 gibt den Schädigungsgrad der exponierten Flechten am 29. Oktober 1990 wieder.

SCHADIGUNGS-KATEGORIE	ANZAHL DER STATIONEN OKTOBER 1990
I	2
II	6
III	2
IV	7
V	27
	44

Tabelle 6: Grad der Flechtenschädigung im Oktober 1990 nach ca. vierwöchiger Expositionszeit

Über 60% der exponierten Flechtenproben wiesen einen Schädigungsgrad von über 85% (Schädigungskategorie 5; letal geschädigt) auf. Die Abb. 5 und 6 (Meßstelle 76, Oberbairingerstraße) zeigen beispielsweise dieselbe Probe zu Beginn der Exponierung und nach ca. vierwöchiger Exponierung. Der Flechtenthallus war fast gänzlich abgestorben, lediglich einige Lobenenden wiesen noch ungeschädigte Anteile auf. Dieses Bild bot sich an allen Stationen, die die Schädigungskategorie 5 aufwiesen.

Abb. 5: Oberbairinger Straße (Nr. 76, Probe F) 2. Oktober 1990

Abb. 6: Oberbairinger Straße (Nr. 76, Probe F), 29. Oktober 1990

Nach weiteren vier Wochen untersuchten wir die Flechtenexponate an sämtlichen 82 Stationen. Wie aus der Tabelle 7 hervorgeht, wurde an 97% der Meßstellen ein Immissionseinfluß nachgewiesen, bei über 60% wurde eine Schädigungsrate von über 85% festgestellt. Abb. 7 und 8 zeigen die Lage der Meßstationen und die an den einzelnen Meßstellen am 29. 10. 1990 (Abb. 7) bzw. 26. 11. 1990 (Abb. 8) ermittelten Schädigungskategorien. Im Bereich des Stadtgebietes nördlich der Donau, der Innenstadt, im Raum Kleinmünchen und in Ebelsberg überwiegen die Meßstellen mit der Schädigungskategorie V und IV, lediglich im äußersten Südosten waren die Schädigungsraten geringer.

SCHÄDIGUNGS-KATEGORIE	ANZAHL DER STATIONEN NOVEMBER 1990
I	2
II	10
III	6
IV	15
V	49
	82

Tabelle 7: Grad der Flechtenschädigung am 26. November 1990

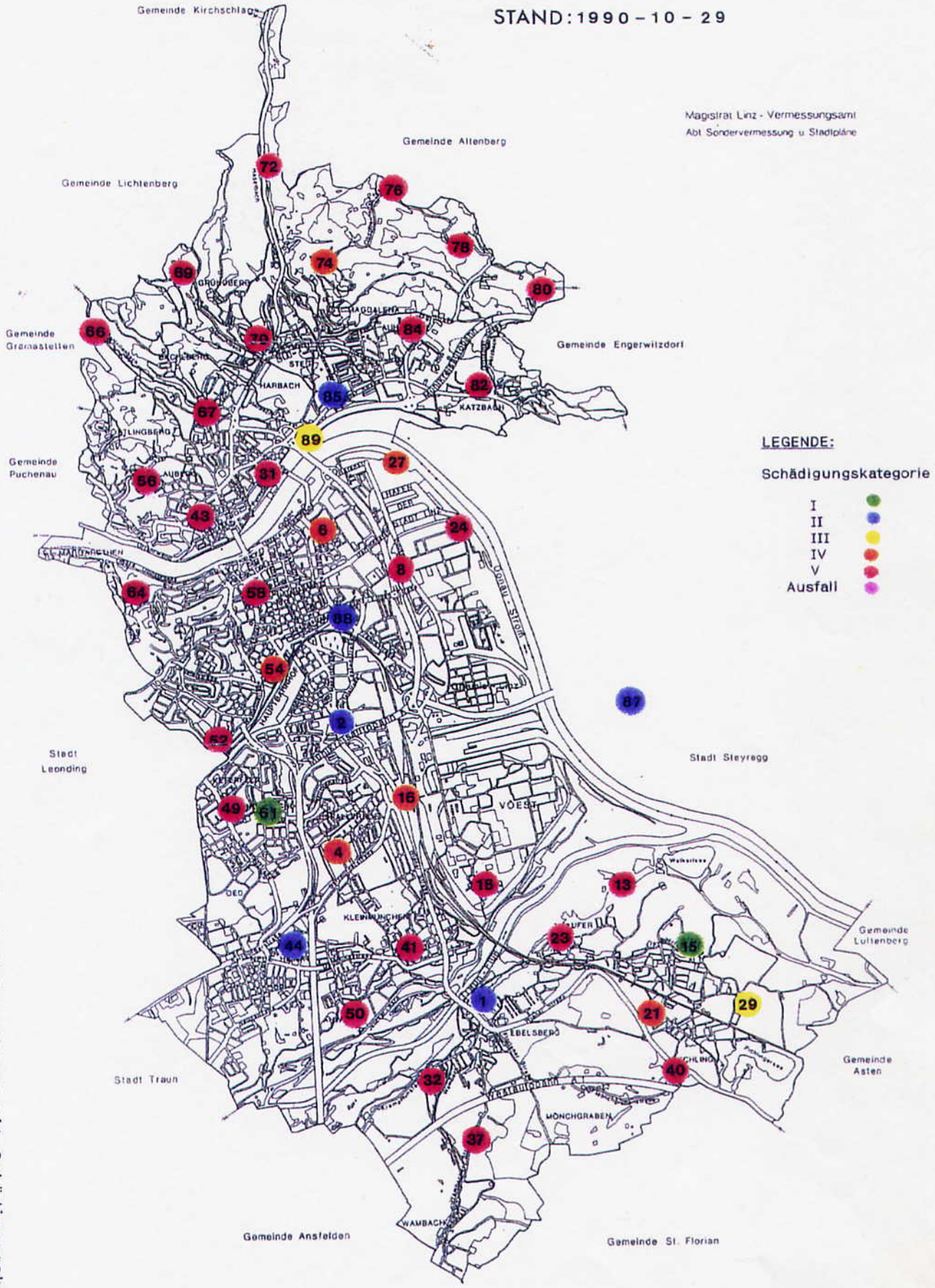


Abb. 7: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im Oktober 1990

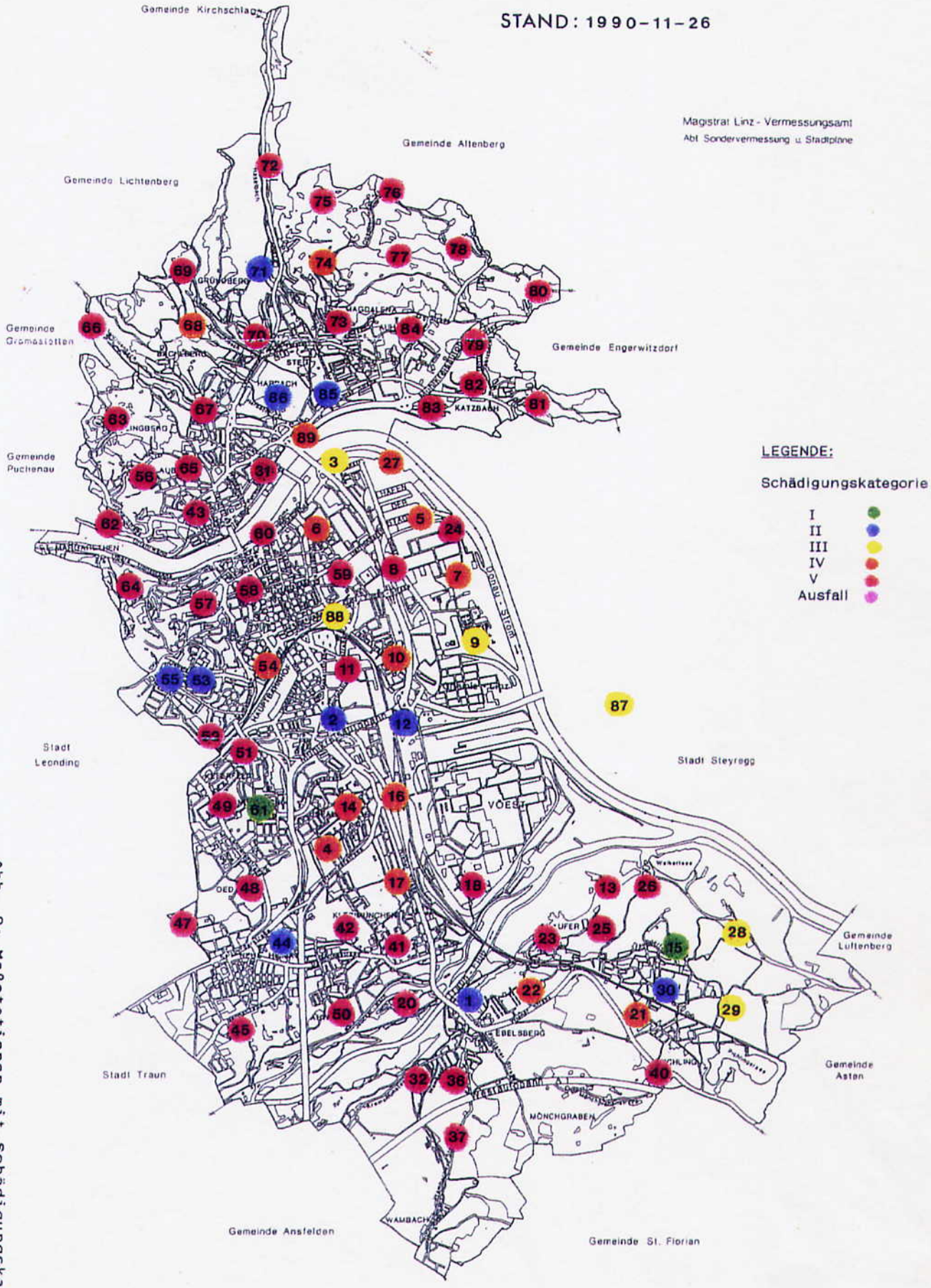


Abb. 8: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im November 1990

Diese starken Schädigungen, die an den Flechtenexponaten schon nach relativ kurzer Expositionszeit auftraten, wurden durch hohe Immissionsraten in Verbindung mit austauscharmen Witterungslagen bedingt.

Der Monat Oktober 1990 war durch einen sehr ungünstigen Luftaustausch gekennzeichnet, was sich vor allem anhand einer hohen Zahl an windstillen Tagen und einer geringen Windgeschwindigkeit zeigte (Tab. 8). Die hohen Temperaturen an einigen Tagen wiesen auf Föhnwetterlagen hin. Der damit verbundene S- bis SE-Wind trieb verstärkt die Abgasfahnen der südlich und östlich des Stadtgebietes gelegenen Industriegebiete in das Linzer Becken.

KLIMADATENOKT. '90	STEYREGG	ORF-ZENTRUM	KLEINMÜNCHEN
WIV (MMW $m.s^{-1}$)	1,6	0,6	0,7
Hauptwindrichtung	Calmen:18d, SE:6d	Calmen:28d,SE:2d	Calmen:25d,SE:3d
Temperatur (MMW)	10°C	-	9,7 °C
Rel. Luftfeuchte (MMW)	80,1%	-	84,3%
Regenmenge (mm)	98,7	84,4	

Tabelle 8: Klimadaten von Linz für Oktober 1990

WIV.....Windgeschwindigkeit
MMW.....Monatsmittelwert

Die milde Witterung, die hohe Luftfeuchtigkeit und häufige Nebelbildung förderten die stoffwechselphysiologische Aktivität der Flechten und somit die verstärkte Schadstoffaufnahme durch die Flechtenthal1i.

Im Zeitraum 10. - 15. Oktober 1990 war die Luftschadstoff belas tu ng sehr hoch.

Am 10. 10. registrierte man in Steyregg sowohl bei Stickstoffdioxid (NO_2) mit einem Halbstundenmittelwert (HMW) von 417 $\mu g.m^{-3}$ (Grenzwert 300 $\mu g.m^{-3}$) als auch bei Stickstoffmonoxid (NO) mit 879 $\mu g.m^{-3}$ HMW (Grenzwert 600 $lag.m^{-3}$) eine Grenzwertüberschreitung .

Auffallend waren die hohen Belastungen durch Schwefelwasserstoff (H2S) im Bereich Steyregg. Der Grenzwert von 20 µg.m^{-3} H_2S HMW wurde im Oktober 1990 an 6 Tagen erheblich überschritten.

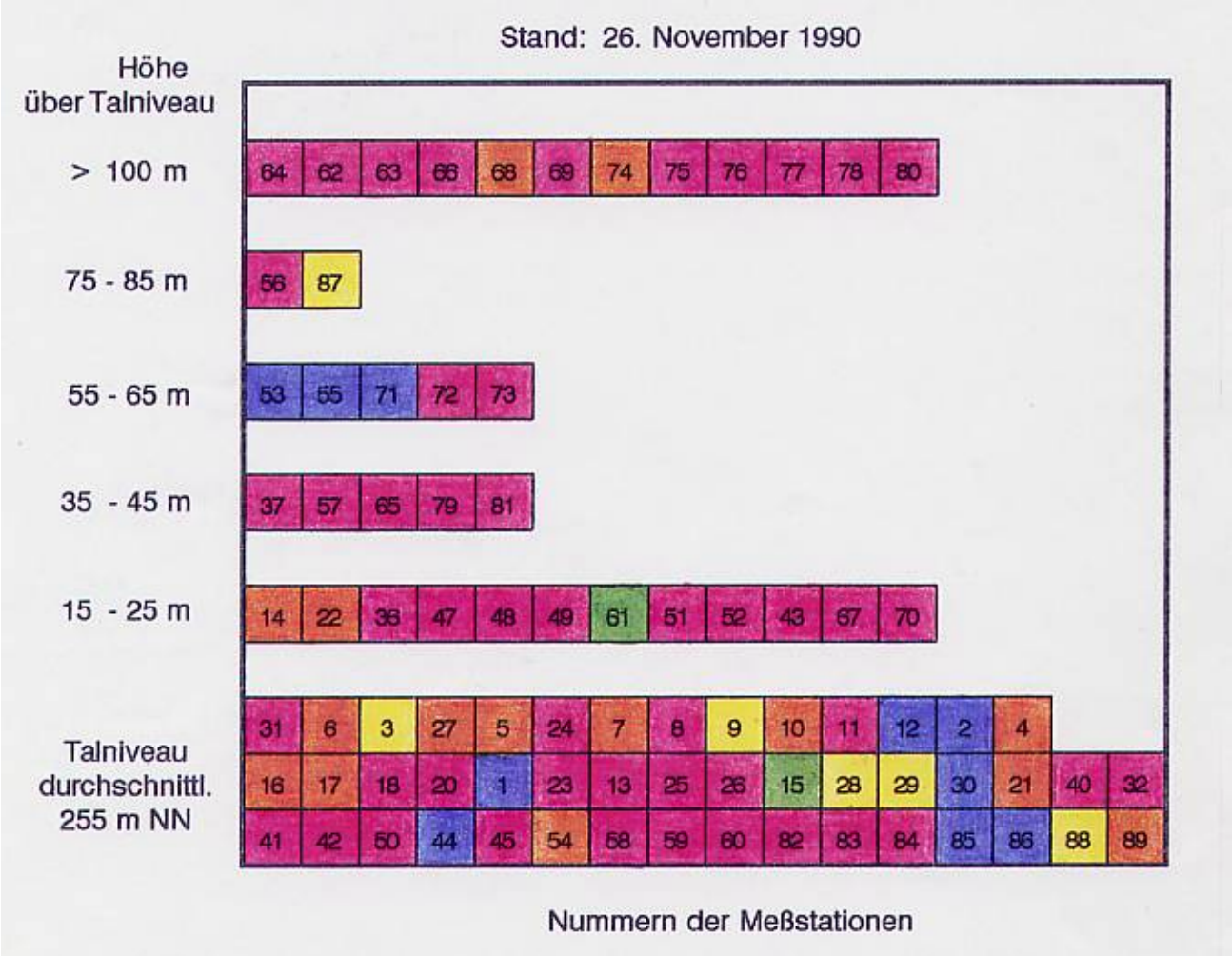
Am 11.10. wurden an den Meßstellen Hauserhof, Bahnhof Urfahr, ORF-Zentrum und 24er-Turm Schwefeldioxid-Konzentrationen (SO_2) bis 179 µg.m^{-3} HMW (Grenzwert 140 µg.m^{-3}) registriert.

Die Staubniederschlagsmessung nach Bergerhoff ergab im Randbereich des Betriebsgeländes der VÖEST und Chemie Linz AG Flächenkonzentrationen von maximal 794 µg.m^{-1} (Monatsmittelwert MMW; Grenzwert 210 µg.m^{-1}). Die stärker staubbelasteten Bereiche dehnten sich von diesem Gebiet in Nordwestrichtung auch über die Donau aus. Im Bereich Dannerweg (56) und Steinbauerstraße (65) wurden noch Staub-Flächenkonzentrationen von 317 bzw. 365 mg.m^{-2}.d^{-1} registriert.

