©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Carinthia II	170./90. Jahrgang	S. 279–299	Klagenfurt 1980

Ökophysiologische Untersuchungen in industriell belasteten Pflanzenbeständen im Raume Gailitz, Kärnten

Von Rudolf MAIER, Helmuth SIEGHARDT, Wolfgang PUNZ, Herbert SLAD, Manfred ENGENHART, Eduard DOMSCHITZ und Alois NAGL

Aus dem Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien

(Mit 13 Abbildungen und 2 Tabellen)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden an einem rauchgasimmittierten und zum Teil schwermetallbelasteten Standort durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag darauf, Methoden zu testen, die geeignet sind, Schadstoffwirkungen bzw. deren unterschiedliches Ausmaß an Pflanzen festzustellen; darüber hinaus sollte die Möglichkeit getestet werden, die Ergebnisse der verschiedenen Methoden zur gegenseitigen Ergänzung einzusetzen.

An Baumborken aus dem Untersuchungsgebiet wurden pH, Leitfähigkeit und Sulfatgehalt ermittelt. Die erhaltenen Werte ergaben eine mehr oder minder deutliche Abstufung der Immissionseinwirkung; die Zonierung anhand der verschiedenen Parameter stimmte im großen und ganzen gut überein.

Die Untersuchung des Wassergehaltes an verschieden stark belasteten Pflanzen scheint auf eine erhöhte Wasserdampfabgabe der stark beeinflußten Pflanzen hinzudeuten.

Zur Einschätzung des Vitalitätszustandes von Pflanzen an wenig und stark belasteten Standorten wurden enzymatische Methoden wie auch die Energiegehaltsbestimmungen von Pflanzen herangezogen.

Die Aktivität von Enzymen an Pflanzen außerhalb umweltkontrollierter Laborexperimente kann auch an natürlich gewachsenen Pflanzen zur Beur-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

teilung von Schadstoffeinflüssen herangezogen werden; allerdings setzt dies eine gewisse Kenntnis der Enzymreaktionen aus Laborexperimenten mit Pflanzen, die unter definierten Bedingungen einer Schadstoffbelastung ausgesetzt wurden, voraus. Auch dann bringen Aktivitätsbestimmungen an Freilandpflanzen nur unter gewissen Umständen den erwünschten Erfolg, so daß zur korrekten Beurteilung weitere Methoden herangezogen werden müssen, wie etwa die Untersuchung der multiplen Formen der Enzyme.

Die vergleichende Untersuchung der Energiegehalte von Blättern und Borken an wenig und stark belasteten Standorten (mit einem adiabatischen Kalorimeter) ergab eine unterschiedliche Verminderung des Energiegehalts stark belasteter Pflanzen. Die daraus abgeleitete physiologische Belastung der Pflanzen stimmt, sofern Vergleiche angestellt werden konnten, mit den Aussagen der Enzymanalyse überein.

SUMMARY

Ecophysiological investigations were carried out in a polluted and (partially) heavy-metal-contaminated area.

Bark extracts from this area showed different values for conductivity, pH and sulfate content; a ± correlation among these values could be observed.

Enzyme analytical methods were used to assess the degree of immission in plants.

The course of transpiration for two differently contaminated sites was measured during the day.

Calorific values of plants decreased with increasing contamination.

EINLEITUNG

Die „Lufthygienische Modellstudie für das Bundesland Kärnten" (KOFLER et al. 1978) weist der Luft im Gebiet von Arnoldstein im Hinblick auf die Schwefeldioxidbelastung die Gütekategorie 4 (stark belastet) zu. Neben SO_2 wurden hier auch die „mit Abstand höchsten Fluoridgehalte" (KOFLER et al. 1978) während der Datenerstellung zu obiger Modellstudie registriert. SO_2 und Fluoride sind auch der Grund für die in diesem Raume auftretenden sauren Niederschläge.

Der Zustand der Vegetation an den entsprechenden Stellen des linken Gailitzufers ist Ausdruck dessen, was Meßapparate zeigen. Hierzu kommt, daß der Fluß schwermetallhältiges Material von Cave del Predil mit sich bringt und an seinen Ufern ablagert. Blei-Zinkerze verarbeitende Industrie stellt eine weitere Schwermetallbelastung dieses Raumes dar (insbesondere durch Ablagerung von Schlacken).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Es war unser Ziel, die Belastung der Pflanzen in diesem Raum nicht von den Immissionswerten her zu beurteilen, sondern die Pflanze selbst als Bioindikator heranzuziehen.

STANDORT

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurde das Gebiet am linken Ufer der Gailitz, nördlich der Bundesstraße, gegenüber einem Schadgase freisetzenden, schwermetallverarbeitenden Werk ausgewählt, um verschiedene ökophysiologische Untersuchungen durchzuführen.

Die Lage des Untersuchungsgebietes ist in Abb. 1 dargestellt. Wie aus Abb. 2 ersichtlich, ist ein großer Teil des Areals bewaldet; im Südosten, gegenüber dem Werksgelände, befindet sich eine Zone mit schütterem Baumwuchs, zum Teil mit geschädigten bzw. bereits abgestorbenen Bäumen.

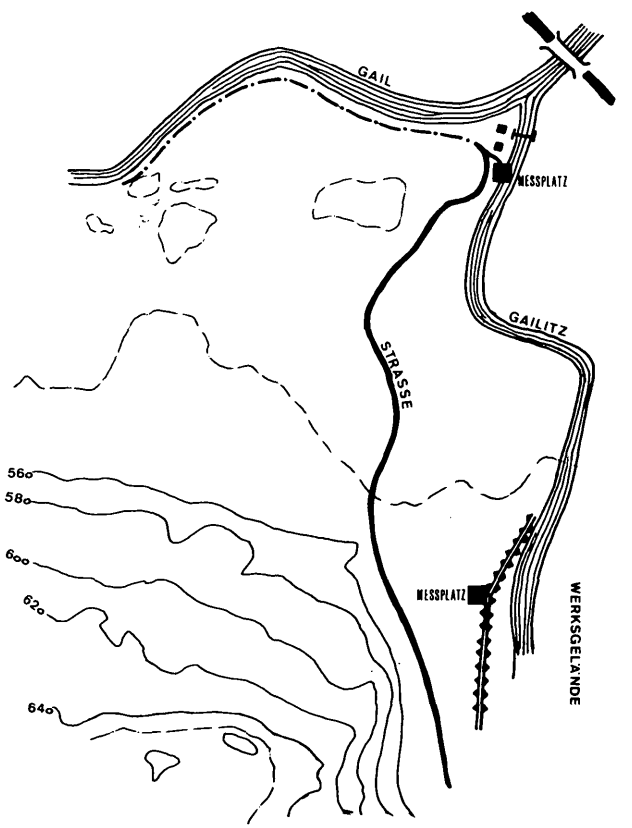


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

IM TEXT ANGEFÜHRTE PFLANZEN

(vollständige Namen nach EHRENDORFER 1973)

Alnus glutinosa (L.) GAERTN.
Berberis vulgaris L.
Betula pendula ROTH.
Daphne mezereum L.
Fagus sylvatica L.
Ligustrum vulgare L.
Picea abies (L.) KARSTEN
Pinus sylvestris L.
Quercus robur L.
Silene vulgaris ssp. *glareosa* (JORD.) MARSDEN-JONES & TURRILL
(= Silene willdenowii)
Thlaspi rotundifolium subsp. *cepaeifolium* (WULF.) ROUY & FOUC.
Viburnum lantana L.

