©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Phyton (Austria)	Vol. 20	Fasc. 1—2	65—72	15. 2. 1980

Aus den Instituten für Pflanzenphysiologie sowie Pharmazeutische Chemie der Universität Graz und dem Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität, Gießen

Säuren in SO_2-belasteten und von *Chrysomyxa abietis* befallenen Fichtennadeln

Von

Dieter GRILL, *) Wolfgang LINDNER **) und Hans-Jürgen JÄGER ***)

Eingelangt am 22. Februar 1979

Key words: organic acids, SO_2, air pollution, spruce needles, *Picea*, *Chrysomyxa abietis*

Summary

Acids in spruce needles stressed by SO_2 and infected with *Chrysomyxa abietis*

By means of gaschromatography organic acids are treated in spruces and peas. The question should be cleared up how far both total acids and the composition of the acid pattern are influenced by pathogens. Spruce needles infected by *Chrysomyxa abietis* as well as leaves of spruces and peas exposed to SO_2-immissions are tested. It is shown that as reaction against both biotic and abiotic pathogens the total acid content is decreased. The influence of these pathogens on the acid pattern shows an individual and unspecific course, where by the main components shikimic and quinic acid in spruce needles, and malic acid in pea leaves are mainly affected. In connection with diminished buffer cpacity of gas damaged and fungus infected plant material, the results are being discussed. The higher content of phosphoric acid in SO_2 influenced leaves is attributed to the higher content of adenylates in such affected plants.

Zusammenfassung

Mittels Gaschromatographie werden organische Säuren in Fichten und Erbsen untersucht, wobei die Frage geklärt werden soll, inwieweit die Gesamt-

*) Univ.-Doz. Dr. D. GRILL, Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Graz, A-8010 Graz, Schubertstraße 51.

**) Dr. W. LINDNER, Institut für Pharmazeutische Chemie, Universität Graz, A-8010 Graz, Universitätsplatz 1.

***) Doz. Dr. H.-J. JÄGER, Botanisches Institut, Justus-Liebig-Universität, Lehrstuhl II Pflanzenökologie, D-63 Gießen, Heinrich-Buff-Ring 38.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

säuremenge sowie die Zusammensetzung des Säuremusters von Pathogenen beeinflußt wird. Es werden einerseits Fichtennadeln untersucht, welche von *Chrysomyxa abietis* infiziert sind, andererseits Blätter von Fichten und Erbsen, welche SO_2-Einfluß unterworfen waren. Es zeigt sich, daß als Reaktion auf ein Pathogen, sei es biotischer oder abiotischer Herkunft, die Säuremenge verringert wird und der Einfluß auf das Säuremuster individuell verschieden und unspezifisch verläuft, wobei jeweils die Hauptkomponenten, das sind Shikimi- und Chinasäure bei der Fichte, Äpfelsäure bei der Erbse, deutlich betroffen werden. Die Ergebnisse werden im Zusammenhang mit der bei abgasbelasteten sowie pilzbefallenen Blättern verminderten Pufferkapazität diskutiert. Die erhöhten Phosphorsäuremenge in abgasbelasteten Pflanzen werden mit einem durch SO_2 gesteigerten Adenylatgehalt der Pflanzen in Verbindung gebracht.

Einleitung

Die Pufferkapazität einer Zelle wirkt stabilisierend auf den Stoffwechsel sowie schützend gegen Einflüsse von außen, indem der für die Zelle typische pH Wert aufrecht erhalten wird. So unterscheidet sich die rauchhärtere *Pinus nigra* von der empfindlicheren *P. sylvestris* nach Scholz 1974 durch die größere Pufferkapazität und auch Braun 1977 schließt ein derartiges Verhalten bei abgasresistenten Fichten nicht aus. Nun beeinträchtigt SO_2-Einfluß die Pufferkapazität z. T. drastisch (Thomas, Hendricks & Hill 1944, Börtitz 1969, Grill 1971, Grill & Härtel 1972, Keller 1976), so daß der pH der Pflanzenzellen labil gegen Zugaben von H^+ bzw. OH^- wird. Entscheidend für die Größe der Pufferkapazität und damit verbunden die Anfälligkeit gegenüber SO_2-Immissionen ist nach Jäger & Klein 1976, Klein & Jäger 1976 die Ernährung der Pflanzen, insbesondere die Art des gebotenen N sowie die Mengen an K.