Auffallend hoch war der Staubniederschlag mit 396 mg.m-z.d^{-1} MMW an der Station Weikerlseestraße (26). Trotz der Lage in einer Grünzone wiesen die Flechtenexponate dieser Meßstelle Schäden der Kategorie V auf. Ein weiterer Grund für den schlechten Zustand der Flechtenthalli an dieser und auch an den benachbarten Meßstationen (13,23,25) könnte u. a. die häufigere Nebelbildung im Bereich der Traunauen sein. Lokalen Einfluß auf die Luftqualität könnten auch die Emissionen jener Betriebe haben, die PVC verarbeiten bzw. große Mengen an organischen Lösungsmitteln verwenden.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse stellten wir eine positive Korrelation zwischen der Höhenlage der einzelnen Meßstellen und dem dort ermittelten Schädigungsgrad der Flechtenproben fest (Abb. 9). Die Farbskala entspricht jener der Stadtpläne.

Zusammenhang Höhenlage der Stationen - Schädigungskategorie



Die höchstgelegenen Meßstellen weisen fast ausschließlich die Schädigungskategorie V auf. Da viele dieser Stationen im Bereich der Obergrenze der Inversionsschicht lagen, kann das hohe Schädigungsniveau der Flechtenproben mit erhöhten Luftschadstoffkonzentrationen - bedingt durch Inversionswetterlagen - in Zusammenhang gebracht werden. Fehlende Durchlüftung, S- und SE-Winde trugen dazu bei, daß auch die Flechtenproben an den Meßstellen nördlich der Donau sehr stark geschädigt wurden.

Bei fast allen Stationen, die die Schädigungskategorien I bzw. II aufwiesen, war der positive Einfluß eines günstigen Lokalklimas erkennbar. Viele Flechtenproben, die im Bereich von Grünflächen wie

Gärten, Schulhöfen, Parks etc. exponiert waren, wiesen einen erheblich geringeren Schädigungsgrad auf.

Aufgrund der hohen Anzahl an 100%ig geschädigten Flechtenthalli wurden an sämtlichen Stationen neue Flechtenproben exponiert und der Versuch Anfang Dezember 1990 somit ein zweites Mal begonnen.

Auswertung Winterhalbjahr 1990/91

Der Zustand der Flechtenproben änderte sich im Dezember 1990 und Jänner 1991 kaum. Erst im Februar 1991 kam es zu einem deutlichen Anstieg des Schädigungsgrades der Flechten (Tabelle 9). Flechtenexponate von acht Stationen wiesen Schädigungen der Kategorie II auf. Die Flechtentafel an der Meßstelle Nr. 27 (Am Winterhafen) wurde mutwillig zerstört.

SCHÄDIGUNGS-KATEGORIE	ANZAHL DER STATONEN		
	Dezember 1990	Jänner 1991	Februar 1991
1	43	42	34
II			8
III	1		
IV		1	
V			1
	44	43	43
		+ 1 anthropogen bedingter Ausfall	

Tabelle 9: Grad der Flechtenschädigung in den Monaten Dezember 1990 - Februar 1991

Für die Station Nr. 32 (Kremsmünsterer Straße), die als einzige Meßstelle Schäden der Stufe V zeigte, erwies sich als Ursache für das Absterben der Flechtenthalli ein Misthaufen in unmittelbarer Nähe und die damit verbundene übermäßige Ammoniakbelastung.

Am Ende des Winterhalbjahres 1990/91 ergab die Untersuchung an allen 82 Stationen folgende Schädigungsraten (Tabelle 10):

SCHÄDIGUNGS-KATEGORIE	ANZAHL DER STATIONEN MÄRZ 1991
I	49
II	27
III	4
IV	-
V	1
	81 (+ 1 Ausfall)

Tabelle 10: Grad der Flechtenschädigung im März 1991

Der Großteil der Flechtenexponate wies im Zeitraum Dezember 1990 bis März 1991 nur sehr geringe Schädigungen auf. 95% der Meßstationen lagen aufgrund des ermittelten Schädigungsgrades der Flechtenproben unterhalb der Grenze des Schädigungsbereiches für höhere Pflanzen.

An 61% der Meßstationen wurden derart niedrige Schädigungsraten ermittelt, daß für diese kein Immissionseinfluß nachgewiesen werden konnte.

Charakteristik der Immissionsbelastung *im* Hinterhalbjahr 199O/91z

In Steyregg (Nr. 87) wurde am 25. Jänner 1991 eine für diesen Winter einmalig hohe SO_2-Konzentration gemessen (336 $\mu g.m^{-3}$ SO_2 HMW). Es kam an dieser Meßstelle noch zusätzlich zu zwei Grenzwertüberschreitungen bei H_2S mit jeweils 24 $\mu g.m^{-3}$ HMW. Trotzdem wiesen hier die Flechten einen relativ geringen Schädigungsgrad auf. Diese geringe Schädigung hat ihre Ursache in der trockenen, kalten Witterung, denn die Schädigung der Flechtenthal1i nimmt mit ansteigendem Quellungsgrad der Flechten zu.

An der Meßstelle Berufsschulzentrum registrierte man im Jänner NO-Werte von 767 - 1,033 $\mu g.m^{-3}$ HMW.

Im Februar wurde nördlich der Chemie Linz AG (Shell-Tanklager) die Maximalbelastung an Staub mit 907 $mg.m^{-2}.d^{-1}$ verzeichnet. Eine hohe Staubbelastung wies unter anderem auch die Station Nr. 2 (Landwehrstraße) mit 347 $mg.m^{-2}.d^{-1}$ auf.

Der Februar war insgesamt gesehen der kälteste Monat im Winterhalbjahr 1990/91. Bis 23. d. M. wurden jeweils Temperatur-Tagesmittelwerte unter 0°C verzeichnet. Die tiefen Temperaturen haben sicher indirekt zu einer erhöhten Luftschadstoffbelastung durch den Hausbrand geführt.

In Steyregg kam es erneut zu einer Grenzwertüberschreitung bei der Komponente H2S (max. HMW 41 $\mu g.m^{-3}$).

Am Berufsschulzentrum wurde mit einem HMW von 659 $\mu g.m^{-3}$ NO der Grenzwert von 600 $\mu g.m^{-3}$ leicht überschritten.

Verglichen mit Februar 1991 waren die Temperaturen im März 1991 um vieles höher. Mit einem Monatsmittelwert von +7,2°C lagen die Temperaturen im März 1991 über dem langjährigen Durchschnitt.

Im März war die Staubbelastung sehr hoch, die Staubwerte stiegen an den meisten Stationen über jene des Februars. Die höchsten Staubwerte wurden an den Stationen Nr. 2 (Landwehrstraße; 381 $mg.m^{-2}.d^{-1}$), Nr. 14 (Hausleitnerweg; 331 $mg.m^{-2}.d^{-1}$) und Nr. 10 (Ing.-Stern-Straße; 277 $mg.m^{-2}.d^{-1}$) registriert.

Steyregg wies Grenzwertüberschreitungen bei NO (750 $\mu g.m^{-3}$ HMW) als auch bei NO2 (332 $\mu g.m^{-3}$ HMW) auf. Am 24er-Turm wurde der HMW für NO einmal nur knapp unterschritten.

Die folgenden vier Abbildungen (Abb. 10 - 13) zeigen die Ergebnisse der Monate Dezember 1990 - März 1991.

Wie im März 1991 (Abb. 13) deutlich zu erkennen ist, überwiegen Meßstellen mit der Schädigungskategorie II im Bereich der Großindustrie und entlang der Wiener Straße bis Ebelsberg. Die Schädigungen an den Flechten höhergelegener Stationen (63, 64, 68, 69, 70) im Norden des Stadtgebietes könnten durch winterliche Inversionswetterlagen bedingt sein, da sie an der Obergrenze der Immissionsschicht bzw. knapp darunter liegen. Als Erklärung für die Schädigungskategorie III am ORF-Zentrum (88) kam neben den oben angeführten Luftschadstoffbelastungen noch ein lokaler Emittent organischer Lösungsmittel (Kaffeerösterei) in Frage.

