Zellwandabbauende Enzyme als Indikatoren von Schwefeldioxid-begasten Buchen- und Fichtensämlingen

Autor(en): **Bucher, J.B.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **129 (1978)**

Heft 5

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-764359

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Zellwandabbauende Enzyme als Indikatoren von Schwefeldioxid-begasten Buchen- und Fichtensämlingen

Von *J. B. Bucher*
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 8903 Birmensdorf)

Oxf.: 425 : 161

1. Einleitung

Wie manche abiotische und biotische Stresseinwirkungen führen Luftverunreinigungen an Pflanzen zu Stoffwechseländerungen, die, ohne Symptome hervorzurufen, oft zunächst gar nicht erkannt werden. Dermassen beeinträchtigte Pflanzen können aber durch Wachstums- und Vitalitätseinbussen oder vorzeitige Gewebealterung dennoch geschädigt sein. *Keller* (1977) bezeichnet solche stressbedingten Stoffwechseländerungen als latente Schädigungen. In früheren Untersuchungen (*Bucher-Wallin* et al. 1978) konnten wir feststellen, dass Schwefeldioxid im Immissionskonzentrationsbereich unter anderem auch Enzyme der Gruppe der Glykosidasen beeinflusst. Glykosidasen werden in der Pflanze regelmässig im Bereich der Zellwände festgestellt, wo ihnen vor allem eine abbauende Funktion in Alterungs- und Nekrotisierungsprozessen zukommt (vgl. *Matile,* 1973). Wir interpretierten die durch Schwefeldioxid erhöhten Aktivitäten einiger Glykosidasen in äusserlich symptomlosen Blättern und Nadeln von Waldbäumen in Anlehnung an verschiedene Autoren alterungsphysiologisch und als frühes Anzeichen einer unspezifischen pflanzlichen Abwehrreaktion. Die erhöhten Aktivitäten der β-Glucosidase und der β-1,3-Glucanase der Buche sowie der α-Galactosidase und der β-1,3-Glucanase der Fichte liessen sich zudem als Indikatoren einer latenten Schwefeldioxid-Schädigung heranziehen.

Da diese Untersuchungen bei konstanten Begasungskonzentrationen von 0,0 bis 0,2 ppm SO_2* während mehreren Wochen in gedeckten Freilandkabinen mit vertopften Klonbäumen durchgeführt wurden, mussten vor allem bezüglich Mikroklima und Verteilung der Schadgaskonzentrationen gewisse Einschränkungen gemacht werden (vgl. Bucher und Keller, 1978). Nach *McCune* et al. (1976) kann die Empfindlichkeit von Pflanzen gegenüber Luft-

* 1 ppm SO_2 = 1 cm^3 Schwefeldioxid/m^3 Luft

verunreinigungen durch experimentelle Randbedingungen in unbekannter Weise beeinflusst werden. Um die gewonnenen Ergebnisse zu überprüfen und besser auf normale Freilandbedingungen übertragen zu können, wurden die Begasungsversuche mit einer variierenden SO_2-Konzentration in oben offenen Kabinen (vgl. *Mandl* et al., 1973) wiederholt. Durch Verwendung von genetisch heterogenem Populationsgut sollten einerseits die Empfindlichkeit unserer bis anhin verwendeten Klonbäume gegenüber dem Schadgas in einem grösseren Rahmen gesehen und anderseits der allgemeine Aussagewert der enzymatischen Indikatoren überprüft werden.

2. Material und Methoden

Pflanzenmaterial und Probenahme: Dreijährige Buchensämlinge (*Fagus sylvatica)* der deutschen Herkunft Hohengehren (Fa. *Walder,* Althäusern, Schweiz) und fünfjährige Fichtensämlinge (*Picea abies*) von Küblis (GR) wurden in optimal gedüngte Einheitserde bzw. in Ballentorf gepflanzt. Aus einer umfangreichen Population wurden von beiden Arten jeweils nach dem Habitus zwei gleiche Gruppen zu je 19 Pflanzen ausgesucht. Vom bis anhin verwendeten Buchenklon (Nr. 15, Birmensdorf ZH) und Fichtenklon (Nr. 13, Dielsdorf ZH) wurden pro Begasungsbehandlung fünf dreijährige Pfropflinge von etwa 80jährigen Mutterbäumen verwendet. Es wurden nur vollentwickelte Blätter und Nadeln der neugebildeten Triebe untersucht. Die ersten Proben wurden nach einer zehntägigen Angewöhnung an das Schattierregime (neben den Kabinen) und dann während der Begasung bei der Buche jede Woche und bei der Fichte jede zweite Woche genommen.

