

EIGNUNG STOFFWECHSELPHYSIOLOGISCHER REAKTIONEN ZUM NACHWEIS DER BELASTUNG VON FICHTEN IM RHEIN-MAIN-GEBIET MIT SAUREN SCHADGASEN

Von

JENSCH U.E. und JÄGER H.J.

Institut für Pflanzenökologie der Justus Liebig-Universität Gießen

E i n l e i t u n g

Um den Einfluß von sauren Schadgasen auf die Vegetation nachzuweisen, reicht die isolierte Betrachtung einzelner Wirkungskenngrößen, wie z.B. die Schadstoffgehalte der Pflanzen, oft nicht aus. Zieht man zusätzlich symptomatologische Untersuchungen heran, so erhält man lediglich Aufschluß über bereits akute Schäden. Zur Früherkennung einer Immissionseinwirkung ist es daher notwendig, stoffwechselphysiologische Veränderungen, welche einer sichtbaren Schädigung vorausgehen, in die Beurteilung mit einzubeziehen.

Eine Reihe von Untersuchungen hat zur Auffindung solcher Wirkungskriterien geführt, jedoch stützen sich diese Erkenntnisse bisher vorwiegend auf Begasungsexperimente. Ihre Tauglichkeit für die Praxis, wo neben der Immissionsbelastung eine Anzahl anderer Faktoren variieren, ist damit jedoch noch nicht erwiesen. Diesbezügliche Erhebungen existieren bisher nur in beschränktem Umfang und umfassen in der Regel nur die Analyse einzelner oder weniger Schadstoffe und die mehr oder weniger isolierte Betrachtung stoffwechselphysiologischer Kriterien.

Ziel dieser Untersuchung ist, an Fichtennadeln von 20 Standorten aus dem immissionsbelasteten Rhein-Main-Gebiet die Eignung stoffwechselphysiologischer Reaktionen als Wirkungskenngrößen zu prüfen. Dazu werden die Schwefel-, Fluor-, Stickstoff- und Chlor-Konzentrationen der Nadeln, welche erste Hinweise auf eine mögliche Belastung durch SO_2 , HF, NO_x und HCl liefern können, in Bezug gesetzt zu den Enzymaktivitäten der Glutamatdehydrogenase (GDH), Sauren Phosphatase (SP) und Peroxidase (P) sowie der Pufferkapazität gegen H^+ - (PK_H) und OH^- -Ionen (PK_OH). Berücksichtigt werden ferner Nadellänge, 100-Nadelgewicht und Anzahl der Nadeljahrgänge.

M a t e r i a l u n d M e t h o d e n

Als Untersuchungsobjekte dienten 20 ca. 60- bis 80-jährige Fichten im Rhein-Main-Gebiet und Taunus. Über einen Zeitraum von 2 Jahren wurden jeweils im Frühjahr und Herbst

an gleichen Bäumen aus den oberen Kronenbereichen Nadeln der letzten 3 Jahrgangstriebe entnommen.

Zur Analyse der Schwefel-, Fluor-, Chlor- und Stickstoff-Konzentrationen wurde von den Zweigen getrenntes, bei 105°C getrocknetes, feingemahlenes Nadelmaterial verwendet, während für die stoffwechselphysiologischen Untersuchungen gefriergetrocknetes Material benutzt wurde.

Die Schwefelbestimmung erfolgte mit einem Leco Sulfur Determinator SC 32. Chloridgehalt und Pufferungsvermögen wurden mit einem Methrom Autotitrator bestimmt, indem gegen 0,01 N AgNO₃-Lösung bzw. N/50 HCl und NaOH titriert wurde. Stickstoff wurde nach Kjeldahl, Fluor mit einer ionensensitiven Elektrode bestimmt. Die GDH-Aktivität wurde über die NADH-Abnahme bei 340 nm ermittelt, die P-Aktivität über eine durch peroxidatische Dehydrogenierung von p-Phenyldiamin bedingte Extinktionszunahme bei 485 nm. Das Testprinzip für die SP-Aktivität beruht auf der Spaltung von p-Nitrophenylphosphat in Phosphat und p-Nitrophenol, wobei letzteres nach Alkalisierung bei 405 nm gemessen wurde.

