Der Einfluss einer SO2-Belastung zu verschiedenen Jahreszeiten auf CO2-Aufnahme und Jahrringbau der Fichte

Autor(en): **Keller, T.**

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-764356

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

Der Einfluss einer SO_2-Belastung zu verschiedenen Jahreszeiten auf CO_2-Aufnahme und Jahrringbau der Fichte

Von *Th. Keller*

Oxf.: 181.45 : 161.32 : 811.4

(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf)

1. Einleitung

Schon vor über 100 Jahren erkannte *Schröder* (1872/73), dass eine SO_2-Einwirkung auf besonnte Pflanzen schädlicher ist als eine entsprechende Immission nachts. *Wislicenus* (1898) fand in seinen Begasungsversuchen, dass die SO_2-Empfindlichkeit der Fichte ungefähr proportional zur Lichtintensität während der Begasung ist, und postulierte, das SO_2 sei ein spezifisches Assimilationsgift. *Sorauer* und *Ramann* (1899) bemerkten eine Chlorophyllzerstörung durch SO_2. Nachdem alle diese Indizien für eine Beeinträchtigung der photosynthetischen Leistung durch SO_2 vorlagen, gelang *Wieler* (1903) erstmals der experimentelle Nachweis drastischer Einbussen der CO_2-Aufnahme von Fichte, Buche und Eiche. Leider wurden in den folgenden Jahrzehnten kaum mehr Photosynthesemessungen an begasten Koniferen vorgenommen. Vielmehr wurde mit kurzlebigen Kräutern gearbeitet. Ausserdem wurde auf die Ausbildung sichtbarer Symptome abgestellt, obwohl bereits *Schröder* (1873) darauf hingewiesen hatte, dass bezüglich der Ausbildung von Schädigungssymptomen Koniferennadeln im allgemeinen resistent, die Bäume als Ganzes dagegen sehr empfindlich seien.

Erst nach dem 2. Weltkrieg wurde der Einfluss von Luftverunreinigungen auf die CO_2-Aufnahme von Koniferen erneut zur Forschungsfrage. Leider wurden aber, wie an Kräutern, vorwiegend Stossbegasungen in einem Konzentrationsbereich vorgenommen, der heute — ausgenommen bei Unfällen — nicht mehr wirklichkeitsnah erscheint. Dementsprechend galt SO_2 in weiten Kreisen als weitgehend unschädlich für Pflanzen, selbst bei lang anhaltender Dauer niedriger Konzentrationen. Zweifel an dieser Unschädlichkeit führten zu unsern Dauerbegasungen mit niedrigen Konzentrationen, wobei als höchste Konzentration jene gewählt wurde, welche nach den schweizerischen Grenzwerten (Eidgenössische Kommission für Lufthygiene = EKL, 1965) als unschädlich gilt. In der Folge zeigte es sich, dass schon ein Viertel

jenes Grenzwertes bei Dauereinwirkung unter unsern Versuchsbedingungen zu signifikanten CO_2-Aufnahmestörungen an Koniferen führen kann (*Keller,* 1977b).

Bereits *Schröder* (1872) hatte beobachtet, dass junge Tannennadeln SO_2-empfindlicher seien als alte. Spätere Autoren (vgl. *Guderian,* 1970, 1977) zeigten, dass die Anfälligkeit der Assimilationsorgane altersabhängig ist. *Van Haut* und *Stratmann* (1960) wiesen darauf hin, dass diese Empfindlichkeit mit dem Zeitpunkt der stärksten photosynthetischen Aktivität zusammenfällt. Aufgrund der Versuchsergebnisse von Guderian (1970) folgerte Keller (1978b), die SO_2-Aufnahmerate müsse in Beziehung zum Entgiftungsvermögen des Gewebes gesetzt werden.

In den vergangenen Untersuchungen über die CO_2-Aufnahme blieb die daran anschliessende Verwendung der gebildeteten Kohlehydrate unberücksichtigt. Nach *Haselhoff* und *Lindau* (1903) hatte *Reuss* bereits im letzten Jahrhundert verschiedentlich aufgezeigt, dass unter dem Einfluss der Luftverunreinigungen der Dickenzuwachs der betroffenen Waldbestände nachliess. In späteren Jahren wurde die Verwendung der Jahrringmessung für die Zuwachsberechnung vor allem von *Vins* (zum Beispiel 1961 und später) und von *Pollanschütz* (zum Beispiel 1962, 1971) ausgebaut.