SO_2-Behandlung: Die Begasungskabinen bestehen aus speziell UV-durchlässigen Plexiglaszylindern (Durchmesser und Höhe je zwei Meter), welche oben offen belassen wurden. Das Luft-Gas-Gemisch steigt von unten durch einen Drehrost an den Topfpflanzen vorbei; die Kabinenluft wird etwa alle 40 Sekunden erneuert. Die Kontrollkabine wurde mit normaler, ungefilterter Umgebungsluft beschickt; die Schadgaskonzentration der Luft der Begasungskabine sollte im Mittel 0,1 ppm SO_2 erreichen. Die Überwachung der SO_2-Konzentrationen erfolgte kontinuierlich im Kronenbereich nach einem coulometrischen Prinzip (Philips PW 9700). Bei Sonnenschein schattiert ein grünes Geflecht die Kabinen. Die Pflanzen wurden in natürlicher Weise durch den Regen und nach längeren Trockenperioden mit Leitungswasser bewässert. Näheres über die Begasungsanlage bei Bucher und Keller (1978).

Enzym- und Schwefelgehaltsbestimmungen: Die Enzym-Aktivitäten wurden nach einem Aufschluss in einem Citronensäure-Phosphat-Puffer und einer Reaktion mit p-Nitrophenolsubstraten bzw. Laminarin kolorimetrisch gemessen (detaillierte Angabe bei Bucher-Wallin et al., 1978). Die Schwefelgehalte der Blätter und Nadeln wurden mit Barium-Chloranilat in Verbin-

dung mit einer Verbrennung im Schönigerkolben nach *Schwager* und Keller (1976) ebenfalls kolorimetrisch bestimmt.

Statistische Auswertung: Die statistische Auswertung erfolgte mittels eines Rangtests (U-Test) nach *Wilcoxon, Mann* und *Whitney* (*Sachs,* 1973). Geprüft wurde einseitig auf eine Enzym-Aktivitätszunahme; die Unterschiede galten bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger oder gleich fünf Prozent als signifikant.

3. Resultate

Effektive Begasungskonzentrationen: In offenen Kabinen werden die Schadgaskonzentrationen sehr stark durch die jeweilige Witterung beeinflusst. Bezogen auf Halbstundenwerte sind Konzentrationsabweichungen von ± 30 Prozent der Mittel zu erwarten (vgl. Bucher und Keller, 1978). Während des Buchen-Versuches im Juni 1976 herrschte eine andauernde Hochdruck-Wetterlage mit täglichem Sonnenschein. Die Kabinen waren deshalb tagsüber stets schattiert, was sich unter anderem auf relativ homogene Konzentrationsverhältnisse auswirkte. Die Tagesmittel lagen zwischen 0,058 und 0,101 ppm SO_2; die durchschnittliche SO_2-Konzentration (807 Halbstundenwerte) betrug 0,084 ± 0,018 ppm. Tabelle 1 gibt die Summenhäufigkeitsverteilung der Halbstundenwerte wieder. Die gleiche Tabelle charakterisiert auch die Konzentrationsverhältnisse des Fichten-Versuches, bei dem die Durchschnittskonzentration (2810 Halbstundenwerte) bei 0,089 ± 0,039 ppm SO_2 lag. Die Tagesmittel schwankten zwischen 0,016 und 0,151 ppm. Diese grossen Konzentrationsschwankungen erklären sich aus dem viel wechselhafteren Wetter zur Zeit des Fichten-Versuches vom Juli bis Oktober

Tabelle 1. Relative Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentrationen (Halbstundenmittel) während des Buchen- und Fichtenversuches.