E r g e b n i s s e u n d D i s k u s s i o n

Der S-Konzentrationsbereich der Fichtennadeln von 1100 - 3117 ppm umfaßt Werte wie sie aus unbelasteten Gebieten, Gebieten mit Immission bis zu solchen mit starker Immission bekannt sind (STEFAN 75, WENTZEL 79, MANKOVSKA 79). Dagegen lassen die niederen F- und Cl-Konzentrationen keine Rückschlüsse auf eine Belastung zu. Denn Cl-Werte, die deutlich über

Tabelle 1

Minimale und maximale Gehalte der Fichtennadeln an S (ppm TS), N (% TS), F (ppm TS) und Cl (ppm TS). (Probenahme: Nov. 1978)

	1/2-jährige	1 1/2-jährige	2 1/2-jährige
S	1100 - 2700	1147 - 3117	1200 - 2813
N	1,30 - 1,95	1,08 - 1,85	1,05 - 1,92
Cl	479 - 1826	333 - 1578	319 - 1436
F	2,8 - 11,6	5,4 - 16,9	5,6 - 17,4

1000 ppm liegen und somit nach KELLER (72) auf eine Belastung hinweisen, sind lediglich an zwei Bäumen nachzuweisen. Aber auch diese erreichen nicht die von EVERS (71, 76) angegebene Toxizitätsgrenze von 2000 - 5000 ppm. Desgleichen bewegen sich die F-Konzentrationen innerhalb der als normal anzusehenden Grenzen von ca. 2 - 20 ppm (KELLER und SCHWA-

GER 71, STEFAN 75, MANKOVSKA 79, 80). Sie bleiben daher ebenso wie die Cl-Gehalte in dieser Untersuchung unberücksichtigt. Die N-Versorgung der untersuchten Fichten ist als gut zu bezeichnen (STREBEL 60, ALCUBILLA et al. 76), so daß Effekte, die auf einen Mangel zurückzuführen wären, ausgeschlossen werden können. Die N-Gehalte spiegeln nicht nur die Ernährungssituation wieder, sondern sind auch ein Maß für aus der Luft aufgenommenes NO (ROGERS et al. 79), was insbesondere in Kombination mit SO_2 zu einer Beeinträchtigung des Wachstums (ASHENDEN und WILLIAMS 80), Chlorotisierung von Blättern (TINGEY et al. 71) sowie zur Änderung von Enzymaktivitäten (HORSMAN und WELLBURN 75) führen kann. Im folgenden sind daher die errechneten linearen Regressionsgeraden mit den abhängigen Variablen: GDH-, SP-, P-Aktivität, PK_H , PK_OH und den unabhängigen Variablen: N- und S-Konzentrationen der Fichtennadeln dargestellt. Wegen der Ähnlichkeit zwischen den Nadeljahrgängen, werden die Daten der 1 1/2- und 2 1/2-jährigen Nadeln lediglich in Form der Korrelationskoeffizienten (r_2 und r_3) zusammengefaßt.

