© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Beitr. Naturk. Oberösterreichs	18	277-291	17.10.2008

Immissionsökologische Flechtenkartierung im Industriegebiet Steyrermühl – Laakirchen und Untersuchung der Schwermetalldepositionen im Bereich des Naturschutzgebietes Traunstein – Laudachsee, Oberösterreich

A. KIENESBERGER & R. TÜRK

A b s t r a c t : Mapping of lichens in the industrial area Steyrermühl-Laakirchen in relation to air pollution and examination of depositions of heavy metal in the conservation area Traunstein-Laudachsee, Upper Austria, Austria. Lichens react extremely sensitive to air pollution, eutrophication and climatic change. Thus the diversity of lichens is an excellent bioindicator for the environmental load by air pollutions. A first immission-ecological mapping of lichens in the area of Lenzing-Steyrermühl-Laakirchen was carried out by TÜRK 1984. Targets of lichen mapping and heavy metal analyses were the comparison with the first mapping of TÜRK 1984, the presentation of the effects on lichens by immission-intensity, volume expansion of the immission-areas and the examination of possible effects of industrial and traffic immissions in the dry valleys in the range of the nature protected area Traunstein - Laudachsee. The pollutant-related lichen mapping becomes accomplished after the new VDI guideline 3957/13 (2005): "Biological measuring procedures for the determination and evaluation of the effect of air pollutions with lichens - mapping the diversity of epiphytic lichens as indicator for air quality". By comparing the results of this study with the previous mapping we got information about changes of the air quality in the last twenty years. It became evident, that the air quality partly improved about two air quality zones. Former areas with very low air quality and partially lichen deserts were identified in the latest mapping 2006 as quality classes with high and moderate air quality (VDI 2005). The three most frequent reference lichens *Candelariella reflexa* (NYL.) LETTAU, *Candelariella xanthostigma* (ACH.) LETTAU and *Amandinea punctata* (HOFFM.) COPPINS & SCHEID. were not considered in a second computation, in order to receive a more realistic air quality zoning. Only the areas around the two main emitters of Steyrermühl and Laakirchen exhibited the zone with small air quality and a very high diversity of eutrophic indicator and very strong influences of eutrophic air pollutions. On base of the AAS (atom absorption spectrometry) the heavy metal depositions were analyzed in the lichens *Hypogymnia physodes* (L.) NYL., *Parmelia sulcata* TAYLOR and *Hypotrachyna revoluta* (FLÖRKE) HALE. The results of the heavy metal analysis of *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Hypotrachyna revoluta* showed that the concentrations of the essential heavy metals copper and zinc settle in the range "normal for plants", the lead concentrations at the locations at the Laudachsee showed increased values. A reason for the high lead concentrations could be the emissions of leaded gasoline along the Salzkammergut federal road B 145 and the western motorway A1.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

The dominating occurrence of nitrophytic lichens in the investigation areas suggests a high immission load of nitrogen compounds (NO_x, NH_3 and their derivatives).

Key words: Lichens, biomonitoring, air pollution, Steyrermühl, heavy metals, Upper Austria.

Einleitung

Bioindikation ist ein wichtiges Verfahren der Umwelt- bzw. Luftüberwachung und stellt die Wirkung der Ursachenkette "Emission – Transmission – Immission – Wirkung" dar (NOBEL et al., 2005). Flechten reagieren extrem empfindlich gegenüber Belastungen aus der Umwelt, insbesondere Luftverschmutzung, Eutrophierung und Klimaänderung (EGGER, SCHLEE & TÜRK 1994, FENT 1998) und werden seit Jahrzehnten als Monitororganismen für Bioindikation von Luftverschmutzungen verwendet (z. B. NYLANDER 1866; KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995; KIRSCHBAUM & WIRTH 1997; STAPPER et al. 2000). Wie bereits BERGER & TÜRK 1993 ausführten, benötigen viele Flechtenarten eine lange Zeit und ungestörte Entwicklung, um sich zu etablieren. Nach TÜRK & WITTMANN 1988 sind Flechten ausgezeichnete Indikatoren für die Qualität eines Naturraumes. Die Diversität von Flechten und ihre Abundanz sind ein wertvolles Maß für Beurteilung der Hemerobie von terrestrischen Ökosystemen.

Epiphytische (Borke bewohnende) Flechten kann man als lebendes Warnsystem verwenden, da viele von ihnen weiträumig verbreitet sind. Somit können Belastungen durch Luftverunreinigungen aufgrund der Veränderung des Flechtenbewuchses flächendeckend aufgezeigt werden. Nach WITTMANN & TÜRK 1988 sind vor allem epiphytische Blatt- und Strauchflechten empfindlich gegenüber sauer reagierenden Abgasen, wie z. B. Schwefeldioxid und Stickoxiden und auch dem Einfluss von Stäuben. Im Jahre 1984 wurde eine immissionsbezogene Flechtenkartierung im Bereich Lenzing (Bezirk Vöcklabruck) – Steyrermühl (Bezirk Gmunden) – Laakirchen (Bezirk Gmunden) von TÜRK 1984 durchgeführt. Bei dieser Kartierung wurden damals folgende Kriterien berücksichtigt: Gesamtdeckung der Flechten an der halben Stammabwicklung, Artenzahl, relativer Deckungsgrad der Blatt- und Strauchflechten und deren Schädigungsgrad. So war es nun von großem Interesse, nach zwei Jahrzehnten eine immissionsbezogene Flechtenkartierung im Industriegebiet Steyrermühl – Laakirchen und in den umliegenden Kulturlandschaften nach der VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13 vom Jahre 2005 (passives Biomonitoring) durchzuführen, um eventuelle Veränderungen des Flechtenbewuchses und damit der Immissionsituation festzustellen. Weiters wurden in den Trockentälern nordöstlich des Traunsteins im Bereich des Naturschutzgebietes Laudachsee Untersuchungen über die Flechtendiversität und die Schwermetallgehalte in Flechten durchgeführt, um mögliche Auswirkungen von Industrie- und Verkehrsimmissionen aufzuzeigen.

Untersuchungsgebiet und Methode

Untersuchungsgebiet 1 (UG 1) Steyrermühl – Laakirchen:

Das UG 1 erstreckt sich um die Industriegebiete der Gemeinde Steyrermühl und Stadt-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

gemeinde Laakirchen und die angrenzende Kulturlandschaft. Die Westautobahn A1 und die Salzkammergut Bundesstraße B 145 führen durch das Gebiet. Die Traun durchfließt das UG 1 in südlicher nach nördlicher Richtung und trennt es in zwei Teile. Entlang der Traun wurden die Flechten der Auwälder aufgenommen. Das UG 1 erstreckt sich über ca. 50 km^2, liegt in der collinen bis niedermontanen Hügelstufe (von ca. 400 bis max. 600 Höhenmeter).