Konzentrationsgrenze (ppm SO_2)	*Summenhäufigkeit (%)*	
	Buchen-Versuch	*Fichten-Versuch*
0,02	0,4	2,7
0,04	2,4	12,7
0,06	7,8	26,8
0,08	38,8	37,8
0,10	80,1	57,3
0,12	98,9	78,2
0,14	100,0	90,4
0,16		98,2
0,18		99,9
0,20		100,0

1976. Bei beiden Versuchen liess sich ein leichter Tagesgang der Konzentrationen feststellen: Die tiefsten Werte wurden morgens zwischen 3 und 6 Uhr, die höchsten zwischen 12 und 15 Uhr gemessen.

Schadsymptome: Die Bäumchen der Buchenpopulation reagierten relativ rasch auf die Begasung. Nach einer Woche zeigten die Blätter eines Baumes leichte Interkostalnekrosen, und etliche Bäume hatten schwache Blattchlorosen. Am Ende der zweiten Begasungswoche wiesen bereits ein Viertel aller Bäume Interkostalnekrosen auf. Die Symptome verstärkten sich mit zunehmender Begasungsdauer immer mehr. Nach vier Versuchswochen waren bei mehr als der Hälfte der Bäumchen die meisten Blätter schwer nekrotisiert, die restlichen Bäume zeigten dagegen keine äusserlich sichtbaren Schadbilder. Gesamthaft gesehen erwies sich das Populationsgut aber viel weniger anfällig als unser Klon, an dessen Bäumchen die jüngsten Blätter bereits nach einer Woche stark nekrotisiert waren und nach drei Begasungswochen eine «Herbstverfärbung» mit Blattfall einsetzte.

Die ersten Bäumchen der Fichtenpopulation sprachen erst nach einer Latenzzeit von fünf Wochen auf die Begasung an: Die diesjährigen Nadeln neigten zu Spitzenchlorosen; in einem Fall traten sogar Spitzennekrosen auf; dagegen waren etwa 10 Prozent der letztjährigen Nadeln nekrotisiert und fielen bei Berührung ab. In den nächsten Begasungswochen nahm die Stärke und das Ausmass der Symptome langsam zu. Bei Versuchsabbruch nach 13 Wochen hatten über die Hälfte aller Bäumchen an 20 bis 40 Prozent ihrer diesjährigen Nadeln starke Nekrosen; die letztjährigen Nadeln waren alle stark nekrotisiert. Der bis anhin verwendete Fichtenklon scheint viel SO_2-toleranter zu sein; erst bei Begasungsabbruch konnten einige leichte Spitzenchlorosen festgestellt werden.

Schwefelgehaltsbestimmung: Der Schwefelgehalt der trockenen Buchenblätter nahm während der Versuchsperiode bei den Kontrollen von 1509 ($\pm$145) ppm auf 1559 ($\pm$295) ppm nur unmerklich und statistisch nicht signifikant zu. Bei den begasten Sämlingen war die Schwefelgehaltszunahme in der Trockenmasse von 1513 ($\pm$150) ppm auf 4090 ($\pm$779) hoch gesichert.

Ähnlich verhielt es sich bei den Fichtensämlingen: Nach einer 13wöchigen Versuchsdauer stieg der Schwefelgehalt bei den Kontrollen von 1455 ($\pm$164) ppm auf nur 1567 ($\pm$224) ppm, während bei den begasten Pflanzen eine hochsignifikante Zunahme von 1387 ($\pm$170) ppm auf 4154 ($\pm$994) ppm in der Trockenmasse zu verzeichnen war.

Enzym-Aktivität: Die durch Schwefeldioxid bedingte Zunahme der Enzym-Aktivität kann für Buche der Tabelle 2 und für Fichte der Tabelle 3 entnommen werden. Bereits eine Woche nach Begasungsbeginn waren im Populationsmaterial beider Arten Unterschiede feststellbar und mit Aus-

Tabelle 2. Buche, Juni 1976: Glykosidase-Aktivität (μMol p-Nitrophenol, bzw. Glucose/gr TS· 60 Min) der Blätter in Abhängigkeit der SO_2-Begasung. Mittelwerte und Standardabweichungen von je 19 Sämlingen bzw. 5 Klonbäumen pro Behandlung.