Aber auch Pilzbefall beeinträchtigt die Pufferkapazität von Geweben, wie Scholz & Stephan 1974, 1975 bei Nadeln von Pinus sylvestris nachwiesen, welche von Lophodermium pinastri infiziert waren. Dabei hängt die Resistenz des Gewebes weitgehend von der Möglichkeit ab, wie weit der pH-Wert konstant gehalten werden kann.

Bei Fichten wird die Pufferkapazität vor allem von organischen Säuren begründet (Grill 1971, Wind 1976), wobei, wie auch Braun 1977 hinweist, u. a. Proteine eine Rolle spielen. Am Gehalt an organischen Säuren in Fichtennadeln sind zum überwiegenden Teil die Shikimisäure und die Chinasäure beteiligt (Oechssler 1968, Wind 1976, Lindner & Grill 1978). In folgender Arbeit soll gezeigt werden inwieweit das Säuremuster durch Faktoren, welche auch die Pufferkapazität beeinflussen, verändert wird.

Material und Methodik

Pflanzenmaterial

Für die Auswirkungen von SO_2 auf das Säuremuster wurden Proben aus einem Rauchschadensgebiet der Steiermark mit überwiegenden SO_2-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Emissionen herangezogen. Monatsmittelwert Jänner über 0,3 mg SO_2/m^3 Luft, Juli 0,2—0,3 mg SO_2/m^3 Luft, I_2 Winter 0,75—1,0 mg SO_2/m^3, Sommer 0,5—0,75 mg SO_2/m^3 Luft (GRADISCHNIK 1974).

Die Kontrollen stammten aus ± abgasfreien Beständen vom Rand des Rauchschadensgebietes. Die Proben wurden von ca. 10jährigen Fichten aus gleicher Exposition und Höhe entnommen.

Für die künstliche Begasung wurden kleine eingetopfte Fichten sowie zu Vergleichszwecken eingetopfte Erbsen herangezogen. Die Kontrollen bzw. die Versuchspflanzen wuchsen in je einem Pflanzenversuchsschrank der Fa. Weiss (AB/JM-P-B) bei 20.000 Lx, 75% rel. Luftfeuchte, Tag-Nacht-Temperatur 20 bzw. 15° C, 12stündigem Licht-Dunkelrhythmus sowie 100facher stündlicher Lufterneuerung. Die Fichten wurden ein Monat mit 0,1 ppm SO_2, die Erbsen mit 0,3 ppm 14 Tage begast.

Das pilzbefallene Material stammte aus dichten, 10jährigen Fichtenforsten nördlich von Graz, die Kontrollen waren pilzfreie Individuen aus unmittelbarer Nachbarschaft.

Bestimmung der Säuren

Die Gesamtsäurebestimmung stützt sich auf die von OECHSSLER 1968 beschriebene Methode. Die Einzelsäuren wurden im wesentlichen, wie bei LINDNER & GRILL 1978 beschrieben, gaschromatographisch bestimmt. Die Präparation des mit einer Kugelmühle (Fritsch pulverisette) zerkleinerten Materials erfolgte nach dem abgekürzten Verfahren mittels Kationenaustauscher und anschließendem Lyophilisieren. Derivatisiert wurde mit BSTFA in Pyridin. Als Gaschromatograph stand ein Perkin Elmer-Modell 900 mit FID als Detektor zur Verfügung. Säule: Glas, Länge 1,8 m, ID 3 mm, gefüllt mit 3% OV101 auf Chromosorb W AW-DMCS, 80—100 mesh. Temperaturprogramm: 150—250°, 6°/min. Die Analysen stützen sich auf Peakflächenintegration ohne Korrektur mit entsprechenden FID-Responsfaktoren. Für eine Quantifizierung der Säuren wirkt erschwerend, daß bei Koniferennadeln trotz sorgfältiger Aufarbeitung (auch unter Verwendung von Anionenaustauschersäulen, vgl. KINZEL 1962) immer eine große Menge von Phenolen mitgeschleppt werden. Deshalb wurde die Auswertung mit Hilfe von zwei inneren Standards durchgeführt und mit der tritrierten Gesamtsäuremenge verglichen.

Als innerer Standard diente einerseits Glutarsäure, die gleich vor dem Mahlvorgang in definierter Menge dem Nadelmaterial beigegeben wurde, und andererseits Palmitinsäure, die vor der Derivatisierung zugesetzt wurde.