Untersuchungsgebiet 2 (UG 2) Naturschutzgebiet Laudachsee:

Das UG 2 befindet sich in den NE gelegenen Trockentälern hinter dem Traunstein im Naturschutzgebiet Traunstein - Laudachsee (montane Bergstufe) und wurde als Referenzgebiet außerhalb des unmittelbaren Immissionsfeldes von Industrieabgasen und fern von landwirtschaftlich bedingten Veränderungen des chemischen Umfeldes durch Düngung und Bioziden gewählt.

Zur Erfassung der Schwermetall-Belastung wurden mindestens zwei Proben von den Blattflechten *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata* und *Hypotrachyna revoluta* in unterschiedlichen Höhen (von 665; 864; 897; 911 msm) gesammelt.

Die immissionsökologische Flechtenkartierung wurde nach der neuen VDI Richtlinie 3957/13 (VDI 2005) durchgeführt. Die Analyse der Schwermetalle Pb, Cu und Zn erfolgte mittels AAS (Atomabsorptionsspektrometrie).

Ergebnisse und Diskussion

Artenliste der Flechten im Untersuchungsgebiet 1

Die Tabelle 1 gibt die zwischen Steyrermühl und Laakirchen zum überwiegenden Teil auf *Pyrus communis* aufgefundenen Flechtenarten, deren ökologische Zeigerwerte nach Wirth (1992) und ihre Häufigkeit in % der Aufnahmen wieder. Es fällt auf, daß acidophytische Flechten, wie z. B. Vertreter der Gattungen *Hypogymnia*, *Parmelia*, *Usnea* und *Bryoria* trotz günstiger klimatischer Voraussetzungen fehlen. Von den aufgefundenen acidophytischen Arten, wie z. B. *Pseudevernia furfuracea* und *Ramalina farinacea* waren nur stark geschädigte Kümmerexemplare vorhanden. Häufig treten hingegen die nitrophilen Arten wie *Amandinea punctata*, *Candelariella reflexa* und *C. xanthostigma*, *Parmelina tiliacea*, *Physcia adscendens*, *P. tenella*, *Phaeophyscia orbicularis* und *Xanthoria parietina* auf. Unter den Strauchflechten ist lediglich *Ramalina pollinaria* etwas zahlreicher vertreten.

Die Artenzusammensetzung der Flechten auf den Stämmen von *Pyrus communis* lässt den Schluss zu, dass die Immissionsrate mit pflanzenverfügbaren Stickstoff-Verbindungen (NO_x, HNO_3, Ammoniumnitrat) hoch ist. Auch der äußerst geringe Vitalitätszustand und die geringe Abundanz der acidophytischen Flechten weisen auf die hohe Stickstoffbelastung hin.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 1: Artenliste der Flechtenvegetationsaufnahmen aus Untersuchungsgebiet 1

Flechtenarten & Autoren	Zeigerwerte nach WIRTH 1992								Häufigkeit in %
	Ökologisches Verhalten								
	L	T	K	F	R	N	To	Su	
Amandinea punctata (HOFFM.) COPPINS & SCHEID.	-	-	-	-	-	-	-	-	82
Arthonia radiata (PERS.) ACH.	3	5	4	4	5	3	5	R	<0,5
Caloplaca holocarpa (EHRH. ex ACH.) WADE	-	-	-	-	-	-	-	-	18
Candelaria concolor (DICKS.) STEIN	7	5	6	3	6	5	4	R	14
Candelariella reflexa (NYL.) LETTAU	6	6	3	5	5	5	4	R	98
Candelariella xanthostigma (ACH.) LETTAU	7	5	6	3	5	4	6	R	94
Cladonia coniocraea (FLÖRKE) SPRENG.	5	X	6	X	4	2	-	EHR	10
Evernia prunastri (L.) ACH.	7	5	6	3	3	3	6	R	<0,5
Graphis scripta (L.) ACH.	3	5	4	4	5	3	5	R	2
Lecania cyrtella (ACH.) TH. FR.	7	6	6	3	7	5	3	R	<0,5
Lecanora carpinea (L.) VAIN.	6	5	6	3	5	3	5	R	29
Lecanora chlarotera NYL.	6	5	6	3	6	4	6	R	45
Lecidella elaeochroma (ACH.) M. CHOISY	6	5	6	3	6	4	6	R	57
Lepraria spec.	-	-	-	-	-	-	-	-	100
Melanelia exasperatula (NYL.) ESSL.	-	-	-	-	-	-	-	-	20
Normandina pulchella (BORRER) NYL.	6	5	3	5	5	4	4	MR	6
Parmelia sulcata TAYLOR	7	x	6	3	5	4	8	R	61
Parmelina tiliacea (HOFFM.) HALE	7	6	3	3	5	4	5	R	75
Pertusaria albescens (HUDS.) M. CHOISY & WERNER	6	5	6	3	6	4	4	R	20
Phaeophyscia nigricans (FLÖRKE) MOBERG	8	x	6	x	8	7	-	GR	<0,5
Phaeophyscia orbicularis (NECK.) MOBERG	7	x	6	x	7	7	7	GR	76
Phlyctis argena (SPRENG.) FLOT.	5	5	4	3	5	3	6	R	89
Physcia adscendens (FR.) H. OLIVIER	7	5	6	3	7	6	8	R	100
Physcia stellaris (L.) Nyl.	7	5	6	3	6	5	4	R	10
Physcia tenella (SCOP.) DC.	7	x	6	3	6	6	8	R	92
Physconia perisidiosa (ERICHSEN) MOBERG	7	4	6	5	6	4	4	R	<0,5
Pleurosticta acetabulum (NECK.) ELIX & LUMBSCH	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Pseudevernia furfuracea (L.) ZOPF	8	4	6	3	2	1	[7]	RG	4
Punctelia subrudecta (NYL.) KROG	-	-	-	-	-	-	-	-	6
Ramalina farinacea (L.) ACH.	6	5	6	4	5	3	6	R	6
Ramalina pollinaria (WESTR.) ACH.	7	3	?	5	4	4	4	R	37
Usnea subfloridana STIRT.	7	4	3	6	5	3	3	R	2
Xanthoria candelaria (L.) TH. FR.	7	x	x	3	6	7	[5]	RG	<0,5
Xanthoria parietina (L.) TH. FR.	7	5	6	3	7	6	7	RG	94
Xanthoria polycarpa (HOFFM.) TH. FR. ex RIEBER	7	5	4	3	6	6	7	R	16

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Luftgütezonen 1984 und 2006

Die Luftgütekartierung von TÜRK 1984 wies nur mittel bis sehr stark belastete Zonen im Raum der Industriegebiete Steyrermühl – Laakirchen auf (Abb. 1). Unbelastete Zonen konnten damals nicht ausgewiesen werden. Trotz der von Natur aus günstigen klimatischen und orographischen Voraussetzungen für Flechtenwachstum waren im Jahr 1984 die untersuchten Birn- und Äpfelbäume über weite Strecken vollkommen flechtenfrei. Traten Blattflechten auf, waren sie stark geschädigt und zumeist nur als Einzelexemplare in Borkenrissen zu finden. Auch das stellenweise gehäufte Vorkommen der durch Luftverunreinigungen geförderten Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* sprach für die schlechte Luftqualität (TÜRK 1984).