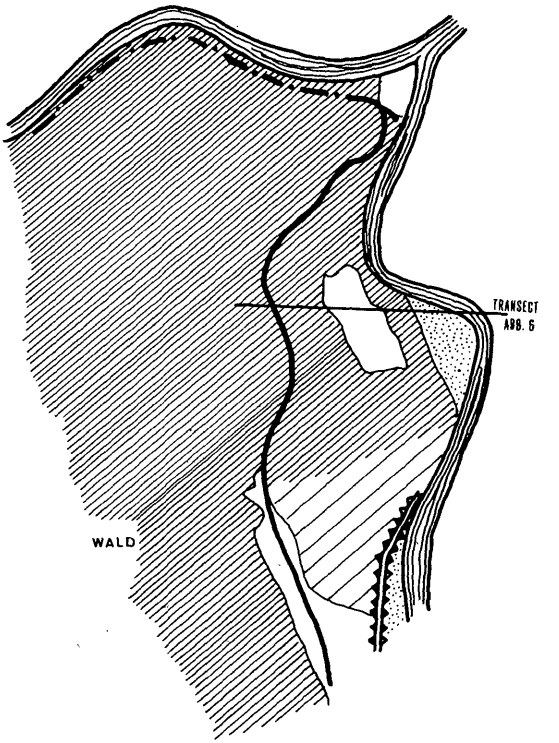


Abb. 2: Untersuchungsgebiet. Waldbedeckung schematisch dargestellt.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

MATERIAL UND METHODEN

Borkentest: Im Abstand von etwa 200 m wurden parallele Ost-West-Transekte durch das Untersuchungsgebiet gelegt und entlang dieser Transekte Borkenproben von Fichten und Föhren entnommen (jeweils werkseitig, in annähernd gleicher Höhe am Stamm). Die Proben wurden sodann gemahlen, in Aqua dest. extrahiert und am Extrakt Leitfähigkeit, pH und SO_4-Gehalt bestimmt (vgl. HÄRTEL und GRILL 1972).

Enzymatische Analysen: An zwei unterschiedlich stark immittierten Standorten wurde von Bäumen, Sträuchern bzw. Kräutern jeweils eine Mischprobe entnommen. Bei den Holzgewächsen wurde auf gleiche Exposition (werkseitig) bei der Probennahme geachtet.

Die Bestimmung der Aktivität TTC-reduzierender Enzyme erfolgte mit geringen Modifikationen nach der bei BERGMANN (1974) beschriebenen Methode. Proben von jeweils 100 mg wurden in Form von ausgestanzten Scheibchen (Durchmesser 7 mm) in eine gepufferte (Phosphatpuffer pH 7,4) 0,6%ige TTC(Merck)-Lösung gebracht und 22 Stunden bei 30°C belassen. Das nach dieser Zeit gebildete Formazan wurde in Äthanol extrahiert und im Photometer (Monospac 100, JOBIN-YVON) bei 530 nm vermessen.

Für Peroxydase, Esterase und Saure Phosphatase wurde aus dem Blattmaterial ein gepufferter Extrakt hergestellt (entspr. MAIER 1977a). Als Nachweisreaktion für die Peroxydase wurde H_2O_2 in Verbindung mit Benzidin-(Merck)-Guajacol(Loba-Chemie), für die Esterasen α-Naphthylacetat-(Serva) und Echtblausalz BB(Fluka), für Saure Phosphatasen Natrium-naphthyl-(1)-phosphat(Merck) und Echtblausalz BB verwendet. Die elektrophoretische Trennung der Enzyme erfolgte in einer Vertikal-Flachgelelektrophoresekammer (modifiziert nach RAYMOND 1962; bzw. mit einer Kammer der Fa. Pharmazia) in 20-, 12- bzw. 10%igen Acrylamidgelen bei 300 V (näheres zur Enzymanalyse und zur Elektrophorese in den entsprechenden Arbeiten von MAIER 1977a, b, 1978a, b).

Transpiration und Kleinklima: Die Registrierung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit erfolgte einerseits mittels Thermohygrographen, zum andern über NTC-Fühler (Telethermometer, YELLOW SPRINGS) und ASSMANN-Aspirationspsychrometer. Die Wasserdampfabgabe wurde nach der Schnellwägemethode (STOCKER 1929; vgl. RAWITSCHER 1955) festgestellt; Porometermessungen nach der Methode von KÖRNER (1972).

Kalorimetrie: Blatt- und Borkenproben wurden in einem ventilierten Trockenschrank bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend in einer CULATTI-Schlagmühle pulverfein gemahlen, zu Tabletten gepreßt und in einer Kalorimeter-Bombe (IKA-Kalorimeter, JANKE/KUNKEL) in reinem Sauerstoff bei ca. 22–25 bar verbrannt (Näheres bei

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

SIEGHARDT 1974). Aus statistischen Gründen wurden pro Standort mehrere Proben (bei den Bäumen jeweils in gleicher Höhe, werkexponiert) geworben und jeweils drei Tabletten im Kalorimeter verbrannt. Die Energiegehalte werden in $Kcal.g^{-1}$ Trockensubstanz angegeben.

ERGEBNISSE

Leitfähigkeit, pH und SO_4-Gehalt von Koniferenborken:

Die Verwendung von Baumborken als Indikatoren der Luftverschmutzung findet sich bereits mehrfach in der Literatur. Für Laubbäume sei insbesondere auf die Arbeiten von LÖTSCHERT und KÖHM (1973, 1977), allgemein auf die Publikationen von HÄRTEL und GRILL (1972), HUTTER (1973), STÜBER (1975), KIENZL (1978) und KIENZL und HÄRTEL (1979) hingewiesen.

Im Untersuchungsgebiet sollte zunächst festgestellt werden, ob grundsätzlich eine Zonierung des Immissionsgebietes mit Hilfe der Borkenextrakte möglich war. Darüber hinaus sollten Fichte und Föhre im Vergleich

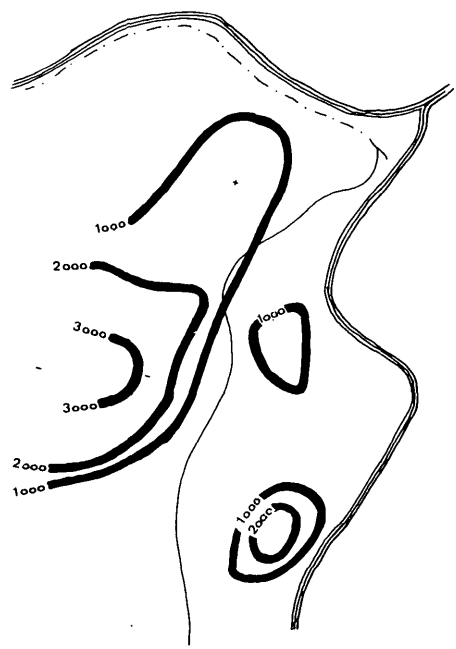


Abb. 3: Leitfähigkeitswerte von Fichtenborkenextrakten im Untersuchungsgebiet in μS (nach oben bzw. unten abweichende Meßpunkte sind durch „+" bzw. „−" ausgewiesen).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

getestet, und schließlich auch die Beziehungen zwischen den einzelnen Parametern der Borkenextrakte, nämlich Leitfähigkeit, pH und Sulfatgehalt, ermittelt werden. Zum Zeitpunkt der Auswertung der Untersuchungsergebnisse lag bereits die „Lufthygienische Schwerpunktstudie für den Raum Arnoldstein–Fürnitz" (KOFLER et al., 1979) über den Bereich Villach–Arnoldstein vor, so daß es möglich war, zumindest grobe Vergleiche mit den dort angegebenen Werten zu ziehen.

Im Untersuchungsgebiet waren insgesamt 60 Fichtenproben und 50 Föhrenproben entnommen (vgl. Material und Methoden) und auf Leitfähigkeit, pH und Sulfatgehalt ihrer Borkenextrakte untersucht worden. Es wurde versucht, die gewonnenen Werte graphisch (in Form einer Karte) darzustellen, wobei jeweils drei bis vier Stufen ausgeschieden wurden. Für die Föhre erwies sich dieses Vorhaben als nicht zweckmäßig; die entsprechenden Darstellungen für die Werte von Fichte sind in den Abbildungen 3, 4, 5 wiedergegeben.

