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

Phyton (Austria)	Vol. 19	Fasc. 3–4	197–215	10. 9. 1979

Pufferkapazität in Koniferennadeln

Von

Eva WIND *)

Aus dem Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Graz [1])

Mit 2 Abbildungen

Eingegangen am 15. Juli 1978

Summary

Buffer Capacity in the Leaves of Conifers

1. The pH-values of homogenated needles of 9 conifers investigated arise towards a maximum in autumn and early winter. Afterwards they somewhat decrease but then, though not homogeneously, they slightly increase towards spring again. In urban environment the pH shows a significant decrease in autumn caused by domestic heating whereas in the industrial region, it is slightly increased against the controls.

2. The buffer capacity of the needles of conifers was determined in homogenates within the range about pH 4, i. e. the dissociation range of the carbon acids. The buffer capacity in young leaves drops after July differently, depending on the species. In winter and before sprouting the buffer capacity is very small. *Taxus* and *Juniperus* are lowly buffered during the whole year. SO_2 further diminishes the buffer capacity, there are not immediate relations to the intensity of the SO_2 immissions. Certain recovery or adaption might occur. The long shoots and the short ones of larch show any diversity in their reaction against SO_2.

3. A lower buffer capacity is accompanied by a diminished content of acids in the leaves but there do not exist close or quantitative relations between them.

4. The buffer capacity may not be considered the single cause of the resistance to SO_2 but rather as expression for a certain physiological condition of the cells.

*) Dr. Eva WIND, Schanzelgasse 15, A-8010 Graz, Österreich.

[1]) Anforderungen von Sonderdrucken mögen gerichtet werden an: Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Graz, Schubertstraße 51, A-8010 Graz, Österreich.

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

Zusammenfassung

1. Die pH-Werte der Nadelhomogenisate von 9 Koniferen steigen nach dem Nadelaustrieb an, erreichen gegen Ende des Jahres ihr Maximum, nehmen im Laufe des Winters etwas ab und nehmen gegen das Frühjahr, allerdings uneinheitlich, wieder etwas zu. Im Stadtgebiet zeigen sie mit Beginn der Heizperiode eine statistisch gesicherte Abnahme, im Industriegebiet sind sie gegenüber denen der Kontrollen leicht erhöht.

2. Bei allen untersuchten Koniferen sinkt die an Nadelhomogenisaten bestimmte Pufferkapazität im Dissoziationsbereich der Carbonsäuren (um pH 4) bei den neuausgetriebenen Nadeln etwa ab Juli artspezifisch unterschiedlich stark ab und wird in den Wintermonaten und vor dem Nadelaustrieb minimal; *Taxus* und *Juniperus* sind das ganze Jahr über nur schlecht gepuffert. SO_2 setzt die Pufferkapazität weiter herab, doch besteht keine einfache Beziehung zur Stärke der Belastung, eine gewisse Erholung oder Anpassung scheint möglich. Lang- und Kurztriebe der Lärche verhalten sich gegenüber SO_2 unterschiedlich.

3. Mit der Verminderung der Pufferkapazität geht eine Abnahme der Gesamtsäure in den Nadeln einher, doch bestehen keine quantitativen Beziehungen.

4. Die Pufferkapazität sollte nicht als alleinige Ursache der SO_2-Resistenz angesehen werden, sondern eher als Ausdruck für den physiologischen Zustand der Zelle.

1. Einleitung

Nach Grill 1968 und Grill & Härtel 1969 nimmt in Fichtennadeln die Zahl abgestorbener Zellen nicht gleichbleibend mit der SO_2-Konzentration zu. Nach anfänglichem Anstieg bleibt sie über einem weiten Konzentrationsbereich konstant, erst nach Übertreten einer bestimmten Konzentration nähern sich die Kurvenverläufe der 100% Schädigungsgrenze. Diese diskontinuierlich zunehmende Schädigung legt die Annahme eines Puffersystems innerhalb der Nadeln nahe.

Weiters sprechen die Untersuchungen an Fichtennadel-Homogenisaten dafür, daß ein Zusammenhang zwischen SO_2-Resistenz und Pufferung bestehen kann (Grill 1971, Grill & Härtel 1972, Scholz 1974, Braun 1977). Dabei zeigte sich, daß vor allem in bestimmten pH-Bereichen ein höheres Puffervermögen besteht und daß dieses durch SO_2 beeinflußt werden kann. Es war daher von Interesse, diese Untersuchungen weiter auszubauen. Dazu wurden die Untersuchungen auf weitere bei uns heimische Koniferen ausgedehnt. Von diesen sollte der Jahresgang der Pufferkapazität erstellt und die Pufferfähigkeit unter verschiedenen SO_2-Belastungen untersucht werden. Darüber hinaus sollte auch versucht werden, die in diesem Zusammenhang wichtigen Puffersysteme bzw. die hiefür in Frage kommenden organischen Säuren zu ermitteln.

2. Material und Methode

Proben von Abgasen ± unbelasteter Koniferen stammten aus der Umgebung von Graz (*Picea abies* (L.) Karsten, *Pinus sylvestris* L., *Abies*

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

alba L., *Larix decidua* L., *Taxus baccata* L., *Juniperus communis* L.), ferner aus dem Steinfeld (Niederösterreich, *Pinus nigra* ARNOLD) und von der Edelraute-Hütte (Triebener Tauern, Steiermark, 1200 m, *Pinus mugo* TURRA). Weiters wurden Proben der genannten Koniferen aus dem Botanischen Garten der Universität Graz untersucht, sie stehen dort unter dem Einfluß von Stadtluft, also einer mäßigen, aber doch deutlichen Abgasbelastung (I_1-Werte im Sommer um 0,06, im Winter um 0,17 mg.m^{-3} SO_2, I_2-Werte im Winter bis 0,7 mg.m^{-3} SO_2, Magistrat Graz 1971—73). Proben stark belasteter Koniferen (*Picea abies*, *Pinus sylvestris* und *Larix decidua*) wurden im obersteirischen Industriegebiet in der Umgebung von Kapfenberg gesammelt, die Abgasbelastung ist hier durch I_1- Werte um 0,2, I_2- Werte über 0,7 mg.m^{-3}, jedoch Sommer wie Winter in ähnlicher Stärke, gekennzeichnet (PAPESCH 1971).

Die Nadeln stammten von rd. 10 Jahre alten Bäumen. Soweit nicht anders angegeben, wurden stets die Nadeln des jüngsten (also des diesjährigen) Nadeljahrganges untersucht.