Bei der Wiederholungskartierung von 2006 wurden deutliche Verbesserungen der Luftgütezonierung im Vergleich zur Erstkartierung von TÜRK 1984 ersichtlich, denn die Zone mit sehr geringer Luftgüte ("Zone 5" bei Türk 1984, "Zone 1" nach VDI 2005) wurde in der aktuellen Kartierung nicht mehr nachgewiesen. In keiner Messfläche des Untersuchungsgebietes wurde eine so genannte epiphytische "Flechtenwüste" vorgefunden. Die Artenliste (siehe Tab. 1) des Untersuchungsgebietes 1 zeigt, dass die Diversität und die Abundanz der Eutrophierungszeiger 2006 hoch waren. Ursächlich sind hierfür anthropogene Stickstoffverbindungen, deren großflächige Wirkung erst mit dem Rückgang der Schwefeldioxid-Immissionen erkennbar wurde (FRAHM et al. 2006).

Die in dieser Kartierung schlechteste "Zone 2 = Geringe Luftgüte" kam mit 4 % der untersuchten Fläche im Untersuchungsgebiet im nahen Umfeld der beiden Hauptemittenten der Papier verarbeitenden Industrie in Steyrermühl und Laakirchen vor. Bemerkenswert jedoch war hier der einzige Fund im ganzen Untersuchungsgebiet von *Usnea subfloridana*, einer Bartflechte, die eigentlich nur in Gebieten mit hoher Luftgüte, aber in nebelreichen Lagen vorkommt. Ursache dafür könnte die nebelreiche Lage des Untersuchungsgebietes sein, die diese Flechte bevorzugt. Bemerkenswert war, dass im gesamten UG 1 die Krustenflechte *Lecanora conizaeoides*, die wie bereits erwähnt durch den Einfluss von Luftverunreinigungen in ihrem Vorkommen gefördert wird und die in der Erstkartierung stellenweise gehäuft auftrat, bei der vorliegenden Kartierung im Untersuchungsgebiet Steyrermühl-Laakirchen nicht mehr nachgewiesen werden konnte.

Mit insgesamt 84 % scheint die Luftgüte "Zone 3 = Mäßige Luftgüte" auf. Mehr als die Hälfte dieser Zone weist einen mäßigen Diversitätswert der Eutrophierungszeiger und mäßigen Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen auf.

Die "Zone 4 = Hohe Luftgüte" konnte mit 12 % der Untersuchungsfläche ausgewiesen werden. Die genauere Definierung ergab einen geringen Diversitätswert der Eutrophierungszeiger und geringen Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen.

Die "Zone 5 = Sehr hohe Luftgüte" wurde im Kartierungsjahr 2006 nicht ausgewiesen. Die Berechnung der Diversitätswerte der Referenzarten und der Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger berücksichtigt jedoch nicht die Schädigungsgrade der vorkommenden Flechten.

Beim Vergleich der Luftgütekarten von 1984 (Abb. 1) und von 2006 (Abb. 2.) wird ersichtlich, dass sich die Luftgüte um teilweise bis zu zwei Klassen verbessert hat. Dies ist offensichtlich auf die Reduktion von Schwefeldioxid in den vergangenen Jahren zurück zu führen.

Die erwähnten Ergebnisse (siehe Abb. 2) beziehen sich auf eine Berechnungsreihe, in der

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

die häufigsten Krustenflechten wie *Candelariella reflexa*, *C. xanthostigma* und *Amandinea punctata* nicht einbezogen wurden, um eine der Belastungssituation entsprechende Luftgütezonierung zu erhalten.

Denn werden diese drei Krustenflechtenarten in die Berechnung mit einbezogen, zeigen die Ergebnisse eine Luftgütekarte (siehe Abb. 3), die von der Zone 4 dominiert wird und auch die Zone 5 aufweist. Diese Klassenverteilung spiegelt jedoch offensichtlich nicht die tatsächliche Situation wider, da einige Strauch- und Laubflechten wie *Parmelina tiliacea*, *Parmelia sulcata*, *Xanthoria parietina*, *Melanelia* spec., und *Ramalina pollinaria* deutliche Schadbilder wie Kümmerformen, krankhafte Veränderungen der Farbe (= Chlorosen und Verrötungen) und deutliche Verringerung der Abundanz zeigten. Der Großteil (über 80 %) der aufgenommenen Strauch- und Blattflechten wurde in die VDI -Kategorie "gesund und geschädigt" eingestuft (siehe Abb. 4). Diese äußerlich sichtbaren Schädigungen und Beeinträchtigungen des Wachstums der Makrolichenen sind auf eine Deposition von schädigenden Luftfremdstoffen zurück zu führen.

Die Abundanzenerhöhung von Eutrophierungszeigern wie z. B. die nach STAPPER et al. 2000 benannten "Verkehrszeigern" *Xanthoria parietina* und *Phaeophyscia orbicularis* oder "Landwirtschaftszeigern" wie *Amandinea punctata*, *Caloplaca holocarpa*, *Lecidella elaeochroma* und *Xanthoria parietina* dürfte auf die erhöhten Stickstoffeinträge (Nitrat, Ammoniak) zurück zu führen sein. Mehr als die Hälfte der Standorte des Trägerbaumes *Pyrus communis* (über 60 %) ist in UG 1 dem ländlichen Nutzungsraum - mit einem Anteil von 80 % an landwirtschaftlichen Flächen – zuzuordnen. Nach FENT 1998 sind steigender Dünger- und Futtermittelverbrauch, Art der landwirtschaftlichen Produktionsmethoden der Viehhaltung, Bodenbewirtschaftung und Emissionen aus dem Verkehr die Hauptquellen dieser Einträge. Größerer Hofdüngeranfall stellt die Hauptquelle von Ammoniak dar. Die emittierten Stickstoffverbindungen gelangen durch nasse und trockene Deposition in terrestrische und aquatische Ökosysteme.