SO_2 -Begasung krautiger Pflanzen unter definierten Bedingungen führt zu einem Anstieg des S-Gehaltes sowie zu einer Stimulierung der GDH-Aktivität (reduktive Aminierung) bei gleichzeitiger Reduktion der Pufferkapazität (JÄGER und KLEIN 77). Ein synchrones Ansprechen dieser Kriterien unter Freilandbedingungen kann somit als Beweis einer immissionsbedingten SO_2 -Aufnahme gewertet werden. Abb. 1 und 7 zeigen die Abhängigkeit der GDH-Aktivität und des Pufferungsvermögens von der jeweiligen S-Konzentration der Fichtennadeln und belegen mit zufriedenstellender statistischer Sicherheit (ein Korrelationskoeffizient von $\pm 0,44$ entspricht einer statistischen Sicherheit von 95 % bzw. einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % für die Annahme der 0-Hypothese) einen stochastischen Zusammenhang der korrelierten Größen. Sachlogische Erkenntnisse weisen zusätzlich auf eine kausale Verknüpfung, so daß mit hoher Wahrscheinlichkeit die erhöhten S-Gehalte, die verminderte Pufferkapazität und die gesteigerte GDH-Aktivität auf eine SO_2 -Belastung zurückgeführt werden können.

Mit steigenden N-Gehalten geht keine gesicherte Pufferkapazitätsänderung einher (Abb. 8), jedoch liegt wie für Schwefel eine positive Korrelation zur GDH-Aktivität vor (Abb. 2). Damit ist unsicher, ob der Anstieg der GDH-Aktivität auf einen Einfluß von NO zurückzuführen ist.

Abb. 3 und 4 zeigen die Abhängigkeit der P-Aktivität von den S- und N-Gehalten der Nadeln. Der Charakter eines Alterungs- und Entgiftungsenzyms (KELLER 73, BRABER 80) läßt bei Stresssituationen wie SO_2 - (KELLER et al. 76), SO_2 + NO_2 - (HORSMAN und WELLBURN 75) oder HF-Begasung (LOHSTE 79) eine Stimulierung der Enzymaktivität erwarten. Die in der Literatur vorwiegend an einheitlichem Material und unter definierten Gewächshausbedingungen erzielten Ergebnisse lassen sich nicht in der erhofften Weise auf das Freiland übertragen. Dies kann einerseits am Zeitpunkt der Probenahme - Fichten haben bereits im November ein Aktivitätsplateau erreicht, das sich nur noch wenig ändert (KELLER und SCHWAGER 71) - andererseits an der genetischen Uneinheitlichkeit der Probebäume, welcher eine große Bedeutung zukommt (NIEMETUR 79), liegen.