Zur Bestimmung der Pufferkapazität wurden 2 g Nadeln möglichst frisch mit 20 ml aqua dest. im Ultraturrax homogenisiert. Dem Homogenisat wurden schrittweise aus einer Motorbürette (Metrohm) 1 N HCl bzw. NaOH zugesetzt, während ein Magnetrührer für ständige Durchmischung sorgte. Durch die relativ hohe Konzentration der zugesetzten Lauge sollte die Verdünnung möglichst gering gehalten werden. Die sich jeweils einstellenden pH-Werte wurden mit einer Glaselektrode (Metrohm E 512) gemessen bzw. mit einem Potentiometerschreiber (Servogor) aufgezeichnet. Trägt man die zugesetzten H^+- bzw. OH^--Mengen auf der Abszisse und die jeweiligen pH-Werte auf der Ordinate auf, so erhält man sigmoidale Kurven. Die Pufferkapazität A ist durch den Ausdruck

$$A = \frac{\Delta \text{mmol } H^+ \text{ (bzw. } OH^-)}{\Delta pH}$$

gegeben, d. i. der ctg der im jeweiligen pH-Wert an die Pufferkurve angelegten Tangente. Bei hoher Pufferkapazität (= geringer Nachgiebigkeit des Homogenisates gegenüber zugesetzter Säure oder Base) verläuft die Tangente nur wenig gegenüber der Abszisse geneigt; steiler Verlauf der Tangente weist auf große Nachgiebigkeit resp. geringe Pufferkapazität hin. Man kann auf diese Weise eine Differentialkurve der Pufferkapazitäten entlang der pH-Skala aufstellen (vgl. GRILL 1971, GRILL & HÄRTEL 1972). Vom stark sauren Bereich (etwa pH 2) bis in die Nähe des originalen pH des Homogenisates ähnelt die Titrationskurve der des reinen Wassers. Im Bereich um pH 4 baut sich ein deutliches, hinsichtlich der Lage statistisch gut gesichertes ($p < 0{,}5\%$) Maximum der Pufferkapazität auf, das dem Dissoziationsbereich der COOH-Gruppen entspricht (RAUEN 1964). Über pH 5 wird die Pufferkapazität wieder gering und steigt erst jenseits pH 7 wieder an; dieser Bereich entspricht dem phenolischer OH-Gruppen.

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

In diesen Untersuchungen wird nur der zwischen pH 2,5 und pH 6 liegende Teil der Pufferkurve mit dem durch die Carbonsäuren bedingten Maximum um pH 4 ins Auge gefaßt. Die Veränderungen der Pufferkapazität im alkalischen Bereich haben sich bislang als kaum auswertbar erwiesen.

Zur Untersuchung des Materials auf organische Säuren wurden die Proben in Anlehnung an KINZEL 1962 und OECHSSLER 1968 aufgearbeitet. 1 g bei 60° C getrockneter, fein pulvrig gemahlener Nadeln wurden mit 200 ml aq. dest. digeriert und filtriert. Um die Säuren in die freie Form überzuführen, wurde das Filtrat über sauren Kationenaustauscher I Merck (mit Ameisensäure aktiviert) geschickt, anschließend die freien Säuren an stark basischen Anionenaustauscher III Merck in Formiatform (KINZEL 1962) absorbiert und mit 6 N Ameisensäure freigesetzt. Das Eluat wurde zur Entfernung der flüchtigen Ameisensäure im Rotavapor bei 36° C zur Trockne eingedampft, bis kein Geruch von Ameisensäure mehr wahrnehmbar war. (Nähere Details zum Arbeitsgang vgl. WIND 1976.) Zur Gesamtsäurebestimmung wurde der feste Rückstand von 1 g trockenen Nadeln mit 20 ml aq. dest. aufgenommen und mit 0,05 N NaOH gegen Phenolphthalein als Indikator titriert.

3. Ergebnisse

3. 1. Die pH-Werte der Homogenisate

Beim Vergleich der, wie in Kap. 2 beschrieben, hergestellten Nadelhomogenisate fallen einige gemeinsame Züge auf (Tabelle 1). Durchwegs sind die pH-Werte nach dem Nadelaustrieb am niedrigsten, sie steigen im Laufe der Vegetationsperiode bis Herbst an; die Maximalwerte sind in der Regel im Dezember bis Januar erreicht. Nur *Pinus mugo* und *Taxus baccata* erreichen die höchsten pH-Werte erst im nächsten Frühjahr. Für Larix stehen naturgemäß nur Werte bis zum Nadelfall Anfang November zur Verfügung; innerhalb dieser Zeit steigen die pH-Werte der Homogenisate gleichfalls an, bei den Kurztrieben deutlicher als bei den Langtrieben.

Nadelextrakte von Bäumen aus Stadtluft (Botanischer Garten, S) zeigen im Juni und Juli die gleichen pH-Werte wie die Kontrollen. Auch ihr pH steigt im Laufe der nächsten Monate, etwa bis Anfang September, an; bei *Picea* ist der Verlauf der pH-Änderungen an beiden Standorten fast ident, bei den übrigen steigen die pH-Werte im Botanischen Garten auffälligerweise in etwas stärkerem Maße an als bei den Kontrollen in reiner Luft (Unterschied auf dem 5%-Niveau gesichert). Von September bis November—Dezember jedoch sinken die pH-Werte in Stadtluft deutlich ab (ausgenommen wieder *Picea* sowie *Taxus*), die Divergenz ist mit $P = 0{,}001-0{,}002$ signifikant. Nur die Langtriebe von *Larix* senken in diesem Zeitraum sowohl an den Kontrollstandorten wie im Botanischen Garten ihren pH-Wert, in letzterem jedoch in stärkerem Ausmaße. Auch *Taxus* verhält sich in Stadtluft gegensinnig wie in unbelasteter Umgebung, die Unterschiede sind jedoch nur sehr gering. Im weiteren Verlauf des Win-

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

Tabelle 1

Veränderungen der pH-Werte der Nadelhomogenisate im Laufe des Jahres

		VI—VII	Diff.	IX—X	Diff.	XI—XII	Diff.	III—IV	max. pH	(im Monat)
Picea abies	K	2,95	+0,45	3,40	+0,10	3,50	−0,02	3,48	3,65	(I)
	S	2,90	+0,58	3,48	+0,02	3,50	−0,02	3,48	3,65	(I)
	I	2,85	+0,60	3,45	+0,30	3,75	±0	3,75	4,0	(XII)
Pinus	K	2,60	+1,18	3,78	+0,37	4,15	−0,30	3,85	4,25	(I)
sylvestris	S	2,60	+1,30	3,90	−0,15	3,75	+0,35	4,10	4,00	(X)
	I	3,10	+1,10	4,20	−0,40	3,80	+0,20	4,00	4,30	(X)
Pinus nigra	K	3,10	+0,38	3,48	+0,32	3,80	−0,15	3,65	4,20	(I)
	S	3,05	+0,60	3,65	−0,20	3,45	+0,05	3,50	3,65	(X)
P. mugo	K	3,00	+0,10	3,10	+0,20	3,30	+0,20	3,50	3,65	(III)
	S	3,00	+0,63	3,63	−0,18	3,45	+0,15	3,60	3,75	(XI)
P. cembra	K	3,10	+0,40	3,50	+0,25	3,75	−0,10	3,65	3,75	(XII)
	S	3,25	+0,65	3,90	−0,30	3,60	+0,15	3,75	4,05	(X)
Abies alba	K	2,80	+0,40	3,20	±O	3,20	+0,75	3,95	3,95	(IV)
Larix decidua										
Kurztriebe	K	3,70	+0,60	4,30	+0,35	4,65 [1])			4,65	(XI)
	S	3,00	+1,10	4,10	−0,20	3,90 [1])			3,90	(X)
	I	3,0	+1,0	4,00		—			4,0	(X)
Langtriebe	K	3,75	+0,35	4,10	−0,30	3,80 [1])			4,10	(X)
	S	3,00	+1,10	4,10	−0,45	3,65 [1])			4,10	(X)
	I	3,00	+0,45	3,45		—			3,45	(X)
Juniperus	K	3,70	+1,70	5,40	+0,15	5,55	−0,30	5,25	5,60	(XII)
communis	S	4,20	+1,05	5,25	−0,05	5,20	±0	5,20	5,40	(X)
Taxus	K	4,40	+0,40	4,80	−0,10	4,70	+0,50	5,20	5,25	(IV)
baccata	S	4,10	+1,20	5,30	+0,05	5,35	−0,10	5,25	5,25	(X)
									5,55	(I)