Auch das steigende Verkehrsaufkommen (Westautobahn A1 und Salzkammergut Bundesstraße B145, bzw. Landstraßen im UG1) trägt zu einer vermehrten Luftverunreinigung bei. Da der Großteil der Verkehrswege an den Standorten der am häufigsten auftretenden Trägerbaumart *Pyrus communis* der VDI-Kategorie "asphaltierten Straßen" zwischen 70 % und ca. 80 % zuzurechnen ist, ist eine Verschiebung des Artenspektrums in Richtung der Eutrophierungszeiger nicht verwunderlich.

Untersuchungsgebiet 2

Die Artenliste (Tab. 2) des UG 2 zeigt neben Arten mit breiter ökologischer Amplitude und einem hohen Anteil nitrophytischer Flechtenarten auch vereinzelte Vorkommen von hygrophytischen Arten, wie *Cetrelia cetrarioides*, *Parmelia submontana* und *Parmelina pastillifera*. Die Krustenflechte *Lecanora conizaeoides*, die wie bereits erwähnt, durch saure Luftverunreinigungen in ihrem Wachstum gefördert wird, kommt ebenfalls in diesem industriefernen Gebiet vor. Die klimatischen Verhältnisse im Naturschutzgebiet Traunstein-Laudachsee - hohe Luftfeuchtigkeit an niederschlagsreichen Berglagen (1400 bis 1600 $mm.a^{-1}$), in engen Tälern und ausgedehnten Wäldern – bieten beste Voraussetzungen für das Aufkommen von Flechtenarten der Gattungen *Lobaria*, *Usnea*, und epiphytischen Cyanobakterienflechten wie *Peltigera collina* und *Collema*. Diese reagieren aber äußerst empfindlich gegenüber Luftverunreinigungen aller Art. Auffällig ist das völlige Fehlen von epiphytischen Cyanobakterienflechten. Diese werden durch den ho-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

hen Eintrag von pflanzenverfügbaren Stickstoffverbindungen offensichtlich in ihrer Entwicklung stark beeinträchtigt. Das dominierende Vorkommen von nitrophytischen Flechtenarten lässt sich auch hier auf einen hohen Eintrag von Stickstoffverbindungen zurückführen.

Tab. 2: Artenliste der aufgenommenen Flechtenarten in Untersuchungsgebiet 2

Flechtenarten & Autoren	**Zeigerwerte nach WIRTH 1992**							
	Ökologisches Verhalten							
	L	**T**	**K**	**F**	**R**	**N**	**To**	**Su**
Amandinea punctata (HOFFM.) COPPINS & SCHEID.	-	-	-	-	-	-	-	-
Arthonia radiata (PERS.) ACH	3	5	4	4	5	3	5	R
Bryoria fuscescens (GYELN.) BRODO & D. HAWKSW.	7	4	6	6	3	2	4	R
Buellia disciformis (FR.) MUDD	4	5	3	4	5	3	4	R
Caloplaca herbidella (HUE) H. MAGN.	5	4	2	7	5	3	1	R
Candelariella reflexa (NYL.) LETTAU	6	6	3	5	5	5	4	R
Candelariella xanthostigma (ACH.) LETTAU	7	5	6	3	5	4	6	R
Cetrelia cetraioides (DELISE ex DUBY) W. L. CULB. & C. F. CULB.	5	4	3	6	5	3	2	R
Chaenotheca ferruginea (TURNER & BORRER) MIG.	5	4	6	3	2	3	8	RH
Cladonia coniocraea (FLÖRKE) SPRENG.	5	X	6	X	4	2	-	EHR
Cladonia digitata (L.) HOFFM.	5	4	6	X	2	2	8	HE
Cladonia fimbriata (L.) FR.	7	5	6	X	4	1	-	E
Evernia prunastri (L.) ACH.	7	5	6	3	3	3	6	R
Graphis scripta (L.) ACH.	3	5	4	4	5	3	5	R
Hypocenomyce caradocensis (LEIGHT. ex NYL.) P. JAMES & GOTTH. SCHNEIDER	5	5	2	6	2	1	6	R
Hypogymnia physodes (L.) NYL.	7	X	6	3	3	2	8	RG
Hypogymnia tubulosa (SCHAER.) HAV.	7	4	5	3	3	3	6	R
Hypotrachyna revoluta (FLÖRKE) HALE	6	7	2	6	3	3	4	G
Imshaugia aleurites (ACH.) S. L.F. MEYER	6	4	6	3	2	1	4	R
Lecania cyrtella (ACH.) TH. FR.	7	6	6	3	7	5	3	R
Lecanora argentata (ACH.) MALME	5	5	4	4	5	3	4	R
Lecanora carpinea (L.) VAIN.	6	5	6	3	5	3	5	R
Lecanora chlarotera NYL.	6	5	6	3	6	4	6	R
Lecanora conizaeoides NYL. ex CROMBIE	7	3	3	3	2	X	9	RG
Lecanora saligna (SCHRAD.) ZAHLBR.	7	X	6	3	4	4	6	HR
Lecanora sambuci (PERS.) NYL.	7	6	4	3	7	5	2	R
Lecanora subrugosa NYL.	-	-	-	-	-	-	-	-
Lepraria spec.	-	-	-	-	-	-	-	-
Loxospora elatina (Ach.) A. MASSAL.	5	4	2	6	3	2	2	R
Melanelia fuliginosa spp. *glabratula* (FR.) NYL.	-	-	-	-	-	-	-	-
Melanelia glabratula (LAMY) ESSL	-	-	-	-	-	-	-	-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Flechtenarten & Autoren	Zeigerwerte nach WIRTH 1992							
	Ökologisches Verhalten							
	L	T	K	F	R	N	To	Su
Melanelia subaurifera (NYL.) ESSL.	-	-	-	-	-	-	-	-
Normandina pulchella (BORRER) NYL.	6	5	3	5	5	4	4	MR
Parmelia saxatilis (L.) ACH.	6	4	6	5	3	2	7	RG
Parmelia submontana NÁDV. ex HALE	-	-	-	-	-	-	-	-
Parmelia sulcata TAYLOR	7	x	6	3	5	4	8	R
Parmelina pastilifera (HARM.) HALE	6	4	2	7	5	4	3	R
Parmelina tiliacea (HOFFM.) HALE	7	6	3	3	5	4	5	R
Parmeliopsis ambigua (WULFEN) NYL.	6	4	6	5	2	2	7	R
Peltigera praetextata (SOMMERF.) ZOPF	5	5	4	5	5	4	4	ER
Pertusaria albescens (HUDS.) M. CHOISY & WERNER	6	5	6	3	6	4	4	R
Pertusaria amara (ACH.) NYL.	6	5	6	4	3	2	5	R
Pertusaria coronata (ACH.) TH. FR.	5	5	3	5	4	3	4	R
Pertusaria leioplaca DC.	4	5	3	4	5	3	5	R
Pertusaria leucostoma A. MASSAL.	-	-	-	-	-	-	-	-
Phaeophyscia endophoenicea (HARM.) MOBERG	6	5	2	6	7	5	3	R
Phlyctis argena (SPRENG.) FLOT.	5	5	4	3	5	3	6	R
Physcia adscendens (FR.) H. OLIVIER	7	5	6	3	7	6	8	R
Physcia aipolia (EHRH. ex HUMB.) FÜRNR.	7	4	6	3	7	5	4	R
Physcia stellaris (L.) NYL.	7	5	6	3	6	5	4	R
Physcia tenella (SCOP.) DC.	7	x	6	3	6	6	8	R
Platismatia glauca (L.) W.L. CULB. & C.F. CULB.	7	4	6	5	2	2	5	RG
Pseudevernia furfuracea (L.) ZOPF	8	4	6	3	2	1	[7]	RG
Ramalina farinacea (L.) ACH.	6	5	6	4	5	3	6	R
Ramalina pollinaria (WESTR.) ACH.	7	3	?	5	4	4	4	R
Trapeliopsis gelatinosa (FLÖRKE) COPPINS & P. JAMES.	-	-	-	-	-	-	-	-
Vulpicida pinastri (SCOP.) J.-E. MATTSSON & M.J. LAI	-	-	-	-	-	-	-	-
Xanthoria candelaria (L.) TH. FR.	7	X	X	3	6	7	(5)	RG
Xanthoria parietina (L.) TH. FR.	7	5	6	3	7	6	7	RG
Xanthoria polycarpa (L.) TH. FR.	7	5	4	3	6	6	7	R