Die mikroskopische Betrachtung der Jahrringe aus Immissionsgebieten zeigte oft eine schwache Ausbildung des Spätholzes (vgl. Keller, 1971, Abbildung 2) neben der vielfach festgestellten Abnahme der Jahrringbreite. Wir stellten uns daher die Frage, ob sich die verminderte CO_2-Aufnahme vor allem in einer Verminderung der Zellenzahl pro Jahrring oder aber in einer Schwächung der Zellwände niederschlage, wobei anzunehmen war, dass die Jahreszeit, zu welcher die Luftverunreinigung einwirkt, ihren Einfluss auf die Jahrringstruktur ausübt. Ferner ist bekannt, dass unter dem Einfluss von Luftverunreinigungen der Ascorbinsäuregehalt der Nadeln abnimmt (Keller und *Schwager,* 1977), wobei man weiss, dass die Ascorbinsäure den Zellwandbau beeinflusst. Kürzlich ist auch die erhöhte Frostgefährdung begaster Schwarzkiefern mit dieser Erscheinung verbunden worden (Keller, 1978a).

Ein erster Versuch, nähere Auskunft über den Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Jahrringstruktur zu erhalten, schlug fehl, wegen Mangels geeigneter Nullproben (*Polge* und Keller, 1969). Inzwischen haben *Liese* et al. (1975) die Xylembildung einer Fichte im Einflussbereich eines Magnesitwerkes mit SO_2-Immissionen untersucht und gefunden, dass dort sowohl die Jahrringbreite als auch der *Frühholzanteil* drastisch gesenkt wurden. Anderseits stellten *Parker* et al. (1974) ebenfalls an einer kleinen Baumzahl fest, dass *Tsuga heterophylla* auf Fluorimmissionen mit einer Verminderung von Jahrringbreite und maximaler Holzdichte reagierte; letzteres deutet auf eine starke Beeinflussung des *Spätholzes* hin. Da sich das Spätholz aber entschei-

dend auf das Holzgewicht auswirkt, schien uns eine nähere Untersuchung dieser Zusammenhänge angezeigt, angesichts der Tendenz zum Schichtholz-Verkauf auf Gewichtsbasis (*Dietz,* 1977). Unser genetisch einheitliches und mit bekannten SO_2-Konzentrationen begastes Pflanzenmaterial schien sich hiezu vorzüglich zu eignen.

2. Material und Methoden

2.1 Material

Dreijährige Pfropflinge eines Fichtenklons (*Picea abies* [L.] Karst.) wurden mit niedrigen SO_2-Konzentrationen kontinuierlich begast. Die Begasung wurde zu drei verschiedenen Zeitpunkten je 10 Wochen lang durchgeführt, wobei zu jedem Zeitpunkt neue Pflanzen verwendet wurden. Die gewählten Zeitpunkte waren:

— im Winter (Spätherbst, September bis Dezember) bei geringer physiologischer Aktivität am Ende und nach der Vegetationsperiode;

— im Frühling (anfangs Mai bis Juli) bei Knospenaustrieb, Nadel- und Triebentfaltung;

— im Hochsommer (Juli bis anfangs September) bei maximaler physiologischer Aktivität der gereiften Nadeln.

Die Pflanzen waren in einheitlicher Erde in 10-Liter-Töpfe vertopft und wurden regelmässig gewässert. Für jede Versuchsvariante standen jeweils 5 Wiederholungen zur Verfügung. Im folgenden Frühling wurden zusätzlich zwei andere Fichtenklone untersucht (Resultate zum Teil noch in Auswertung begriffen), da die Assimilationsmessung zufolge einer technischen Störung bei 0,05 ppm* SO_2 nach 7 Wochen abgebrochen werden musste.

2.2 Methoden

Die *Begasung* erfolgte in der Birmensdorfer Freiland-Begasungsanlage (Keller, 1976a). Nebst der Nullprobe («normale» Aussenluft) wurden die Konzentrationen 0,05, 0,1 und 0,2 ppm SO_2 gewählt. 0,2 ppm ist der derzeit in der Schweiz gültige Sommergrenzwert als Tages-Durchschnittswert ohne Beschränkung der Einwirkungsdauer (EKL, 1965). Die Einhaltung der gewählten Konzentrationen wurde im Kronenbereich der Bäumchen mit einem Philips-SO_2-Monitor überwacht. Der Luftwechsel in den Begasungskammern war etwa $1^1/_2$fach pro Minute.