Abb. 1

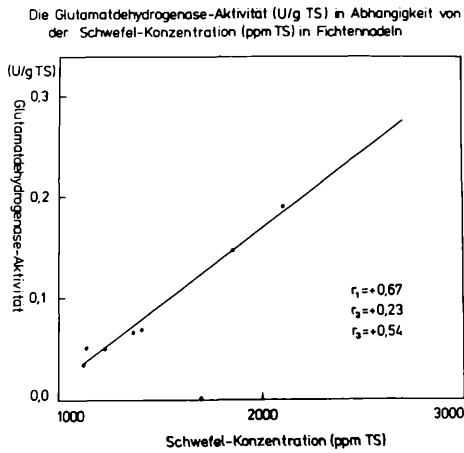


Abb. 2

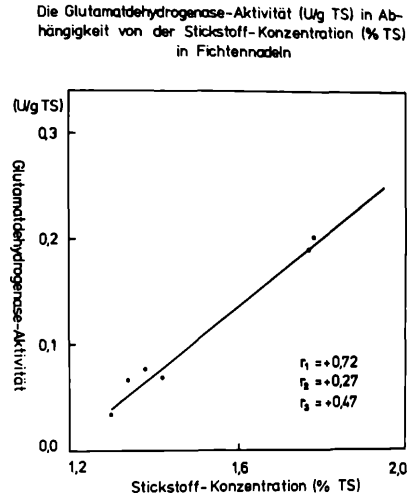


Abb. 3

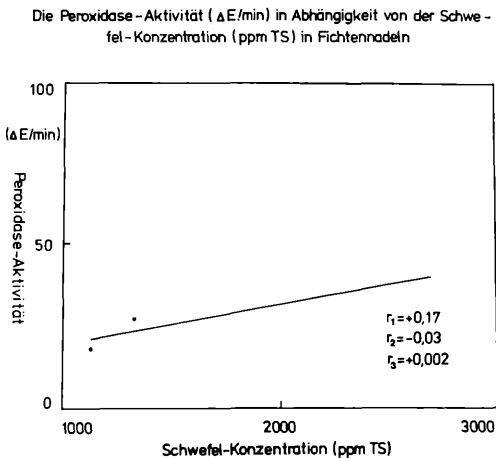


Abb. 4

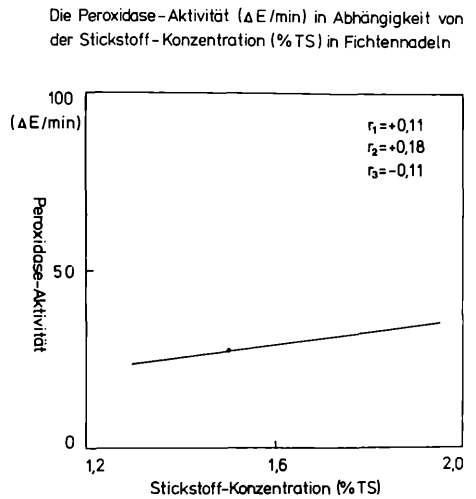


Abb. 5

Die Abhängigkeit der Aktivität der Sauren Phosphatase (U/g TS) von der Schwefel-Konzentration (ppm TS) in Fichtennadeln

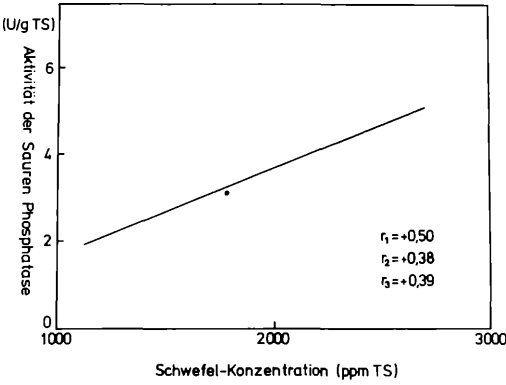


Abb. 6

Die Abhängigkeit der Aktivität der Sauren Phosphatase (U/g TS) von der Stickstoff-Konzentration (%TS) in Fichtennadeln

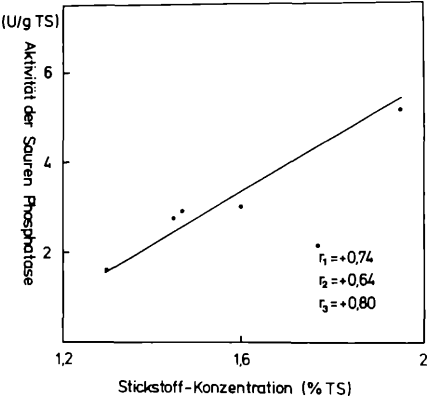


Abb. 7

Die Pufferkapazität (ml $\frac{1}{100}$ HCL und $\frac{1}{100}$ NaOH/0,5g TS) in Abhängigkeit von der Schwefel-Konzentration (ppm TS) in Fichtennadeln

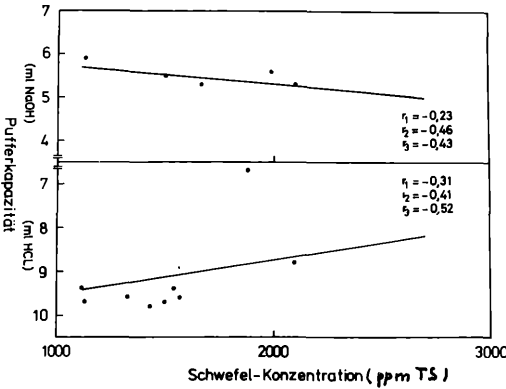
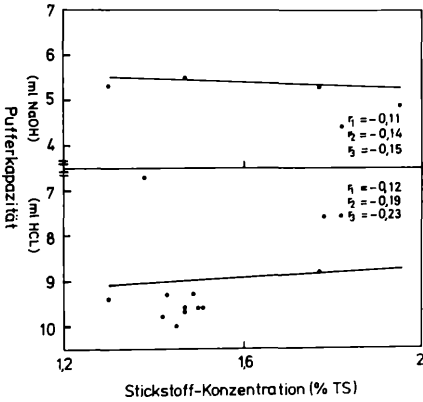