Durch die Bestimmung des Aufarbeitungsverlustes mittels zweier innerer Standards kann leicht der Absolutgehalt an freien Säuren in Pflanzenmaterial errechnet und auf Gewicht bezogen werden. Der Aufarbeitungsverlust beträgt bis zu 5%.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Ergebnisse und Besprechung

Im Pool organischer Säuren von Fichtennadeln dominieren vor allem zwei Komponenten, die China- und die Shikimisäure (OECHSSLER 1968, WIND 1976, LINDNER & GRILL 1978). Der Anteil der beiden Säuren beträgt nach vorliegenden Untersuchungen in Übereinstimmung mit den oben genannten Autoren über 90% der Gesamtsäure. Äpfelsäure, Citronensäure, Weinsäure, phenolische Säuren u. a. können jeweils bis zu 1% betragen und treten daher in den Hintergrund (vgl. auch LINDNER & GRILL 1978). Die Situation der Gesamtsäuremenge und deren Einzelkomponenten bei SO_2-Einfluß sowie Einfluß durch Chrysomyxa abietis wird deshalb vor allem eine Besprechung der Konzentrationsänderungen von China- und Shikimisäure unter derartigen Streßbedingungen sein.

Die mengenmäßige Zusammensetzung von China- und Shikimisdreä variiert mit dem Entwicklungszustand der Koniferennadel sowie uer Jahreszeit. So ist der Gehalt von Chinasäure schon knapp nach dem Austrieb in den Fichtennadeln sehr hoch (OECHSSLER 1968, DITTRICH 1970, KRETZ 1970, WIND 1976) und übertrifft weit den Shikimisäureanteil. Im Spätsommer jedoch überwiegt die Shikimisäure den Anteil der Chinasäure bis um das Dreifache. Wird die Chinasäure mit der Lignifizierung, die ja im Spätsommer beendet ist, in Zusammenhang gebracht, soll die Shikimisäure ein Depot darstellen. Chinasäure kann dann auch zu Shikimisäure umgewandelt werden (DITTRICH 1970, DITTRICH & KANDLER 1971).

Wie aus den in Tab 1 beispielmäßig angeführten Ergebnissen ersichtlich ist, ist bei SO_2-Einfluß mit einer deutlichen Senkung des Säuregehaltes zu rechnen. Besitzen gesunde Fichtennadeln im Durchschnitt $8{,}43 \pm 1{,}2$ mg China+Shikimisäure, verringert sich der Säuregehalt unter Abgasbelastung bis auf 34%. Dabei spielt natürlich die Abgasmenge, die auf die Bäume trifft, bzw. die individuelle Empfindlichkeit eine Rolle. Begasungsversuche mit Fichtentopflingen mit 0,1 pp, SO_2 während 4 Wochen führten nahezu zu selben Ergebnissen, wie sie bei Fichten aus einem Rauchschadensgebiet beobachtet wurden. Auch hier tritt eine Senkung des Anteils von Chinasäure und Shikimisäure um 40% bei SO_2-Belastung gegenüber den Kontrollgruppen ein. Die drastische Verringerung der Gesamtsäurekonzentration bei Abgaseinfluß muß sich stark auf die Pufferkapazität und dem damit verbundenen pH-Wert des Pflanzenextraktes auswirken. Die pK-Werte der pufferwirksamen schwachen Säuren wie China- und Shikimisäure liegen nahe dem pH (2,95—3,75) von Fichtennadelhomogenaten (GRILL 1971). So besitzen die SO_2-belasteten Fichtennadeln auch eine wesentlich verringerte Pufferkapazität (GRILL 1971, GRILL & HÄRTEL 1972, WIND 1976, KELLER 1976), die nach BRAUN 1977 auch ein Resistenzmerkmal sein kann. Das rasche Auftreten geringer Pufferkapazität als Reaktion auf SO_2-Einfluß, ohne daß eine makroskopische Schädigung wahrzunehmen wäre, versieht JÄGER & KLEIN 1977 mit Indikatorwert für die Rauchschadensdiagnose.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Da Shikimi- bzw. Chinasäure den Hauptteil der Gesamtsäuremenge ausmachen, geht eine Verminderung der Gesamtsäure vor allem auf diese beiden Säuren zurück. Im Untersuchungszeitraum September bis März ist in den Kontrollnadeln der Gehalt an Shikimisäure 2—3× höher als jener der Chinasäure. Unter Abgaseinfluß ändert sich dieses Verhältnis bisweilen stark, und zwar je nachdem welche Komponente stärker abnimmt. Die Abnahme kann aber auch bei beiden Säuren annähernd gleichsinnig erfolgen (vgl. Proben 5—7, Tab. 1), wodurch das Verhältnis Chinasäure : Shikimisäure gleich dem der Kontrollen ist. Die Abnahme bei Probe 4 geht mehr zu Lasten der Shikimisäure, die Abnahme der Probe 8 und der künstlich begasten Probe 3 zu Lasten der Chinasäure, wodurch Mengenverhältnisse Shikimisäure : Chinasäure von 6 : 1 bzw. 5 : 1 entstehen. Welche Komponente bevorzugt abnimmt, ist offensichtlich jahreszeitlich unabhängig und nur individuell bedingt. Auf Grund vorliegender Untersuchungen ist es wahrscheinlich, daß auch die in sehr geringen Mengen vorkommenden Säuren durch SO_2 beeinflußt werden, die Größenordnung liegt jedoch im Bereich des methodischen Fehlers.