Für die Messung der *CO_2-Aufnahme* unter standardisierten Laborbedingungen stand ein URAS zur Verfügung. Vor und regelmässig während der Begasung wurden die Pflanzen ins Labor gebracht, wo die CO_2-Auf-

* ppm = cm^3 / m^3 Luft

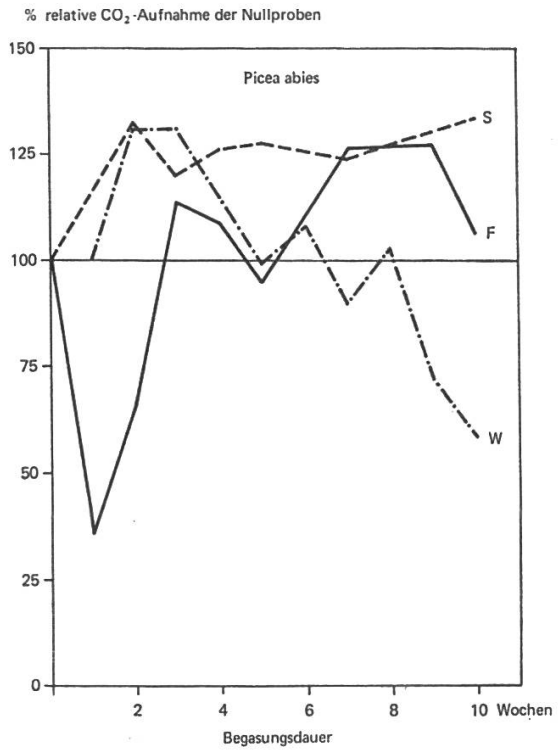
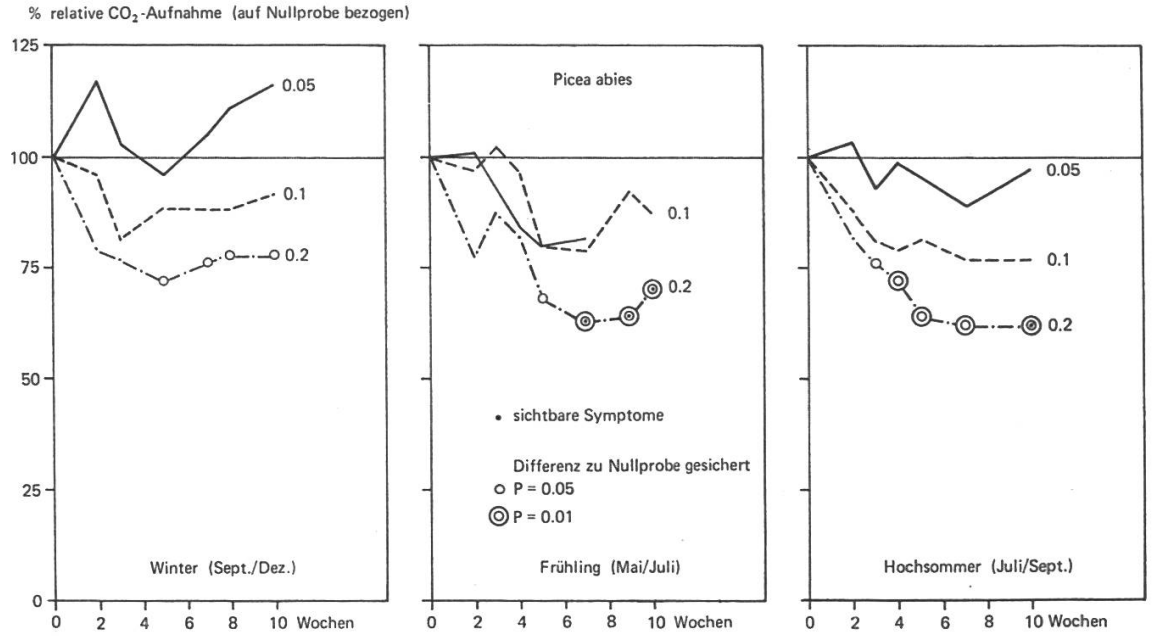


Abbildung 1. Relative CO_2-Aufnahme (Anfangsmessung = 100 %) der Nullproben während der Versuchsdauer zu den drei Jahreszeiten (W: Winter, F: Frühling, S: Sommer).