K = Kontrollen aus ± abgasfreier Luft
S = Proben aus Stadtluft (Botanischer Garten Graz)
I = Industriegebiet (Obersteiermark)
[1]) = Werte vor dem Nadelfall (Oktober)

ters nehmen die pH-Werte bei den Kontrollbäumen, wenn auch wenig regelmäßig, etwas ab (Ausnahme *P. mugo*), bei den Bäumen im Botanischen Garten hingegen scheint eine gewisse Tendenz zu einer, wenn auch schwachen pH-Erhöhung, gleichsam zu einer Korrektur der vorangegangenen pH-Abnahme, zu bestehen (bes. *Pinus sylvestris*); *Taxus baccata* zeigt auch in diesem Zeitabschnitt eine gegenläufige Tendenz.

Im Industriegebiet (I) sind die pH-Werte (untersucht wurden hier nur *Picea abies*, *Pinus sylvestris* und *Larix decidua*) fast gleich wie aus dem Botanischen Garten, teilweise liegen sie sogar nicht unbeträchtlich darüber

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

und auch über denen der Kontrollbäume (*P. sylvestris*). Nur die Nadeln von *Larix* sind im Industriegebiet deutlich saurer als bei den Kontrollen bzw. in Stadtluft (Botanischer Garten).

Durch den unterschiedlichen Gang treten die maximalen pH-Werte unter SO_2-Belastung (Stadtluft und Industriegebiet) um drei oder mehr Monate früher auf als an den Kontrollen (vgl. letzte Spalte in Tabelle 1). Dies gilt, trotz des z. T. gegensätzlichen Ganges der pH-Werte, auch für *Taxus* und *Juniperus*.

Aus dem Gesagten kann man folgendes ableiten

1. die niedrigeren pH-Werte der *Larix*-Nadeln am Ende der Vegetationsperiode sind wohl durch deren weniger derben Bau und damit erleichterte Aufnahme saurer Immissionen bedingt,

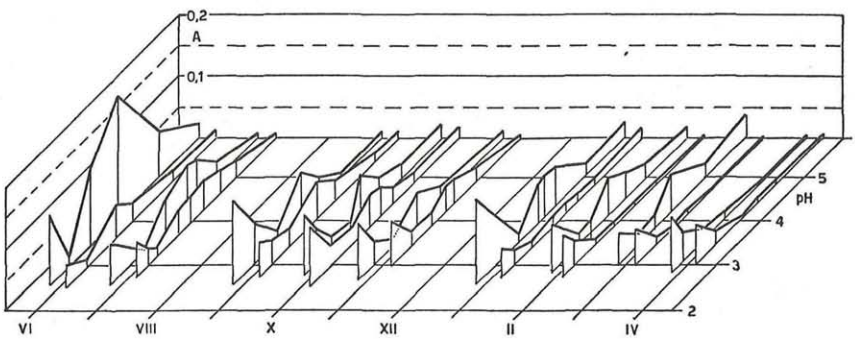

Abb. 1. *Picea abies*: Jahresgang der Pufferkurven. Diagramm links vom jeweiligen Monat = unbelastete Kontrolle, rechts davon = Industriegebiet

2. die vor allem bei Pinaceen deutliche pH-Depression im Stadtgebiet zwischen September und Dezember dürfte mit dem Hausbrand und den damit nachgewiesenermaßen ansteigenden durchschnittlichen SO_2-Gehalten in der Stadtluft zusammenhängen; gem. Statistischem Jahrbuch der Stadt Graz 1975—1977 ist der SO_2-Gehalt der Luft in Graz von September bis Dezember im Durchschnitt etwa dreimal so hoch wie in den vorangegangenen Monaten;

3. es hat den Anschein, daß die durch die sauren Abgase verursachte pH-Erniedrigung wieder kompensiert oder sogar überkompensiert wird (vgl. *Picea abies, Pinus cembra*).

3. 2. Die Pufferkapazität

3. 2. 1. Jahresgänge der Pufferkapazität von Fichtennadeln

Die Veränderungen der Pufferkurven bei Fichte im Verlauf eines Jahres sind in Abb. 1 in dreidimensionaler Darstellung wiedergegeben. Jedem Monat entspricht ein Diagrammpaar; das linke Diagramm bezieht

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

sich auf die Kontrollprobe aus ± abgasfreier Luft, das rechte für einen stark geschädigten Baum aus dem Industriegebiet.

Die höchsten A-Werte wurden an den Kontrollen bald nach dem Nadelaustrieb im Juni festgestellt. Mit A = 0,24 war dies die höchste Pufferkapazität, die im Laufe der vorliegenden Untersuchungen überhaupt gefunden wurde. Bereits im Juli verminderte sich die Pufferkapazität auf A = 0,085, sie blieb bis September etwa gleich und nahm dann Oktober (A = 0,075) und besonders im November (A = 0,04) weiter ab. Während des Winters schwankte sie um 0,075 und erschien beim Neuaustrieb der Nadeln nur angedeutet und weitgehend verstrichen.

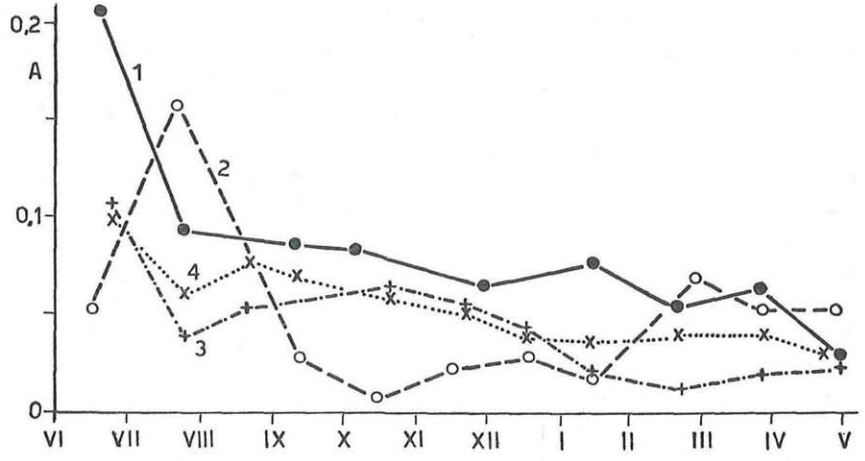

Abb. 2. *Picea abies*: Jahresgang der Pufferkapazität im Bereich pH 4. 1 = unbelastete Kontrolle, 2 = Stadtgebiet, 3 = Industriegebiet, stark geschädigte Fichte, 4 = ebenda, jedoch nur mäßig geschädigt

Der Gang der Pufferung in den Nadeln einer stark durch SO_2 geschädigten Fichte ist durch eine recht drastische Einschränkung bereits im Juni gekennzeichnet. Im Herbst stiegen die Werte wohl wieder etwas an, blieben aber immer noch unter denen des Kontrollgebietes; besonders deutlich ist der Unterschied zwischen Industrie- und Kontrollgebiet im Januar—Februar ausgeprägt.