Bei SO_2 begasten Erbsen, von denen ein Beispiel in Tab. 1 angeführt wird, ist ebenfalls eine Säureabnahme und dadurch bedingte geringere Pufferkapazität (vgl. JÄGER & KLEIN 1977) unter Abgaseinfluß zu verzeichnen. Die Säuremenge sinkt von 11,4 mg/gFG um rund 20% ab. Die Säurezusammensetzung ist vor allem durch Äpfelsäure mit 3,84 mg/gFG sowie Phosphorsäure mit 5,76 mg/gFG bestimmt; Malon-, Bernstein- und Citronensäure zusammen betragen ca. 50% der Menge an Äpfelsäure (vgl. auch NIERHAUS & KINZEL 1976 bei *Phaseolus* und *Lupinus*). Nach SO_2-Einwirkung nimmt die Äpfelsäure um rund 30% und die Citronensäure geringfügig ab. Die Phosphorsäure steigt deutlich an. Ein geringeres Ansteigen der Phosphorsäure nach SO_2-Einfluß ist meist auch in Fichtennadeln zu beobachten. Dies wäre als Folge eines gesteigerten Adenylatgehaltes zu interpretieren, wie ihn HOFFMANN, PAHLICH & STEUBING 1976 nach SO_2-Begasung in Erbsen vorfinden.

Die Verringerung der Säuremenge in Pflanzen durch SO_2-Einfluß ist sicher weniger auf Störungen im Krebszyclus zurückzuführen, welche JIRACEK, MACHACKOVA & KOSTIR 1972 nicht ausschließen. Große Säuremengen, wie sie für die Pufferkapazität wirksam sind, Äpfelsäure bei Erbsen, sowie Shikimi-Chinasäure bei Fichten, stellen eher einen Pool dar, der ständig aufgefüllt wird. Das Ausgangsmaterial für die Säuresynthese läßt sich letzten Endes auf die Photosynthese zurückführen. SO_2 ist bekanntlich ein Assimilationsgift (GARBER 1973, ZIEGLER 1976, GUDERIAN 1977 u. a.), wodurch infolge von Störungen bei der Photosynthese auch eine verminderte Bereitstellung von Ausgangsmaterial für die Säurebildung resultiert.

Bei Befall mit *Chrysomyxa* kommt es neben einem Anstieg des Homogenat-pH von 4 auf 4,5 im Oktober zu einem verringerten Gehalt an organischer Säure in Fichtennadeln. Die Abnahme von China- und Shikimisäure

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

beträgt rund 30%, wie an den beiden, in Tab. 1 angeführten Beispielen demonstriert werden soll. Die Verminderung kann analog bei Abgaseinfluß sowohl zu Lasten der China-, als auch der Shikimisäure gehen, was wiederum individuell bedingt ist. Beträgt das Verhältnis Shikimisäure : Chinasäure bei Kontrollen wieder 2 bis 3 : 1, ändert sich dieses Verhältnis nach Pilzbefall auf 1,5 : 1 bzw. 4 : 1. Als weitere Folge dieser pathologisch bedingten Änderung des Säurespiegels ist der Einfluß auf die Pufferkapazität zu verzeichnen. Bei mit *Chrysomyxa* befallenen Fichtennadeln ist deutlich eine Abnahme der Pufferkapazität zu beobachten, die sich auf den Parasitenbefall zurückführen läßt: So bewirkt eine Zugabe von 1 ml N/10 NaOH bei Homogenisaten unbefallener Fichtennadeln eine Erhöhung um 0,4 pH Einheiten, bei mit *Chrysomyxa* befallenen Fichtennadeln hingegen eine Erhöhung von 1,3 (LACKNER 1975). Dies kommt dem weiteren Pilzwachstum zugute, da der Pilz ein für sich optimales pH im Wirtsgewebe zu schaffen trachtet (RYPACEK 1940). Im gleichen Sinn ist die pH-Erhöhung des Nadelhomogenates von 4 auf 4,5 bei Pilzbefall zu deuten. So berichten SCHOLZ &