Abbildung 2. Auf die Nullproben bezogene relative CO_2-Aufnahme während der 10wöchigen Begasung zu den drei Jahreszeiten. Das Auftreten sichtbarer Schädigungssymptome sowie die statistische Sicherung sind besonders gekennzeichnet.



nahme bei 40 000 Lux einer Xenonlampe ($\sim$ 750 μ Einstein · sec^{-1} · m^{-2} photosynthetisch aktiver Strahlung, gemessen mit dem Lambda Quantum Sensor) bestimmt wurde. Der ganze Spross wurde hiezu in eine mit 40 bis 60 Liter · min^{-1} durchgespülte Plastikküvette gesteckt. Technische Einzelheiten der Messung sind bei Keller (1977c) zu finden. Die CO_2-Aufnahme wurde auf den Anfangswert (vor der Begasung = 100 Prozent) bezogen (Abbildung 1). Um die Beeinträchtigung der CO_2-Aufnahme durch die SO_2-Begasung unabhängig von anderen Faktoren (zum Beispiel Knospenaustrieb, Winterkälte) deutlicher erscheinen zu lassen, wurde die so relativierte CO_2-Aufnahme zu jedem Zeitpunkt in Beziehung zur Nullprobe gesetzt (Abbildung 2).

Nach der Begasung wurden die Pflanzen für eine weitere Vegetationsperiode im Garten ohne SO_2-Einfluss gehalten. Dann wurden mit dem Mikrotom *Mikroschnitte* von den Stämmchen gefertigt und mit Safranin gefärbt. An diesen Mikropräparaten wurden die Zellreihen des begasten Jahrrings ausgezählt. Zusätzlich wurde eine «Stammscheibe» von 1,20 $\pm$ 0,01 mm mit zwei parallelen Kreissägen herausgeschnitten und geröntgt. Die densitometrische Auswertung der Röntgenphotos ergab maximale und minimale *Holzdichte.* Methodische Einzelheiten finden sich bei *Lenz* et al. (1976). Als «Spätholzbreite» wurde im Densitogramm der äussere Teil des Jahrrings ausgemessen, dessen Dichte die willkürlich gewählte Grenze von 0,5 g · cm^{-3} überstieg.

Die *statistische Auswertung* einiger Daten (CO_2-Aufnahme, Anzahl Zellreihen, maximale Dichte) erfolgte mit dem H-Test nach Kruskal und Wallis (*Sachs,* 1968). Wo sich dabei signifikante, das heisst nicht zufällige Unterschiede ergaben, wurden die begasten Proben zusätzlich mit dem U-Test nach Wilcoxon et al. gegenüber den Nullproben getestet (Sachs, 1968).

3. Resultate

3.1 Die Entwicklung sichtbarer Symptome

Da in weiten Kreisen noch immer die Meinung vorherrscht, ein Schaden oder eine Schädigung sei mit sichtbaren Symptomen gekoppelt, wurden die Pflanzen regelmässig auch auf sichtbare Symptome hin untersucht. In Abbildung 2 sind jene Werte besonders markiert, bei welchen äusserlich sichtbare Schädigungssymptome an den Nadeln (chlorotische Verfärbungen, Nekrosen) auftraten. Dies geschah in diesem Versuch nur bei der höchsten SO_2-Konzentration (0,2 ppm), und zwar in der 7. Woche im Frühling bzw. in der 10. Woche im Hochsommer. Der Zeitpunkt der Nadelreifung erwies sich somit auch für die Fichte als kritisch (Keller, 1976b, 1977a). Dies war mit ein Grund, dass im folgenden Frühjahr zwei weitere Fichtenklone in einen

gleichen Versuch einbezogen wurden. Dabei zeigte sich, dass der hier untersuchte Klon relativ widerstandsfähig war.

Entsprechend der Erfahrung in ausländischen Immissionsgebieten war unser Fichtenklon im Winter weniger empfindlich als während der Vegetationsperiode.

Besondere Beachtung verdient auch die Tatsache, dass die CO_2-Aufnahme zu allen drei Zeitpunkten infolge der SO_2-Einwirkung um rund 25 Prozent absinken konnte, ohne dass oder bevor sichtbare Symptome einer Schädigung auftraten!