Bemerkenswert ist zunächst, daß in allen drei Abbildungen zwei Zonen (offenbar) stärkerer Immissionswirkungen auszuscheiden sind: ein zum Teil „zungenförmiges" Gebiet im Nordwesten sowie ein weiterer Fleck im Südosten des Untersuchungsgebietes (letzterer ist im Bereich der „Kampfzone" des Waldes zu lokalisieren). Eine weitere Zonierung ist unterschied-

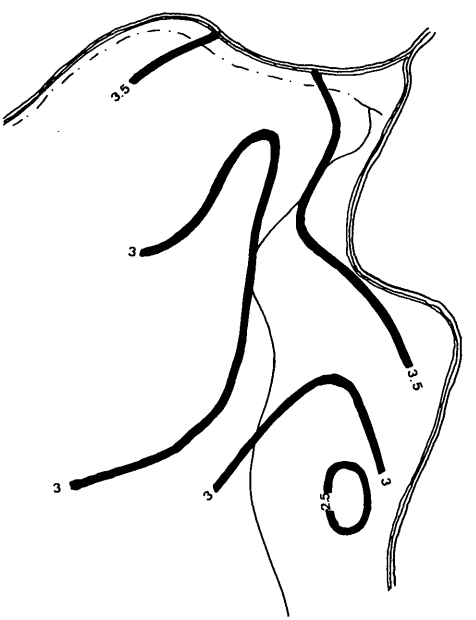


Abb. 4: pH-Werte von Borkenextrakten im Untersuchungsgebiet.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

lich deutlich bei den einzelnen Parametern ausgeprägt. Die erstgenannte Zone im Nordwesten des Untersuchungsgebietes, die insbesondere bei Sulfatgehalt und Leitfähigkeit noch eine weitere Zonierung ergibt, weist offenbar gewisse Beziehungen zu den entsprechenden Isosulfenverteilungen bei KOFLER et al. (1979) auf; auch hier zeigt sich eine Art „konzentrische" Stufung der Schwefeldioxidkonzentration mit einem Maximum im Hangbereich (im Südwesten unseres Untersuchungsgebietes). Hierzu sei besonders angemerkt, daß in diesem südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes keine lebenden Koniferen mehr aufgefunden werden konnten.

Eine Verteilung der entsprechenden Werte für Föhrenborken war nicht zu ermitteln: die Unterschiede erwiesen sich als uneinheitlich und weniger ausgeprägt.

Ein interessantes Beispiel für die Wirkung von Waldlichtungen ist in Abb. 6 wiedergegeben. Nimmt man an, daß die Immissionen größtenteils aus südöstlicher Richtung kommen, so erscheinen die relativ höheren Werte am Ufer der Gailitz verständlich; im Wald nimmt die Immissionsbelastung offenbar ab, um im Westen der Lichtung wieder erheblich anzusteigen; erst weiter im Wald ist wieder ein Abfall zu verzeichnen.

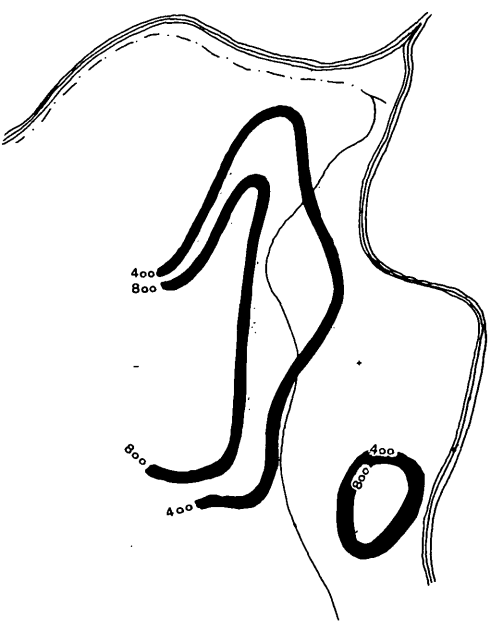


Abb. 5: Werte der Sulfatgehaltsbestimmung von Fichtenborkenextrakten im Untersuchungsgebiet; in $g.l^{-1}$ (nach oben bzw. unten abweichende Meßpunkte sind durch „+" bzw. „−" ausgewiesen).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die rein mathematisch kalkulierten Beziehungen zwischen den angeführten Parametern sind in Tab. 1 zusammengefaßt (infolge Ausfalls verschiedener Proben bei der Auswertung ist die Anzahl der miteinander verglichenen Ergebnisse nicht immer gleich). Im großen und ganzen ergibt sich eine gute bis mäßige Korrelation zwischen den untersuchten Größen. Interessanterweise ist diese für die Föhrenborken sogar geringfügig höher als für Fichte. Die angegebenen Korrelationen entsprechen in ihrer Grö-

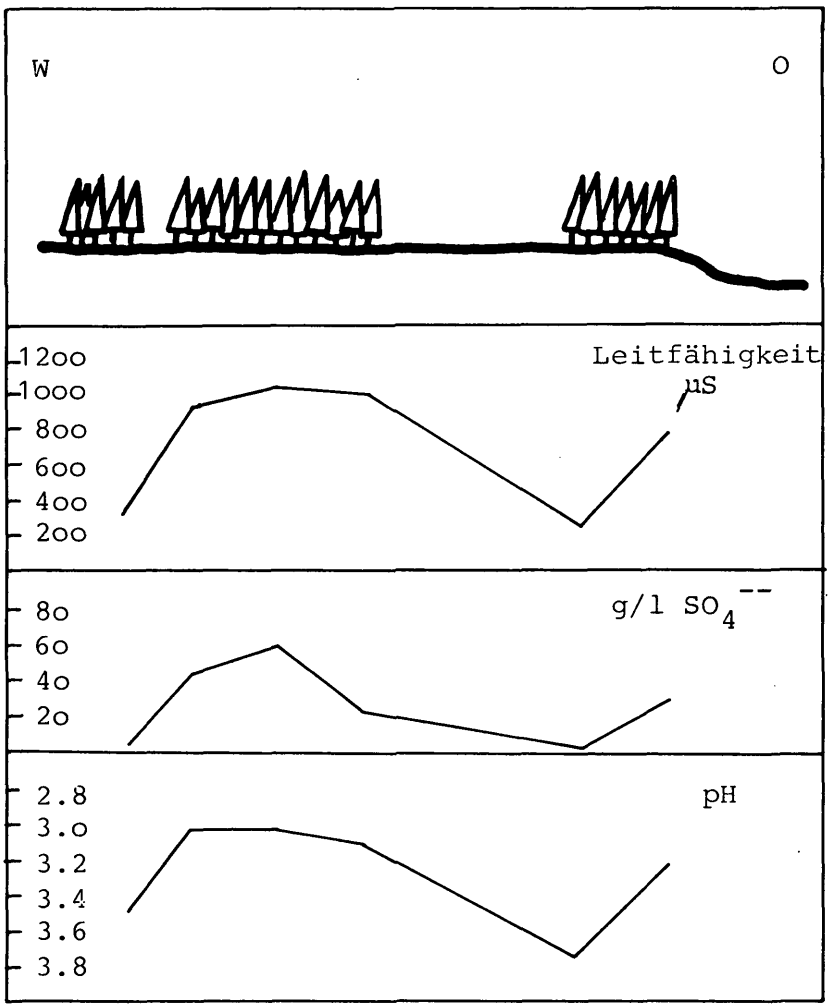


Abb. 6: Transekt (O-W; vgl. Abb. 2) im Bereich der Lichtung: Leitfähigkeit, pH und Sulfatgehalt von Fichtenborkenextrakten.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

ßenordnung etwa den Angaben in der Literatur; verglichen mit den Werten für Laubbaumborken (vgl. LÖTSCHERT und KÖHM, 1973, 1977) sind sie jedoch eher als gering zu bezeichnen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß es nicht möglich war, anhand der Werte von Föhrenborkenproben eine Gradation von Schadstoffbelastungen zu erstellen. Dagegen muß im Vergleich der drei Zonierungsdiagramme für Leitfähigkeit, pH und Sulfatgehalt von Fichtenborken eine im großen und ganzen gute Übereinstimmung festgestellt werden.