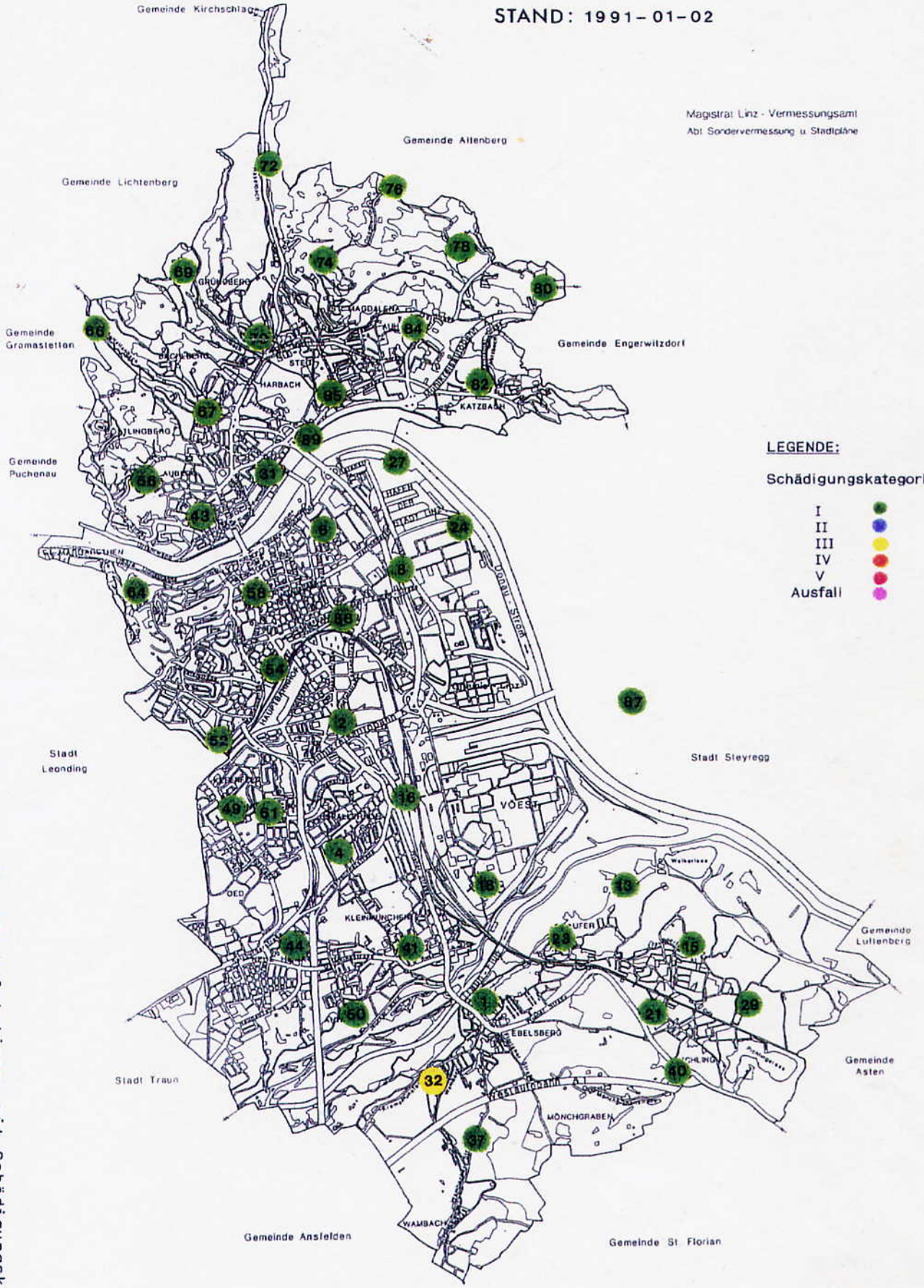


Abb. 10: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im Dezember 1990

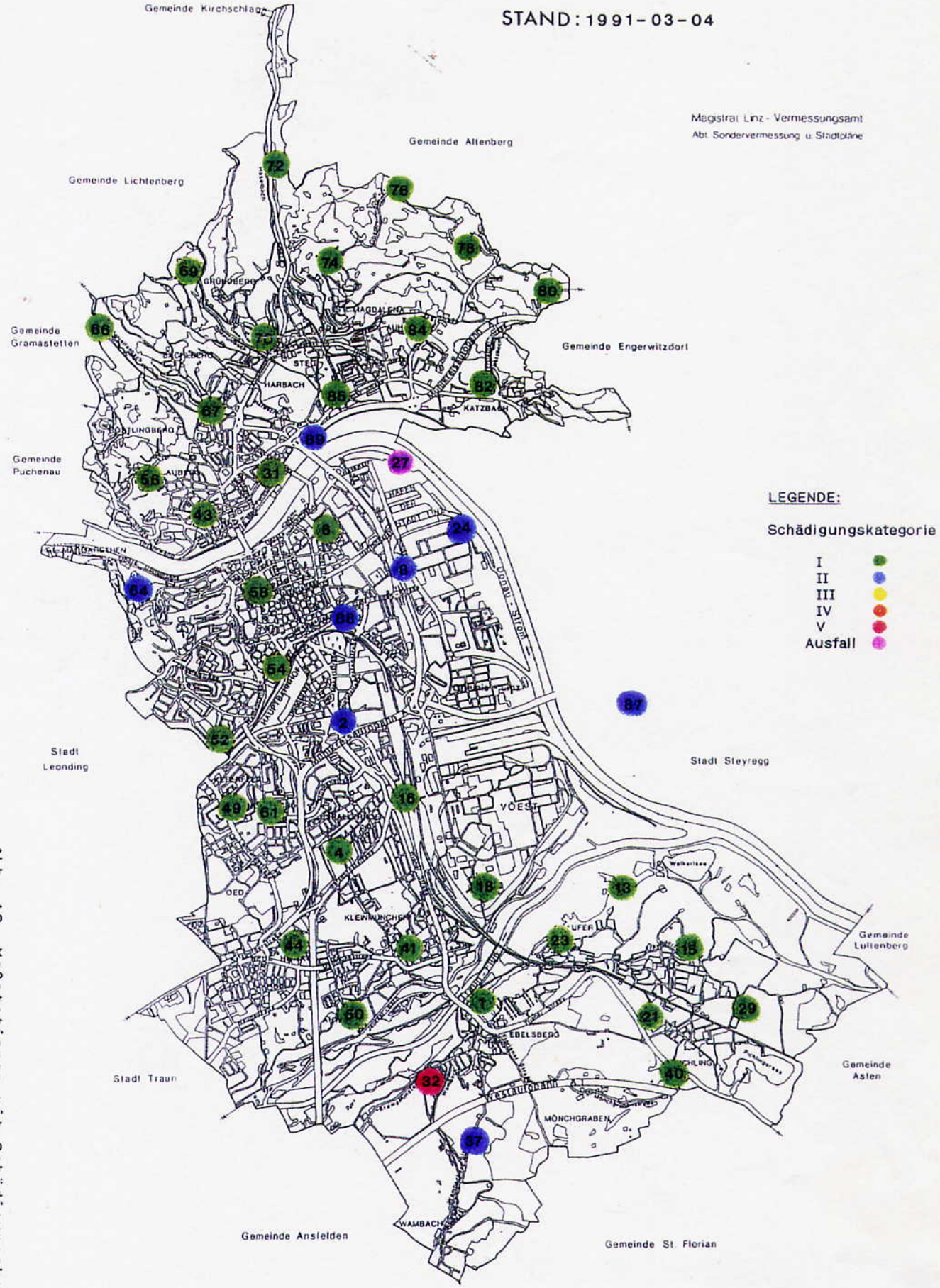


Abb. 12: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im Februar 1991

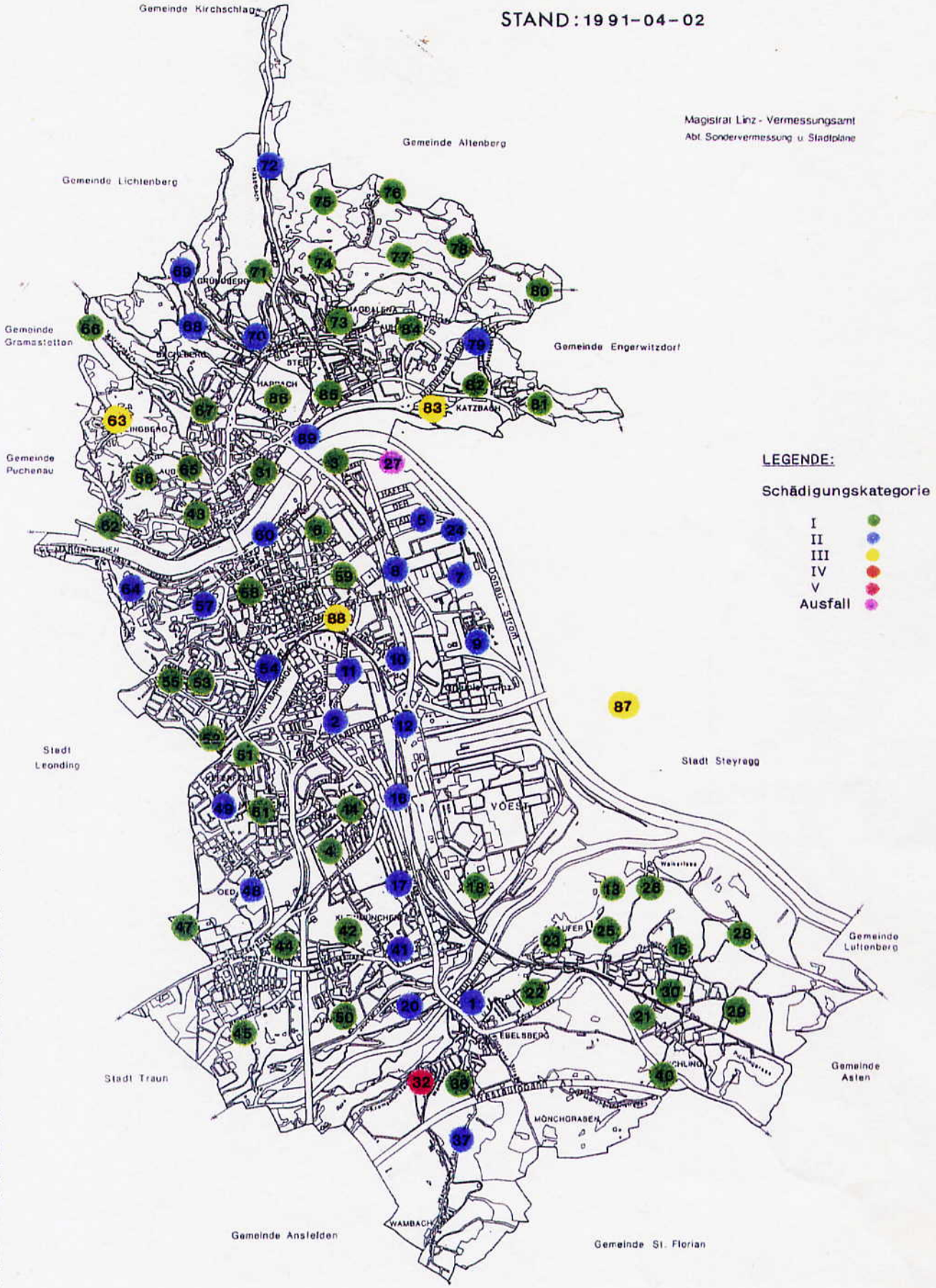


Abb. 13: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im März 1991

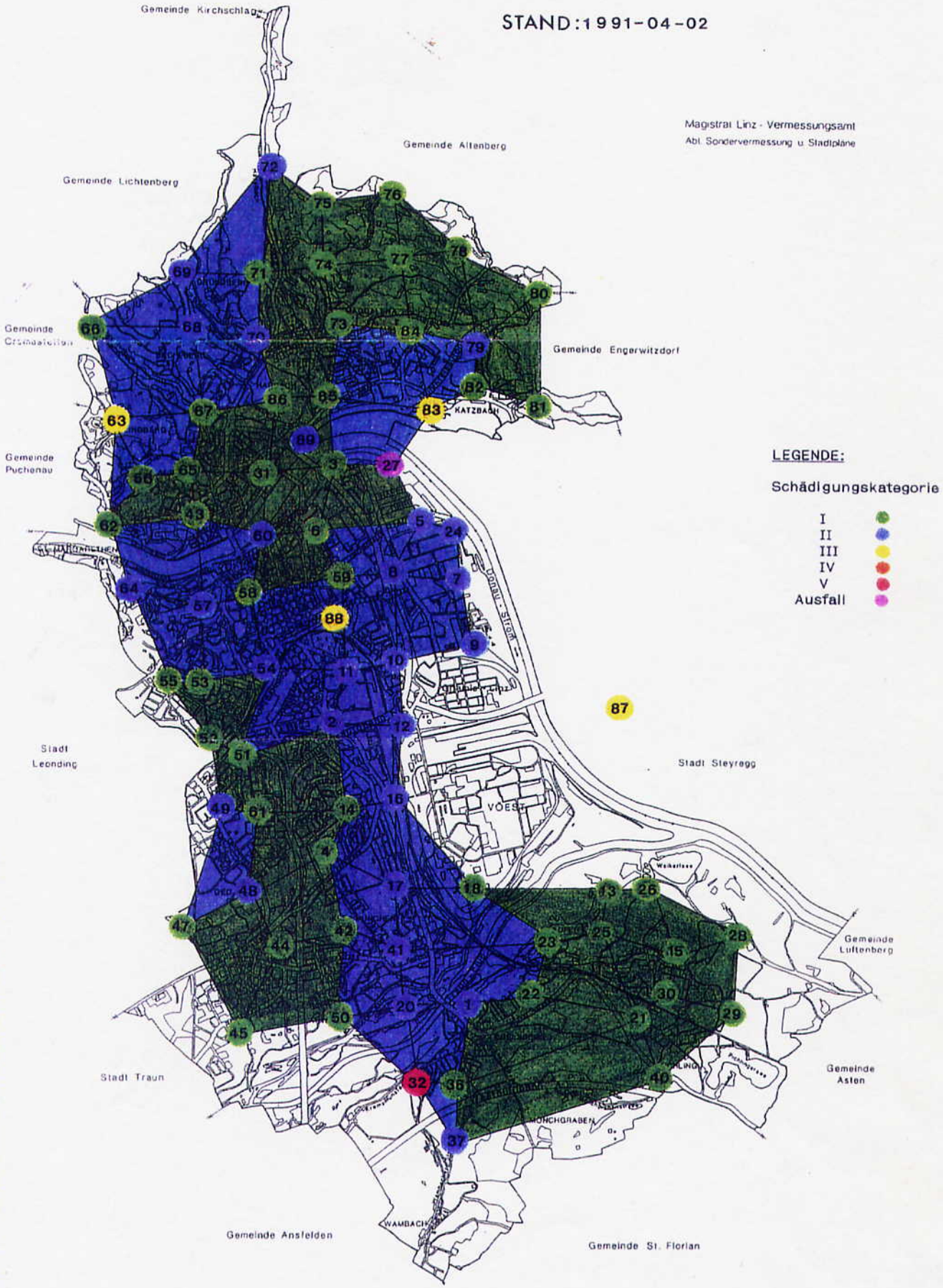


Abb. 14: Flechtenschädigungszonen im März 1991

Station Nr. 83, deren Flechtenexponate ebenfalls Schäden der Kategorie III aufwiesen, befand sich unmittelbar neben und etwas unterhalb der Mühlkreisautobahn. Deshalb könnte hier die winterliche Salzstreuung sowie der Straßenabrieb für den schlechten Zustand der Flechten verantwortlich sein. Außerdem lag die Station am Rande eines intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebietes. Zusätzlich war auch die im März einsetzende Düngung der umliegenden Felder und Äcker ein Grund für die Verschlechterung des Zustandes der Flechtenthal1i.

In Abb. 14 stellen wir die räumliche Verteilung der Flechtenschädigung im März 1991 im Meßnetz Linz mit Hilfe von Rasterflächen dar. Deutlich sind die stärker belasteten Bereiche entlang der Großindustriebetriebe und nördlich der Donau erkennbar.

Auswertung Sommerhalbjahr 1991

In der Tabelle 11 ist die Verteilung der Flechtenproben der 44 monatlich zu fotografierenden Stationen auf die fünf Schädigungskategorien im Zeitraum April 1991 - Oktober 1991 dargestellt.

SCHÄDIGUNGSKATEGORIE	ANZAHL DER STATIONEN						
	April 1991	Mai 1991	Juni 1991	Juli 1991	August 1991	September 1991	Oktober 1991
1	24	24	24	20	14	13	12
II	15	14	13	16	19	20	21
III	2	3	2	1	3	3	3
IV			1				
V	1	1	1	2	2	2	2
	42	42	41	39	38	38	38
AUSFÄLLE	2	2	3	5	6	6	6

Tabelle 11: Grad der Flechtenschädigung von April 1991 bis Oktober 1991

Sämtliche 82 Stationen wurden im August 1991 und im Oktober 1991 fotografisch dokumentiert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 12 dargestellt.

SCHÄDIGUNGSKATEGORIE	ANZAHL DER STATIONEN	
	August 1991	Oktober 1991
1	32	23
II	28	37
III	8	6
IV	1	2
V	2	2
	71	70
AUSFÄLLE	11	12

Tabelle 12: Grad der Flechtenschädigung in den Monaten August und Oktober 1991

Der Schädigungsgrad der Exponate änderte sich in den Monaten April, Mai und Juni 1991 mit Ausnahme des der Station Nr. 1, Panholzerweg, nicht. Dort stieg der Schädigungsgrad von der Stufe II auf die Stufe IV. Da der Linzer Luftraum in diesen Monaten keinen besonderen Belastungen ausgesetzt war, könnte diese Schädigung auf einen Lokalemittenten zurückzuführen sein. In Frage kommt ein in der Nähe PVC-verarbeitender Betrieb.

Die Abbildungen 15, 16 und 17 zeigen die Verteilung der Schädigungskategorien der Flechten der einzelnen Meßstationen im Stadtgebiet in den Monaten April, Mai und Juni 1991.