3.2 CO_2-Aufnahme

Die CO_2-Aufnahme unterliegt im Laufe des Jahres beachtlichen Schwankungen, die sich auch in Abbildung 1 manifestieren. Da es sich bei dieser Abbildung um die Nullproben handelt, ist ein Einfluss der SO_2-Begasung auszuschliessen. Besonders auffällig ist die drastische Verminderung der CO_2-Aufnahme bei Versuchsbeginn im Frühling, welche auf die starke Atmung beim Knospenausbruch zurückzuführen ist. Mit zunehmender Nadelreifung und Aufnahme des Gaswechsels durch die jungen Nadeln nimmt die CO_2-Aufnahme wieder zu und überschreitet den Ausgangswert. Typisch für die Winterkurve ist der Abfall der CO_2-Aufnahme, der mit dem Beginn des kühlen Winterwetters einsetzt. Schon in früheren Untersuchungen ist wiederholt festgestellt worden, dass die winterliche CO_2-Aufnahme der Koniferen nur einen Bruchteil der im Sommer gemessenen Assimilation ausmacht.

Um diese jahreszeitlich bedingten Schwankungen auszuschliessen und den SO_2-Einfluss deutlicher werden zu lassen, wurde in Abbildung 2 die relative CO_2-Aufnahme auf die gleichzeitige CO_2-Aufnahme der Nullprobe bezogen (Nullprobe = 100 Prozent). Die eingerahmten Werte sind gegenüber der Nullprobe signifikant verschieden, zeigen also eine statistisch gesicherte Einbusse der CO_2-Aufnahme an. Zufolge der relativ kurzen SO_2-Einwirkung einerseits und der verhältnismässig geringen Empfindlichkeit des getesteten Fichten-Klons anderseits, ist die Reduktion der CO_2-Aufnahme nur bei der stärksten Konzentration (0,2 ppm SO_2) statistisch gesichert, obwohl die Mittelwerte auch bei 0,1 ppm SO_2 eine Einbusse erkennen lassen. In Abbildung 2 zeigt sich die erwartete Tendenz, dass mit zunehmender Belastung, das heisst mit zunehmender SO_2-Konzentration und Expositionsdauer, die CO_2-Aufnahme geringer wird.

Bereits van Haut und Stratmann (1960) hatten an krautigen Pflanzen gezeigt, dass die Immissionen mit zunehmender Konzentration schädlicher werden, selbst bei konstanter Dosis $c \cdot t$ (Konzentration x Zeitdauer). An unseren Sommerwerten kann gezeigt werden, dass diese Tendenz auch für die Fichte gilt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1. Prozentuale Einbusse der CO_2-Aufnahme (gegenüber den Nullproben) bei konstanter Begasungsdosis c · t.

c (ppm SO_2)	t (Wochen)	c · t	CO_2-Aufnahme
0,2	2,5	0,5	— 21 %
0,1	5	0,5	— 19 %
0,05	10	0,5	— 3 %

3.3 Jahrringbau

Da die Holzbildung von der Assimilation und damit von der CO_2-Aufnahme abhängt, ist zu erwarten, dass die Verminderung der CO_2-Aufnahme sich auch im Jahrringbau auswirkt. Dies ist bezüglich Jahrringbreite in der Vergangenheit ja oft gezeigt worden. In Tabelle 2 sind die Mittelwerte jener Daten zusammengestellt, welche am Jahrring erhoben wurden, der nach bzw. während der Begasung gebildet worden war. Daraus geht die Tendenz hervor, dass mit zunehmender SO_2-Konzentration (das heisst mit abnehmender CO_2-Aufnahme) die Anzahl der gebildeten Zellreihen — und damit die Jahrringbreite — wie auch die maximale Holzdichte abnahmen. Die Abnahme der Zellreihen als Folge der Begasung zu den drei Jahreszeiten wird in Abbildung 3 augenfällig. In Abbildung 4 wird die Jahrringbreite und deren Aufteilung in Früh- und Spätholz dargestellt, wobei als Grenzkriterium willkürlich die Dichte von 0,5 g · cm^{-3} gewählt wurde; das Holz mit einer Dichte $\geqslant$ 0,5 g · cm^{-3} wurde als Spätholz taxiert.

Weil neben der uns hier interessierenden SO_2-Einwirkung auch andere Umweltfaktoren die Jahrringbildung beeinflussen, soll für jede Begasung nur der Vergleich mit der entsprechenden Nullprobe gemacht werden.