Auf Grund der gewonnenen Ergebnisse ist anzunehmen, daß mit Hilfe der untersuchten Parameter zumindest eine grobe Einteilung des untersuchten Gebiets in stark bzw. schwach belastete Zonen möglich sein dürfte.

Enzymatische Analysen:

Enzyme werden als Bioindikatoren in der Schadstofforschung schon seit geraumer Zeit herangezogen. KELLER (1974) konnte mit Hilfe von Aktivitätsbestimmungen an der Peroxydase die Kartierung eines fluorimmittierten Gebietes durchführen (vgl. auch GODZIK 1967). Vorbehaltlos eingesetzt, bringen Aktivitätsbestimmungen von Enzymen große Irrtumsmöglichkeiten mit sich, und es ist weiters nicht verwunderlich, daß solche Methoden meist in Modellversuchen eingesetzt werden (z. B. KELLER und SCHWAGER 1971, PAHLICH et al. 1972, ZUBER et al. 1973, FLÜCKIGER 1975, HORSMAN und WELLBURN 1975, MATHYS 1975, ERNST 1976, LEE et al. 1976, RABE und KREEB 1976, WELLBURN et al. 1976, PIERRE 1977, FLÜCKIGER et al. 1978, PÄIVÖKE 1979).

Abb. 7 zeigt die relative Aktivität TTC-reduzierender Enzyme und der Peroxydasen in den Blättern werknah gelegener Bäume bzw. Sträucher, bezogen auf die Aktivität wenig rauchgasimmittierter werkferner Pflanzen. Durch eine Reihe von Untersuchungen konnte geklärt werden, daß Enzyme in Pflanzen, die dem Schadstoff Blei ausgesetzt sind, auf das Schwer-

Tab. 1: Borkenextrakte – Beziehungen zwischen Leitfähigkeit, Absorption und pH

FICHTE	n	y=kx+d	r
Leitfähigkeit – pH	59	y=-0.00033x +3.38	-0.71
Absorption – Leitfähigkeit	44	y= 2.62x +962	0.49
Absorption – pH	43	y=-0.00615x +3.26	-0.63
FÖHRE	**n**	**y=kx+d**	**r**
Leitfähigkeit – pH	48	y=-0.00069x +3.55	-0.77
Absorption – Leitfähigkeit	22	y= 2.03x +171.9	0.91
Absorption – pH	24	y=-0.00079x +3.12	-0.66

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

metall direkt (Kontakteffekt) und indirekt (Sekundäreffekt) reagieren (zusammenfassende Darstellung bei MAIER 1978a). Wie es scheint, hat diese Vorstellung auch für andere Schadstoffe Geltung, als Beispiel sei die Indikation mit Hilfe gelelektrophoretischer Methoden an *Pinus nigra* an einem Teilstück einer Wiener Nordstraße angeführt (MAIER 1980).

Will man in diesem Sinne eine Wertung der Vitalität der Bäume bzw. Sträucher in Abb. 7 anhand der Enzymaktivitäten durchführen, so muß man jene Pflanzen ausschließen, bei denen die relative Aktivität einer

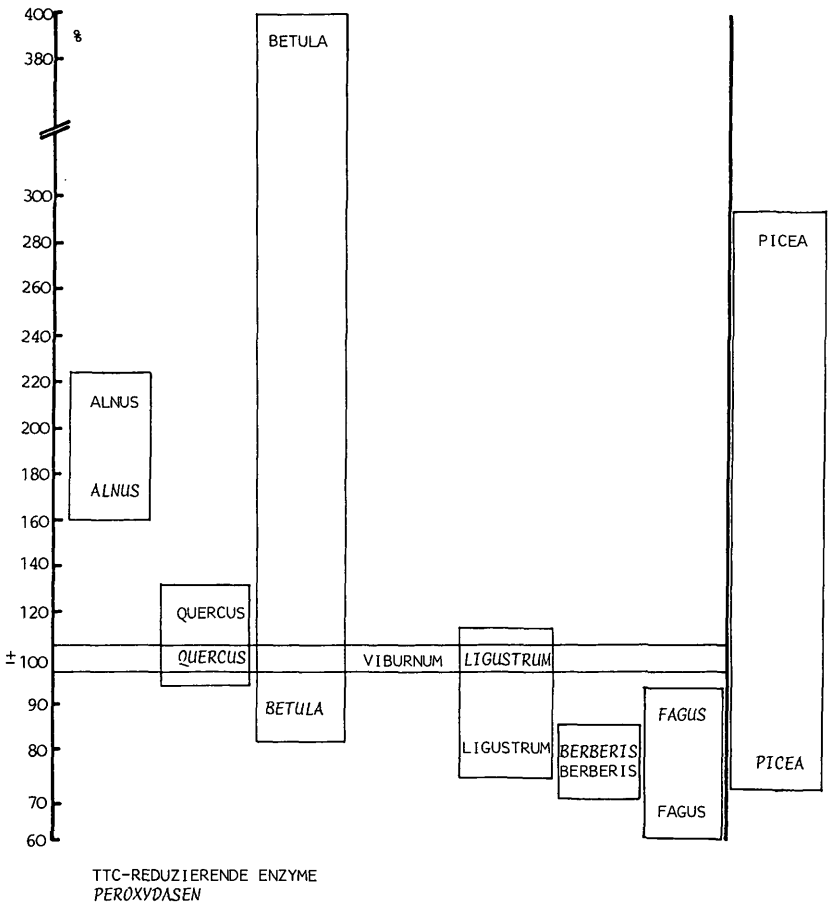


Abb. 7: Relative Aktivität der Peroxydasen und der TTC-reduzierenden Enzyme in den Blättern werknaher Bäume und Sträucher im Vergleich zu werkfernen (= 100%).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Enzymgruppe an beiden Standorten (werknah, werkfern) annähernd gleich hoch liegt. Sie sind durch das Kriterium Enzymaktivität allein, ohne Kenntnis des Enzymmusters, in ihrem Grad der Beeinflussung nicht sicher zu beurteilen (MAIER 1980), vorsichtshalber u. a. auch deshalb, weil in der Methode der Enzymanalyse prinzipielle Unterschiede bestehen, insofern als die TTC-Methode gegenüber der Peroxydasebestimmung ohne Zerstörung der Zellstruktur vorgenommen werden kann. Von den übrigen Pflanzen sind jene, bei denen jede Enzymgruppe (TTC-reduzierende Enzyme und Peroxydasen) im werknahen Bereich eine höhere relative Aktivität besitzt als am werkfernen Standort, als am wenigsten beeinflußt zu bezeichnen (*Alnus*). Stärker ist die Immissionswirkung, wenn sich zeigt, daß einer der beiden Aktivitätswerte deutlich unter dem Wert der werkfernen Pflanzen liegt *(Picea, Betula)*. Am stärksten betroffen sind Pflanzen, bei denen beide untersuchten Enzyme im Werkbereich eine niedrigere relative Aktivität aufweisen als am schwach immittierten Standort *(Fagus, Berberis)*.

In Abb. 8 ist neben der Enzymaktivität auch das gelelektrophoretische Muster der Peroxydase in Blättern von *Fagus* wiedergegeben. Das gelelektrophoretische Muster der multiplen Formen der Peroxydase ist an den unterschiedlich stark immittierten Standorten verschieden, im kathodischen Bereich haben werknahe Pflanzen weniger substrataktive Banden, dafür treten im anodischen Bereich drei neue multiple Formen auf. Die Aktivität der Peroxydase in *Fagus* ist, übereinstimmend mit dem TTC-Test, im werknahen Bereich niedriger. Ein verändertes Enzymmuster dürfte auf Veränderungen im Stoffwechsel zurückzuführen sein, ein Hinweis, daß in diesem Falle die Beeinflussung stärker ist als dann, wenn es zu keiner Veränderung des elektrophoretischen Enzymmusters kommt (MAIER 1978).