Enzym	*Begasungs-woche*	*Enzym-Aktivität*					
		Population			*Klon*		
		Kontrolle	*Begasung*	*Signifikanz (α)*	*Kontrolle*	*Begasung*	*Signifikanz (α)*
	0	1,64± 0,10	1,79± 0,16	n. s.	2,75± 0,70	1,98± 0,31	n. s.
	1	2,08± 0,41	5,58± 1,27	0,025	6,96± 1,91	44,77± 14,43	0,01
β-Glucosidase	2	4,88± 2,33	12,85± 3,20	0,01	6,79± 1,16	57,28± 10,23	0,005
	3	3,45± 1,07	20,99± 5,30	0,01	6,40± 1,28	56,13± 15,05	0,005
	4	4,20± 0,83	41,73± 9,15	0,01	7,08± 1,37	65,50± 22,88	0,005
	0	5,40± 0,57	4,81± 0,36	n. s.	6,66± 0,79	6,01± 0,61	n. s.
	1	2,49± 0,39	2,78± 0,43	n. s.	3,31± 0,68	12,40± 1,77	0,005
β-1,3-Glucanase	2	3,12± 0,62	3,35± 0,65	n. s.	4,23± 0,96	21,51± 3,31	0,005
	3	3,28± 0,74	3,79± 0,68	n. s.	4,45± 0,93	21,15± 3,09	0,005
	4	4,58± 1,12	7,91± 1,23	0,025	6,94± 1,09	25,06± 5,98	0,01

n. s. = nicht signifikant

Tabelle 3. Fichte, Juli—Oktober 1976: Glykosidase-Aktivität (μMol p-Nitrophenol, bzw. Glucose/grTS· 60 Min) der Nadeln in Abhängigkeit der SO_2-Begasung. Mittelwerte und Standardabweichungen von je 19 Sämlingen bzw. 5 Klonbäumen pro Behandlung.