Fichten im Stadtgebiet nehmen hinsichtlich ihrer Pufferkapazität keineswegs, wie man anzunehmen bereit wäre, eine Mittelstellung zwischen denen der Kontrollstandorte einerseits und dem stärker belasteten Industriegebiet andrerseits ein, sondern zeigen einen erheblich abweichenden Jahresgang. Klarer, als dies in der halbplastischen Darstellung der Abb. 1 möglich gewesen wäre (sie wäre durch Aufnahme einer dritten Probenreihe zu unübersichtlich geworden), kommt dies zum Ausdruck, wenn wir uns unter Verzicht auf die Form der jeweiligen Pufferkurve auf die monatlichen Maxima der Pufferkapazitäten beschränken und deren Verände-

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

rungen an den drei untersuchten Probestellen im Laufe des Jahres anhand der Abb. 2 vergleichen. Die ausgezogene Linie 1 gibt die Pufferkapazität von Kontrollbäumen wieder. Nach einem starken Absinken vom Nadelaustrieb bis August nimmt sie, von einigen aus Abb. 1 bereits bekannten Schwankungen abgesehen, bis zum Frühjahr nächsten Jahres ab. Die Nadeln der Fichte aus dem Botanischen Garten (2, strichliert) erreichen ihr Puffermaximum erst im August, ein Grund hiefür kann allerdings nicht angegeben werden. Der Abfall dauert jedoch nur bis Oktober—November an und führt zu Werten nahe Null, also zu wesentlich niedrigeren Pufferkapazitäten als bei den Kontrollen. Erst ab Januar erhöhen sich die A-Werte wieder und erreichen im März die der Kontrollnadeln. Der Verlauf der Pufferkapazität in den Nadeln aus dem Industriegebiet ist, wie bereits auch aus Abb. 1 ersichtlich, wieder wesentlich ausgeglichener. Kurve 3 der Abb. 2 (strichpunktiert) gibt den Verlauf in einer schwer geschädigten Fichte wieder, Kurve 4 (punktiert) stellt das Mittel aus zwei mäßig geschädigten Fichten dar. Bei beiden Kurven findet sich ein ähnlicher frühsommerlicher Abfall, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei den Kontrollen; die A-Werte unterscheiden sich nur unwesentlich, liegen aber deutlich unter denen der Kontrollen. Nach einer schwachen Erholung, die bei den schwächer geschädigten Nadeln nur 1 Monat dauert, beim stark geschädigten Baum jedoch bis Oktober reicht, nehmen die A-Werte November bis Januar fast deckungsgleich ab; sie liegen zwar unter den Kontrollwerten, aber erheblich über denen der schwächer geschädigten Nadeln, die keinen so starken Abfall mitmachen; etwa im März stellt sich die auf Grund der bisherigen Ergebnisse (vgl. Grill 1971, Grill & Härtel 1972, u. a.) zu erwartende Reihenfolge der Pufferkapazität ein (nach fallenden Werten geordnet): Kontrollen (etwa vergleichbar mit Stadtluft) — schwach geschädigte Fichten — stark geschädigte Fichten.

3. 2. 2. Übrige Koniferen

Es sei darauf verzichtet, die Pufferkapazitäten der übrigen untersuchten Koniferen ähnlich ausführlich darzustellen. Wir können uns darauf beschränken, die A-Werte für einige ausgezeichnete Zeitpunkte im Jahresablauf einander gegenüberzustellen (Tab. 2a, des besseren Vergleiches halber ist *Picea abies* noch einmal mitangeführt). Die Werte für *Larix* sind wegen der abweichenden Probentermine in Tabelle 2 b gesondert angegeben.

Unter den untersuchten Koniferen weisen Nadeln von *Picea* (bzw. deren Homogenisate) die stärkste Pufferung auf. Sie ist auch im Herbst und im Winter, wie bereits die Abb. 1 und 2 gezeigt haben, noch vorhanden, wenn auch in wesentlich abgeschwächtem Ausmaße. Auf die Unterschiede von stark bzw. schwächer belasteten Fichten im Industriegebiet (Ia und Ib) wurde bereits oben eingegangen. Nadeln von *Pinus sylvestris* sind nach dem Austrieb gegenüber Picea etwas schwächer gepuffert, die Pufferung nimmt

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

Tabelle 2a

Jahreszeitliche Veränderungen der Maxima der Pufferkapazität in Homogenisaten von Koniferennadeln nach dem Austrieb im Bereich pH 4
K = Kontrollen, S = Stadtbereich, I = Industriebereich
(Eingeklammerte Werte = kein Maximum ausgeprägt)

			V	VI	IX	XI–XII	III–IV
Picea abies	K			0,205	0,085	0,063	0,063
	S			0,050	0,028	0,022	0,050
	I [1])	a)		0,100	0,075	0,050	0,040
		b)		0,100	0,050	0,050	0,020
Pinus	K			0,055	0,025	0,010	0,010
sylvestris	S			0,045	(<0,01)	(<0,01)	(<0,01)
	I			0,035	0,030	(0,010)	(0,01)
P. nigra	K			0,060	0,035	(0,015)	(<0,01)
	S			0,085	0,045	(<0,01)	(<0,01)
P. mugo	K			0,075	0,050	0,050	(0,015)
	S			0,025	(0,02)	(0,02)	(0,02)
P. cembra	K			0,050	0,025	(0,01)	(<0,01)
	S			0,020	(0,02)	(0,02)	(0,02)
Taxus	K			(0,03)	(0,02)	(0,02)	(0,01)
baccata	S			(0,025)	(0,07)	(0,015)	(0,03)
Abies alba	K			0,075	0,050	0,020	0,035

[1]) a) = mäßig geschädigt
b) = stark geschädigt

Tabelle 2b

Gang der Pufferkapazität in Nadelhomogenisaten von *Larix decidua*. (KTr = Nadeln der Kurztriebe, LTr = Nadeln der Langtriebe, sonstige Abkürzungen wie in Tabelle 2a)

		V	VI	VII	IX–X
K	KTr	0,15	0,06	0,025	0,01–0,015
	LTr	0,04	0,03	0,025	0,01–0,015
S	KTr	0,075	0,06	0,16	(0,01)
	LTr	0,125	0,07	0,175	(0,01)
I	KTr	0,05	0,075	0,14	0,01
	LTr	0,15	0,20	0,21	0,01

in der Reihenfolge Kontrolle — Stadtgebiet — Industriegebiet ab. Bis September vermindert sich die Pufferung in den Kontrollen deutlich, im Stadtgebiet praktisch auf Null; im Industriegebiet hingegen bleibt sie bis September ± unverändert, verschwindet jedoch im Winter analog den schwach bzw. den unbelasteten Probestellen; bei SO_2-belasteten Nadeln ist kein Puffermaximum mehr zu erkennen.

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

Eine ähnliche, z. T. sogar noch ausgeprägtere Abnahme der Pufferung unter SO_2-Einfluß ist auch bei *P. mugo* und *P. cembra* zu erkennen, *P. mugo* ist auch im Winter recht gut gepuffert. *P. nigra* hingegen zeigt im Stadtgebiet sogar noch eine etwas höhere Pufferkapazität als an unbelasteten Kontrollstellen, sie nimmt gegen Herbst gleicherweise auf etwa die Hälfte ab und verschwindet im Winter ebenfalls nahezu zur Gänze.