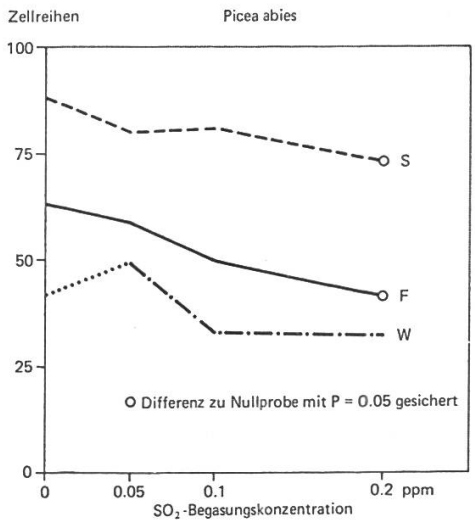
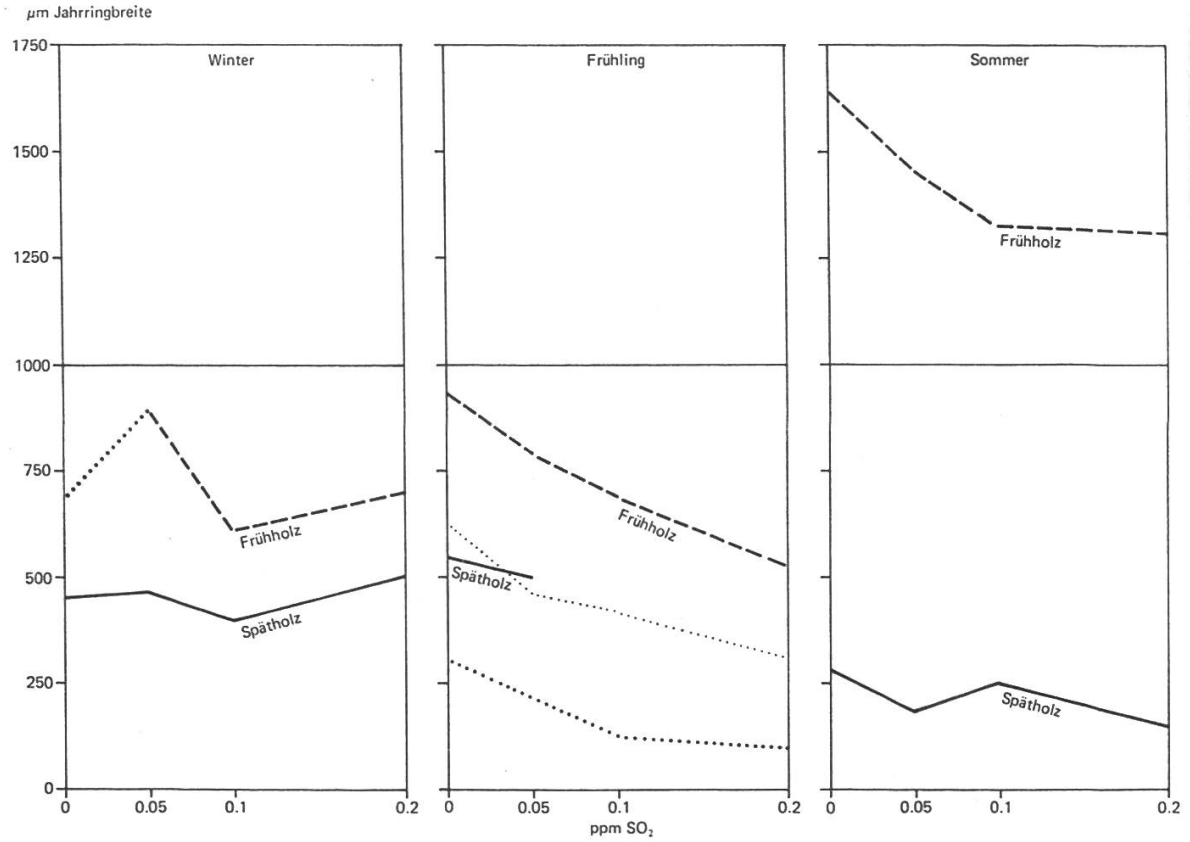


Abbildung 3. Einfluss der SO_2-Begasungskonzentration auf die Anzahl Zellreihen zu den drei Begasungszeitpunkten (W: Winter, F: Frühling, S: Sommer).

Abbildung 4. Anteil von Früh- und Spätholz an der Jahrringbreite in Abhängigkeit von der Begasungskonzentration zu den drei Begasungszeitpunkten.