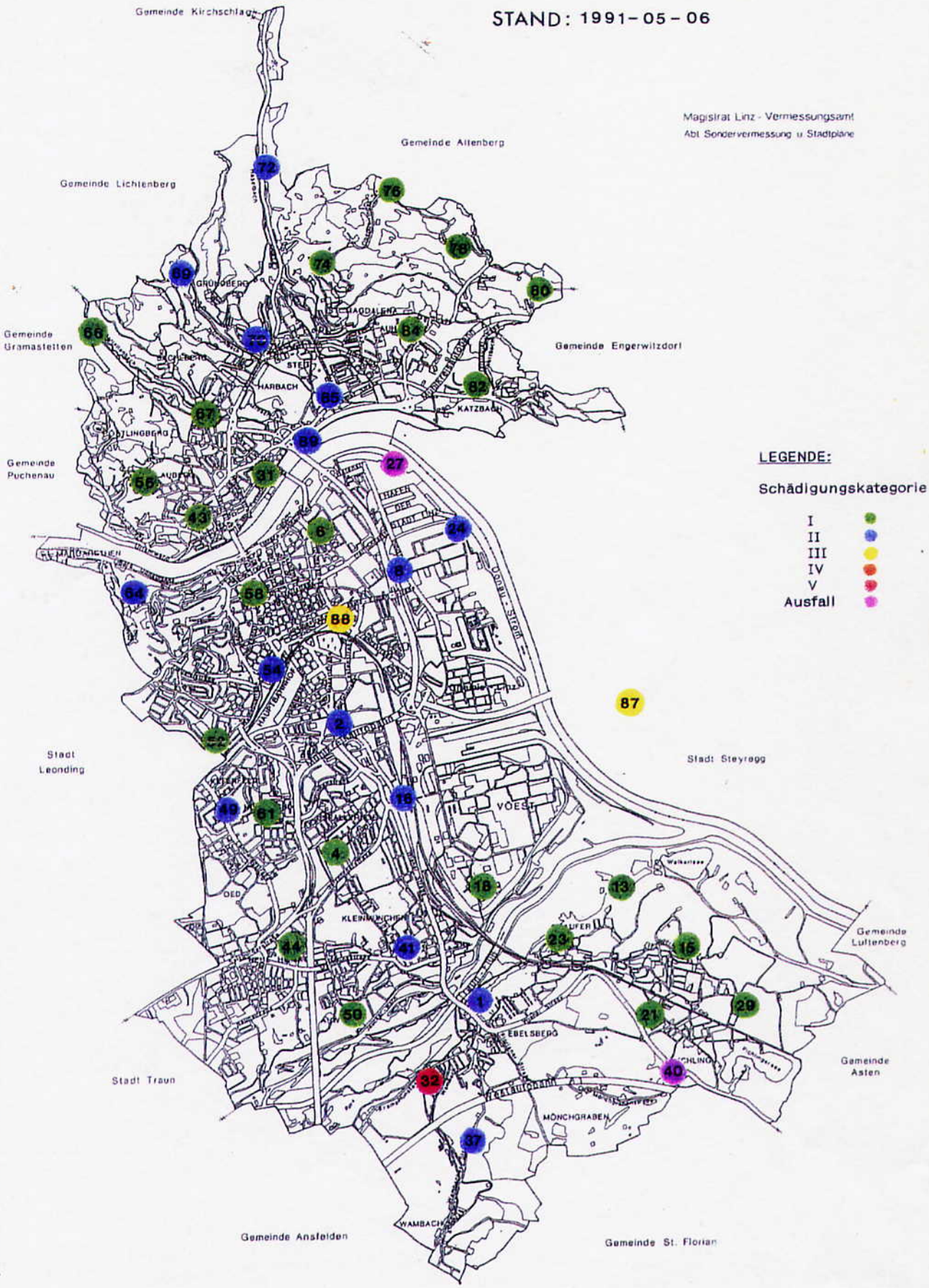


Abb. 15: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im April 1991

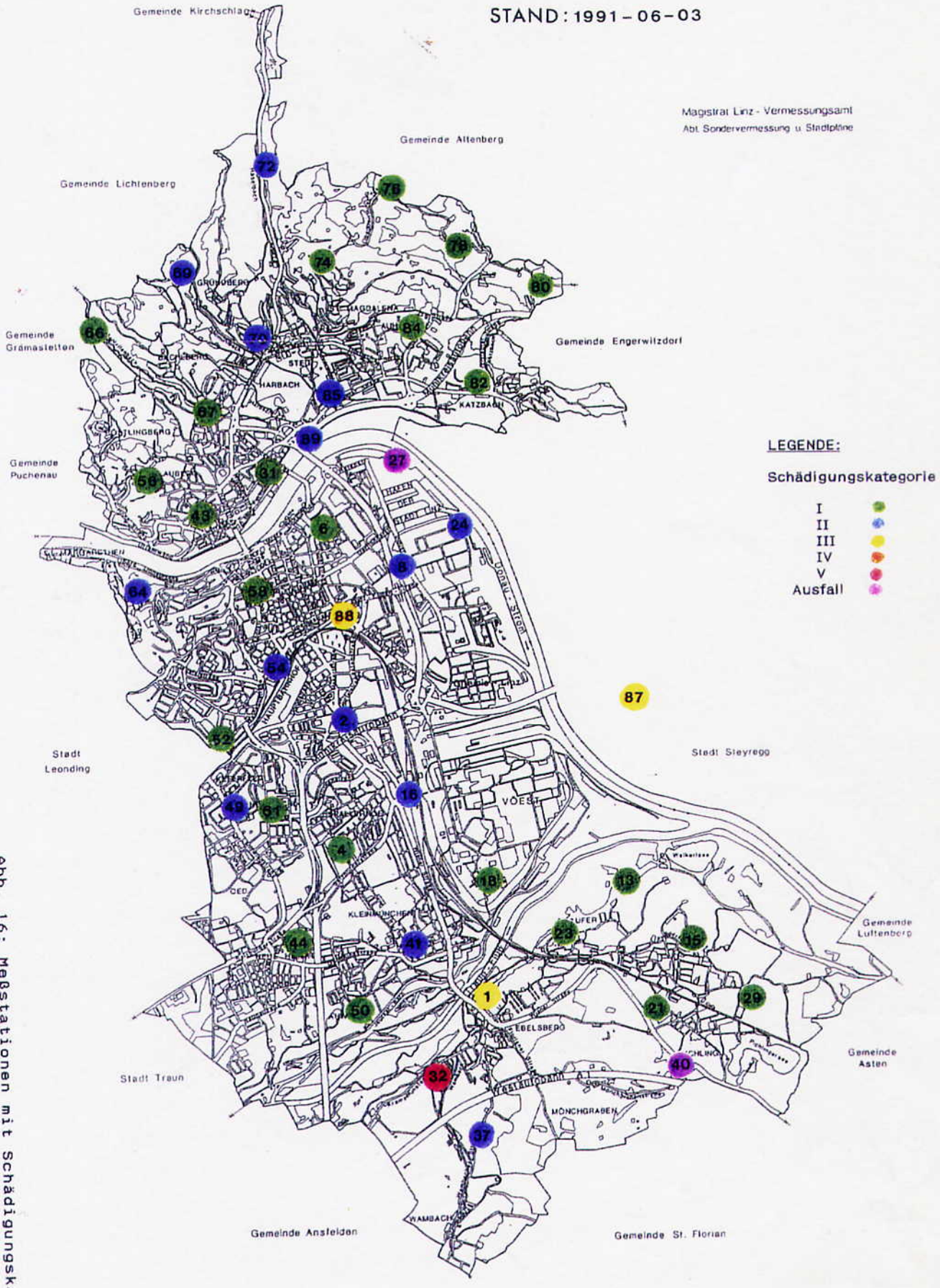


Abb. 16: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im Mai 1991

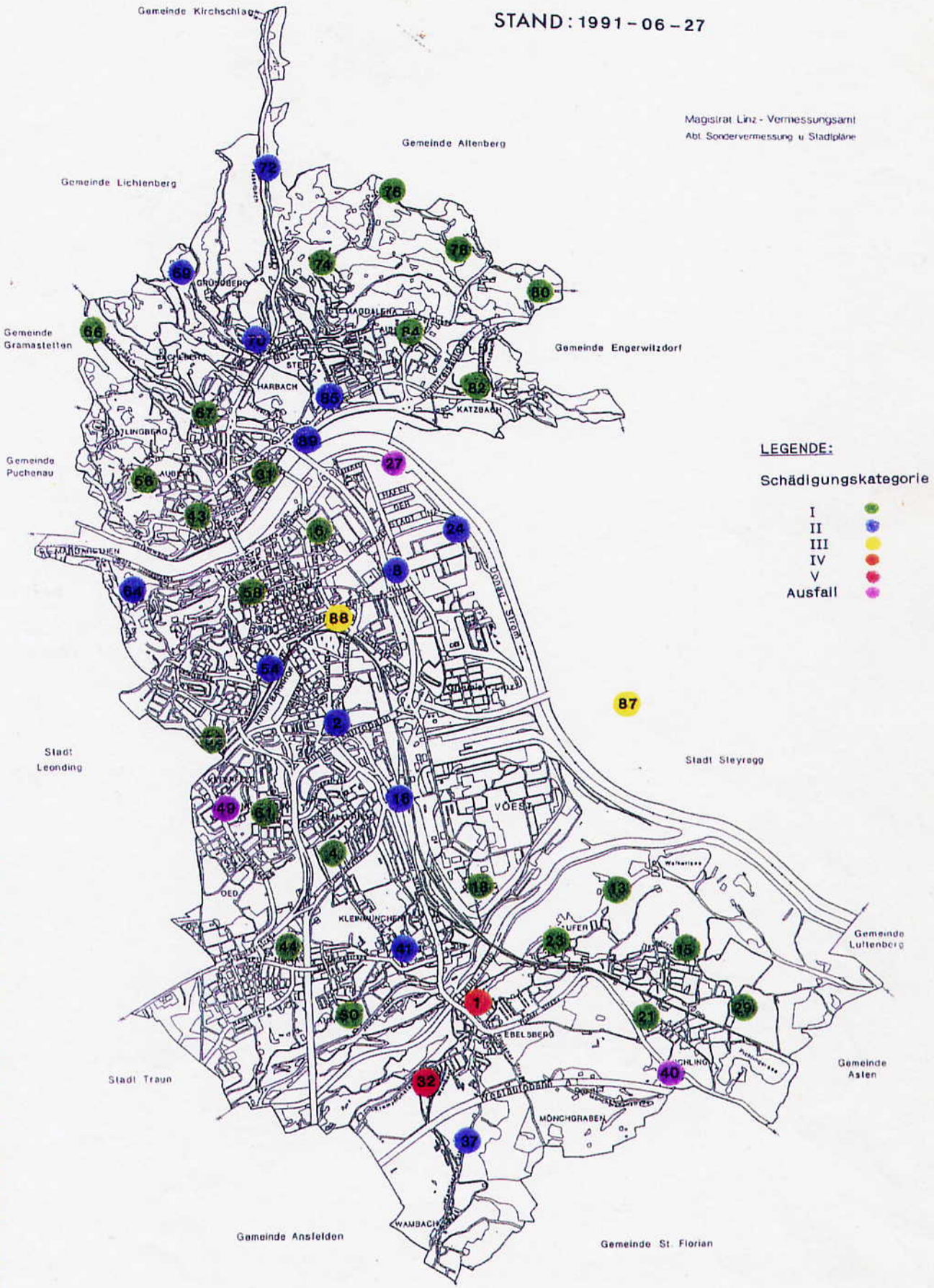


Abb. 12: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im Juni 1991

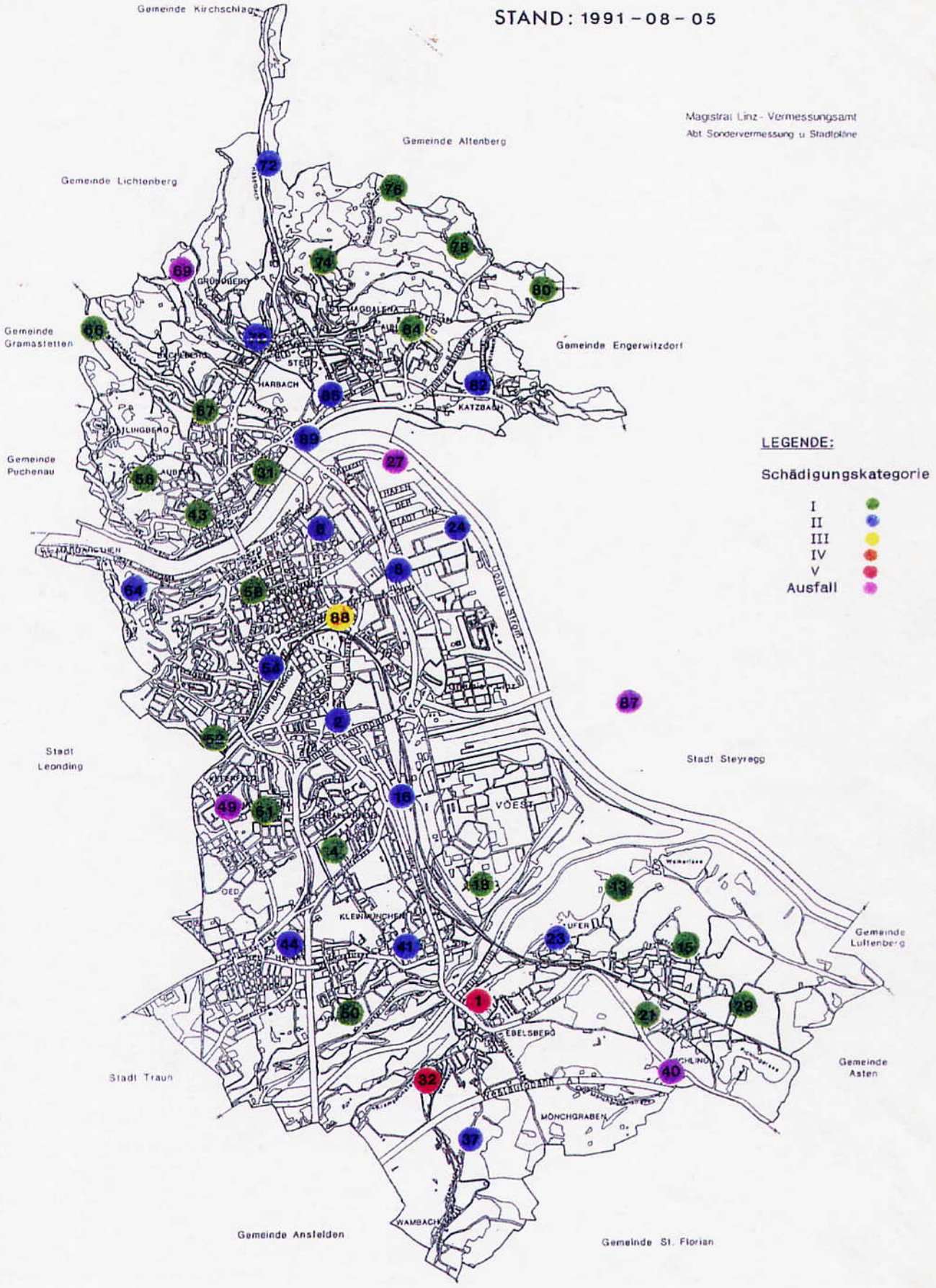


Abb. 18: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im Juli 1991

In den Monaten April und Mai 1991 war das Stadtgebiet gut durchlüftet, da die Anzahl der windstillen Tage gering war. Zudem sorgten die relativ hohen Windgeschwindigkeiten für den raschen Abtransport der Schadstoffe. Die feuchte Witterung förderte die stoffwechselphysiologische Aktivität der Flechten, sodaß sogar Wachstum bzw. Regeneration einiger Flechtenexponate - vor allem im Bereich Urfahr feststellbar war.

Charakteristik der Immissionsbelastung im April, Mai und Juni 1991:

In den Monaten April und Mai 1991 wurden bei den Komponenten SO_2 , H_2S, NO_2 und NO offensichtlich keine flechtenschädigenden Konzentrationen erreicht.

Die Abnahme der Heiztätigkeit wirkte sich auf die SO_2-Werte aus. Wurden im April am ORF-Zentrum noch Maximalwerte bis 101 $\mu g.m^{-3}$ HMW erreicht, sanken diese Werte im Mai auf 66 $\mu g.m^{-3}$ HMW.

Seit Jahresbeginn 1991 wurde eine steigende Tendenz der Staubbelastung im Stadtgebiet festgestellt. Im April wurde der angestrebte Monatsmittelwert-Grenzwert von 210 $mg.m^{-2}.d^{-1}$ an 11 Meßstellen überschritten. Die stärker belasteten Gebiete befanden sich westlich und nordwestlich der Großindustriebetriebe der VÖEST und der Chemie Linz und erreichten an der Meßstation Nr. 2, Landwehrstraße, einen Maximalwert von 547 $mg.m^{-2}.d^{-1}$. Im Mai bot sich ein ähnliches Bild. Daß diese hohe Staubbelastung keine Auswirkungen auf den Flechtenzustand hatte, könnte auf den Niederschlagsreichtum dieser Monate zurückzuführen sein. Die aufgenommenen Schadstoffe wurden durch den oftmalig auftretenden Regen aus den Flechtenthal1i ausgewaschen.

Im Juni 1991 war die Gesamtbelastung durch Luftschadstoffe um einiges höher als in den zwei Monaten zuvor. Bei der Luftprüfstation der 00 Landesregierung beim ORF-Zentrum wurden SO_2-Werte bis 128 $\mu g.m^{-3}$ HMW, beim Ursulinenhof Werte bis 194 $\mu g.m^{-3}$ HMW gemessen. Beim Ursulinenhof befand sich keine Flechtenmeßstation. Steyregg wies erhöhte Werte bei NO_2 mit 234 $\mu g.m^{-3}$ HMW auf. Die Staubbelastung mit Überschreitungen an 19 Stationen war groß. Dennoch konnte kein Anstieg des Schädigungsgrades bei den Flechtenex-

ponaten festgestellt werden. Eine mögliche Erklärung ist in den Witterungsverhältnissen zu suchen (vgl. Tab. 13).

KLIMADATEN		April 1991	Mai 1991	Juni 1991
ORF	Calmen (d)	24	21	22
	Regenmenge (mm)	40,5	73,1	138,6
	Regentage	12	17	18
	Windgeschwindigkeit MMW (m/s)	0,9	1,1	1.0
	max.	2,1	2,0	2,2
STEYREGG	Calmen (d)	11	10	10
	Regenmenge (mm)	43,2	46	/
	Regentage	16	28	/
	Windgeschwindigkeit MMW (m/s)	2,0	2,1	1.9
	max.	5,2	5,2	3,5

Tabelle 13: Klimadaten April, Mai und Juni 1991

Die Anzahl der Regentage war hoch, die durchschnittliche Niederschlagsmenge im Juni erreichte das Zwei- bis Dreifache der Monate April oder Mai.

Bis Ende Juni 1991 konnte man bei 60% der Meßstationen keinen Immissionseinfluß nachweisen, 32% der Exponate wiesen Flechtenschäden der Stufe II auf, 5% der Stufe III.

Von Juli 1991 bis Oktober 1991 kam es zu einem kontinuierlichen Anstieg der Schädigungskategorien der Flechten (vgl. dazu die Abb. 18 - 21).