Unter Umständen können auch mikroklimatische und edaphische (ausschließlich jener von Schadstoffkomponenten, hier etwa die Schwermetallbelastung des Bodens) Unterschiede zwischen den Standorten das Ergebnis beeinflussen. Es ist daher angezeigt, weitere Kriterien zur Beurteilung der Pflanzen heranzuziehen. Soweit Energiegehalte an den Blättern kalorimetrisch bestimmt wurden (Abb. 13), ist eine auffallende Übereinstimmung mit den Enzymanalysen bei den Laubgehölzen gegeben. Demzufolge hat die Erle am stark immittierten (im Vergleich zum werkfernen) Standort die niedrigsten energetischen Verluste (1,3%), gefolgt von Birke (2,4%) und Berberitze (2,7%). Am geringsten sind die Energieeinbußen bei der Fichte, nämlich 1,2%, was von den Enzymaktivitäten her nicht zu erwarten wäre. Möglicherweise liegen die energetischen Verhältnisse bei Nadelbäumen aufgrund der Mehrjährigkeit der Nadeln anders als beim Laubbaum, der jährlich die Blätter erneuert.

Von den krautigen Pflanzen wurde *Thlaspi* am eingehendsten untersucht. Sowohl die Peroxydasen, Sauren Phosphatasen wie auch die Esterasen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

haben neben einem veränderten Enzymmuster im stark immittierten Raum eine niedrigere Enzymaktivität als in der weiteren Umgebung des Emittenten (Abb. 9), was an und für sich auf eine Schadstoffbelastung hinweisen würde. *Thlaspi cepaeifolium,* die einzige Kennart des Thlaspeetum cepeaefolium (ERNST 1965), siedelt auf schwermetallhaltigen Böden. Möglicherweise sind die gefundenen Enzymmuster wie auch die Enzymaktivität neben einer Rauchgaswirkung auch von einer Schwermetallkomponente geprägt, die im werknahen Areal, in Ufernähe der Gailitz, neben dem Eintrag von Schwermetallen durch den Fluß selbst wie auch durch Auf-

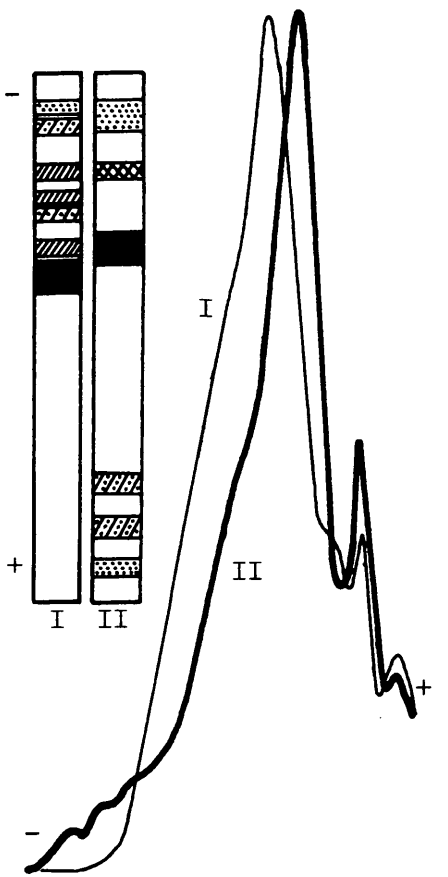


Abb. 8: *Fagus sylvatica:* Zymogramm und Densitogramm der Peroxydase in den Blättern verschieden stark belasteter Bäume I: werkfern, II: werknah, +,−: anodischer, kathodischer Bereich des Zymogramms. Geschätzte Intensität der Farbbanden: schwarz – sehr stark, gekreuzt – stark, liniert – mittel, liniert-punktiert – schwach, punktiert – sehr schwach.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

schüttungen schwermetallhaltiger Erze stärker zum Tragen kommt als am wenig rauchgasimmittierten Standort. Dort sind durch die Bildung einer Humusdecke eventuelle schwermetallhältige Ablagerungen der Gailitz bereits überdeckt, und durch die heutigen, zum Teil steilen Uferbänke ist neuer Schwermetalleintrag eher auszuschließen.

Wieweit das veränderte Enzymmuster bzw. die Enzymaktivität Ausdruck einer Adaptierung dieser Pflanze an den schwermetallhältigen Standort (ERNST 1965) ist, kann nicht entschieden werden. Es ist somit auch nicht ohne weiteres möglich, die tatsächliche Situation dieser Pflanze allein

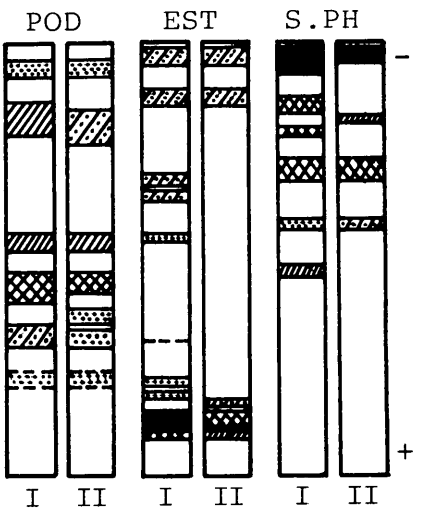


Abb. 9: *Thlaspi cepaeifolium:* Zymogramme der Peroxydase (POD), der Esterase (EST) und der Sauren Phosphatase (S. PH.) von Pflanzen unterschiedlich stark belasteter Standorte I: werkfern, II: werknah, weitere Legende siehe Abb. 8.

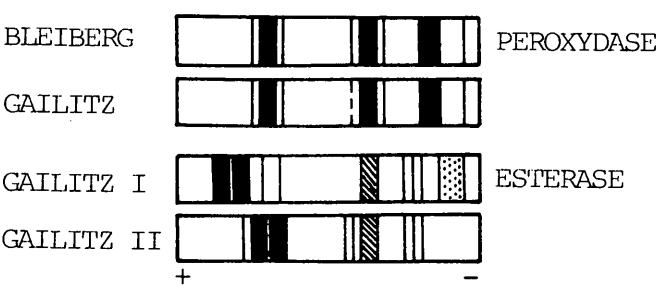


Abb. 10: *Silene willdenowii:* Zymogramme der Peroxydase von Pflanzen schwermetallführender, aber wenig rauchgasimmittierter Standorte in Bleiberg und in Gailitz (Standort entspricht nicht I in den vorhergehenden Abbildungen), und Zymogramme der Esterase von Pflanzen aus Gailitz im werkfernen (I) und werknahen (II) Gelände; weitere Legenden siehe Abb. 8.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

durch vorliegende enzymatische Untersuchungen zu klären. Ähnliches gilt für *Silene vulgaris* ssp. *glareosa,* eine auch an Schwermetallstandorte angepaßte Pflanze, bei der das elektrophoretische Muster der Esterasen ebenfalls verändert ist. Daß hier Rauchgase mitspielen, läßt sich vielleicht daraus ableiten, daß das Peroxydasemuster von Pflanzen der Abraumhalden von Bleiberg (kaum rauchgasimmittiert) und eines immissionsarmen Gebietes von Gailitz das gleiche Enzymmuster aufweisen (Abb. 10).