Schwermetalle in Flechten vom UG 2

Für die Bestimmung der Schwermetalle Pb, Cu und Zn wurden Proben von *Parmelia sulcata*, *Hypogymnia physodes* und *Hypotrachyna revoluta* an vier verschiedenen Standorten (siehe Abb. 5) entnommen. Wie aus Abb. 6 ersichtlich, sind an allen vier Standorten erhöhte Blei-Konzentrationen in den Flechten nachweisbar, die die Werte für kritischen Pflanzenwuchs (nach BLUME 1990) bei Weitem übersteigen. An den Standorten 2 und 3, an denen *Parmelia sulcata* gesammelt wurde, liegen die Konzentrationen jedoch weit unter dem Vergleichswert von GARTY & AMMAN 1987. Beim Vergleich mit

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

den Werten für "Kritischen Pflanzenwuchs" wird ersichtlich, dass die gemessenen Blei-Konzentrationen bei allen vier Probenahmestellen im angegebenen Wertebereich (siehe Tab. 3) oder weit über diesen liegen. Quelle für diese erhöhten Blei-Konzentrationen an den Standorten am Laudachsee könnte eine Altlast durch Verwendung von verbleitem Benzin sein. Dessen Emission könnte von den stark frequentierten Verkehrswegen der Salzkammergut Bundesstraße B145 und der Westautobahn A1, die westlich des UG 2 verlaufen, stammen.

Tab. 3: Vergleichs-, Richt -und Grenzwerte der Emissionen von Cu, Zn, Pb

Konzentration in mg/kg Trockenmasse TM			
Element	**Blei (Pb)**	**Kupfer (Cu)**	**Zink (Zn)**
Werte für Flechten			
Parmelia sulcata:			
Bern GARTY & AMMAN 1987	189,00	47,50	259,00
Pseudevernia furfuracea:			
Slowenien FOLKENSON 1979	37,30	35,00	237,00
Schweiz GARTY & AMMAN 1987	135,50	34,70	160,00
Werte für Moose			
Grenzwerte ZECHMEISTER 1994	10,00	12,00	40,00
Mittelwert Österreich ZECHMEISTER 1997	9,80	5,90	33,00
Werte für Weidelgras			
Judenberg (Gaisberg) 2003	0,98	5,20	31,00
Zistelalm (Gaisberg) 2003	0,86	5,20	28,00
SCHROFNER & HASLHOFER 2005			
Werte für Höhere Pflanzen			
Normal in Pflanzen (stark abhängig vom Substrat, Pflanzenart, -organ, -alter)	1 bis 5	3 bis 15	15 bis 150
Kritisch für Pflanzenwuchs (Schwellenwert, bei denen die Wachstumshemmung von sensitiven Pflanzen beginnt)	10 bis 20	15 bis 20	150 bis 200
BLUME 1990, www.umweltbundesamt.de			

Die Schwermetallkonzentrationen von Kupfer liegen in den analysierten Flechtenproben weit unter den Vergleichs-, Richt- und Grenzwerten der Flechtenwerte (nach GARTY & AMMAN 1987, FOLKENSON 1979). Im Vergleich mit den Werten für Höhere Pflanzen liegen die Ergebnisse der Kupfer-Analyse im "Normal"-Bereich.

Vergleichend mit den Flechtenwerten und den Werten für "Höhere Pflanzen" (nach BLUME 1990) wurde ersichtlich, dass sich die Ergebnisse der Zink-Analyse ebenfalls weit unter den Vergleichs-, Richt- und Grenzwerten befinden. Auch die Zink-Konzentrationen sind daher im "Normal-Bereich für Pflanzen" anzusiedeln.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Zusammenfassung