Abies alba (nur an unbelasteten Probestellen untersucht) ist zwar wesentlich schwächer gepuffert als die Fichte, der jahreszeitliche Gang ist jedoch dem der Fichtennadeln ähnlich, es bleibt auch im Winter noch eine deutliche Pufferung bestehen.

Vom bisher Geschilderten abweichend verhalten sich die *Larix*-Nadeln (Tabelle 2b). An unbelasteten Lärchen erwiesen sich die Nadeln der Langtriebe schlechter gepuffert als die der Kurztriebe. Im Laufe der Vegetationszeit nimmt die Pufferung bei beiden ähnlich wie in den übrigen Koniferen ab, wobei der Unterschied zwischen Lang- und Kurztrieben verschwindet. Unter SO_2-Einfluß, und zwar sowohl im Stadt- wie im Industriegebiet, ist die Pufferung der Kurztriebsnadeln anfänglich wesentlich geringer als die der Kontrollen, sie steigt aber im Laufe der Vegetationszeit bis Juli auf das Zwei- bis Dreifache des Maiwertes an; sie erreichen das Maximum der Pufferung zu einer Zeit (Juli), da die Kontrollen nur mehr ganz schwach gepuffert sind. Die Langtriebe hingegen sind unter SO_2-Einwirkung bereits im Mai, bald nach Austrieb, drei- bis viermal so gut gepuffert wie die unbelasteten Kontrollen, erhöhen aber ihre Pufferkapazität im Laufe des Sommers (von einer vielleicht nur zufälligen Juni-Depression im Stadtgebiet abgesehen) gleichfalls, allerdings in wesentlich geringerem Ausmaße wie die Kurztriebe. Vor Nadelfall nimmt die Pufferung bei allen Proben bis nahe an Null ab, ähnlich wie bei den übrigen Koniferen im Winter.

3. 2. 3. Die Lage der Puffermaxima auf der pH-Skala

Die Lage der Puffermaxima variiert wohl etwas im Laufe des Jahres, doch läßt sich keine Regelmäßigkeit erkennen. Bei *Picea*, für die das größte Datenmaterial vorliegt, liegen die Puffermaxima an den Kontrollstandorten im Durchschnitt bei pH 4,26, im Stadtgebiet bei 4,50, der Unterschied ist mit $p = 0{,}5-1\%$ signifikant; zwischen Stadt- und Industriegebiet ist trotz eines niedrigeren Mittelwertes des pH von 4,3 in letzterem, insbesondere wegen der variablen Lage des Puffermaximums im Industriegebiet, kein gesicherter Unterschied festzustellen. Bei den übrigen Bäumen läßt sich überhaupt kein Zusammenhang zwischen der Lage des Puffermaximums und der vorangegangenen Belastung durch SO_2 ableiten.

3. 2. 4. Pufferkapazität und Nadelalter

Angesichts der starken Abnahme der Pufferkapazität im Laufe des ersten Jahres erhebt sich natürlich die Frage nach deren weiterem Verlauf in älteren Nadeln. Dazu wurden im Sommer (Juli—August) Nadelproben

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

vom ersten bis vierten Jahrgang gesammelt und deren Extrakte vergleichend untersucht. Die Pufferkapazitäten der untersuchten Koniferen sind in Tab. 3 wiedergegeben.

Tabelle 3

Pufferkapazität verschiedener Nadeljahrgänge

		Kontrolle	Stadtluft	Industriegebiet
Picea abies	1. Jg.	0,165	0,100	0,075
	2. Jg.	0,100	0,050	0,010
	3. Jg.	0,025	0,0075	0,005
	4. Jg.	0,025	0,0075	0,005
Pinus sylvestris	1. Jg.	0,04	0,035	—
	2. Jg.	0,02	0,020	—
	3. Jg.	0,005	0,005	—
Pinus nigra	1. Jg.	0,075	0,075	—
	2. Jg.	0,027	0,032	—
	3. Jg.	0,020	0,020	—
	4. Jg.	0,010	0,010	—
Pinus mugo	1. Jg.	0,065	0,035	—
	2. Jg.	0,025	0,020	—
	3. Jg.	0,020	0,005	—
	4. Jg.	0,020	0,005	—
Pinus cembra	1. Jg.	0,040	0,035	—
	2. Jg.	0,010	0,025	—
	3. Jg.	0,005	0,015	—
	4. Jg.	0,005	0,005	—
Taxus baccata	1. Jg.	0,013	0,035	—
	2. Jg.	0,013	0,025	—
	3. Jg.	0,005	0,020	—
	4. Jg.	0,005	0,012	—
Abies alba	1. Jg.	0,085	—	—
	2. Jg.	0,050	—	—
	3. Jg.	0,040	—	—
	4. Jg.	0,025	—	—

Mit dem Nadelalter verringert sich die Pufferkapazität bis nahe an A = O. Das Ausmaß der Abnahme ist bei den einzelnen Koniferen verschieden, am stärksten bei den Kontrollbäumen von *Picea*, gefolgt von *Abies alba*. Die in der Regel geringere Pufferkapazität SO_2-belasteter einjähriger Nadeln setzt sich, wenn auch nicht mehr so deutlich, auch in den folgenden Jahren fort, nur bei den zweinadeligen Kiefern werden die Unterschiede sehr gering, bleiben hingegen bei *P. cembra* noch erkennbar.

Die originalen pH-Werte der Nadelhomogenisate erhöhen sich bei allen untersuchten Species innerhalb der vier Jahrgänge in Richtung alkalisch, das

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

Ausmaß der pH-Änderung beträgt ziemlich gleichmäßig und übereinstimmend etwa 1 pH-Einheit. Lediglich die Fichte aus dem Immissionsgebiet erhöht ihren pH-Wert um 1,5 pH-Einheiten, er liegt bei den vierjährigen Nadeln bei pH = 4,5, bei den Kontrollen hingegen bei 3,6 (die Homogenisate einjähriger Nadeln haben übereinstimmend pH-Werte um 3).

3. 3. Gesamtsäuregehalt

Die Veränderungen der Gesamtsäure (vgl. Kap. 2) im Laufe des Jahres sind in Tab. 4 dargestellt.

Tabelle 4

Gesamtsäuregehalt (in mval. kg^{-1} TrG) im Laufe des Jahres

	VI—VII	IX—X	XI—I	III—IV
Picea abies	750—610	460	410	420—490
Pinus sylvestris	900	400		250—500
Pinus mugo	890	650	450—370	210
Abies alba	570—650	620	560	400
Taxus baccata	450—420	550	300	360

Nach dem Nadelaustrieb finden sich durchwegs die höchsten Werte. Der titrimetrisch faßbare Säuregehalt nimmt im Laufe des Sommers in verschiedenem Grade ab; gering sind die jahreszeitlichen Unterschiede bei *Abies alba* und *Taxus baccata*, deutlich bei den übrigen untersuchten Pinaceen. Bis zum nächsten Frühjahr ergeben sich dann keine weiteren einschneidenden Änderungen, bei *Picea*, *Pinus sylvestris* und *Taxus* ist eine gewisse Tendenz zu einer Erhöhung bereits im April zu erkennen, bei *Taxus* wurde der höchste Säuregehalt im September gefunden. In den pH-Werten spiegelt sich diese Säurezunahme allerdings nicht wieder. *Taxus* zeigt während dieser Zeit eine pH-Zunahme des Homogenisates; im übrigen verlaufen die Änderungen von Säuregehalt und pH-Werten (vgl. Tab. 1) wohl im allgemeinen gleichsinnig, quantitative Beziehungen bestehen jedoch nicht, solche sind wohl auch kaum zu erwarten.