Transpirationsmessungen:

Die Wasserdampfabgabe von *Thlaspi* und *Berberis* am werknahen Standort ist auffallend verschieden von jener im werkfernen Bereich. Allerdings kommt dies weniger im Tagesverlauf als vielmehr in der Intensität der Transpiration zum Ausdruck, die am immittierten Standort weitaus größer ist; selbst bei der Fichte ist eine höhere Transpiration zu erkennen (Abb. 11, 12). Es liegt nahe, die Unterschiede in der Wasserdampfabgabe zuerst unterschiedlichen mikroklimatischen Verhältnissen an den beiden Meßplätzen zuzuschreiben. Man sollte allerdings nicht ausschließen, daß die Transpiration am Standort Werk von der Schadstoffkomponente mitbestimmt wird, wenn man die beträchtlichen Unterschiede in der Transpiration an beiden Standorten mit den Unterschieden des Mikroklimas in Beziehung bringt (Abb. 11). Die Wasserverhältnisse im Boden dürften eine gute Versorgung der Pflanze gewährleisten, denn in beiden Fällen lag der Standort im Uferbereich der Gailitz. Die vorliegenden Untersuchungen würden demnach eine höhere Wasserdampfabgabe (Abb. 11, 12) oder, anders ausgedrückt, einen niedrigeren Diffusionswiderstand (Tab. 2) bei immittierten Pflanzen implizieren. Der Einfluß von Schwefeldioxid – hier die Hauptschadstoffkomponente (KOFLER et al. 1978) – auf das stomatäre Verhalten wurde vielfach untersucht, wobei die Resultate eher unterschied-

Tab. 2: Porometerwerte (Diffusionswiderstände in $s.cm^{-1}$) am stark (II) und schwach (I) belasteten Standort; „S": Pflanze im Schatten

		Zeitintervall					
		12–13	13–14	14–15	15–16	16–17	17–18
Berberis	II	12.2	13.6		10.1		11.7
	I			18.4		9.94 31.4(S)	
Viburnum	II	12.0			21.2		21.3
	I		9.2			10.3(S)	
Ligustrum	II			nicht meßbar (≫)			
	I		12.3			> 33.3	
Daphne	II	13.1	9.5		28.4		33.6
	I			nicht meßbar (≫)			
Quercus	II		33.0				27.4
	I			39.4			

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

lich sind; die Tatsache, daß bei chronischen und hohen Schwefeldioxidkonzentrationen mit einer zunehmenden Steigerung der Transpirationsrate zu rechnen ist, scheint die vorliegenden Aussagen allerdings zu unterstreichen (HEILING 1933; Literatur bei BELL und MUDD 1976, GSCHLIFFNER 1976, ROTHSCHEDL 1976, SCHINNINGER 1979).

Energiegehalte von Blättern und Borken:

Abb. 13 zeigt die Energiegehalte (Kalorimeterwerte) von Blättern und Borken verschiedener Pflanzen. Birken- und Erlenblätter eines kaum belasteten Standortes (werkferner Kontrollstandort) haben die relativ höchsten Energiegehalte (5208 ± 5 bzw. 5142 ± 14 cal/Gramm Trockensub-

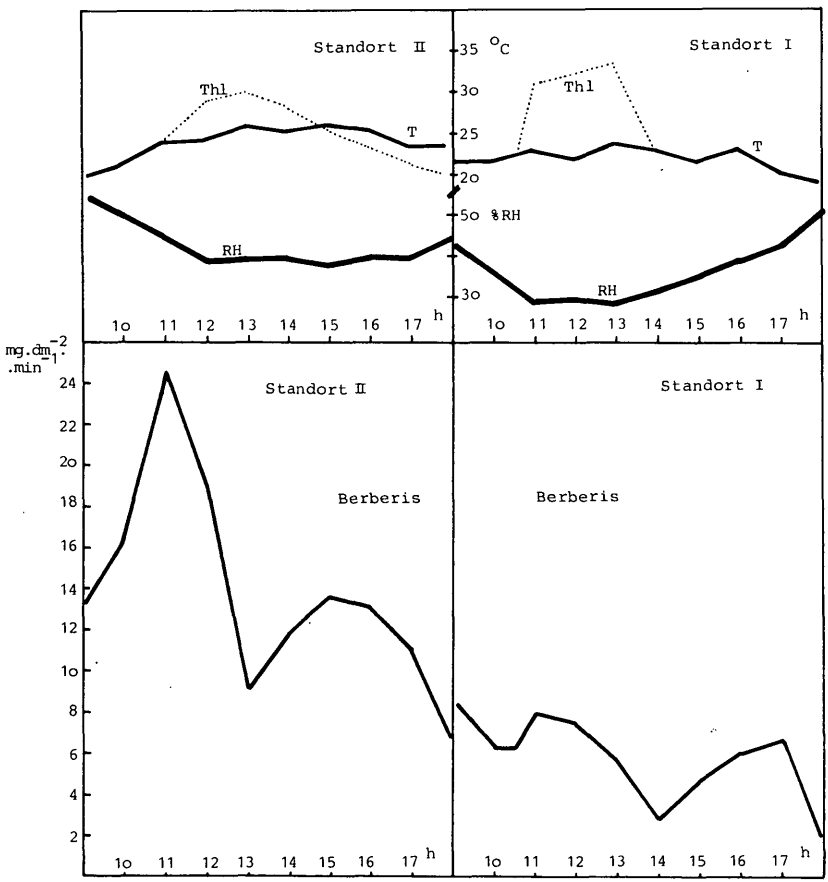


Abb. 11: Tagesgang von relativer Luftfeuchtigkeit (RH), Lufttemperatur (T) und Temperatur in Bodennähe (*Thlaspi*, Thl.) am werkfernen (I) und werknahen (II) Standort. Weiters Transpiration von *Berberis* an den genannten Standorten.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

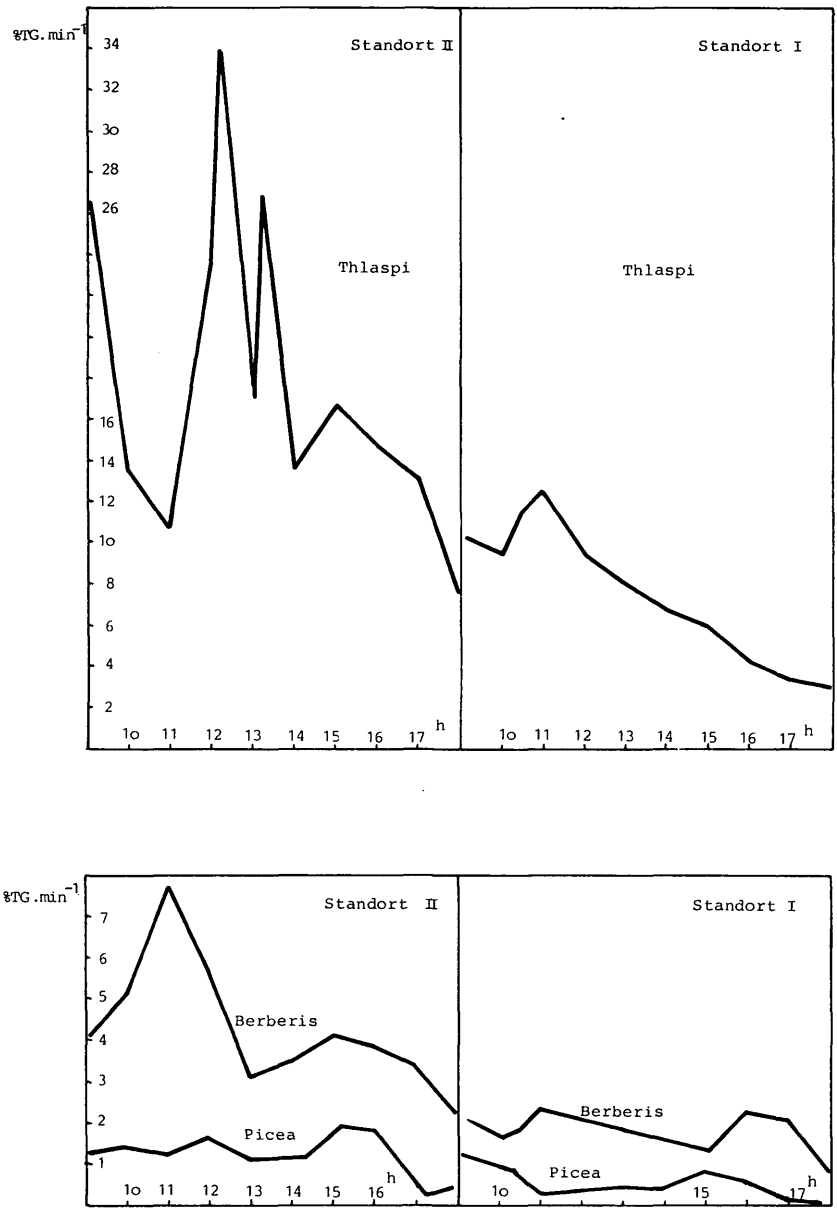


Abb. 12: Transpiration von *Thlaspi, Berberis* und *Picea* am werkfernen (I) und am werknahen (II) Standort.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

stanz). Die Berberitze liegt dagegen mit einem Energiegehalt der Blätter von 4766 ± 18 cal.g^{-1} beträchtlich niedriger. Fichtennadeln diesjähriger Triebe besitzen einen Energiegehalt von 4832 ± 29 cal.g^{-1}. Die deutlichen Abweichungen in den Kalorimeterwerten sind auch den unterschiedlichen Geweben dieser Organe zuzuschreiben; das bedeutet, daß die Variabilität im Energiegehalt die unterschiedliche chemische Zusammensetzung dieses Materials reflektiert (Blätter weisen meist einen höheren Gehalt an energiereichen Zuckern, Lipiden und Proteinen auf, HUGHES 1971, HUNT 1966).