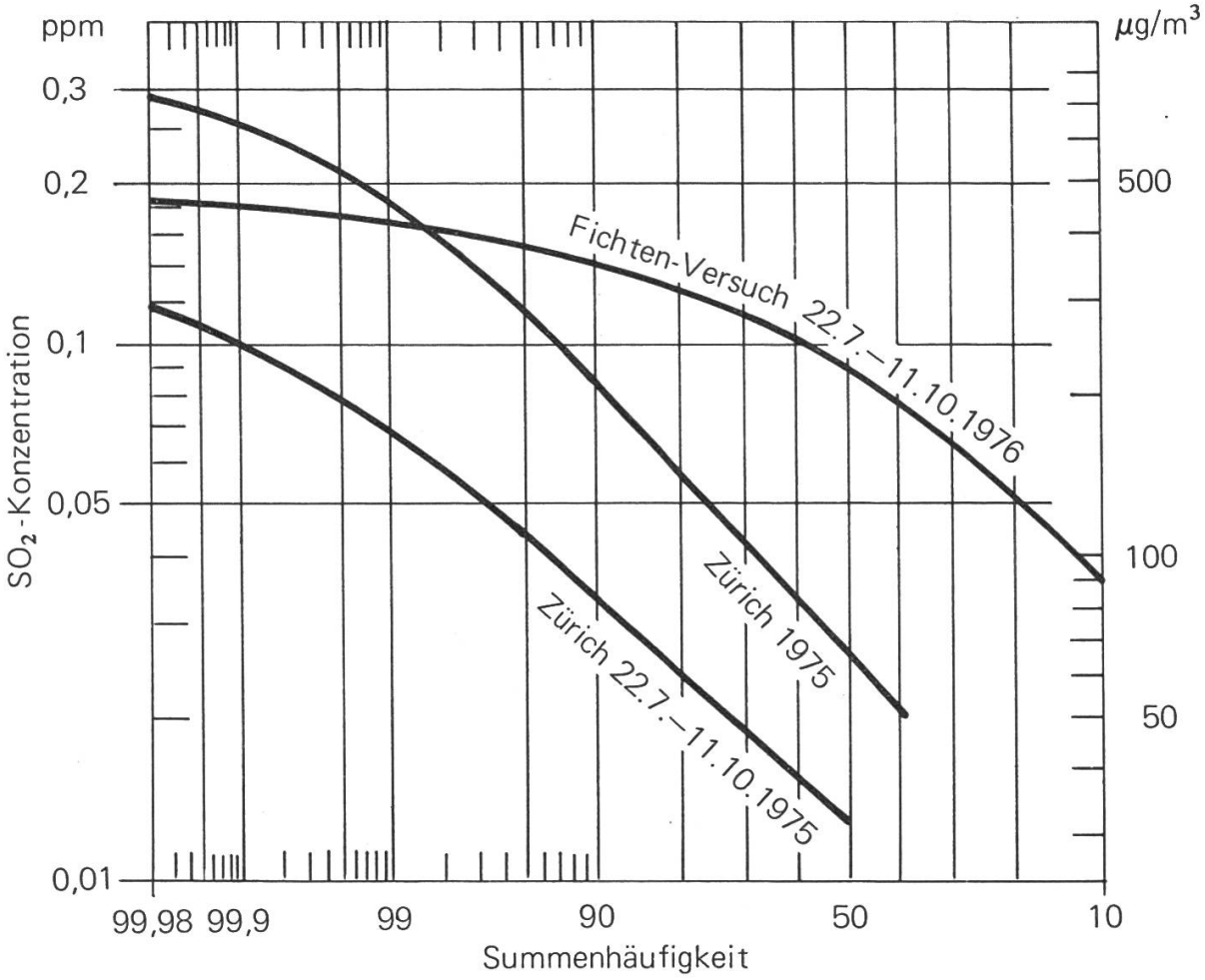
Enzym	*Begasungs-woche*	*Enzym-Aktivität*					
		Population			*Klon*		
		Kontrolle	*Begasung*	*Signifikanz (α)*	*Kontrolle*	*Begasung*	*Signifikanz (α)*
	0	14,49± 0,85	14,49± 0,57	n. s.	18,69± 0,28	20,00± 1,38	n. s.
	1	19,97± 0,92	21,16± 0,96	n. s.	26,03± 0,95	28,93± 1,38	n. s.
	3	19,05± 0,96	21,74± 1,02	0,05	28,11± 0,95	28,74± 2,58	n. s.
α-Galactosidase	5	20,09± 1,13	23,79± 1,05	0,05	29,85± 1,02	30,26± 2,73	n. s.
	7	20,99± 1,29	24,51± 1,32	0,05	27,48± 2,99	27,87± 3,49	n. s.
	9	19,10± 0,91	25,48± 1,37	0,01	31,44± 1,21	33,86± 3,06	n. s.
	13	18,02± 0,87	27,63± 1,43	0,01	34,46± 3,01	32,89± 2,12	n. s.
	0	2,60± 0,63	2,05± 0,53	n. s.	5,84± 0,57	6,94± 0,72	n. s.
	1	6,19± 1,05	17,88± 2,43	0,01	8,81± 0,96	13,52± 1,77	0,025
	3	6,80± 1,01	24,96± 2,87	0,01	8,35± 0,73	18,16± 2,19	0,005
β-1,3-Glucanase	5	5,03± 0,86	22,90± 3,00	0,01	9,58± 0,46	20,25± 3,06	0,05
	7	4,04± 0,97	21,70± 2,89	0,01	7,40± 1,07	16,38± 3,20	0,025
	9	7,64± 1,23	25,41± 2,91	0,01	8,35± 1,08	17,67± 1,93	0,025
	13	5,78± 1,23	24,10± 2,29	0,01	7,50± 0,72	13,17± 1,23	0,005