Die Vermeidung, Begrenzung und Überwachung schädlicher Auswirkungen durch Luftschadstoffe sind Ziele der Umweltbeobachtung. Die Bioindikation mit beispielsweise Flechten ist einfach und kostengünstig in der Anwendung und kann laut BEISMANN 2005 über technische Messverfahren hinaus Erkenntnisse über wirkungsrelevante Einflüsse von luftverunreinigenden Schadstoffen liefern. Auch über standörtliche und klimatische Interaktionen kann die Bioindikation Aufschluss geben. Da Flechten auf Luftverschmutzung extrem empfindlich reagieren, werden sie seit Jahrzehnten als Monitororganismen für Bioindikation von Luftverschmutzungen verwendet (NYLANDER 1866; KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995; KIRSCHBAUM & WIRTH 1997; STAPPER et al. 2000). Im Jahre 1984 wurde eine Immissionsbezogene Flechtenkartierung mit epiphytischen Flechten im Bereich Lenzing (Bezirk Vöcklabruck) – Steyrermühl (Bezirk Gmunden) - Laakirchen (Bezirk Gmunden) von TÜRK 1984 durchgeführt. In der nachfolgenden Flechtenkartierung 2006 wurden das Industriegebiet Steyrermühl – Laakirchen und die umliegenden Kulturlandschaften nach der VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13 vom Jahre 2005 kartiert. Beim Vergleich der angefertigten Luftgütekarten wurde ersichtlich, dass sich die Luftgüte in diesen 22 Jahren um teilweise zwei Luftgütezonen verbessert hat. Frühere Bereiche mit sehr niedriger Luftqualität und teilweisen Flechtenwüsten konnten in der Wiederholungskartierung mit mäßiger bis hoher Luftqualität ausgewiesen werden. Es wurden zudem keine Messflächen mit so genannten "Flechtenwüsten" nachgewiesen. Die drei häufigsten Referenz-Flechtenarten *Candelariella reflexa* (Nyl.) Lettau, *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau und *Amandinea punctata* wurden bei einer zweiten Berechnung nicht berücksichtigt, um eine der Belastungssituation entsprechende Luftgütezonierung zu erhalten. Lediglich die Gebiete um die beiden Hauptemittenten der Gemeinde Steyrermühl und Marktgemeinde Laakirchen wiesen die "Zone 2 = Geringe Luftgüte" mit einer sehr hohen Diversität von Eutrophierungszeigern und einem sehr starken Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen nach. Die Überprüfung möglicher Auswirkungen von Industrie- und Verkehrsimmissionen in den Trockentälern nordöstlich des Traunsteins im Bereich des Naturschutzgebietes Laudachsee auf die Flechtendiversität und Analyse möglicher Schwermetalldepositionen ergab: Die Schwermetallanalyse der gesammelten Blattflechten *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata* und *Hypotrachyna revoluta* im industriefernen UG2 Naturschutzgebiet Traunstein - Laudachsee zeigten, dass sich die Konzentrationen der essentiellen Schwermetalle Kupfer und Zink im "für Pflanzen" normalen Bereich ansiedeln, die Blei-Konzentrationen an den Standorten am Laudachsee jedoch erhöhte Werte aufwiesen. Ursache der hohen Blei Konzentrationen könnten Emissionen von verbleitem Benzin entlang der Salzkammergut Bundesstraße B 145 und der Westautobahn A1 sein. Das dominierende Vorkommen nitrophytischer Flechten in beiden Untersuchungsgebieten lässt auf einen hohen Eintrag von Stickstoffverbindungen (NO_x, NH_3 und deren Derivate) schließen.

Literatur

AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG als Kartenquelle http://www.doris.ooe.gv.at (vom Mai 2005 Karten entnommen und verändert durch A. Kienesberger).

BEISMANN H. (2005): Bioindikation – Ladenhüter oder Exportschlager? — Aus: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft; Nov./Dez. 2005. Air Quality Control. Hrsg. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz; BGIA und Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL.

BERGER F. & R. TÜRK (1993): Neue und seltene Flechten und lichenicole Pilze aus Oberösterreich — Österreich. Linzer biologische Beiträge **25/1**: 167-204.

BLUME H.-P. (1990): Handbuch des Bodenschutzes, Bodenökologie und –belastung; vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. — Verlag Ecomed. Landsberg/Lech.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

EGGER R., SCHLEE D. & R. TÜRK (1994): Changes of physiological and biochemical parameters in the lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. due to the action of air pollutants – a field study. — Phyton, Horn, Austria. Vol. **34**: 229-242.

FENT K. (1998): Ökotoxikologie. Umweltchemie, Toxikologie, Ökologie. — Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

FOLKENSON L. (1979): Interspecies calibration of heavy metal concentrations in nine mosses and lichens: applicability to deposition measurement. — Water, Air and Soil Pollution **11**: 253-260.

FRAHM J.-P., FRANZEN-REUTER I. & N.J. STAPPER (2006): Bioindikation mit epiphytischen Flechten – ein Methodenvergleich anhand einer landesweiten Kartierung Nordrhein-Westfalens unter besonderer Berücksichtigung der neuen Richtlinie VDI 3957 Blatt 13. — Aus: Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft, Air Quality control; Juni 2006. Hrsg. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz; BGIA und Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL.

GARTY J. & K. AMMAN (1987): The amounts of Ni, Cr, Zn, Pb, Cu, Fe and Mn in some lichens growing in Switzerland. — Environmental and Experimental Botany **27**: 127-138.

GOOGLE EARTH http://www.google.earth.com (vom Dezember 2006 Übersichtskarte UG 2 entnommen und verändert durch A. Kienesberger).

KIRSCHBAUM U. & U. WINDISCH (1995): Beurteilung der lufthygienischen Situation Hessens mittels epiphytischer Flechten. — Schriftreihe der Hessischen Landesanstalt für Umwelt **171**. 150 Seiten.

KIRSCHBAUM U. & V. WIRTH (1997): Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen. — Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

NOBEL W., BEISMANN H., FRANZARING J., KOSTKA-RICK R., WAGNER G. & W. ERHARDT (2005): Standardisierte biologische Messverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) in Deutschland. — Aus: Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft, Air Quality control; Nov./Dez. 2005. Hrsg. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz; BGIA und Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL.

NYLANDER W. (1866): Les Lichens des Jardins du Luxembourg. — Bulletin Société Botanique de France **13**: 364-371.

SCHROFER S. & M. HASLHOFER (2005): Weidelgrasbiomonitoring – Immissionsmessungen mit Hilfe von Weidelgraskulturen im Zeitraum Mai bis September 2003 (2004). — Land Salzburg, Abt. 16, Umweltschutz.

STAPPER N.J., FRANZEN I. & S. GOHRBANDT (2000): Moose und Flechten kehren ins Ruhrgebiet zurück. — LÖBF Mitteilungen **2/2000**: 12-21.

TÜRK R. (1984): Immissionsbezogene Flechtenkartierung Raum Laakirchen – Steyrermühl – Lenzing bzw. Riedersbach. — Gutachten im Auftrag der Oberösterreichischen Landesregierung. Abteilung Raumordnung und Landesplanung.

TÜRK R. & H. WITTMANN (1988): Flechtenkartierung in Österreich – ein Beitrag zur Dokumentation des Naturraumpotentials. — Natur und Land **5/6**: 98-113.

UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND
http://www.umweltbundesamt.de/fbsw/themen/fue/riton/ux1544.htm (vom 26.07.2005) VDI (2005): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten (Bioindikation). Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator für Luftgüte. — VDI 3957 Blatt 13.