Ein Vergleich der Energiegehalte der Trockensubstanz eines wenig beeinflußten Standortes (werkfern) mit einem stark immittierten Gebiet (werknah) zeigt die Energieeinbußen doch recht deutlich; Material, das in Werknähe aufgesammelt wurde, hat generell niedrigere Kalorienwerte als solches von weniger bzw. kaum belasteten Standorten (Abb. 13). Fichte und Kiefer weisen die größten Unterschiede im Energiegehalt der Borke auf: 325 bzw. 204 cal/Gramm Trockensubstanz Energiedifferenz konnte festgestellt werden. Der unmittelbare Schadstoffeinfluß scheint der Pflanze u. a. auch Energie zu kosten; höhere Immissionskonzentrationen verringern den Heizwert der Phytomasse ganz beträchtlich. Der Kaloriengehalt der Föhrenborke belasteter Standorte liegt 5%, jener der Fichtenborke 8% unter dem Wert des Kontrollstandortes. Die kumulative Wirkung bei vordergründiger SO_2-Belastung wird also nicht nur deutlich in der Erfahrung, daß bei Koniferen zuerst die älteren Nadeljahrgänge geschädigt werden (GARBER 1967 und VAN HAUT und STRATMANN 1970), sondern genauso, wenn man die Energieverluste der Borke an solchen Standorten in Betracht zieht. Im Energiegehalt der Borke manifestiert sich anteils-

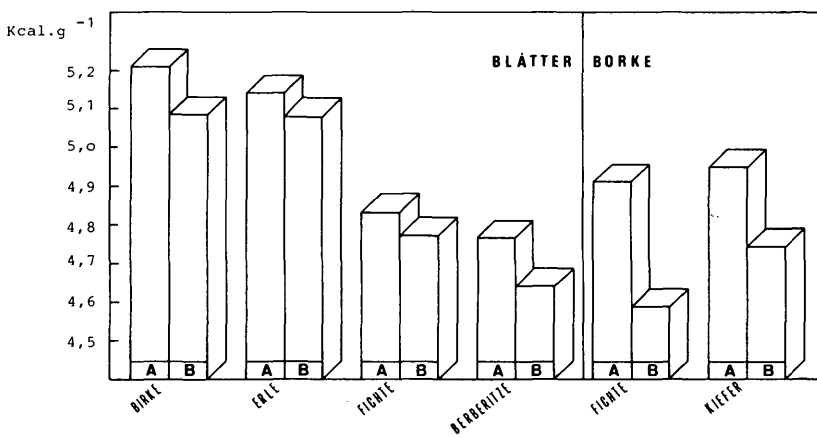


Abb. 13: Energiegehalte von Blättern und Borken in Kcal.g^{-1} Trockensubstanz. A = Kontrollstandort, B = immittierter (werknaher) Standort.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

mäßig eine mehrjährige Immissionsbelastung des Baumes (aufgrund der funktionellen Mehrjährigkeit der sekundären Rinde).

Die Blätter zeigen ähnliche Unterschiede im energetischen Gehalt, wenngleich nicht so deutlich ausgeprägt. Den größten Unterschied im Energiegehalt der Blätter weist die Berberitze auf: 2,7% weniger Energie enthält die Trockensubstanz des stark immittierten Gebietes im Vergleich zum werkfernen Standort. Bei der Birke macht die Energieeinbuße 2,4% aus und bei der Erle 1,3%.

Ähnlich niedrig ist der Energieverlust bei der Fichte (1,2%). Anscheinend wirken sich bei Koniferen die Unterschiede im Energiegehalt erst bei älteren Nadeln, die bereits über eine längere Zeit einem Schadstoff ausgesetzt sind, deutlich aus (MAIER et al. 1979). Möglicherweise werden energiereiche Substanzen (Proteine, Lipide) bzw. Abbauprodukte aus geschädigten Organen abgezogen und in junge, noch wachsende Sproßteile transportiert (JAMES und SMITH 1978).

Die vorliegenden Ergebnisse erbrachten signifikant unterschiedliche Energiegehalte, jeweils in Abhängigkeit von den gewählten Standorten. Ob die Kalorimetrie als Indikatormethode in der Immissionsforschung zusammen mit anderen Methoden (z. B. Leitfähigkeitsmessungen, pH-Bestimmungen, TTC-Test etc.) Verwendung finden kann, sollen weitere Untersuchungen zeigen.

LITERATUR

BELL, J. N. B., und MUDD, C. H. (1976): Sulphur dioxide resistance in plants: a case study of *Lolium perenne*. – In: Effects of air pollutants on plants (Ed. T. A. MANSFIELD), Cambridge University Press: 87–103.

BERGMANN, H. (1974): Untersuchungen zur Aktivität reduzierender Enzyme in Blättern von Gerste-Pflanzen verschiedenen Alters mit Hilfe des Triphenyltetrazoliumchlorid-Tests. – Biol. Zbl. *93*:65–75.

EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. – Fischer Verlag, Stuttgart.

ERNST, W. (1965): Ökologisch-soziologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. – Abhandlungen aus dem Landesmuseum für Naturkunde zu Münster in Westfalen, Jg. *27*, Heft *1*.

– (1976): Physiological and biochemical aspects of metal tolerance. – In: Effects of air pollutants on plants (Ed. T. A. MANSFIELD), Cambridge University Press: 115–133.

FLÜCKIGER, W. (1975): Der Einfluß aufgesprühter Bleilösungen auf physiologische Prozesse bei *Ricinus communis* L. – Ber. Nr. 142 der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.

FLÜCKIGER, W., FLÜCKIGER-KELLER, H., und OERTLI, J. J. (1978): Der Einfluß verkehrsbedingter Luftverunreinigungen auf die Peroxydaseaktivität, das ATP-Bildungsvermögen isolierter Chloroplasten und das Längenwachstum von Mais. – Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz *85(1)*:41–47.

GARBER, K. (1967): Luftverunreinigungen und ihre Wirkungen. – Gebr. Borntraeger, Berlin-Nikolassee.

GODZIK, S. (1967): Polyphenol oxidase activity in vegetation injured by industrial air pollution. – Biul. Zakl. Badan Nauk. GOP PAN *10*:103–114.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

GSCHLIFFNER, Chr. (1976): Die Wirkung einzelner und kombinierter Umweltgifte auf die Weitungsfähigkeit und Beweglichkeit von Spaltöffnungen des *Amaryllis*-Typ. – Diss. Univ. Wien.

HÄRTEL, O., und GRILL, D. (1972): Die Leitfähigkeit von Fichtenborkenextrakten als empfindlicher Indikator für Luftverunreinigungen. – Eur. J. Forest Pathol. *2*:205–215.

HEILING, A. (1933): Untersuchungen über den Einfluß gasförmiger Luftverunreinigungen auf die pflanzliche Transpiration nebst einigen Voruntersuchungen zur üblichen Methodik der Transpirationsbestimmungen. – Phytopath. Z. *5*:435–492.

HORSMAN, D. C., und WELLBURN, A. R. (1975): Synergistic effects of SO_2 and NO_2 polluted air upon enzyme activity in pea seedlings. – Environmental Pollution *8*:123–133.