nahme der α-Galactosidase der Fichte und der β-1,3-Glucanase der Buche gesichert bis hoch gesichert. Die Aktivitätszunahmen verstärkten sich mit zunehmender Begasungsdauer und nach drei bzw. vier Wochen war auch der Unterschied in den Aktivitäten der Fichten- und der β-1,3-Glucanase der Buchen-Population signifikant. Bei den Klonbäumen beider Arten zeigten sich bei den Aktivitäten der β-1,3-Glucanase und der β-Glucosidase der Buche ebenfalls bereits nach einer Begasungswoche statistisch hoch gesicherte Zunahmen; nur bei den Aktivitäten der α-Galactosidase der Klon-Fichten liessen sich während der ganzen Versuchsdauer keine signifikanten Unterschiede zwischen den unbegasten und begasten Bäumen nachweisen.

4. Diskussion und Folgerungen

Auf die pflanzenphysiologische Bedeutung der untersuchten Glykosidasen bzw. deren Verhalten unter Einfluss von Luftverunreinigungen wurde

Abbildung 1. Vergleich der SO_2-Konzentrationsverteilung (Halbstundenmittel) während des Fichten-Versuches 1976 mit effektiven Immissionsdaten aus dem Stadtzentrum von Zürich (Beckenhofstrasse).



bereits in der Einleitung eingegangen; weitere Literatur findet sich bei Bucher-Wallin et al. (1978). Trotz unterschiedlicher Versuchsanlage konnten in dieser Arbeit ähnliche Ergebnisse erzielt werden wie in unseren früheren Untersuchungen, wenn auch der Zeitpunkt des Erkennens von latenten Schädigungen, das heisst der gesicherten Zunahme von Enzym-Aktivitäten, und das Auftreten von sichtbaren Schadsymptomen näher beieinander lagen. Einzig die in ihrer Aktivität unbeeinflusste α-Galactosidase des Fichtenklons widerspricht Untersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten über mehrere Jahre; wir messen deshalb diesem Befund nur geringe Bedeutung zu. Von praktischem Interesse ist vor allem die Tatsache, dass sich latente Schädigungen sogar mit Populationsbäumen nachweisen liessen. In einem potentiellen Immissionsgebiet sind wir somit zumindest für die Fichte nicht auf genau bekannte verklonte Fangpflanzen für den Schädigungsnachweis angewiesen.

Versuchen wir nun erhöhte Glykosidase-Aktivitäten als Indikatoren einer SO_2-Beeinträchtigung heranzuziehen, so müssen wir, wie bereits in der Einleitung erwähnt, die Randbedingungen des Experiments berücksichtigen. Die Schadgaskonzentration lag unter dem von uns normalerweise in geschlossenen Kabinen verwendeten Bereich von 0,1 und 0,2 ppm SO_2 und variierte mit einer Standardabweichung des Mittelwertes von 20 Prozent bzw. 40 Prozent auch bedeutend mehr als in unseren bisherigen Untersuchungen. Die Schadgasverhältnisse waren somit, wie beabsichtigt, naturnaher. Die Halbstundenmittel lagen gesamthaft gesehen immer noch bedeutend über denen für einen ähnlichen Zeitraum bzw. für ein ganzes Jahr in der Stadt Zürich, obwohl im Vergleich zu letzteren der (geringe) Anteil der Spitzenkonzentration fehlte (Abbildung 1). Entsprechend dieser SO_2-Belastung sind auch die Schwefelgehalte des Blatt- und Nadelmaterials ausgefallen: Bei den begasten Bäumen konnte eine über das Doppelte der unbegasten Kontrollen hingehende Schwefelanreicherung festgestellt werden, was nach *Guderian* (1970) im Freiland nur bei erheblichen SO_2-Immissionen erfolgt. Immerhin befanden sich die Schadgasverhältnisse gegenüber solchen von üblichen Begasungsexperimenten oder stark industrialisierten Gebieten wie dem Ruhrgebiet (vgl. *Knabe,* 1972) in einem realistischen Bereich. Da in den Kabinen nur mit leicht erhöhten Temperaturen gerechnet werden musste, Regen mehr oder weniger ungestört auf die Pflanzen einwirken konnte und die Ergebnisse auch unseren früheren entsprachen (Bucher-Wallin et al., 1978), glauben wir mit guter Zutreffendswahrscheinlichkeit Aussagen für Freilandverhältnisse machen zu können.