WIRTH V. (1992): Zeigerwerte von Flechten. — In: ELLENBERG H. (Hrsg.), Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica **18**: 215-237.

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

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

ZECHMEISTER H. (1994): Biomonitoring der Schwermetalldepositionen mittels Moosen in Österreich. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie. Band **42**, Wien.

ZECHMEISTER H. (1997): Schwermetalldeposition in Österreich erfasst durch Biomonitoring mit Moosen (Aufnahme 1995). Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie. Monographie **94**, Wien.

Anschrift der Verfasser: Mag. Andrea KIENESBERGER
Dr. Roman TÜRK
Universität Salzburg
Fachbereich Organismische Biologie
AG Ökologie und Diversität der Pflanzen
Hellbrunner Straße 34
A-5020 Salzburg, Austria
E-Mail: Andrea.Kienesberger@sbg.ac.at
roman.tuerk@sbg.ac.at

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

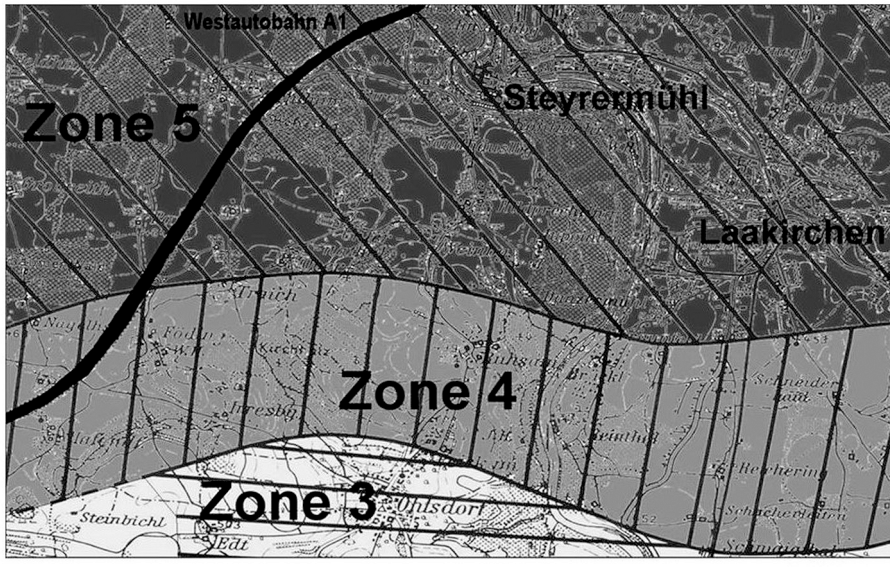


Abb. 1: Luftgütekarte Raum Steyrermühl - Laakirchen 1984, Legende aus TÜRK 1984: Zone 5: sehr stark belastete Zone – Schädigungsgrad über 50 %; Zone 4: stark belastete Zone – Schädigungsgrad 25 - 50 %, Zone 3: mittel belastete Zone – Schädigungsgrad bis 25 %.

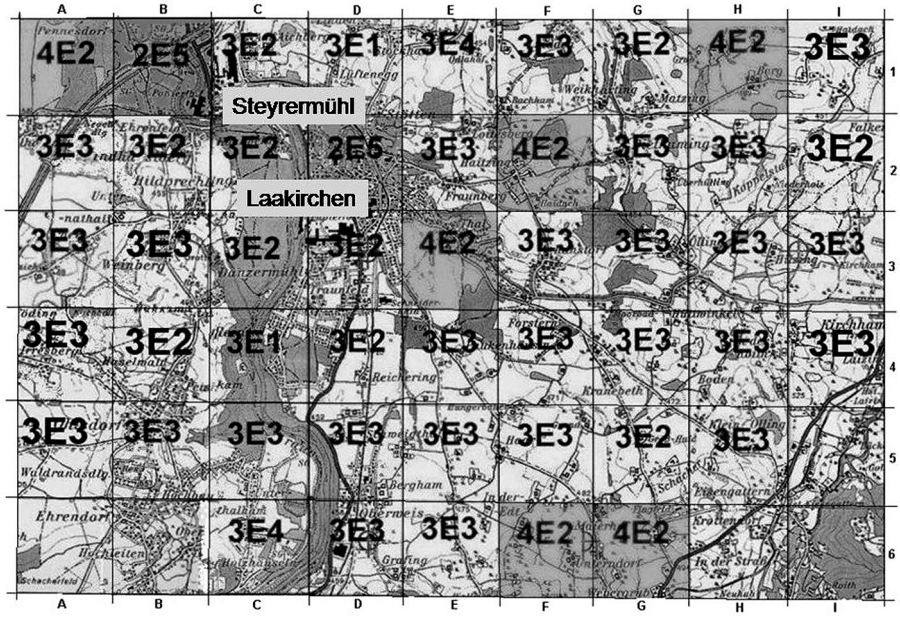


Abb. 2: Luftgütekarte Laakirchen - Steyrermühl 2006 **ohne** 3 Arten.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

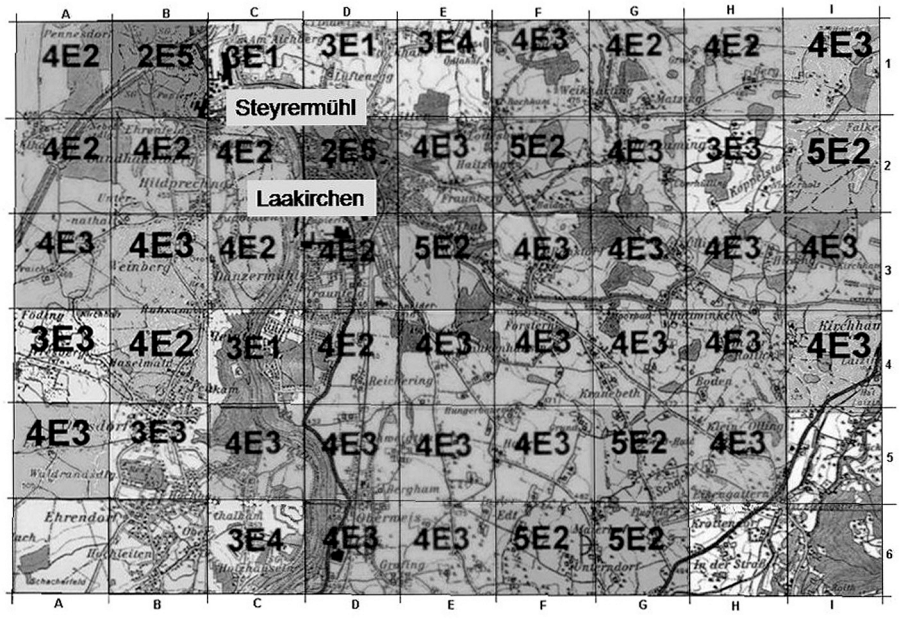


Abb. 3: Luftgütekarte Laakirchen - Steyrermühl 2006 **mit** 3 Arten.