Die Nadelhomogenisate von Fichten aus dem Industriegebiet wiesen etwas geringere pH-Werte auf als die Kontrollen. Dementsprechend erwies sich auch der Säuregehalt der abgasbelasteten Fichten deutlich herabgesetzt, deutlicher als es auf Grund der geringen pH-Unterschiede zu erwarten war. Es wurde im Jänner ein Gesamtsäuregehalt bei Kontrollen von im Mittel 386 mval. kg^{-1} im abgasbelasteten Raum 215 mval. kg^{-1} (bezogen auf Trockensubstanz) gefunden.

4. Besprechung der Ergebnisse

Die erste Frage nach der Wirkung saurer Agentien auf Pflanzen gilt wohl den Veränderungen der Wasserstoffionenkonzentration. Durch kurz-

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

fristige Begasung wird der pH homogenisierter Koniferennadeln offenbar nicht wesentlich beeinflußt (BÖRTITZ & VOGL 1969, GRILL 1971, BRAUN 1977), längerdauernde Einwirkung hingegen vermag u. U. deren pH etwas zu senken (KELLER 1976). Auch die vorliegenden Beobachtungen an Koniferen aus verschieden stark mit SO_2 belasteter Umwelt bestätigen, daß Immissionen zu keiner generellen Senkung der pH-Werte von Nadelextrakten führen. Ganz ohne Wirkung auf die Azidität der Zellinhalte bleibt aber SO_2 doch nicht, wie die statistisch gesicherte Abnahme der pH-Werte der Nadelhomogenisate aus dem Stadtgebiet mit Einsetzen der Heizperiode zeigt. Sie ist aber nicht nachhaltig und wird im Laufe des Winters trotz Andauerns höherer SO_2-Gehalte der Stadtluft wieder wettgemacht, nicht selten liegen dann die pH-Werte sogar etwas über denen der Vergleichsproben aus $\pm$ abgasfreier Luft. Auch BÖRTITZ 1969 hatte an rauchempfindlichen Individuen etwas höhere pH-Werte der Nadelpreßsäfte ermittelt. Man wäre versucht, an eine Schutzmaßnahme durch Überkompensation zu denken. Als Ursache kann vielleicht an eine Stimulierung verschiedener Stoffwechselvorgänge durch das SO_2 (KELLER & MÜLLER 1958, ZIEGLER 1973) gedacht werden; diese könnte zu einer verstärkten Säureproduktion führen, für deren Neutralisation die notwendigen Kationen nur allmählich nachgeliefert werden. Dem steht allerdings entgegen, daß in SO_2-belasteten Nadeln weniger titrierbare Gesamtsäure gefunden wurde. Auch wäre ein Ansteigen der Pufferkapazität der Nadelextrakte zu erwarten; gerade das Gegenteil ist aber der Fall, wie die Jahresgänge der Pufferkapazität gezeigt haben. Bei *Larix* allerdings erwiesen sich die Homogenisate der Nadeln aus SO_2-belastetem Gebiet deutlich saurer.

Seit GRILL 1971 und GRILL & HÄRTEL 1972 scheint in der Literatur Einhelligkeit dahingehend zu bestehen, daß die Pufferkapazität, also das Vermögen H^+- bzw. OH^--Ionen abzufangen, durch SO_2 vermindert wird (SCHOLZ 1974, SCHWAGER & YEE-MEILER 1976, BRAUN 1977); ähnlich wirken auch andere Stressoren, wie z. B. Infektion durch *Lophodermium pinastri* (SCHOLZ & STEPHAN 1974). Die hier vorgelegten Daten haben darüber hinaus gezeigt, daß die SO_2-bedingte Minderung der Pufferkapazität das ganze Jahr über anhält. Nur wenn die Pufferkapazität minimale Werte annimmt, wie dies im Winter der Fall ist, werden die Unterschiede naturgemäß undeutlich. Entsprechend konnte KELLER 1976 an im Winter gesammelten Nadelproben keine immissionsbedingten Unterschiede feststellen. Auf *Larix* und *Taxus* wird weiter unten noch näher einzugehen sein.

Beim Vergleich der hier diskutierten Pufferkurven und den Literaturangaben über die Höhe der Pufferkapazität sollte jedoch ein Punkt nicht übersehen werden. In der Literatur dient meist der originale pH des Nadelhomogenisates als Ausgangspunkt, als Pufferkapazität wird diejenige Laugen- bzw. Basenmenge bezeichnet, die zur Veränderung dieses pH-Wertes um eine pH-Einheit erforderlich ist (z. B. SCHOLZ 1974). In vorliegender Untersuchung werden die Pufferkurven als Differentialkurven

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

dargestellt, d. h. es wird in jedem Punkt der pH-Skala die Neigung der Tangente an die sigmoidale Titrationskurve bestimmt, wodurch es möglich wird, die tatsächliche Höhe des Puffermaximums und dessen Lage auf der pH-Skala zu fixieren und damit zu differenzierteren Angaben zu gelangen, Bedeutende Unterschiede zwischen den nach beiden Verfahren erhaltenen Ergebnissen sind freilich nicht zu erwarten, weil die Puffermaxima meist nicht allzu weit vom originalen pH-Wert der Homogenisate liegen. Schwankungen der Lage des Puffermaximums sind unsignifikant, wenn auch im Laufe des Jahres eine gewisse Tendenz zu dessen Verschiebung in etwas höhere pH-Werte erkennbar ist; sie ist bei *Pinus mugo* mit 0,5 pH-Einheiten maximal. Die Lage des Puffermaximums um pH 4 weist auf Carbonsäuren als Puffersysteme hin. Der Verlauf der Pufferkapazität während des Jahres ist sowohl in unbelasteter Umgebung wie in der Regel auch bei den unter SO_2-Einwirkungen stehenden Bäumen dadurch gekennzeichnet, daß die Pufferung bald nach dem Nadelaustrieb, d. i. im Juni—Juli, am größten ist (vgl. hiezu auch Braun 1977) und im Laufe des Jahres abnimmt. Steilheit und Ausmaß des Abfalles sind bei den einzelnen Koniferen verschieden. Im Winter ist die Pufferung durchwegs minimal. Die geringe Pufferkapazität während des Winters und zu Beginn des Frühjahres ist möglicherweise die Ursache für unregelmäßige Schwankungen des pH-Wertes der Homogenisate in diesem Zeitraum (Wind 1976). In diesem Zusammenhang sei auch an die Abnahme des Nadel-pH im Stadtgebiet mit Beginn der Heizperiode erinnert. Die Pufferkapazität wird durch die erhöhten SO_2-Immissionen, die hier gleichsam überfallartig auf die Bäume einwirken, z. T. drastisch gemindert, z. T. in stärkerem Ausmaße, als dies im Industriegebiet mit $\pm$ gleichmäßig hohen SO_2-Immissionen beobachtet wurde; dadurch werden die Bedingungen für eine pH-Abnahme in den Nadeln geschaffen.