Herrn Ingenieur *W. Hess*, Gesundheitsinspektorat der Stadt Zürich, danke ich für die Überlassung der Zürcher Immissionsdaten und den Herren *H. Brumm* und *U. Bühlmann,* EAFV Birmensdorf, für die sorgfältige Durchführung der Analysen und die Mithilfe bei den Begasungen.

Résumé

L'action de l'anhydride sulfureux sur de jeunes plantes de foyard et d'épicéa révélée par les enzymes dégradant la paroi cellulaire

Par des expériences antérieures, on savait que l'activité de quelques enzymes capables de dégrader la paroi cellulaire pouvait être utilisée comme indicateur d'un dégât latent. Or ces expériences avaient été effectuées sur des clones de foyard et d'épicéa placés en cabines couvertes avec des concentrations constantes relativement basses d'anhydride sulfureux. Afin de mieux estimer l'importance de ces indicateurs enzymatiques dans la nature, l'auteur a entrepris de vérifier les résultats sur des plantes issues de graines placées en cabines ouvertes.

L'activité de la β-glucosidase des semis de foyard, de l'α-galactosidase des semis d'épicéa ainsi que de la β-1,3-glucanase des deux essences s'éleva sous l'action de l'anhydride sulfureux, bien qu'en partie seulement après l'apparition des premiers symptômes visibles.

L'activité de la β-glucosidase du foyard et de la β-1,3-glucanase de l'épicéa s'avéra être un indicateur d'un dégât latent.

Puisque l'auteur a confirmé les résultats antérieurs et que les conditions de cabine et d'exposition au gaz furent assez proches des conditions naturelles, on peut admettre que les résultats sont valables pour une situation de pollution en plein air. Traduction: *L. Froidevaux*

Literatur

Bucher, J. B. und *Keller, Th.*, 1978: Forstpflanzen im Begasungsexperiment. Mitt. eidg. Anstalt forstl. Vers'wes. (in Bearbeitung)

Bucher-Wallin, I. K., Bernhard, L. und *Bucher, J. B.*, 1978: Einfluss niedriger SO_2-Konzentrationen auf die Aktivitäten einiger Glykosidasen der Assimilationsorgane verklonter Waldbäume. Eur. J. For. Path. (im Druck)

Guderian, R., 1970: Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem Schwefelgehalt von Pflanzen und dem Schwefeldioxid der Luft. III. Teil. Pfl'-Krankh. *70*, 387—399

Keller, Th., 1977: Begriff und Bedeutung der «latenten Immissionsschädigung». Allg. Forst- u. Jagdztg. *148*, 115—120

Knabe, W., 1972: Immissionsbelastung und Immissionsgefährdung der Wälder im Ruhrgebiet. Mitt. forst. B—A., Wien *97*, 53—87

Mandl, R. H., Weinstein, L. H., McCune, D. C. and *Keveny, M.*, 1973: A cylindrical, open-top chamber for the exposure of plants to air pollutants in the field. J. Environ. Quality *2*, 371—376

Matile, Ph., 1973: Regulation und Bedeutung der Sekretion von Hydrolasen. Ber. dtsch. bot. Ges. *86*, 241—255

McCune, D. C., MacLean, D. C. and *Schneider, R. E.,* 1976: Experimental approaches to the effects of airborne fluoride on plants. In: Effects of air pollutants on plants (*Mansfield, T. A.,* ed.), Soc. Exper. Biol., Cambridge Univ. Press, 207 p.

Sachs, L., 1973: Angewandte Statistik. Planung und Auswertung, Methoden und Modelle. 4. Aufl., Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 545 S.

Schwager, H. und *Keller, Th.,* 1976: Zur Mikrobestimmung des Gesamtschwefels in Pflanzengewebe. Intern. J. Environ. Anal. Chem. *4,* 275—284