In den Abbildungen 3 und 4 fällt bei der «Winterbegasung» (Ende September bis Dezember) auf, dass die Zellenzahl bzw. Jahrringbreite der Nullprobe geringer ist als bei der SO_2-Konzentration 0,05 ppm. Diese statistisch nicht gesicherte Abweichung vom Erwarteten ist möglicherweise eine Folge der bei 0,05 ppm gemessenen erhöhten CO_2-Aufnahme (Abbildung 2). Sie führt zu einer starken Schwankung der Jahrringbreiten, welche keine Tendenz erkennen lässt. Dies darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Jahrringbreite insgesamt recht niedrig ist im Vergleich zur Sommerbegasung. Es ist daher zu vermuten, dass die Begasung während der winterlichen «Ruheperiode» die Bildung von Reserven vermindert; dementsprechend wird vor allem das weitkernige Frühholz beeinflusst. Es macht jedenfalls den Anschein, dass bei der «Winterbegasung» vor allem der Frühholzanteil des Jahrringes relativ gering blieb.

Bei der Frühlingsbegasung liess sich die Grenze zwischen Früh- und Spätholz wegen der Druckholzbildung nicht in allen Fällen ermitteln. Daher sind in Abbildung 4 auch die Mittelwerte der beiden im folgenden Frühjahr begasten Klone punktiert aufgetragen. Die ausserordentlich starke Druckholzbildung ist vermutlich auf den häufigen Transport der Pflanzen ins Labor

(zur Messung der CO_2-Aufnahme) zurückzuführen. Die Abnahme der Ringbreite mit zunehmender SO_2-Konzentration ist deutlich ausgeprägt und auch die maximale Holzdichte (Tabelle 2) fällt deutlich ab. Da die Frühholzbreite ungefähr gleich bleibt, ist die Abnahme der Jahrringbreite in erster Linie eine Folge der Abnahme der Spätholzbildung. Offenbar hängt die Breite des Frühholzringes sehr stark ab von den Reservestoffen und von der Photosynthese zu Beginn der Wuchsperiode. Zu jenem Zeitpunkt war jedoch die CO_2-Aufnahme noch nicht stark beeinflusst (Abbildung 2). Die Veränderung der Jahrringstruktur als Folge der Frühjahrsbegasung ist auch aus den Mikrophotos der Abbildung 5 ersichtlich.

Auch bei der Sommerbegasung ist die Abnahme der Jahrringbreite (Abbildung 4) und der maximalen Holzdichte (Tabelle 2) markant. Wie bei der Frühjahrsbegasung scheint in erster Linie die Spätholzbildung beeinflusst. Dies ist zu erwarten, da ja die Bildung der organischen Stoffe aus der CO_2-Aufnahme erst in der zweiten Hälfte der Wachstumsperiode beeinträchtigt wurde.

Abbildung 5. Mikrophotographien der Jahrringe der im Frühjahr (April—Juli) begasten Fichten. Von links nach rechts: Nullprobe; 0,05 ppm; 0,1 ppm; 0,2 ppm SO_2. Man beachte die Abnahme der Jahrringbreite und die schwache Ausbildung des Spätholzes, v. a. bei 0,1 ppm SO_2.