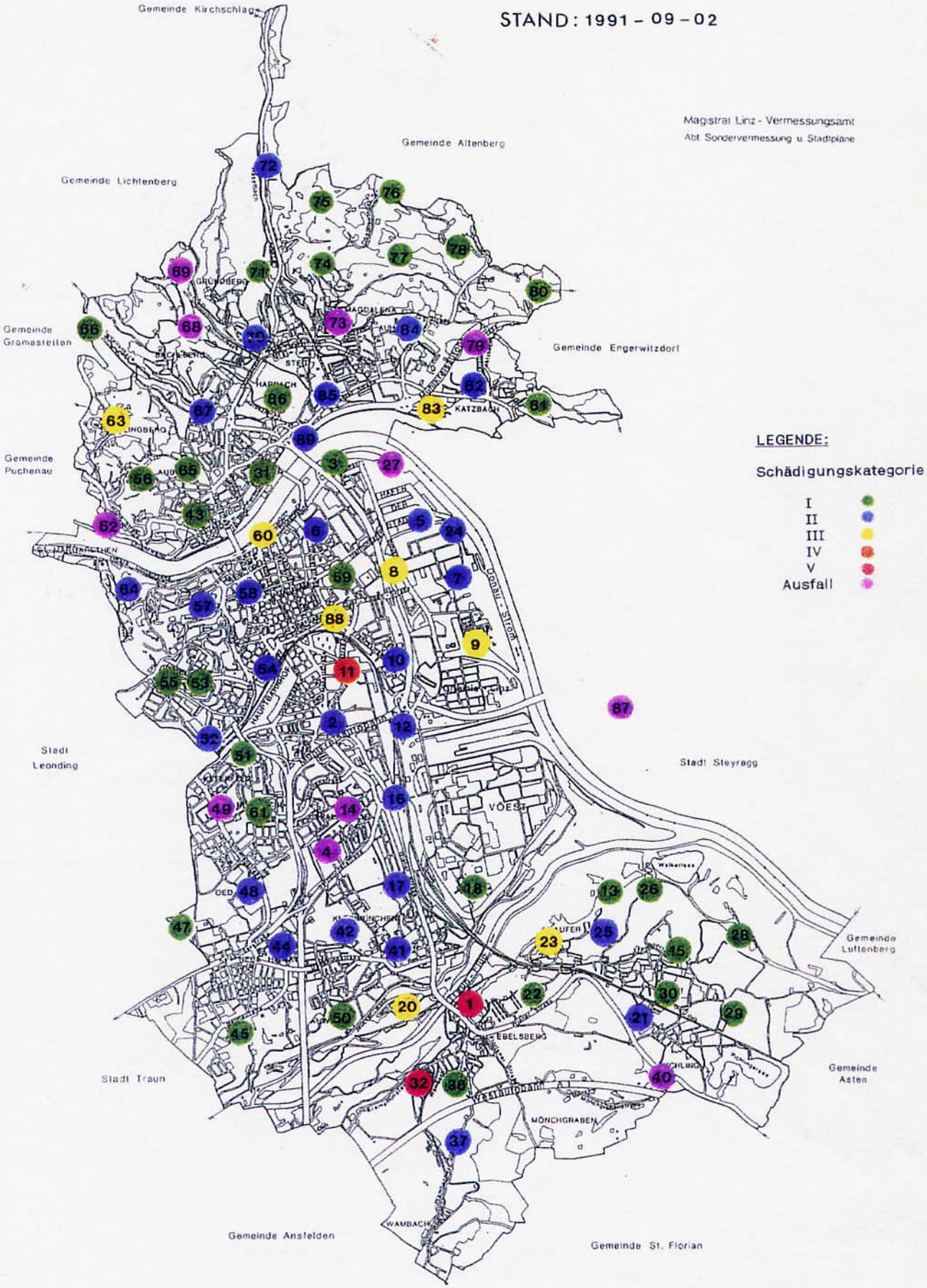


Abb. 12: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im August 1991

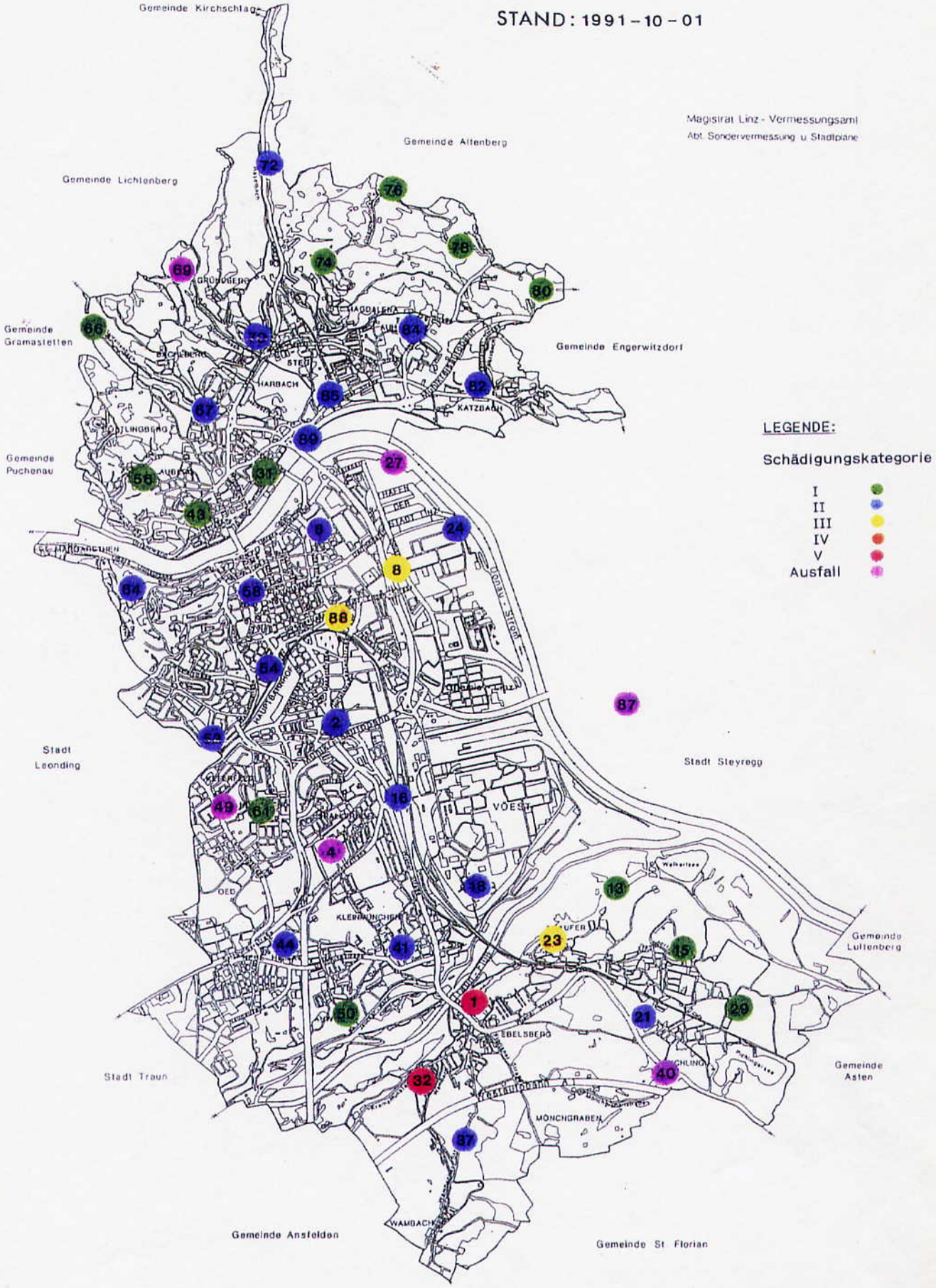


Abb. 20: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im September 1991

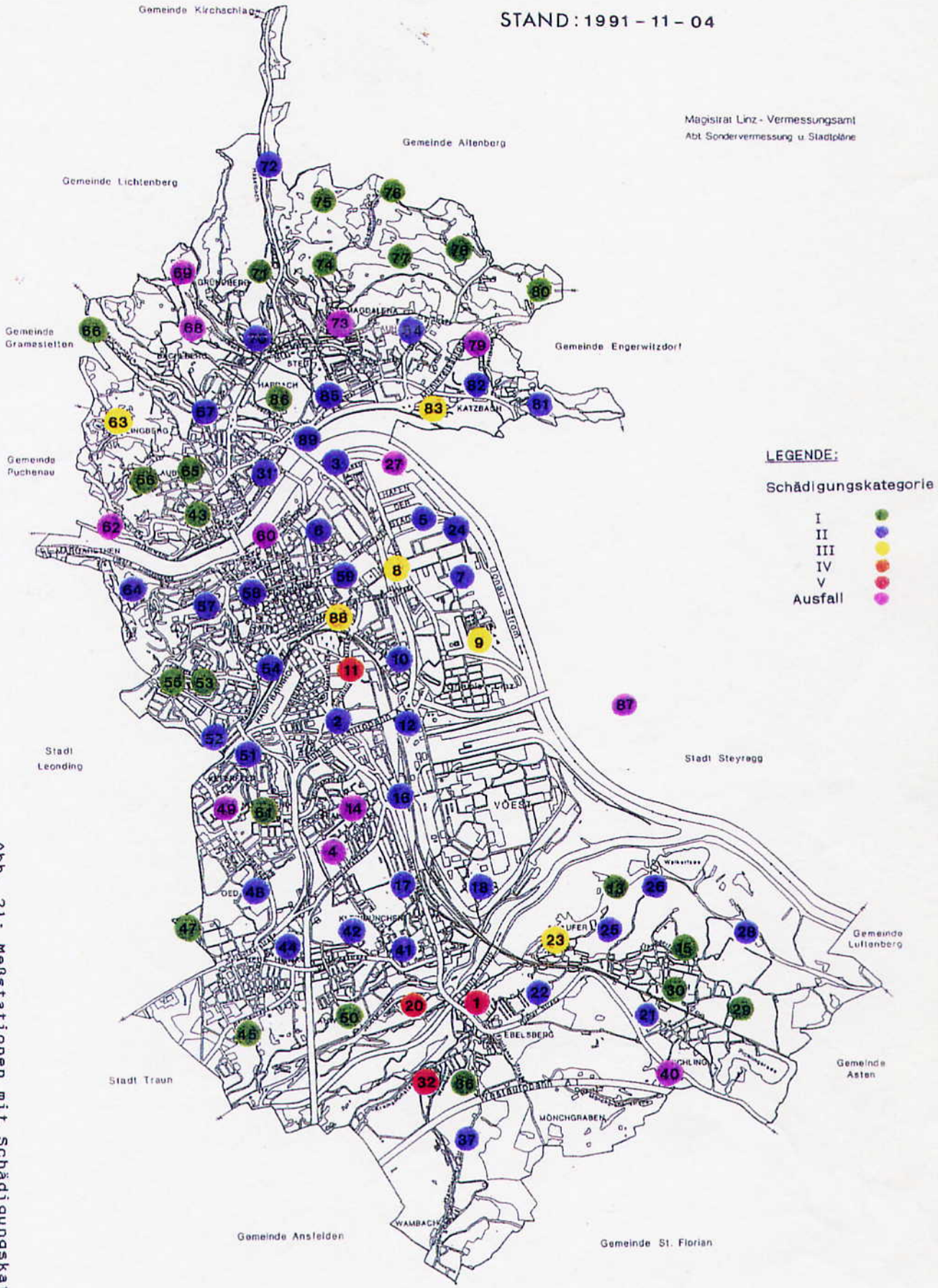


Abb. 21: Meßstationen mit Schädigungskategorie der Flechten im Oktober 1991

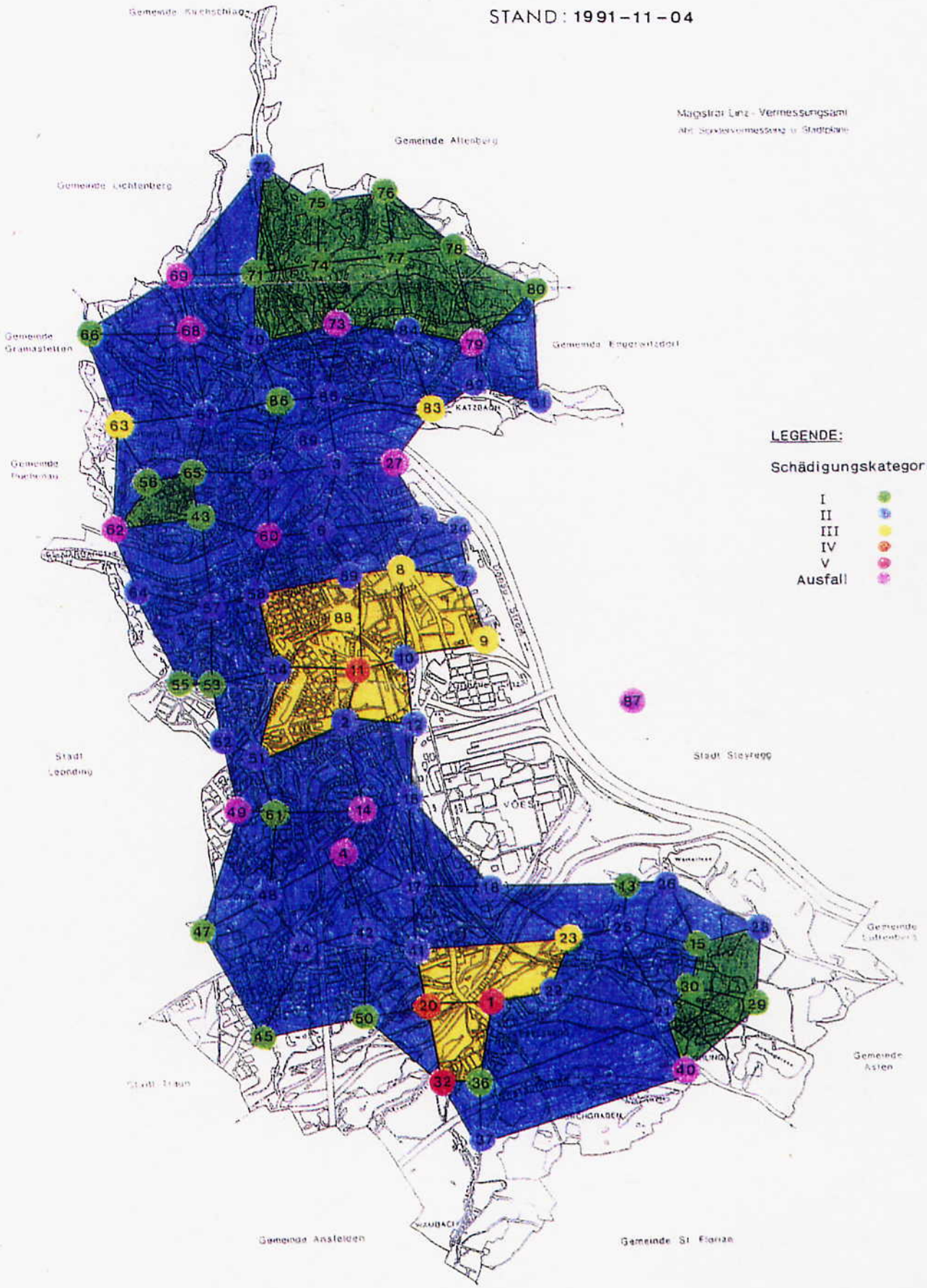


Abb. 23: Flechtenschädigungszonen im Oktober 1991

Am Ende der Expositionszeit anfangs November 1991 wurden infolge mutwilliger Zerstörung und natürlichem Ausfalles nur noch 69 Meßstationen in die Wertung einbezogen. Ein Drittel der Exponate zeigte keine Schädigung, 53% lagen in der Schädigungskategorie II, 8% in der Stufe III, 3% in der Stufe IV und die Flechten der Station Nr. 1, Panholzerweg, wiesen Totalschädigung auf.

Im Vergleich zu den vorhergegangenen Monaten verzeichnete man im Juli und im August weit höhere Niederschlagsmengen, die allerdings auf weniger Regentage verteilt waren. Die Werte für die relative Luftfeuchte blieben hoch. Die Anzahl der Calmen, aufgezeichnet an den Meßstellen der Innenstadt, ORF-Zentrum, Nr. 88 und 24er-Turm, Nr. 89, war mit 25 bis 28 extrem hoch und selbst in Steyregg registrierte man im August noch 20 windstille Tage (vgl. Tab. 14). Durch die relativ feuchte Witterung in diesen zwei Monaten wurde die stoffwechselphysiologische Aktivität der Flechten und somit die Schadstoffwirksamkeit gefördert.

KLIMADATEN		Juli 1991	August 1991
ORT	Calmen (d)	25	28
24er-TURM	Calmen (d)	28	28
STEYREGG	Calmen (d)	11	20
	Regenmenge (mm)	160,7	245,6
	Regentage	9	13
	Relative Feuchte (%)	79,8	80,2

Tabelle 14: Klimadaten Juli und August 1991

Charakteristik der Immissionsbelastung im Juli und August 1991:

In Steyregg wurden im Juli sowohl erhöhte NO_2-Werte, 291 $\mu g.m^{-3}$ HMW, als auch erhöhte NO-Werte, 521 $\mu g.m^{-3}$ HMW, gemessen. In der Stadt kam es beim Ursulinenhof zu einer Grenzwertüberschreitung bei den $S0_2$-Werten mit 247 $\mu g.m^{-3}$ HMW.

Im August nahm die Schadstoffbelastung der Luft weiter zu. Obwohl die S02~Werte unterhalb des Grenzwertes blieben, wurde der HMW-Grenzwert von 20 $\mu g.m^{-3}$ für H_2S am ORF-Zentrum und in Steyregg überschritten. Am ORF-Zentrum wurden 36 $\mu g.m^{-3}$ HMW für H_2S gemessen, in Steyregg 21 $\mu g.m^{-3}$ HMW. Die $N0_2$-Werte waren sowohl beim 24er-Turm mit 246 $\mu g.m^{-3}$ HMW und in Steyregg mit 235 $\mu g.m^{-3}$ HMW erhöht.
Auch die Staubbelastung stieg im Juli weiter an. An 35 Meßstationen wurde der MMW-Grenzwert zum Teil ganz erheblich überschritten.

Im August ließ die Staubbelastung merklich nach. Man registrierte aber eine Grenzwertüberschreitung noch an 14 Meßstellen.

Die Belastungsschwerpunkte mit einem Immissionseinfluß im Schädigungsbereich für sehr empfindliche, winteraktive Pflanzen, Schädigungskategorie III, und darüber, lagen im Raum ORF-Zentrum, Nr. 88 und Nr. 11, im Bereich Industriezeile, Nr. 8 und Nr. 9, in einem Teilbereich von Ebelsberg, Nr. 1, Nr. 20 und Nr. 23 und weiters auf dem Pöstlingberg, Nr. 63 und die Further Straße, Nr. 83.

Die Station Nr. 11, Spedition Schöffl, fiel wie die Nr. 88 in den Immissionsbereich einer Kaffeerösterei und war zusätzlich durch hohe Staubniederschlagsmengen beeinträchtigt. Die Flechten zeigten Schäden der Stufe IV. Die Meßstellen Nr. 8 und Nr. 9, Fa. Panuli und Shell-Tanklager, lagen nördlich der Linzer Großindustriebetriebe und waren in den Sommermonaten ebenfalls durch starken Staubanflug belastet. Die hohen Schädigungsraten in Ebelsberg finden keine Erklärung durch die Meßergebnisse der registrierten Luftschadstoffe. Die Staubbelastung war gering, der Grenzwert wurde in all den Monaten nur an einer Station (Nr. 20) einmal knapp überschritten. Die Ursache für die höchste Schädigungsrate der Flechtenexponate im ganzen Linzer Stadtgebiet dürfte bei zwei Lokalemittenten zu suchen sein, einem PVC-verarbeitenden Betrieb und einer Lackiererei, die große Mengen an organischen Lösungsmitteln verwendet.

Der September und besonders der Oktober 1991 waren extrem niederschlagsarm. Die relative Luftfeuchte blieb aber weiterhin hoch. Die Anzahl der windstillen

Tage nahm ab, dafür traten vermehrt Föhnwetterlagen und E-Winde auf.