Abb. 8

Die Pufferkapazität (ml $\frac{1}{100}$ HCL und $\frac{1}{100}$ NaOH/0,5g TS) in Abhängigkeit von der Stickstoff-Konzentration (%TS) in Fichtennadeln



Als Indikator für die allgemeine Vitalität der Pflanze gilt die SP (RABE und KREEB 76), was durch ihre Aktivitätsabnahme bei Kurzzeitbegasung von Fichten und Luzerne mit SO_2 (RABE und KREEB 76) und Flechten mit einer Reihe saurer Schadgase (SCHMID und KREEB 75) dokumentiert wird. Im Gegensatz zu diesen Befunden stehen die in Abb. 5 und 6 dargestellten Ergebnisse, bei denen mit steigenden S- und insbesondere N-Konzentrationen eine deutliche Steigerung der Enzymaktivität einhergeht. Dieser vermeintliche Widerspruch kann darauf zurückzuführen sein, daß kurzzeitige Begasung mit hohen Konzentrationen und Langzeiteinwirkung niedriger Konzentrationen zu unterschiedlichen Effekten führen, wie Begasungsversuche mit niedrigen SO_2 -Konzentrationen über längere Zeiträume (GRÜNHAGE 80) bestätigen.

Im Gegensatz zu den physiologischen Meßdaten sind zwischen der Nadellänge, dem 100-Nadelgewicht, der Anzahl der Nadeljahrgänge und den S- bzw. N-Gehalten keine Zusammenhänge zu erkennen.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Mit steigenden S- und N-Gehalten der untersuchten Fichtennadeln geht eine Zunahme der Glutamatdehydrogenase- und Sauren Phosphatase-Aktivität einher, während Pufferkapazität und S-Konzentration negativ korrelieren. Im Rahmen dieser Untersuchung kann keine Abhängigkeit der Peroxidase-Aktivität, des 100-Nadelgewichts, der Nadellänge und der Anzahl der Nadeljahrgänge von den S- und N-Konzentrationen der Nadel nachgewiesen werden.

L i t e r a t u r

- Alcubilla, M., Aufsess von, H., Rehfuss, K.E., 1976: Stickstoffdüngungsversuche in einer Fichtenstockung (*Picea abies* Karst.) auf defastierter Kalkmergel-Rendzina: Wirkung auf die Nährelementgehalte der Fichtengewebe und den Höhenzuwachs. Forstwissenschaftliches Centralblatt, Bd. 95, S. 306-323.
- Ashenden, T.W., Williams, I.A.D., 1980: Growth reductions in *Lolium multiflorum* Lam. and *Phleum pratense* L. as a result of SO_2 and NO_2 pollution. Environmental Pollution, Series A, Bd. 21, S. 131-139.
- Braber, J.M., 1980: Catalase and peroxidase in primary bean leaves during development and senescence. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie, Bd. 97, H.2, S. 135-144.
- Evers, F.H., 1971: Über Schäden in Fichtenbeständen durch abgeschwemmte Auftausalze. Forstwissenschaftliches Centralblatt, Bd. 90, S. 363-369.
- Evers, F.H., 1976: Zur Ausbreitung von Streusalzschäden im Inneren von Waldbeständen. Forstwissenschaftliches