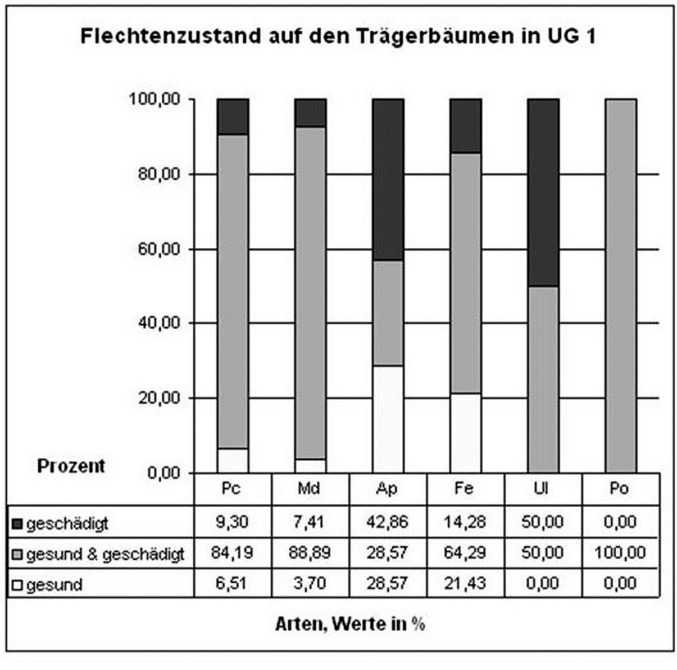


Abb. 4: Zustand der Flechten auf den Trägerbäumen.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

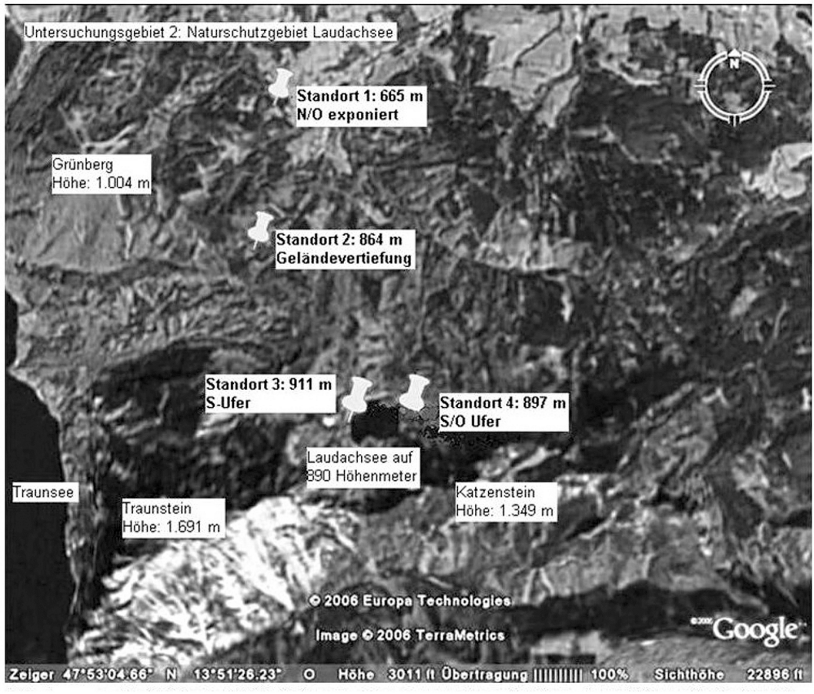
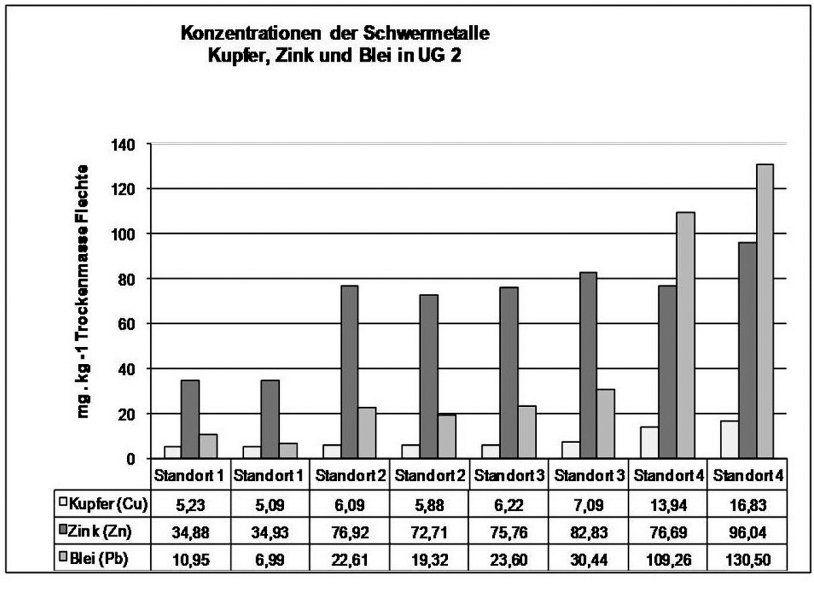


Abb. 5: Ubersichtsbild Untersuchungsgebiet 2.



	Standort 1	Standort 1	Standort 2	Standort 2	Standort 3	Standort 3	Standort 4	Standort 4
Kupfer (Cu)	5,23	5,09	6,09	5,88	6,22	7,09	13,94	16,83
Zink (Zn)	34,88	34,93	76,92	72,71	75,76	82,83	76,69	96,04
Blei (Pb)	10,95	6,99	22,61	19,32	23,60	30,44	109,26	130,50

Abb. 6: Konzentrationen der Schwermetalle Cu, Zn, Pb in Flechten in UG 2.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Beiträge zur Naturkunde Oberösterreichs

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: 0018

Autor(en)/Author(s): Kienesberger Andrea, Türk Roman

Artikel/Article: Immissionsökologische Flechtenkartierung im Industriegebiet Steyrermühl - Laakirchen und Untersuchung der Schwermetalldepositionen im Bereich des Naturschutzgebietes Traunstein - Laudachsee, Oberösterreich 277-291