Charakteristik der Immissionsbelastung im September und Oktober 1991:

In Steyregg konnten im September Grenzwertüberschreitungen bei H_2S (27 $\mu g.m^{-3}$ HMW), NO (956 $\mu g.m^{-3}$ HMW) und bei NO_2 (584 $\mu g.m^{-3}$ HMW) gemessen werden. Am ORF-Zentrum lagen die SO_2-Werte (272 $\mu g.m^{-3}$ HMW) über dem Grenzwert, beim 24er-Turm waren die NO- und die NO_2-Werte erhöht. Im Oktober blieben alle Werte der genannten Schadstoffkomponenten unter den amtlich festgesetzten Grenzwerten, konnten aber als erhöht eingestuft werden. Die Staubniederschlagsmengen an jeweils 14 bzw. 17 Meßstellen erreichten teilweise Spitzenwerte, so z.B. die an den Stationen Nr. 14, Hausleitnerweg, mit 824 $mg.m^{-2}.d^{-1}$ und Nr. 6, Holzstraße, mit 612 $mg.m^{-2}.d^{-1}$. Selbst in den lufthygienisch günstigen Stadtgebieten im Westen und Norden konnten vor allem im Oktober noch Grenzwertüberschreitungen festgestellt werden. Als Beispiele dienen die Meßstellen Nr. 53, Hugo-Wolf-Straße mit 265 $mg.m^{-2}.d^{-1}$, Nr. 56, Dannerweg, mit 434 $mg.m^{-2}.d^{-1}$ und Nr. 78, Elmberg, mit 335

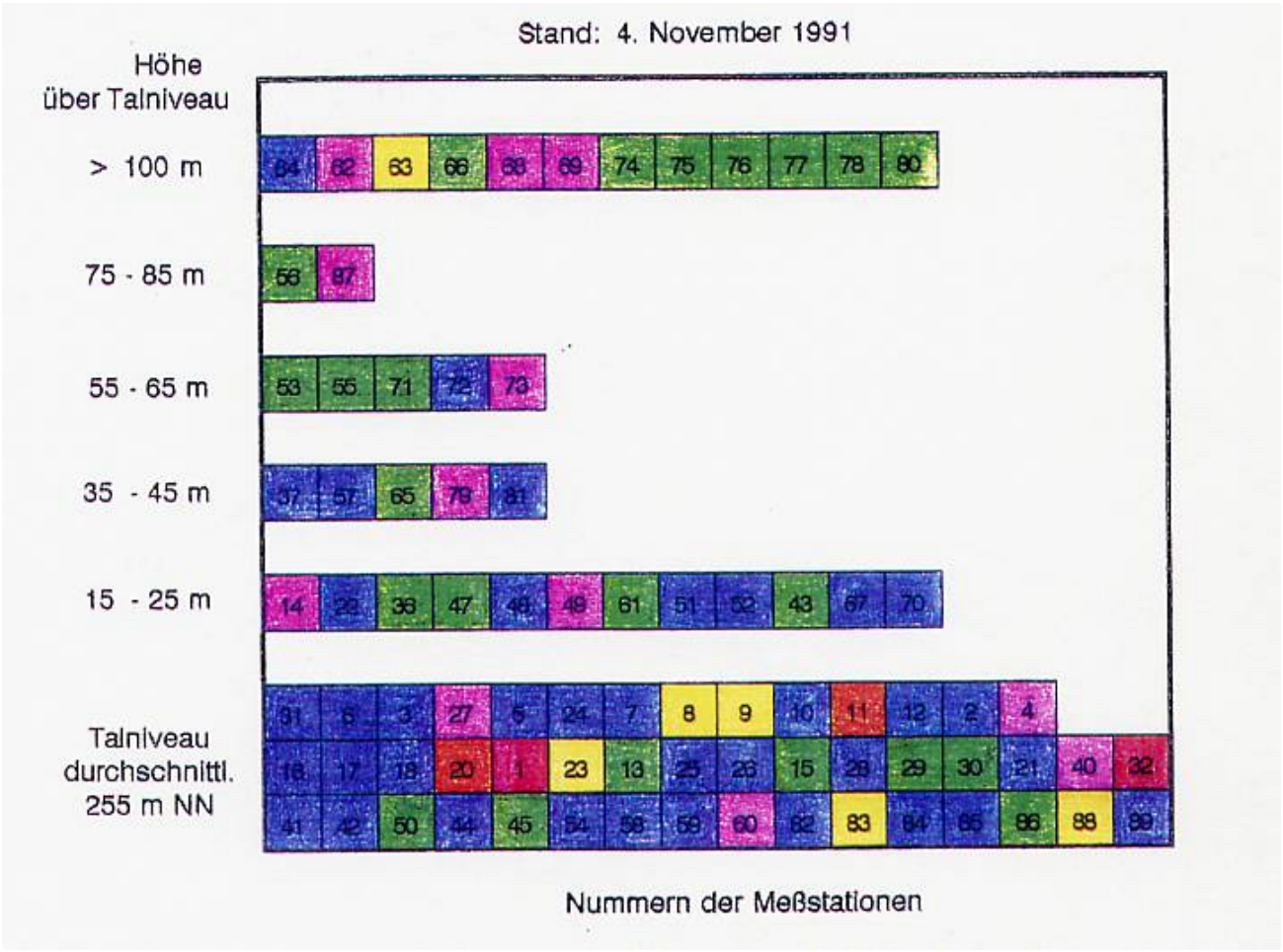
Die Belastungszonen der Stufe III und darüber blieben im Oktober gleich wie im August, doch stieg der Schädigungsgrad noch an 9 Meßstellen von der Stufe I auf die Stufe II. Diese Stationen lagen vor allem im Bereich des Stadtzentrums und im Raum Ebelsberg und Pichling (vgl. Abb. 19 und 21).

Die unbelasteten oder wenig belasteten Gebiete lagen im W und im N der Stadt, sowie in Pichling im SE. Bei einigen Meßstationen war der positive Einfluß eines günstigen Lokalklimas erkennbar. Die Flechten dieser Stationen in Gärten, Schulhöfen, Parks und in Bereichen von Grünflächen blieben ungeschädigt. Beispiele dafür sind die Stationen Nr. 36 (Pergheimerweg) , Nr. 45 (Neubauzeile), Nr. 53 (Hugo-Wolf-Straße), Nr. 55 (Koppelweg), Nr. 61 (Koref-Schule) und Nr. 86 (Wasserwerk Heilham).

Zudem besteht offensichtlich ein Zusammenhang zwischen der Höhenlage der Stationen und der Schädigungskategorie der Flechtenexponate (Abb. 22).

Abb. 22:

Zusammenhang Höhenlage der Stationen - Schädigungskategorie



Aus der Abb. 22 ist ersichtlich, daß sich alle Exponate mit höheren Schädigungsgraden auf Talniveau befinden, mit Ausnahme der Station Nr. 63 auf dem Pöstlingberg. Da die Schädigung bereits im März erfolgte, kann das Ergebnis dieser Station nicht für das Sommerhalbjahr berücksichtigt werden. Verantwortlich für die Schädigungen an den transplantierten Flechten war somit der Schadstofftransport in den unteren Luftschichten.

In Abb. 23 ist die räumliche Analyse der Verteilung der Flechtenschädigung im Oktober 1991 als Vergleich der Rasterflächen dargestellt. Die unterschiedlich belasteten Gebiete und vor allem die zwei Belastungszonen der Stufe III sind deutlich erkennbar.

NUMMER der MEßSTELLE				FLECHTENSCHÄDIGUNGSKATEGORIE							
NR.	DEZ 1990	JAN 1991	FEB 1991	MÄRZ 1991	APRIL 1991	MAI 1991	JUNI 1991	JULI 1991	AUG 1991	SEP 1991	OKT 1991
29	I	I	I	I	I	I	I	**I**	**I**	**I**	I
30				I					**I**		I
21	I	I	I	I	I	I	I	**I**	**II**	**II**	II
40	I	I	I	I	Ausfall						
36				I					**I**		**I**
37	I	I	II	II	II	II	II	**II**	**II**	**II**	**II**
32	III	IV	V	V	V	V	V	**V**	**V**	**V**	**V**
41	I	**I**	I	II	II	II	II	II	**II**	**II**	**II**
42				I					**II**		II
50	I	**I**	I	I	I	I	I	I	I	**I**	I
44	I	**I**	I	I	I	I	I	II	II	**II**	II
45				I					I		I
47				I					I		I
48				II					II		II
49	I	**I**	I	II	II	II	Ausfall				
61	I	I	I	I	I	I	I	I	I	**I**	I
51				I					I		II
52	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II
53				I					I		I
54	I	I	I	II	II	II	II	II	II	II	II
55				I					I		I
64	I	I	II	II	II	II	II	II	II	II	II
57				II					II		II
58	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II
59				I					I		II
60				II					III		Ausfall
43	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

NUMMER der MEßSTELLE				FLECKTENSCHÄDIGUNGSKATEGORIE							
NR.	DEZ 1990	JAN 1991	FEB 1991	MÄRZ 1991	APRIL 1991	MAI 1991	JUNI 1991	JULI 1991	AUG 1991	SEP 1991	OKT 1991
62				I					Ausfall		
63				III					III		III
56	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
65				I					I		I
66	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
67	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II
68				II					Ausfall		
69	I	I	I	II	II	II	II	Ausfall			
70	I	I	I	II	II	II	II	II	II	II	II
71				I					I		I
72	I	I	I	II	II	II	II	II	II	II	II
73				I					Ausfall		
74	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
75				I					I		I
76	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
77				I					I		I
78	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
79				II					Ausfall		
80	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
81				I					I		II
82	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II	II
83				III					III		III
84	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II
85	I	I	I	I	II	II	II	II	II	II	II
86				I					I		I
87	I	I	II	III	III	III	III	Ausfall			
88	I	I	II	III	III	III	III	III	III	III	III
89	I	I	II	II	II	II	II	II	II	II	II

Aus Tabelle 15 sind die Auswertungen für den gesamten Meßzeitraum Dezember 1990 bis Oktober 1991 ersichtlich. Sie zeigt die monatliche Entwicklung des Zustandes der Flechtenproben und die sich daraus ergebende Schädigungskategorie jeder einzelnen Meßstation.

4-2 Chlorophyllmessung

Beginnend mit Jänner 1991 wurden an den folgenden 5 Meßstellen in Linz Flechtensäckchen für die Untersuchung des Chlorophyllgehalts der Flechtenproben für die Dauer von jeweils einem Monat exponiert.

Nr.	Lage der Meßstation
29	Traundorferstraße/Schwaigaustraße
78	Elmberg
87	Steyregg
88	ORF-Zentrum
89	24er-Turm

In Tabelle 16 sind die Meßergebnisse für die Monate Jänner 1991 - Oktober 1991 zusammengefaßt. Die Prozentwerte beziehen sich jeweils auf eine nicht exponierte Vergleichsprobe, deren Chlorophyll- bzw. Carotinoidwerte mit 100% festgelegt wurden.

Tabelle 16: Chlorophyll- bzw. Carotinoidwerte für den Zeitraum Jänner 1991 - Oktober 1991

Nummer der Meßstellen		MESSZEITRAUM									
		JAN 1991	FEB 1991	MÄRZ 1991	APRIL 1991	MAI 1991	JUNI 1991	JULI 1991	AUG 1991	SEP 1991	OKT 1991
29	%Chlorophyjl a	73	73	95	92	143	64	86	49	27	62
	%Chlorophyil b	103	80	91	87	123	63	82	50	25	84
	%Carotinoide	124	86	89	85	106	72	83	50	22	85
78	%Chlorophyjl a	82	83	88	77	119	119	86	45	23	71
	%Chlorophyil b	105	91	86	73	113	112	84	46	26	70
	%Carotinoide	112	96	84	73	102	107	84	41	24	72
87	%Chlorophyjl a	66	95	74	106	109	76	127	33	19	80
	%Chlorophyil b	80	89	68	98	100	76	112	34	20	70
	%Carotinoide	86	91	69	97	83	75	91	36	26	67
88	%Chlorophyjl a	95	85	71	92	145	92	88	61	21	52
	%Chlorophyil b	100	86	75	89	132	92	92	61	23	48
	%Carotinoide	97	94	65	81	113	89	82	59	23	51
89	%Chlorophyjl a	53	79	90	82	101	65	66	43	24	54
	%Chlorophyil b	76	80	81	79	102	68	68	46	30	58
	%Carotinoide	95	97	82	79	87	66	66	44	25	64

Die Ergebnisse der Chlorophyllgehaltsmessungen korrelierten mit den gemessenen Schadstoffkonzentrationen diverser Meßstellen. Die %-Werte des Chlorophyll b und der Carotinoide der Jännermeßreihe pendelten um den Vergleichswert, nur die Chlorophyll a-Werte lagen immer unter 100%. Im Februar und März lagen alle gemessenen Werte unterhalb der Werte der Kontrollprobe. Die Flechtenproben der Stationen Steyregg (87) und ORF-Zentrum (88) wiesen vor allem im März stark verringerte Pigmentgehalte auf. Dies stimmt mit unseren Beobachtungen bei den Flechtentafeln überein, da gerade im März an diesen beiden Standorten eine Verschlechterung des Zustands der Flechtenthall1i registriert wurde. Für beide Stationen wurde noch im Februar Schädigungskategorie II ermittelt, Ende März zeigten die Flechten bereits Schädigungen, die der Schädigungskategorie III entsprachen.

In den Monaten April, Mai und teilweise noch im Juni 1991 pendelten die %-Werte der Photosynthesepigmente um die Ausgangswerte der Kontrollflechten. Mit dem Einsetzen der sommerlichen Staubbelastung, den hohen SO_2- und H_2S-Werten sank der Pigmentgehalt des Flechtenmaterials. In den Monaten August und September wurden die Grenzwerte für H_2S und SO_2 am öftesten überschritten, wie z.B. in Steyregg und beim ORF. In diesen zwei Monaten war der Chlorophyll-verlust der Flechten in den Gaze-Säckchen schon mit dem freien Auge sichtbar. Die Enden der Thallusloben waren stark ausgebleicht.

Im Oktober 1991 lagen die Pigmentgehalte wieder etwas höher, waren aber besonders an den Meßstellen der Innenstadt, Nr. 88 und Nr. 89, noch immer sehr gering.

Neben den Absolutwerten an Chlorophyll a, Chlorophyll b und Carotinoiden wurde auch das a/b-Verhältnis ermittelt (Tab. 17).

NUMMER DER MEßSTELLE	a/b-Verhältnis									
	JAN 1991	FEB 1991	MÄRZ 1991	APRIL 1991	MAI 1991	JUNI 1991	JULI 1991	AUG 1991	SEP 1991	OKT 1991
Kontrolle	3,36	2,44	2,65	2,65	2,74	2,72	2,73	2,74	2,70	2,70
29	2,37	2,21	2,77	2,80	3,18	2,58	2,87	2,73	2,95	2,65
78	2,63	2,22	2,73	2,80	2,90	2,92	2,80	2,69	2,38	2,72
87	2,75	2,59	2,88	2,89	3,01	2,73	3,11	2,67	2,62	3,09
88	3,18	2,40	2,50	2,74	3,02	2,75	2,63	2,74	2,55	2,92
89	2,34	2,40	2,95	2,75	2,71	2,61	2,66	2,54	2,16	2,50

Tab. 17: a/b-Verhältnisse Jänner 1991 - Oktober 1991

Sowohl im Jänner als auch im Februar waren die Werte gegenüber jener der Kontrollprobe vermindert. Nur im März überstiegen die Werte mit Ausnahme des Wertes von Meßstelle 88 (ORF-Zentrum) den Vergleichswert. Ab April ließ sich keine Korrelation zwischen a/b-Verhältnis und Schadstoffbelastung mehr feststellen.

5. DISKUSSION

In Linz wird die Luftqualität schon seit Jahrzehnten mit Hilfe des Bioindikators Flechte untersucht. Nach BORTENSCHLAGER & SCHMIDT (1963) sowie HOISLBAUER (1979) wurde zuletzt von TÜRK et al. (1989) die Flechtenvegetation im Linzer Zentralraum erfaßt, und damit wurden entsprechende Rückschlüsse auf die aktuelle Luftgüte ermöglicht.

Neben der sicher in Österreich einzigartigen Agglomeration industrieller Großbetriebe und der damit einhergehenden Umweltbelastung trägt auch die spezielle topographische Lage der Stadt Linz dazu bei, daß die lufthygienische Situation trotz massiver Verbesserungsmaßnahmen im letzten Jahrzehnt auch weiterhin als angespannt bezeichnet werden muß.

Das größte Problem ist, daß gerade in Industriegebieten eine Vielzahl verschiedenster Luftschadstoffkomponenten auf die Umwelt einwirkt. Es kann zwar die Wirkung einer Einzelkomponente auf den pflanzlichen Organismus unter Laborbedingungen genau untersucht werden, im Freilandexperiment sind jedoch additive und synergistische Phänomene, die in der Praxis kaum vollständig erfaßbar sind, für die Schädigung entscheidend.

Es ist aus einer Fülle von Arbeiten bekannt, daß saure Luftschadstoffkomponenten - und hier wiederum vor allem das SO2 - eine schädigende Wirkung auf die Flechtenvegetation ausüben können.

Das Ausmaß der Schädigung eines Flechtenthallus durch SO2- Einwirkung hängt von vielen Faktoren ab. Ein wesentlicher Aspekt ist der Wasserzustand der Thalli. Mit steigendem Wassergehalt nimmt auch die SO2-Aufnähme durch den Thallus und die damit verbundene Schädigung zu; vollkommen trockene Flechten nehmen z. B. kein SO2 auf und bleiben daher ungeschädigt (TÜRK & WIRTH 1974).

Im Herbst kommt es bei zunehmender SO2-Belastung durch den Hausbrand gleichzeitig zu einer höheren Stoffwechselaktivität der Flechten aufgrund der günstigen Feuchtigkeitsverhältnisse. Dabei ist auch zu beachten, daß starke Regenfälle einen durchaus

positiven Effekt erzielen können. TÜRK et al . (1974) nehmen an, daß bei Flechtenthal1i, die mit tropfbarem Wasser befeuchtet werden, die Diffusion von SO_2 zu den empfindlichen Algenschichten verlangsamt ist und/ oder daß die SO_2-Konzentration durch den hohen Wassergehalt gesenkt und somit die schädigende Wirkung des SO_2 vermindert ist.

Hohe Niederschlagsraten können die schädigende Wirkung von Schadgasen verringern (TÜRK & ZIEGELBERGER 1982). Dieses Phänomen dürfte vor allem im Juni 1991 zum Tragen gekommen sein, da die $_{SO2}$-Werte an einigen Meßstellen (ORF-Zentrum, Ursulinenhof) relativ hoch waren, es aber zu keiner sichtbaren Schädigung der Flechten gekommen war.

Im Oktober 1990 werden hingegen zwischen 9. und 26. d. M. keine Regenfälle registriert. Die jahreszeitlich bedingte erhöhte Luftfeuchtigkeit mit häufiger Nebel- und Taubildung fördert die physiologische Aktivität der Flechten, die positiven Effekte starker Niederschläge bleiben hingegen aus. Auch dies könnte eine Erklärung für den schlechten Zustand der Flechtenexponate im Oktober und November 1990 sein.