Einer gesonderten Erwähnung bedürfen die Nadeln von *Larix*. Bei den Kontrollen ist der Verlauf der Pufferung ähnlich wie bei den übrigen untersuchten Koniferen, maximale Pufferung nach dem Austrieb der Nadeln und Abnahme im Laufe der Vegetationsperiode bis zum Nadelfall. Die Langtriebnadeln erwiesen sich als schlechter gepuffert. Unter SO_2-Einfluß sind die Pufferwerte erhöht, im Stadtgebiet wird ein anfänglicher analoger Abfall der Pufferkapazität nach Nadelaustrieb bei Kurz- wie Langtriebsnadeln durch ein Puffermaximum Ende Juli aufgefangen; ähnlich verhalten sich die Kurztriebnadeln im Industriegebiet, während die Langtriebsnadeln schon vom Austrieb an hohe Pufferung zeigen. Gegen den Herbst zu nimmt die Pufferkapazität an allen Probestellen bis fast auf Null ab, wobei ausgeprägte Maxima der Pufferung verschwinden. Die niedrigere Pufferung der Kurztriebsnadeln könnte einmal dadurch bedingt sein, daß diese früher austreiben und damit in der offenbar entwicklungsbedingten Abnahme der Pufferkapazität den Langtrieben vorauseilen. Angesichts der unterschiedlichen Verläufe der Pufferkapazität reicht dies zur Erklärung nicht aus.

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

Lang- und Kurztriebsnadeln erhöhen im Laufe der Vegetationsperiode ihren pH, wobei aber keine durchgehenden Zusammenhänge mit dem unterschiedlichen Verlauf der Pufferkapazitäten erkennbar sind, jedoch zeigen SO_2-beeinflußte Nadeln bei höherer Pufferkapazität niedrigere pH-Werte, ebenso sind die Homogenisate der besser gepufferten Langtriebsnadeln um 0,1—0,2 pH-Einheiten, im Industriegebiet über 0,5 pH-Einheiten saurer als die der Kurztriebsnadeln. OECHSSLER 1968 stellte für die Nadeln von *Larix* eine Zunahme der Gesamtsäure in der ersten Hälfte der Vegetationszeit fest, gegen Herbst, vor dem Nadelfall nimmt die Gesamtsäure wieder ab. Die Larix-Nadeln sind der Einwirkung von SO_2 zweifellos unmittelbarer ausgesetzt als die derber gebauten Blätter der übrigen untersuchten Koniferen. Es wäre denkbar, daß bei *Larix* SO_2 zu einer schon eingangs erwähnten, von KELLER & MÜLLER 1958 und ZIEGLER 1973 diskutierten Stimulierung des Stoffwechsels führt und damit den Säurehaushalt und die Pufferung beeinflussen könnte.

Wie die vorgelegten Bestimmungen gezeigt haben, ändert sich die Pufferkapazität im Laufe des Jahres etwa gleichsinnig mit dem Gehalt an titrierbarer Säure, auch die durch Immissionen verminderte Pufferkapazität ist von einem geringeren Säuregehalt begleitet. Allerdings bestehen keine engeren oder gar quantitativen Zusammenhänge zwischen den beiden Größen; winterliche Erhöhung der Pufferkapazität, wie z. B. bei *P. mugo* im Januar zu beobachten ist, spiegelt sich im Gang des Säurehaushaltes, keineswegs wider, die Gesamtsäure nimmt vielmehr auch im Winter weiter ab. Dies braucht indes kaum zu verwundern, denn für die Höhe der Pufferkapazität ist sicher die Säuremenge allein nicht entscheidend, auch der Versorgung mit Kationen, bes. mit Kalium kommt hierbei große Bedeutung zu (JÄGER & KLEIN 1976, KLEIN & JÄGER 1976), sicher auch der im Winter durch die starke Hydratation der Plasmakolloide geänderten Verteilung der Kationen. ZIEGLER 1975 mißt auch der Eiweißfraktion eine Bedeutung für die Pufferung bei, doch dürfte deren Bedeutung in den von uns berücksichtigten pH-Bereich als eher gering zu veranschlagen sein.

Inwieweit sind nun Zusammenhänge zwischen Pufferkapazität und SO_2-Resistenz evident?

Zweifellos haben vorliegende Untersuchungen, zusammen mit den Angaben der Literatur, den Nachweis erbracht, daß SO_2-Immissionen die Pufferkapazität verringern. Umgekehrt bietet die Pufferkapazität allein noch keine Handhabe zur Beurteilung der Höhe der Resistenz gegenüber SO_2. Dies geht einmal aus dem jahreszeitlichen Gang der Pufferkapazität hervor. Sie ist bei den untersuchten Koniferen ohne Ausnahme im Winter minimal. Die Erfahrung lehrt aber, daß die Koniferen gerade im Winter gegenüber Abgasen wesentlich resistenter sind als während der Vegetationszeit (vgl. z. B. ROHMEDER, MERZ & v. SCHÖNBORN 1962, GARBER 1967, BERGE 1970). Die winterliche Resistenz muß daher auch noch von anderen Faktoren mitbestimmt sein, z. B. durch verminderte SO_2- und CO_2-Auf-

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

nahme (WEISE 1961); BRAUN 1977 zieht auch ein von äußeren Faktoren abhängiges Aktivieren oder Blocken genetischer Informationen in Betracht.

Picea abies zeigt von den hier untersuchten Koniferen die höchste Pufferkapazität. Nimmt man diese als alleinige Ursache der SO_2-Resistenz an, so müßte die Fichte durch die höchste oder zumindest eine sehr hohe Resistenz ausgezeichnet sein. Dies stimmt aber weder mit Begasungsversuchen noch mit den Erfahrungen am natürlichen Standort überein. DÄSSLER, RANFT & REHN 1972, ENDERLEIN & VOGEL 1961 u. v. a. sehen die Fichte als recht empfindlich an, WENTZEL 1968 stuft sie auf Grund von Freilandbeobachtungen gleichfalls als sehr SO_2-empfindlich ein. *Abies* gilt gleichfalls als sehr empfindliche Art, sie wird im Bestand in der Regel eher durch SO_2 geschädigt als die Fichte, mit ihrer Pufferkapazität liegt sie aber deutlich unter dieser.

Die Lärche ist gegenüber stoßartigen Einwirkungen hoher SO_2-Konzentrationen äußerst empfindlich, sie gilt aber, vor allem wegen des jährlichen Nadelfalls, gegenüber chronischen Einwirkungen geringer Konzentrationen als recht rauchhart (WENTZEL 1963). Diese Resistenzeigenschaft könnte mit der hohen Pufferkapazität ihrer Nadeln, die unter dem Einfluß von SO_2 zudem noch ansteigt, in Zusammenhang stehen. Geringe SO_2-Mengen können durch das Puffersystem bis zu einer gewissen Grenze abgefangen werden, akute Einwirkungen hoher SO_2-Konzentrationen erschöpfen die Pufferkapazität sofort und führen, da auch die Lärchennadel auf Grund ihres anatomischen Baues nur geringen Schutz bietet, rasch zu letalen Schädigungen des Blattes.