HUGHES, M. K. (1971): Seasonal changes in the calorific values from a deciduous woodland in England. – Ecology *52*:923–926.

HUNT, L. A. (1966): Ash and energy content of material from seven forage grasses. – Crop Sci. *6*:507–509.

HUTTER, M. (1973): Die Pflanze als Indikator für Luftverunreinigungen. – Hausarbeit Univ. Innsbruck (Prof. Larcher).

JAMES, T. D. W., und SMITH, D. W. (1978): Seasonal changes in the calorific value of the leaves and twigs of *Populus tremuloides*. – Can. J. Bot. *56(15)*:1804–1805.

KELLER, Th. (1974): The use of peroxydase activity for monitoring and mapping air pollution areas. – Eur. J. Forest Pathol. *4*:11–19.

KELLER, Th., und SCHWAGER, H. (1971): Der Nachweis unsichtbarer („physiologischer") Fluor-Immissionsschädigungen an Waldbäumen durch eine einfache kolorimetrische Bestimmung der Peroxydaseaktivität. – Eur. J. Forest Pathol. *1*:6–18.

KIENZL, I. (1978): Baumborke als Indikator für SO_2-Immissionen. – Diss. Univ. Graz.

KIENZL, I., und HÄRTEL, O. (1979): Die Luftverunreinigungen im Stadtgebiet von Graz, dargestellt anhand von Borkenuntersuchungen. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark *109*:113–135.

KÖRNER, Chr. (1972): Theorie und Praxis der Bestimmung von Diffusionswiderständen. – Magisterarbeit Univ. Innsbruck.

KOFLER, W., GOTTARDI, W., HOFFMANN, G., PRAST, H., RESSI, K., SCHINNER, M., SCHÖNEGGER, J., TROSCHL, H., UREUTZ, F., und WASSERMANN, G. (1978): Lufthygienische Modellstudie für das Bundesland Kärnten. – In: Lufthygienische Modellstudie für das Bundesland Kärnten, Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 19.

KOFLER, W., BENGER, J., WASSERMANN, G., PRAST, H., und HOFFMANN, G. (1979), in: Lufthygienische Schwerpunktstudie für den Raum Arnoldstein–Fürnitz. – Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt.

LEE, K. C., CUNNINGHAM, B. A., CHUNG, K. H., PAULSEN, G. M., und LIANG, G. H. (1976): Lead effects on several enzymes and nitrogenous compounds in soybean leaf. – J. Environ. Qual. *5(4)*:357–359.

LÖTSCHERT, W., und KÖHM, H.-J. (1973): pH-Wert und S-Gehalt der Baumborke in Immissionsgebieten. – Oecol. Plant. *8(3)*:199–209.

– (1977): Immissionsuntersuchungen an der Borke laubabwerfender Baumarten im Raum Frankfurt a. M. – Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Münster 1978.

MAIER, R. (1977a): Der Einfluß von Blei auf die Aktivität der Esterase und ihrer multiplen Formen – Biochem. Physiol. Pflanzen *171*:455–468.

– (1977b): Die Wirkung von Blei auf die NAD^+-abhängige Malat-Dehydrogenase in *Medicago sativa* L. und *Zebrina pendula* SCHNIZL. – Z. Pflanzenphysiol. *85*:319–326.

– (1978a): Untersuchungen zur Wirkung von Blei auf die Saure Phosphatase in *Zea mays* L. – Z. Pflanzenphysiol. *87*:347–354.

– (1978b): Aktivität und multiple Formen der Peroxydase in unverbleiten und verbleiten Pflanzen von *Zea mays* L. und *Medicago sativa* L. – Phyton *19*:83–96.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

- (1980): Nachweis von Bleieffekten in Pflanzen durch Gelelektrophorese von Enzymen. - International Workshop on Problems of Bioindication, Halle/S. 1979 (i. pr.).

MAIER, R., ALTGAYER, M., PUNZ, W., RAMMER, Chr., SCHINNINGER, R., SIEGHARDT, H., SLAD, H., WINTER, Chr. (1979): Wasserhaushalt und Produktivität staubbelasteter Pflanzen in der Umgebung einer Zementfabrik in Kärnten. - Carinthia II, *169./89.*:167-193.

MATHYS, W. (1975): Enzymes of heavy-metal resistant and non-resistant populations of *Silene cucubalus* and their interaction with some heavy metals in vitro and in vivo. - Physiol. Plant. *33*:161-165.

PAHLICH, E., JÄGER, H.-J., STEUBING, L. (1972): Beeinflussung der Aktivitäten von Glutamatdehydrogenase und Glutaminsynthetase aus Erbsenkeimlingen durch SO_2. - Angew. Botanik *46*:183-197.

PÄIVÖKE, A. (1979): The effects of lead and arsenate on the growth and acid phosphatase activity of pea seedlings. - Ann. Bot. Fenn. *16*:18-27.

PIERRE, M. (1977): Action du SO_2 sur le métabolisme intermédiaire II. Effet de doses subnécrotiques de SO_2 sur les enzymes de feuilles de Haricot. - Physiol. Veg. *15(1)*:195-205.

RABE, R., und KREEB, K. (1976): Bioindikation bei Luftverunreinigungen durch Messung der Aktivität verschiedener Enzyme von Testpflanzen. - Daten und Dokumente zum Umweltschutz *19*:73-78.

RAWITSCHER, F. (1955): Beobachtungen zur Methodik der Transpirationsmessungen bei Pflanzen. - Ber. Dt. Bot. Ges. *58(8)*:287-296.

RAYMOND, S. (1962): A convenient apparatus for vertical gel electrophoresis. - Clinical Chem. *8*.

ROTHSCHEDL, R. (1976): Wasserhaushalt, Transpiration und Austrocknungsresistenz verschiedener Ruderalpflanzen nach Einzel- und kombinierter Schädigung durch Umweltgifte. - Diss. Univ. Wien.

SCHINNINGER-ROTHSCHEDL, R. (1979): Der Einfluß isolierter und kombinierter Schadstoffe auf Austrocknungsresistenz und Transpiration bei *Festuca rubra* L. - Z. Pflanzenphysiol. *94*:351-362.

SIEGHARDT, H. (1974): Kalorimetrische Untersuchungen zum Energiehaushalt von *Phragmites communis* TRIN. und zur Energiebilanz im Röhricht des Neusiedler Sees. - Diss. Univ. Wien.

STOCKER, O. (1929): Das Wasserdefizit von Gefäßpflanzen in verschiedenen Klimazonen. - Planta *7*:382-387.

STÜBER, E. (1975): Studie über die umwelthygienisch-ökologische Situation der Stadt Salzburg. - Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz, Salzburg.

VAN HAUT, H., und STRATMANN, H. (1970): Farbtafelatlas über Schwefeldioxidwirkungen an Pflanzen. - Verlag W. Girardet, Essen.

WELLBURN, A. R., CAPRON, T. M., CHAN, H.-S., und HORSMAN, D. C. (1976): Biochemical effects of atmospheric pollutants on plants. - (MANSFIELD, T. A., ed.:) Effects of air pollution on plants, Cambridge University Press: 105-114.

ZUBER, R., MOERI, P., und BOVAY, E. (1973): L'assorbimento del piombo da parte della pianta tramite la radice. Con studio particolare sull'attività enzimatica. - Schweiz. Landw. Forschg. *12*:291-306.

Anschrift der Verfasser: Univ.-Doz. Dr. R. MAIER, Dr. H. SIEGHARDT, Mag. Dr. W. PUNZ, Dr. H. SLAD, Dr. M. ENGENHART, E. DOMSCHITZ, A. NAGL, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1, A-1010 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: 170_90

Autor(en)/Author(s): Maier Rudolf, Punz Wolfgang, Engenhart Manfred, Nagl Alois, Domschitz Eduard, Sieghardt Helmut, Slad Herbert

Artikel/Article: Ökophysiologische Untersuchungen in industriell belasteten Pflanzenbeständen im Raume Gailitz, Kärnten (Mit 13 Abbildungen und 2 Tabellen) 279-299