Die Wintermonate Dezember 1990 - Februar 1991 sind im Vergleich zum Oktober 1990 kalt und trocken. Die Stoffwechselaktivität der Flechten ist vermindert, die S02-Aufnahme trotz verstärktem Hausbrand geringer. In diesen Monaten wird auch nur eine geringe Verschlechterung im Zustand der Flechtenthalli beobachtet. Im März 1991 sind die Temperaturen bereits wieder wesentlich höher, verbunden mit einer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit. Dies aktiviert den Stoffwechsel der Thalli und damit auch die Schadstoff auf nähme . Ein deutlicher Hinweis darauf ist, daß im März 1991 erstmals einige Flechtenexponate Schädigungen der Kategorie III zeigen.

Bei Untersuchungen an Flechtentransplantaten zur Indikation der SO2-Belastung zeigt sich, daß bei zunehmender SO2-Einwirkung Chlorophyllgehalt, pH-Wert und Biomassezuwachs abnehmen, während der Schwefelgehalt der Thalli ansteigt (TÜRK & CHRIST 1980).

Nach HAWKSWORTH & ROSE (1970) bilden sich bei einer durchschnittlichen SO_2-Belastung von über 150 $\mu g.m^{-3}$ flechtenlose Zonen ("Flechtenwüste"). In Frankfurt am

Main entsteht die Flechtenwüste in jenen Gebieten, die eine mittlere SO_2-Belastung von über 110 $\mu g.m^{-3}$ aufweisen (KIRSCHBAUM 1981). *Hypogymnia physodes* kommt bereits in Gebieten mit einer jährlichen Durchschnittsbelastung von über 70 $\mu g.m^{-3}$ SO_2 nicht mehr vor (HAWKSWORTH & ROSE 1970).

In Linz werden die amtlich festgelegten Grenzwerte für die SO_2-Belastung zwar nur fallweise überschritten, es genügen jedoch Halbstunden- und Tagesmittelwerte von über 100 $\mu g.m^{-3}$, um SO_2-bedingte Schadbilder an den Flechtenexponaten hervorzurufen (TÜRK et al. 1989). Da Werte dieser Größenordnung relativ häufig in Linz erreicht werden, liegt die Annahme nahe, daß der Stressor SO_2 schon zum großen Teil die transplantierten Flechten schädigt.

Die amtlich festgelegten Grenzwerte sind für das Vorkommen und den Zustand der Flechten nicht von Bedeutung. Diese Grenzwerte werden fast ausschließlich in Hinblick auf Vermeidung einer gesundheitlichen Gefährdung des Menschen durch den jeweiligen Luftschadstoff festgelegt. Flechten tragen jedoch bereits bei viel geringeren Schadstoffkonzentrationen Schäden davon.

Ein großes Problem für die lufthygienische Situation in Linz stellen die Stickoxide dar. Zu den normalerweise in unmittelbarer Nähe von stark befahrenen Straßenzügen gemessenen NOx-Hochstwerten kommen in Linz noch massive Emissionen aus dem industriellen Bereich. Nach RADUNSKY (1988) weist Steyregg mit 620 ppb (1.200 $\mu g.m^{-3}$) NO_2-Halbstundenmittelwert österreichweit den höchsten Wert auf, die höchsten durch KFZ-Verkehr verursachten NO_2-HMW liegen in Österreich im Bereich von rund 300 - 950

Der Jahresgang von NO zeigt ein Maximum von November bis Jänner, jener von NO_2 ein Maximum in den Monaten Oktober bis März. Das Minimum fällt jeweils in die Sommermonate (RADUNSKY 1988). Im Linzer Zentralraum werden jedoch aufgrund der Emissionen der Großindustrie das ganze Jahr über sehr hohe Belastungen durch NO und NO_2 registriert. Grenzwertüberschreitungen sowohl bei den NO- als auch den NO_2-HMW sind vor allem an der Meßstelle Steyregg keine Seltenheit. Steyregg dürfte bezüglich der Kurzzeitbelastung durch

Stickoxide zu den am stärksten belasteten Orten Österreichs gehören (RADUNSKY 1988).

Offensichtlich sind neben den Emissionen der Großindustrie auch die KFZ-Abgase ein Grund dafür, daß sich die Zone der Schädigungskategorie II westlich der Industriezone entlang der stark befahrenen Wiener Straße bis Ebelsberg erstreckt.

Die Stickoxide nehmen eine Sonderstellung unter den Primärluftschadstoffen ein. Sie fördern massiv die Ozonbildung in den bodennahen Luftschichten, spielen beim Stickstoffeintrag in die Ökosysteme eine wesentliche Rolle und wirken sich primär in Ballungsräumen nachteilig auf alle Lebewesen aus (PUXBAUM 1990).

Hinsichtlich einer weiteren Schadstoffkomponente, dem Staub, stellt Linz einen Sonderfall dar. Die Ursache für die extrem hohe Staubniederschlagsbelastung im Linzer Raum liegt im wesentlichen in den beiden wichtigsten Industriebereichen Düngemittelherstellung und Stahlproduktion, die einerseits große Mengen an NH_3 und andererseits an SO_2 emittieren. Beim Zusammentreffen dieser basischen und sauren Luftschadstoffkomponenten kann unter bestimmten Wetterbedingungen folgende Sekundärreaktion ablaufen:

$$1\ kg\ NH3 + 3{,}8\ kg\ SO_2 \xrightarrow{O_2/H_2O} 6{,}8\ kg\ Staub\ (NH_4HSO_4)$$

Durch diese Reaktion kommt es zwar zu einer Verringerung der SO_2-Immissionswerte, es nimmt jedoch die Staubbelastung - mit einem hohen Anteil von Ammoniumhydrogensulfat - zu.

Ammoniumhydrogensulfat ist in Wasser unter stark saurer Reaktion leicht löslich. So ist es leicht vorstellbar, daß bei gleichzeitigem Auftreten von NH4HSO4-Immissionen und hoher Luftfeuchtigkeit die Flechten auch bei kurzer Einwirkungszeit stark geschädigt werden.

Die Hauptkomponenten in den Linzer Stäuben sind Ruße, Schlackengläser, Eisenoxide, Kokse, Gips, Calcit und Quarz. Stäube, deren Teilchengröße zwischen 0,5 µm und 500 µm liegt, Sedimentieren, während Schwebstoffe (Aerosole) von sich aus nicht mehr sedimentieren. Von der Korngröße der Stäube hängt deren Ausbreitung, Ablagerung und biologische Wirksamkeit ab. Der Anteil der Feinstäube an der Gesamtstaubmenge nimmt in den letzten Jahren ständig zu (GRUBER 1981). Die schädigende Wirkung des Staubes auf Flechten liegt neben der einfachen Staubbedeckung der Thalli überwiegend

im Gehalt an toxischen Komponenten (WIRTH 1976).

Hypogymnia physodes, die als acidotolerante Flechtenart bezeichnet wird, kann eine gewisse Ansäuerung des Substrates ertragen, muß aber gegenüber Staubbelastung mit hohem Anteil an basisch reagierenden Komponenten als sehr empfindlich angesehen werden (vgl. WITTMANN & TÜRK 1988, WIRTH 1988).

Hingegen können alkalische Stäube (z.B. Zementstaub) bei gleichzeitig hoher SO_2-Belastung das überleben von Flechten ermöglichen (TÜRK & CHRIST 1980) bzw. das Vorkommen subneutrophytischer Flechten fördern (WIRTH 1976).

Dies zeigt sich am Beispiel der Meßstelle 18 (Gaisbergerstraße), südlich der VÖEST und unmittelbar neben dem Betriebsgelände einer Beton-Firma gelegen, recht deutlich. Die Flechtenproben dieser Meßstation weisen auch Ende August 1991 noch kaum sichtbare Schädigungen auf, obwohl der Staubanflug in allen Sommermonaten über dem Grenzwert (Höchstwert 456 $mg.m^{-2}.d^{-1}$ im Juni) lag. Man kann daraus schließen, daß die alkalischen Stäube des benachbarten Betriebes saure Luftschadstoffkomponenten abpuffern und somit deren schädigende Wirkung vermindern.

Neben Art, Anzahl und Konzentration der auf die Flechten einwirkenden Luftschadstoffe bestimmen klimatische Faktoren den Grad der schädigenden Wirkung. Inversionen, Windstille oder schwache Luftbewegung, leichte Niederschläge, Nebel- und Taubildung erhöhen die Schadwirkung. Flechtenproben an gut durchlüfteten Stationen zeigen beispielsweise nur eine geringe Reduktion der Photosynthese-Rate (TÜRK & CHRIST 1980). Es ist durchaus vorstellbar, daß dadurch an einigen windoffenen Stationen (Bereich Pichling, Stationen entlang der Donau) im Okt./Nov. 1990 eine Totalschädigung der Flechtenproben verhindert wurde.

Die größere Nebelhäufigkeit in der Stadt ist auf den hohen Anteil an teilweise hygroskopisch wirkenden

Aerosolen, die als Kondensationskerne fungieren, zurückzuführen (GEIGER 1961, MURSCH-RADLGRUBER 1988).

Die topo- und orographischen Verhältnisse des Linzer Beckens begünstigen die Ausbildung von Inversionen durch den nächtlichen Kaltluftabfluß an den Nordhängen (MURSCH-RADLGRUBER 1988). DREISEITL & STÖHR (1991) wiesen im Inntal nach, daß auch bei sehr stabilen Temperaturverhältnissen ein Transport von im Talraum emittierten NO_x-Verbindungen in einer dünnen Hangaufwindschicht stattfindet. Der schlechte Zustand der Flechtenproben vor allem am Pöstlingberg (Nr. 63, Samhaberstraße) , aber auch im Bereich Bachlberg Gründberg (Zone II), ist ein deutlicher Hinweis auf das Vorhandensein eines derartigen Hangaufwindsystems im Winterhalbjahr. Es kommt dabei aufgrund des zu geringen Volumens der ausgetauschten Luft zu keiner besseren Durchlüftung der bodennahen Luftschicht, aber der Schadstofftransport kann eine erhöhte Belastung der Berghänge zur Folge haben (DREISEITL & STÖHR 1991).

Ein verstärktes Augenmerk sollte in Zukunft auf die Bedeutung von Grünflächen wie Parks, Gärten, Grünstreifen aber auch Schul- und Innenhöfen gerichtet werden. Es hat sich während der einjährigen Expositionszeit deutlich gezeigt, daß Grünflächen und das damit verbundene günstige Kleinklima einen positiven Effekt auf den Zustand der Flechten haben. Dies beruht vor allem auf einer Verminderung der Wirksamkeit von Schadgasen (Abschirmung) und auf dem begünstigenden Einfluß lokalklimatischer Faktoren (TÜRK & CHRIST 1978, TÜRK & ZIEGELBERGER 1982, KREEB 1989). WIRTH (1987) spricht in diesem Zusammenhang von einer "shelter"-Situation.

In Linz sind diese Effekte einwandfrei feststellbar. Besonders deutlich zeigen sie sich in der Auswertung von Okt./Nov. 1990. Auch in den beiden Zonenkarten sind die Meßstationen in "shelter"-Situationen gut erkennbar.

Neben den erwähnten Hauptluftschadstoffen haben natürlich noch andere Komponenten, von denen keine Meßwerte für den entsprechenden Zeitraum vorliegen, Einfluß auf den Zustand der Flechten. Beispielsweise verursachen Fluorwasserstoff(HF)-Konzentrationen von 10 ppm bei *Hypogymnia physodes* eine Schädigung der

Algenzellen von 15 - 95 % (HOLOPAINEN & KARENLAMPI 1985). HF wirkt also bereits bei viel geringeren Konzentrationen phytotoxisch als SO_2 (NASH & SIGAL 1981). HF-Emissionen entstehen vor allem in der Aluminiumindustrie, in Ziegeleien, Töpfereien und Glashütten (ARZANI 1974). Eine diesbezügliche lokale Belastung wäre z.B. im Raum Kleinmünchen in Betracht zu ziehen.

Autoabgase, die eine Vielzahl verschiedenster aliphatischer, aromatischer und zyklischer Kohlenwasserstoffe enthalten, wirken sich ebenfalls auf die Produktivität von Flechten aus. Dabei ist die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAHs), die in der Luft fast ausschließlich an Staub gebunden sind, von großer Bedeutung (KASPEROWSKI & FRANK 1989).

Hinsichtlich der Schwermetallbelastung spricht GRUBER (1981) von einem unnatürlichen Zink-Überschuß und sehr hohen Bleiwerten in den Linzer Stäuben. Bei einer Bodenuntersuchung in Linzer Kleingärten werden ebenfalls bemerkenswert hohe Zink- und Bleiwerte registriert. Zink ist stark phytotoxisch und induziert bereits bei niedrigen Konzentrationen einen Rückgang der Photosynthese- und Respirationsrate (vgl. DERUELLE & PETIT 1983).

Nach jahrelangen Erfahrungen der Landesanstalt für Umweltschutz von Baden-Württemberg - seit dem Jahre 1981 - traten bei exponierten Flechten in Mannheim, Karlsruhe und Stuttgart nur im Winterhalbjahr immissionsbedingte Schäden auf. Im Sommer konnten sich die Exponate meist erholen (LFU 1987). Die hohen Schädigungsraten der exponierten Flechten im Räume Linz während des Sommerhalbjahres 1991 deuten darauf hin, daß das Stadtgebiet auch in diesem Zeitraum ungewöhnlich hohen Schadstoffbelastungen ausgesetzt war.

In den Jahren 1986 - 1988 wurde eine Kartierung der Flechtenvegetation in Linz durchgeführt und anhand der Ergebnisse die Luftgütezonen ermittelt (TÜRK et al. 1989). Auch im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden Zonenkarten mit Hilfe von Rasterflächen erstellt (Abb. 14 und 23).

Obwohl es sich dabei um zwei völlig unterschiedliche Methoden zur Erfassung der Luftqualität in Linz handelt, die daher nur bedingt vergleichbar sind, ergeben sich am Ende der Expositionszeit gewisse Übereinstimmungen (vgl. Zonenkarte von TÜRK et al. mit Abb. 23):

Die am stärksten belasteten Zonen der Schädigungskategorie III, das Gebiet nordwestlich der Großindustrien um das ORF-Zentrum und der Raum Ebelsberg, fallen in die Zone 5 (Flechtenwüste) nach TÜRK et al. (1989). Der Großteil des Stadtgebietes weist bei uns das Schädigungsniveau II auf und liegt bei TÜRK et al. (1989) in Zone 3 und Zone 4. Erst auf den Anhöhen des Stadtgebietes, im SE von Pichling und an einigen besonders günstig exponierten Meßstellen konnten wir keinen Immissionseinfluß nachweisen. Diese Gebiete sind großteils vergleichbar mit Zone 2 bei TÜRK et al. (1989).

Bei der Auswertung der Chlorophyllgehaltsmessungen haben wir teilweise starke monatliche Schwankungen festgestellt. Hauptverantwortlich für diese Ergebnisse kann die unterschiedliche Zusammensetzung des einwirkenden Schadstoffgemisches sein. Weiters spielt der mögliche Einfluß von Temperatur und Jahreszeit eine Rolle, da zahlreiche Parameter des Flechtenstoffwechsels jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen (PUNZ 1979).

Chlorophyll hat sich als sehr empfindlich gegenüber der Einwirkung vor allem saurer Schadstoffkomponenten erwiesen. Der Zusammenhang zwischen SO2-Belastung und Abnahme des Pigmentgehaltes in Flechten wird durch eine Vielzahl an Laboruntersuchungen bestätigt (z. B. TÜRK et al. 1974, PUNZ 1979, TÜRK & CHRIST 1980). KLEE (1981) kommt außerdem zu dem Ergebnis, daß bei S02~Begasung die Abbaugeschwindigkeit von Chlorophyll a größer als jene von Chlorophyll b ist, während bei Staubeinwirkung die b-Komponente rascher abgebaut wird als die a-Komponente. Chlorophyll a reagiert wesentlich empfindlicher auf saure Abgase als Chlorophyll b (PEISER & YANG 1977, PUCKETT et al. 1973).

Aufgrund dieser Aussagen ist es durchaus vorstellbar, daß im Jänner und Februar 1991 das SO_2 die Reduktion des Chlorophyllgehalts bedingte, während im März und April aufgrund des stärker verminderten Chlorophyll

b-Gehalts die Staubeinwirkung (mit einem entsprechenden Anteil von NH_4HSO_4) entscheidend ist. Dazu kommt noch, daß sich der März in bezug auf die Feuchtigkeitsverhältnisse gegenüber Jänner und Februar für die Aktivität der Flechtenproben viel günstiger gestaltete. Eine verbesserte Wasserversorgung der Flechtenthal1i bedingt sowohl bei einer $S0_2$-Begasung als auch beim Aufbringen von Koksasche eine stärkere Schädigung (KLEE 1981).