Pinus-Arten gelten im allgemeinen als recht rauchhart (WENTZEL 1968, LINZON 1972), was aber mit der wesentlich niedrigeren Pufferkapazität nicht im Einklang steht, wenn sich auch die größere Rauchhärte von *P. nigra* gegenüber *P. sylvestris* in der Pufferung widerspiegelt (vgl. auch SCHOLZ 1974). Von DÄSSLER, RANFT & REHN 1972 werden *Pinus sylvestris* und *Picea abies* hinsichtlich ihrer Rauchhärte gleichgestellt, nach der Pufferkapazität nimmt Fichte die erste, die Rotföhre jedoch den 6. Platz ein! *Taxus* gilt als recht rauchhart (DÄSSLER, RANFT & REHN 1972), ist aber nur schlecht gepuffert; allerdings konnte bei ihr im Stadtgebiet ein Anstieg der Pufferkapazität beobachtet werden. *Juniperus* wird, allerdings nur auf Grund von Begasungsversuchen, von RANFT & DÄSSLER 1970 als von mittlerer SO_2-Resistenz angesehen, die Pufferkapazität ist aber sehr niedrig.

Trotz der zweifellos vorhandenen Beziehungen zwischen SO_2-Einwirkungen, Resistenz und Pufferkapazität darf diese somit nicht als alleinige oder als primäre Ursache für die Resistenzeigenschaften angesehen werden. Sie ist keine für die betreffende Species konstante Größe, sondern ändert sich einmal mit der Jahreszeit bzw. dem Alter der Nadeln. Es sind also endogene Ursachen wirksam. SO_2-Immission als exogener Faktor wirkt keineswegs nur in der Weise, daß zu dessen Neutralisation Pufferkapazität verbraucht wird, was sich in deren Abnahme äußert; gerade das Beispiel

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

Larix hat gezeigt, daß SO_2 die Pufferkapazität auch erhöhen kann, was dann, gleichsam im Wege einer Rückkopplung, wieder der Resistenz zugute kommen kann. Die Pufferkapazität ist daher auch kein Indiz und kein diagnostisch brauchbares Merkmal zur Beurteilung der SO_2-Resistenz, sondern allgemeiner als ein Indiz für die physiologische Situation in der Zelle anzusehen, das allerdings nach unseren derzeitigen Kenntnissen nur im Zusammenhang mit anderen, damit zusammenhängenden Größen wie Säurehaushalt, Kationenversorgung u. a. m. kausal zu verstehen und auswertbar sein dürfte.

5. Schriftenverzeichnis

BERGE H. 1970. Immissionen (Gas-, Rauch- und Staubschäden). — In: SORAUER P. Handb. Pflanzenkrankh. 7. Aufl. I/4. — Parey, Berlin—Hamburg.

BÖRTITZ S. 1969. Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadensforschung. 11. Mitt. Analysen einiger Nadelinhaltsstoffe an Fichten unterschiedlicher individueller Rauchhärte aus einem Schadgebiet. — Arch. Forstw. 18: 123—131.

— & VOGL M. 1969. Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschadensforschung. 9. Mitt. Physiologische Untersuchungen zur individuellen Rauchhärte von *Pinus sylvestris*. — Arch. Forstw. 18: 55—60.

BRAUN G. 1977. Über die Ursachen und Kriterien der Immissionsresistenz bei Fichte, *Picea abies* (L.) KARST. III. Schadstoffverträglichkeit („innere Resistenz"). — Europ. J. Forest Pathol. 7: 236—249 und 7: 303—319.

DÄSSLER H. G., RANFT H. & REHN K. H. 1972. Zur Widerstandsfähigkeit von Gehölzen gegenüber Fluorverbindungen und Schwefeldioxid. — Flora 161: 289—302.

ENDERLEIN H. & VOGL M. 1966. Experimentelle Untersuchungen über die SO_2-Empfindlichkeit der Nadeln verschiedener Koniferen. — Arch. Forstw. 15: 1207—1224.

GARBER K. 1967. Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. — Berlin.

GRILL D. 1968. Zellphysiologische Studien an SO_2-begasten Nadeln von *Picea abies* (L) KARSTEN. — Diss. Graz.

— 1971. Pufferkapazität gesunder und rauchgeschädigter Fichtennadeln. — Z. Pflanzenkrankh. und Pflanzenschutz 87: 612—622.

— & HÄRTEL O. 1972. Zellphysiologische und biochemische Untersuchungen an SO_2-begasten Fichtennadeln. Resistenz und Pufferkapazität. — Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst. Wien 97: 367—384.

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

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

— & MÜLLER J. 1958. Untersuchungen über den Einfluß von SO_2 auf den

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

Gaswechsel von Forstpflanzen. — Forstw. Forsch. (Beih. zum Forstw. Cbl.) 10: 38—63.

— , SCHWAGER H. & YEE-MEILER D. 1976. Der Nachweis winterlicher SO_2-Immissionen an jungen Fichten. Ein Vergleich dreier Methoden. — Europ. J. Forest Pathol. 6: 244—249.

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

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

LINZON S. N. 1972. Effects of sulphur oxides on vegetation. — The Forestry Chronicle 48: 709—712.

MAGISTRAT GRAZ 1974—76. Statistisches Jahrbuch der Stadt Graz. — 1974—1976 Magistrat Graz.

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

PAPESCH E. 1971. Steirische Chemie AG, SO_2-Belastung im Raume Deuchendorf. Immissions-Gutachten. — Amt der Steiermärkischen Landesregierung—Landesbaudirektion FA Ia.

RANFT H. & DÄSSLER H. G. 1970. Rauchhärtetest an Gehölzen im SO_2-Kabinenversuch. — Flora 159: 573—588.

RAUEN H. 1964. Biochemisches Taschenbuch 2. Aufl. — Springer Berlin—Göttingen—Heidelberg—New York.

ROHMEDER E. & v. SCHÖNBORN A. 1965. Der Einfluß von Umwelt und Erbgut auf die Widerstandsfähigkeit der Waldbäume gegen Luftverunreinigungen der Industrieabgase. — Forstw. Cbl. 84: 1—13.

ROHMEDER E., MERZ W. & v. SCHÖNBORN A. 1962. Züchtung von gegen Industrieabgase relativ resistenten Fichten- und Kiefernsorten. — Forstw. Cbl. 81: 321—332.

SCHOLZ F. 1974. Biochemische Untersuchungen zur Resistenz von Waldbäumen gegen Fluor-Emissionen. IUFRO, IX. Internationale Tagung über Luftverunreinigung und Forstwirtschaft, Mariánské Lázně. — Ministerium für Forst- und Wasserwirtschaft der ČSSR, Forschungsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen, Zbraslav-Strnady.

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

WEISE G. 1961. Untersuchungen über den Einfluß von Kältebelastungen auf die physiologische Aktivität von Forstgewächsen, I. CO_2-Stoffwechsel und Transpiration der Fichte (*Picea abies* [L.] KARST.). — Biol. Zbl. 80: 137—166.

WENTZEL K. F. 1968. Empfindlichkeit und Resistenzunterschiede der Pflanzen gegenüber Luftverunreinigungen. — Forstarch. Hannover 39: 189—194.

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

ZIEGLER I. 1973. The effect of air-polluting gases on plant metabolism. — Environmental quality and safety (Eds. COULSTON F. & KORTE N. Y. F.). — Thieme Stuttgart, Academic Press New York.

— 1975. The effect of SO_2 pollution on plant metabolism. — Mitt. Botan. Inst. TU München. — Springer, New York.

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

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: 19_3_4

Autor(en)/Author(s): Wind Eva

Artikel/Article: Pufferkapazität in Koniferennadeln. 197-215