Tabelle 1

Übersicht über die Gesamtsäuremenge und den Anteil der Hauptkomponenten in *Chrysomyxa* bzw. SO_2-belastetem Pflanzenmaterial *)

Nr	Datum	Kontrolle Gesamtsäure mg/gFG		Streß Gesamtsäure in % der Kontrolle	
	Fichtennadeln (1. Jg.)				Chrysomyxa
1	September	7,7	Sh : Ch = 2 : 1 **)	71,4	Sh : Ch = 1,5 : 1
2	März	5,1	Sh : Ch = 3 : 1	73,5	Sh : Ch = 4,2 : 1
	Fichtennadeln (1. Jg.)				künstlich SO_2 begast
3	September	8,4	Sh : Ch = 3 : 1	40,4	Sh : Ch = 5 : 1 Phos. +
					SO_2, natürliche Standorte
4	Oktober	9,1	Sh : Ch = 2,8 : 1	33,8	Sh : Ch = 1,8 : 1 Phos. ++
5	Oktober	9,3	Sh : Ch = 2,6 : 1	38,4	Sh : Ch = 2,3 : 1 Phos. +
6	Jänner	10,4	Sh : Ch = 2,1	49,4	Sh : Ch = 2,4 : 1
7	Jänner	10,0	Sh : Ch = 2,1 : 1	58,9	Sh : Ch = 2,2 : 1
8	März	7,6	Sh : Ch = 2,5 : 1	53,1	Sh : Ch = 6,2 : 1 Phos. +
9	Erbsenpflanzen				künstlich SO_2 begast
		11,4		83,8	
			Äpfelsäure 3,84		68
			Phos. 5,76		++

*) Angaben über die SO_2-Belastung vgl. Kap. Pflanzenmaterial.
**) Sh . . . . . Shikimisäure
Ch . . . . . Chinasäure
Phos. . . . Phosphorsäure leicht (+) — stark (++) erhöht.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

STEPHAN 1974 von einer pH-Erhöhung von Nährmedien durch *Lophodermium pinastri*, wobei sie die Pufferkapazität des Wirtsgewebes für die Resistenz gegen den Parasiten als einen grundlegenden Faktor ansehen (SCHOLZ & STEPHAN 1974, 1975).

Bei der Verminderung der Gesamtsäure in Fichtennadeln sowie bei der mengenmäßigen Zusammensetzung der zwei Hauptkomponenten China- und Shikimisäure handelt es sich also um eine völlig unspezifische Reaktion auf ein Pathogen, sei es biotischer oder abiotischer Herkunft. Die Folge, eine verminderte Pufferkapazität, wirkt sich für die Pflanzen negativ aus: bei Pilzbefall in Form von besseren Lebensbedingungen für den Parasiten, bei SO_2-Einfluß in Form größerer Empfindlichkeit chronisch vorbelasteter Nadeln gegen höhere Konzentrationen saurer Abgase.

Schriftenverzeichnis

BÖRTITZ S. 1969. Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadenforschung. 11. Mitt.-Arch. Forstwes. 18: 123—131.

BRAUN G. 1977. Über die Ursachen und Kriterien der Immissionsresistenz bei Fichte, *Picea abies* (L.) KARST. III. — Eur. J. For. Path. 7: 303—319.

DITTRICH P. 1970. Untersuchung über den Umsatz sekundärer Pflanzenstoffe in den Nadeln von *Picea abies*. — Diss. München.

— & KANDLER D. 1971. Einfluß der Jahreszeit auf die Bildung und Umsatz von Phenolkörpern in der Fichte (*Picea abies* (L.) KARST). — Ber. dt. bot. Ges. 84: 465—472.

GARBER K. 1973. Luftverunreinigungen, eine Literaturübersicht. — Ber. Eidgen. Anst. forstl. Versuchswes. 102, Birmensdorf.

GRADISCHNIK H. 1974. Luftgütebild des Landes Steiermark. — Graz.