Der Anstieg des Pigmentgehaltes der Flechten im Mai 1991 erscheint schwer begreiflich. PUNZ (1979) stellte jedoch fest, daß durch geringen Schadstoffeinfluß eine Stimulation des Stoffwechsels und damit eine Chlorophyllsynthese eingeleitet werden kann.

Ab Juni 1991 traten gleichzeitig mit dem Abfallen des Chlorophyllgehaltes der Flechten hohe Staub-, H_2S- und SO_2-Konzentrationen auf. Jedoch lassen sich ab diesem Zeitpunkt keine sicheren Aussagen mehr darüber machen, welche dieser Schadstoffkomponenten größere Auswirkungen gezeigt haben mag.

Da es innerhalb derselben Flechtenart zu enormen Unterschieden im Absolutbetrag des Chlorophyllgehalts kommen kann (vgl. NASH 1971, STROBL & TÜRK 1990), wurde auch das a/b-Verhältnis errechnet. Eine Interpretation der Ergebnisse gestaltet sich aber als schwierig. Schon SCHUBERT (1977) kann zwar bei steigender Immissionsbelastung ein Absinken des Gehalts an Chlorophyll a und Chlorophyll b feststellen, jedoch ergeben sich keine deutlichen Veränderungen im a/b-Verhältnis. Er zieht daraus den Schluß, daß das a/b-Verhältnis als Indikator für geringe bis mäßige Luftverschmutzung nicht geeignet ist.

Aufgrund der Diversität der bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse liegt der Schluß nahe, daß die Zusammensetzung des auf die Flechten einwirkenden Schadstoffgemisches für das Ausmaß der Schädigung und somit für den Chlorophyllgehalt der entscheidende Faktor ist.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Im Zeitraum Oktober 1990 - Oktober 1991 wurde in Linz im Rahmen eines Projektes ein aktives Monitoring mit Flechten durchgeführt. Im Zuge dieser Arbeit wurden an insgesamt 82 Meßstationen Flechtentafeln mit jeweils 10 Proben von *Hypogymnia physodes* exponiert.

Die Bonitierung der sichtbaren Schädigung (Absterberate) erfolgte anhand von Farbdias, die jeden Monat angefertigt wurden.

Da es im Herbst 1990 zu einer hohen Immissionsbelastung (mit hohem Staubanteil - vermutlich NH_4HSO_4) bei gleichzeitigen extrem ungünstigen Wetterbedingungen (Nebel, Calmen, Inversionen) kam, starb ein Großteil der Flechtenproben nach nur zweimonatiger Expositionszeit ab. Im Dezember 1990 wurden erneut Flechten exponiert und die Untersuchungen fortgesetzt.

Im Dezember 1990 und Jänner 1991 kam es zu keiner nennenswerten Schädigung der Flechtenthall1i. Erst im darauffolgenden Februar zeigten einige Flechtenexponate Schädigungen der Schädigungskategorie II, im März bereits vereinzelt der Kategorie III.

In den Monaten April, Mai und Juni 1991 konnte im Stadtgebiet von Linz kein Immissionseinfluß an den exponierten Flechten nachgewiesen werden. Eine Ausnahme bildete das Gebiet um den Panholzerweg in Ebelsberg. Ein Lokalemittent dürfte für die Schädigung in Frage kommen.

Von Juli bis Oktober 1991 kam es zu einem kontinuierlichen Anstieg des Schädigungsgrades der Flechten.

Die Belastungsschwerpunkte in der Stadt Linz lagen im Raum ORF-Zentrum und in einem Teil von Ebelsberg. Die unbelasteten oder wenig belasteten Gebiete waren im w und im N der Stadt, sowie im SE von Pichling zu finden. An einigen Meßstationen war der positive Einfluß eines günstigen Lokalklimas auf die Vitalität der Flechten erkennbar.

Die stärksten Schädigungen wurden an den Flechten vor allem bei hohen Konzentrationen von Stickoxiden in Verbindung mit hoher Staubbelastung hervorgerufen. Zudem erreichten auch die SO_2-Konzentrationen zeitweise Werte, die die Thalli von *Hypogymnia physodes* schädigten. Entscheidend für das Ausmaß der Flechtenschädigung sind die Depositionsbedingungen, die von den klimatischen Faktoren (Windrichtung und Windgeschwindigkeit, vertikale Temperaturschichtung, Lokalklima, Hangaufwindsysteme) abhängen. Auch Lokalemissionen (HF, organische Lösungsmittel etc.), Schwermetallbelastung und KFZ-Abgase sind kleinräumig wirksam.

Das räumliche Muster der Verteilung der Flechtenschädigungskategorien, das mit dem vorliegenden aktiven Monitoring festgestellt wurde, korreliert mit der Zonenkarte (passives Monitoring) von TÜRK et al. (1989).

An fünf Sonderstandorten wurden zusätzlich Flechtenproben in Gazesäckchen für eine Chlorophyllgehaltsanalyse exponiert. Für die Monate Jänner bis Oktober 1991 wurden jeweils die Absolutbeträge an Chlorophyll a und b, der Carotinoide sowie das a/b-Verhältnis ermittelt. Die Ergebnisse lassen den Schluß auf die negative Einwirkung der SO2- und Staubbelastung zu.

7. LITERATURVERZEICHNIS

ARZANI, G. (1974): Ökophysiologische Untersuchungen über die SO2-, HC1- und H F- Empfindlichkeit verschiedener Flechtenarten. - Dissertation der Justus Liebig-Universität Giessen: 1-135.

BESCHEL, R. (1958): Flechtenvereine der Städte, Stadtflechten und ihr Wachstum. - Ber. des Naturwissenschaftl . -Medizin . Vereins in Innsbruck 52: 1-158.

BORTENSCHLAGER, S. & SCHMIDT, H. (1963): Untersuchung über die epixyle Flechtenvegetation im Großraum Linz. - Naturkundl. Jahrbuch der Stadt Linz 9: 19-35.

BRODO, I. M. (1961): Transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. Ecology 42(4): 838-841.

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

DOMRÖS, M. (1967): Flechten als Indikator von Luftverunreinigung und Stadtklima. - Städtehygiene 2: 33-39.

DREISEITL, E. & STÖHR, D. (1991): Zusammenhänge zwischen Emission, Meteorologie und Immission. In: Auswirkungen des Straßenverkehrs auf die Umwelt. Teilbericht Luft/Vegetation/Boden. Herausgeber: Amt der Tiroler Landesregierung, Landesforstdirektion: 33-38.

ECKL, P. (1978): Statistische Untersuchungen über den Chlorophy1lgehalt von *Hypogymnia physodes* und *Parmelia sulcata* in seiner Beziehung zur SO2-Belastung im Stadtgebiet Salzburgs. - Unveröff. Hausarbeit, Universität Salzburg: 1-86.

EHRENDORFER, F., MAURER, W., KARL, E. & KARL, R. (1971): Rindenflechten und Luftverunreinigung im Stadtgebiet von Graz. - Mitt. Naturwiss. Verein Steiermark, Band 100: 151-189.

GEIGER, R. (1961): Das Stadtklima. Lehrbuch der Mikroklimatologie, Vieweg & Sohn, Braunschweig, 512-518.

GRUBER, P. (1981): Der chemische und mineralogische Aufbau der Stäube im Linzer Raum. - Naturkundl. Jahrbuch der Stadt Linz 27: 169-281.

HASELOFF, H. P. (1982): Bioindikatoren und Bioindikation. - Biologie in unserer Zeit 12: 20-26.

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

HOISLBAUER, G. (1979): Rindenflechten im oberösterreichischen Zentralraum und ihre Abhängigkeit von Umwelteinflüssen. - Stapfia 5: 1-69.

HOISLBAUER, G. (1982): Die Beurteilung der Luftgüteentwicklung im Linzer Großstadträum mit Hilfe von Rindenflechten. - Naturkundl. Jahrbuch der Stadt Linz 28: 237-260.

HOLOPAINEN, T. & KÄRENLAMPI, L. (1985): Characteristic u1trastructural Symptoms caused in lichens by experimental exposure to nitrogen compounds and fluorides. - Ann. Bot. Fennici 22: 333-342.

KASPEROWSKI, E. & FRANK, E. (1989): Boden- und Vegetationsuntersuchungen im Bereich der Scheitelstrecke der Tauernautobahn. Umweltbundesamt Wien (Hrsg.): 1-126.

KIRSCHBAUM, U. (1981): Rindenepiphyten in ihrer Beziehung zur Lufthygiene. - Ber. der Intern. Symposien der Intern. Vereinigung für Vegetationskunde. Vegetation als anthropoökologischer Gegenstand: 259-270.

KLEE, R. (1981): Flechtenexplantate als Bioindikatoren für eine Immissionsbelastung. - Ber. der Intern. Symposien der Intern. Vereinigung für Vegetationskunde. Vegetation als anthrop-ökolog. Gegenstand: *271-2.11*.

KOPPEN, W. (1931): Petermanns Mitteilung 1918. Grundriß der Klimakunde.

KREEB, K. H. (1989): Umweltaltas Esslingen. Veröffentlichungen zur Bioindikation 3: 1-73.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.) (1988): Immissionsökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg. - Jahresbericht 1987: 1-257.

LASOTA-CHRIST, R. & TÜRK, R. (1984): Der epiphytische Flechtenbewuchs als Indikator für die Luftverunreinigungen im Stadtgebiet von Wien. - Forum Städte-Hygiene 35: 122-131.

LAUSCHER, F. (1959): Beiträge zur Kenntnis des Klimas von Linz. - Wetter und Leben, Sonderheft VI: 175-193.

LeBLANC, F. & RAO, D. N. (1973): Effects of sulphur dioxide on liehen and moss transplants. - Ecology 54: 612-617.

MAHRINGER, W. (1978): Klimatische Grundlagen für die Stadtplanung der Landeshauptstadt Salzburg. - In: Schriftenreihe zur Salzburger Stadtplanung, Heft 12. Herausgeber: Magistrat der Stadt Salzburg: 1-68.

MURSCH-RADLGRUBER, E. (1988): Klima. - In: Linzer Umweltbericht 1988, Band 4: Klima und Grünflächen. Herausgeber: Magistrat Linz, Amt für Umweltschutz: 1-30.

NASH, T. H. III (1971): Liehen sensitivity to hydrogen fluoride. - Bull. Torrey Bot. Club 98: 103-106.

NASH, T. H. III & SIGAL, L. (1981): Ecological approaches to the use of lichenized fungi as indicators of air pollution. - The Fungal Community: 481-497.

NYLANDER, W. (1866): Les Lichens du Jardin du Luxembourg. - Bull. Soc. Bot. France 13: 364-372.

PEISER, G. D. & YANG, S. F. (1977): Chlorophyll destruetion by the bisulphite-oxygen system. Plant Physiol. 60: 277-281.

PUCKETT, K. J., NIEBOER, E., FLORA, W. P. & RICHARDSON, D. H. S. (1973): Sulphur dioxide: Its effect on photosynthetic ^{14}C-fixation in lichens and suggested mechanisms of phytotoxicity. New Phytol. 72: 141-154.

PUNZ, W. (1979): Beiträge zur Verwendung von Flechten als Bioindikatoren. Der Einfluß von Schadstoffkombinationen. - Sitzungsberichte der Österr. Akad. Miss., Band 188: 1-25.

PUXBAUM, H. (1990): Die gegenwärtige Bedeutung der Stickstoffoxide. - In: 4. Stickstoffoxide-Symposium. Herausgeber: Gesellschaft Österr. Chemiker, Arbeitsgruppe Umweltschutz: 5-23.

RADUNSKY, K. (1988): Übersicht über die in- und ausländische Immissionssituation von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid sowie ausgewählter Folgeprodukte. - In: Stickstoffoxide in der Atmosphäre, Luftqualitätskriterien NO_2 - Herausgeber: BM für Umwelt, Jugend und Familie: 212-256.

ROTH, S. (1988): Die Luftqualität im Stadtgebiet von Salzburg - dargestellt anhand der Verbreitung epiphytischer Flechten II. - Diplomarbeit der Universität Salzburg: 1-179.

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

SCHUBERT, R. (1977): Ausgewählte pflanzliche Bioindikatoren zur Erfassung ökologischer Veränderungen in terrestrischen Ökosystemen durch anthropogene Beeinflussung unter besonderer Berücksichtigung industrieller Ballungsgebiete. - Hercynia N.F. 14: 399-412.

STARKE, P. (1983): Stadtklima, Immissionsverhältnisse und Flechtenverbreitung in Linz. - Naturkundl. Jahrbuch der Stadt Linz 29: 157-284.

STROBL, A. & TÜRK, R. (1990): Untersuchungen zum Chlorophyllgehalt einiger subalpiner Flechtenarten. - Phyton 30(2): 247-264.

TÜRK, R. (1975): Die Veränderung der Flechtenzonenund der Luftqualität im Stadtgebiet Salzburg von den Jahren 1948/49 bis 1974/75. - In: Studie über die umwelthygienisch-ökologische Situation der Stadt Salzburg. Herausgeber: BM für Gesundheit und Umweltschutz, Wien: 131-135.

TÜRK, R. & CHRIST, R. (1978): Untersuchungen über den Flechtenbewuchs an Eichen im Stadtgebiet Salzburgs und über den Wasserhaushalt einige charakteristischer Flechten. - Phyton 18(3-4): 107-126.

TÜRK, R. & CHRIST, R. (1980): Untersuchungen des CO2-Gaswechsels von Flechtenexplantaten zur Indikation von S02-Belastung im Stadtgebiet von Salzburg. - Wissenschaftl. Beiträge der Universität Halle-Wittenberg 25: 39-45.

TÜRK, R. & WIRTH, V. (1974): Der Einfluß des Wasserzustandes und des pH-Wertes auf die S02-Schädigung von Flechten. - Verhandl. der Gesellschaft für Ökologie: 167-172.

TÜRK, R. & SEGER, M. (1985): Immissionsökologische Studie über den epiphytischen Flechtenbewuchs im Raum Klagenfurt. - In: SEGER, M. (Hrsg.): Forschungen zur Umweltsituation im Raum Klagenfurt. Wiss. Veröffentlichungen der Landeshauptstadt Klagenfurt 6, Klagenfurter Geographische Schriften 5: 25-41.

TÜRK, R. & ZIEGELBERGER, G. (1982): Die Luftqualität im Stadtgebiet von Salzburg - dargestellt anhand der Verbreitung epiphytischer Flechten. Schriftenreihe Luftgüteuntersuchung des Amtes der Salzburger Landesregierung 7: 78-141.

TÜRK, R-, WIRTH, V. & LANGE, 0. L. (1974): CO2-Gaswechsel-Untersuchungen zur S02~Resistenz von Flechten. - Oecologia 15: 33-64.

TÜRK, R., ROTH, S., WITTMANN, H., & WÖGERER, I. (1989): Flechtenuntersuchung 1988. - In: Grüne Reihe, Bericht Nr. 8/89. Herausgeber: Magistrat Linz, Amt für Umweltschutz: 1-32.

VDI-RICHTLINIE 3799 (1990): Messen von Immissionswirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten. Verfahren der standardisierten Flechtenexposition. - VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1, Blatt 2: 1-10.

WALTER, H. & LIETH, H. (1960): K1imadiagramm-Weltatlas. Gustav Fischer Verlag, Jena.

WEISS, E. & FRENZEL, J. W. (1961): Windströmungen im Linzer Becken und ihre Bedeutung für luftchemische Probleme des Stadtklimas. - Wetter und Leben 13: 215-220.

WILHELMSEN, J. B. (1959): Chlorophylls in the lichens Peltigera, Parmelia and Xanthoria. - Bot. Tidskr. 55: 30-36.

WIRTH, V. (1976): Über den Einfluß des SO2 auf die Flechtenvegetation in urbanen Räumen und die Indikation der SO2-Belastung durch Flechten. Schriftenreihe für Veg.Kunde, Heft 10: 203-213.

WIRTH, V. (1987): Flechtenkartierung. - Immissionsökolog. Wirkungskataster, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg: 74-89.

WIRTH, V. (1988): Phytosociological approaches to air pollution monitoring with lichens. - Lichens, Bryophytes and Air Quality. Bibl. Lichenol. 30: 91-107.

WITTMANN, H. & TÜRK, R. (1988): Immissionsökologische Untersuchungen über den epiphytischen Flechtenbewuchs in der Umgebung des Magnesitwerkes Hochfilzen (Tirol/Österreich). - Zentralbl. Ges. Forstw. 105: 35-45.

URBACH, W., RUPP, W. & STURM, H. (1983): Praktikum zur StoffWechselphysiologie der Pflanzen. 2. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York.

ZIEGLER, R. & EGLE, K. (1965): Zur quantitativen Analyse der Chloroplastenpigmente. Kritische Überprüfung der spektralphotometrischen Chlorophyllbestimmung. - Beitr. Biol. Pflanzen 41: 11-37.

Adresse der Autoren:

Mag. Ingeborg HEBER
Mag. Waltraud HEBER
Dr. Roman TÜRK

Universität Salzburg
Institut für Pflanzenphysiologie

Heilbrunnerstraße 34
A-5020 SALZBURG