- Centralblatt, Bd. 95, S. 251-264.
- Grünhage, L., 1980: Untersuchungen zur Einzel- und Kombinationswirkung freilandrelevanter SO_2 - und Cadmiumkonzentrationen auf *Pisum sativum*. Diplomarbeit des Fachbereichs Biologie d. Justus-Liebig-Universität Giessen.
- Horsman, D.C., Wellburn, A.R., 1975: Synergistic effect of SO_2 and NO_2 polluted air upon enzyme activity in pea seedlings. *Environmental Pollution*, Bd. 8, S.123-133.
- Jäger, H.-J., Klein, H., 1977: Die Bedeutung stoffwechselphysiologischer Reaktionen von Pflanzen als Kenngrößen für SO_2 -Immissionseinwirkungen. *Phytopathologische Zeitschrift*, Bd. 89, S. 128-134.
- Keller, T., Schwager, H., 1971: Der Nachweis unsichtbarer Fluorimmissionsschädigungen an Waldbäumen durch eine einfache kolorimetrische Bestimmung der Peroxidase-Aktivität. *European Journal of Forest Pathology*, Bd. 1, S. 6-18.
- Keller, T., 1972: Über die Überwachung der Immissionen von Kehrlichtverbrennungsanlagen mit Hilfe von Nadelanalysen auf Chlorid. *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien*, H. 97, S. 271-279.
- Keller, T., 1973: The use of peroxidase activity for monitoring and mapping air pollution areas. *European Journal of Forest Pathology*, Bd. 4, S. 11-19.
- Keller, T., Schwager, H., Yee-Meiler, D., 1976: Der Nachweis winterlicher SO_2 -Immissionen an jungen Fichten. *European Journal of Forest Pathology*, Bd.6, H.4, S. 244-249.
- Lohste, A.M., 1979: The effect of fluoride on the polyphenol-oxidase and peroxidase activities of tobacco leaves (*Nicotina tabacum* L.var. PB 91). *Fluoride*, 12, No. 1, S. 33-38.
- Mankovska, B. 1979: The pollution of spruce *Picea abies* Karst. by emission of F, As, Pb, Cd, and S from an aluminium plant. *Biologia*, 34, No. 7, S. 563-570.
- Mankovska, B., 1980: The natural content of F, As, Pb, and Cd in the forest trees. *Biologia*, 35, No.4, S.267-274.
- Niemetur, S., 1979: Influence of zinc smelter emissions on peroxidase activity in scots pine needles of various families. *European Journal of Forest Pathology*, 9, No. 3-4, S. 142-147.
- Rabe, R., Kreeb, K., 1976: Eine Methode zur Laborbegasung von Testpflanzen mit Schwefeldioxid und ihre Anwendung bei Untersuchungen zur Enzymaktivität. *Angewandte Botanik*, 50, S. 71-78.
- Rogers, H.H., Campbell, J.C., Volk, R.J., 1979: Nitrogen-15 dioxide uptake and incorporation bei *Phaseolus vulgaris* (L.). *Science*, 206, S. 333-335
- Schmid, M.-L., Kreeb, K., 1975: Enzymatische Indikation gasgeschädigter Fichten. *Angewandte Botanik*, 49, S. 141-154.
- Stefan, K., 1975: Die Schwefel- und Fluorbestimmung in Nadeln als Diagnosemethode bei Rauchschadenuntersuchungen. *Allgemeine Forstzeitung*, 86, S. 181-184.
- Strebel, O., 1960: Nadelanalytische Untersuchungen an Fichten-Altbeständen sehr guter Wuchsleistung im bayrischen Alpenvorland. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*,

H. 11/12, S. 344-352.

Tingey, D.T., Reinert, R.A., Dunning, J.A., Heck, W.W., 1971:
Vegetation injury from the interaction of nitrogen
dioxide and sulfur dioxide. Phytopathology, 61,
S. 1506-1511.

Wentzel, K.F., 1979: Die Schwefel-Immissionsbelastung der
Koniferenwälder des Raumes Frankfurt/Main. Forstarchiv,
50. Jahrg., H.6, S. 112-121.