GRILL D. 1971. Pufferkapazität gesunder und rauchgeschädigter Fichtennadeln. — Z. PflKrankh. 78: 612—622.

— & HÄRTEL O. 1972. Zellphysiologische und biochemische Untersuchungen an SO_2-begasten Fichtennadeln. — Mitt. forstl. Bundes-Versuchsanst, Wien 97: 367—386.

GUDERIAN R. 1977. Air Pollution. — Berlin—Heidelberg—New York.

HOFFMANN J., PAHLICH E. & STEUBIG L. 1976. Enzymatisch-analytische Untersuchungen zum Adenosinphosphatgehalt SO_2-begaster Erbsen. — Intern. J. Environ. Anal. Chem. 4: 183—196.

JÄGER H.-J. & KLEIN H. 1976. Modellversuche zum Einfluß der Nährstoffversorgung auf die SO_2-Empfindlichkeit von Pflanzen. — Eur. J. For. Path. 6: 347—354.

— & — 1977. Biochemical and physiological detection of sulfur dioxide injury to pea plants (*Pisum sativum*). — J. Air Poll. Contr. Ass. 27: 464—466.

JIRACEK V., MACHACKOVA I. & KOSTIR J. 1972. Nachweis der Bisulfit-Addukte (α-Oxysulfonsäuren) von Carbonylverbindungen in den mit SO_2 behandelten Erbsenkeimlingen. — Experientia 28: 1007—1008.

KELLER Th. 1976. Auswirkungen niedriger SO_2-Konzentrationen auf junge Fichten. — Schweizer. Z. Forstwesen 127: 237—251.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

KINZEL H. 1962. Zur Methodik der Analyse von pflanzlichen Zellsaftstoffen mit besonderer Berücksichtigung der organischen Säuren. — J. Chromatogr, 7: 493—506.

KLEIN H. & JÄGER H.-J. 1976. Einfluß der Nährstoffversorgung auf die SO_2-Empfindlichkeit von Erbsenpflanzen. — Z. Pfl. Krankh. 83: 555—568.

KRETZ H. 1973. Zucker, Cyclite und organische Säuren des Cambialsaftes von *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* KARST., und *Abies alba* MILL. — Planta 110: 1—14.

LACKNER E. 1975. Untersuchungen an mit *Chrysomyxa abietis* befallenen Fichtennadeln. — Hausarb. Graz.

LINDNER W. & GRILL D. 1978. Säuren in Koniferennadeln. — Phyton 18: 137—144.

NIERHAUS D. B. & KINZEL H. 1971. Vergleichende Untersuchungen über die organischen Säuren in Blättern höherer Pflanzen. — Z. Pflanzenphysiol, 64: 107—123.

OECHSSLER G. 1968. Jahreszeitliche Schwankungen des Gehaltes an organischen Säuren in den Nadeln von *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO, *Picea abies* (L.) KARSTEN und *Larix decidua* MILL. — Z. Pflanzenphysiol. 59: 213—225.

RYPACEK V. 1940. Studien über die pH-Regulation durch Pflanzengewebe. — Stud. Bot. Cech. 3: 81—129.

SCHOLZ F. 1974. Biochemische Untersuchungen zur Resistenz von Waldbäumen gegen Fluor. — IX. Intern. Tagung Luftverunreinigung Forstwirtsch Marianské Lazné.

— & STEPHAN B. R. 1974. Physiologische Untersuchungen über die unterschiedliche Resistenz von *Pinus sylvestris* gegen *Lophodermium pinastri*. — Eur. J. Path. 4: 118—126.

— 1975. Zur pH-Regulation als Faktor der Resistenz von *Pinus* spp. gegen *Lophodermium pinastri*. — Angew. Bot. 49: 55—63.

THOMAS M. D., HENDRICHS R. H. & HILL G. R. 1944. Some chemical reactions of sulfur dioxide after absorption by alfalfa and sugar beets. — Plant Physiol. 19: 212—226.

WIND E. 1976. Untersuchungen über die Pufferkapazität und einige organische Säuren in Koniferennadeln. — Diss. Graz.

ZIEGLER I. 1975. The effect of SO_2 pollution on plant metabolism. — Residue Reviews 56: 79—105.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: 20_1_2

Autor(en)/Author(s): Grill Dieter, Lindner Wolfgang, Jäger Hans-Jürgen

Artikel/Article: Säuren in SO2-belasteten und von Chrysomyxa abietis befallenen Fichtennadeln. 65-72