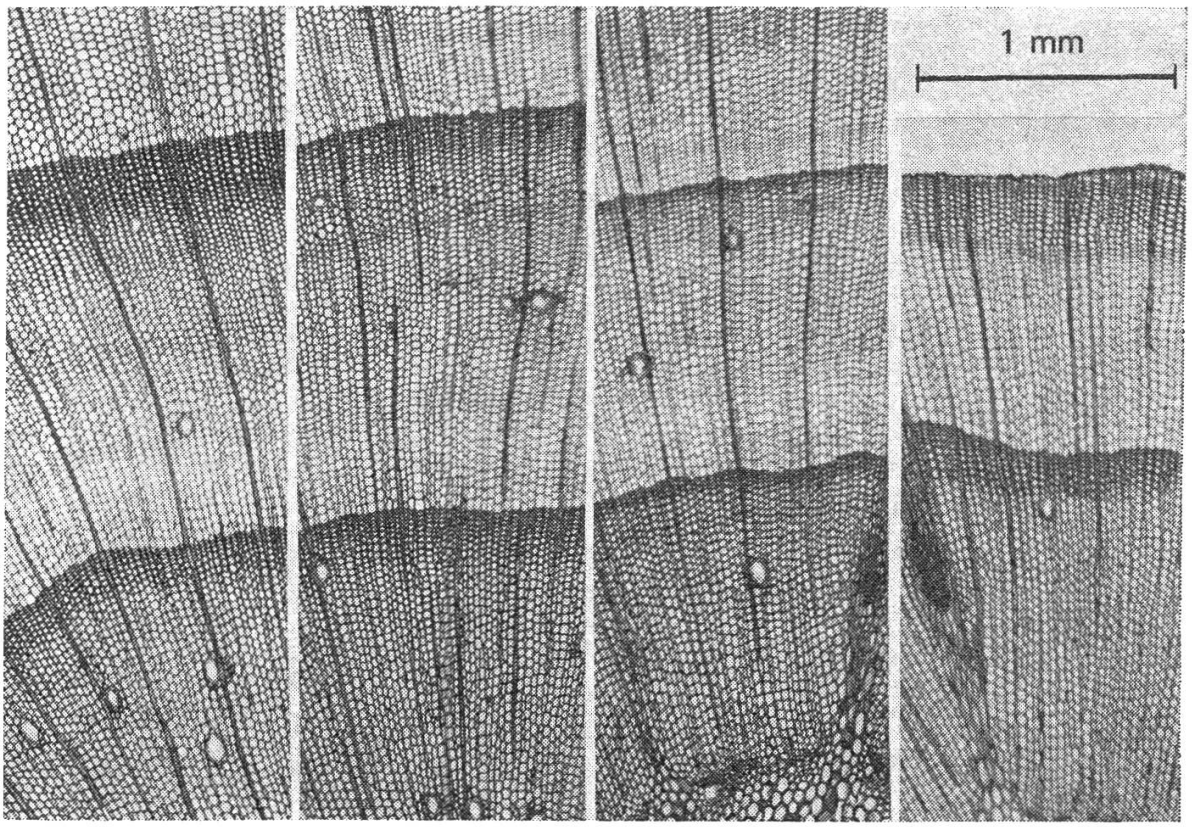


Tabelle 2. Minimale und maximale Holzdichte im Jahrring der zu verschiedenen Jahreszeiten begasten Fichten.

	Nullprobe	0,05	0,1	0,2 ppm
Winter (September—Dezember)				
min. Dichte, ϱ min., $g \cdot cm^{-3}$	0,39	0,35	0,43	0,40
max. Dichte, ϱ max., $g \cdot cm^{-3}$	0,80	0,79	0,86	0,85
Frühling (Mai—Juli)				
min. Dichte, ϱ min., $g \cdot cm^{-3}$	0,36	0,32	0,31	0,40
max. Dichte, ϱ max., $g \cdot cm^{-3}$	0,77	0,77	0,71	0,70
Sommer (Juli— September)				
min. Dichte, ϱ min., $g \cdot cm^{-3}$	0,35	0,35	0,32	0,31
max. Dichte, ϱ max., $g \cdot cm^{-3}$	0,69	0,69	0,66	0,62

3.4 Schätzung der Leistungsfähigkeit

Die forstliche Praxis ist im Zusammenhang mit der Abschätzung eines allfälligen Immissionsschadens vor allem an einer Schätzung des Einflusses auf die Leistungsfähigkeit der Holzerzeugung interessiert. Das Produkt Jahrringbreite x Dichte erlaubt, eine derartige grobe Schätzung vorzunehmen. Diese Schätzung ist allerdings mit einem ziemlichen Fehler belastet, weil sie sich auf eine idealisierte Dichtekurve abstützt, während in Wirklichkeit die Dichtekurve unregelmässig ist. In der folgenden Formel erscheint der Wert 0,5 deswegen, weil die Dichte 0,5 $g \cdot cm^{-3}$ als Grenze zwischen Früh- und Spätholz gewählt wurde. Das Ergebnis der Formel

$$\text{Frühholzbreite} \times \left(\frac{0{,}5 + \text{min. Dichte}}{2}\right) + \text{Spätholzbreite} \times \left(\frac{0{,}5 + \text{max. Dichte}}{2}\right)$$

wurde auf den Wert der Nullprobe (= 100 Prozent) bezogen. Dermassen wurde der Einfluss der unterschiedlichen Begasungen auf die Leistungsfähigkeit geschätzt und in Abbildung 6 dargestellt. In Übereinstimmung mit dem bereits Dargelegten zeigt es sich, dass der Einfluss einer Begasung während der Vegetationsperiode viel stärker und deutlicher ist als während der Vegetationsruhe im Winterhalbjahr.

Schlussfolgerungen

1. Eine Dauerbegasung kann von der Fichte mehrere Wochen lang ertragen werden, ohne dass sich sichtbare Symptome einer Schädigung zeigen. Letztere traten am untersuchten Klon nur bei der höchsten Konzentration, 0,2 ppm SO_2, auf.

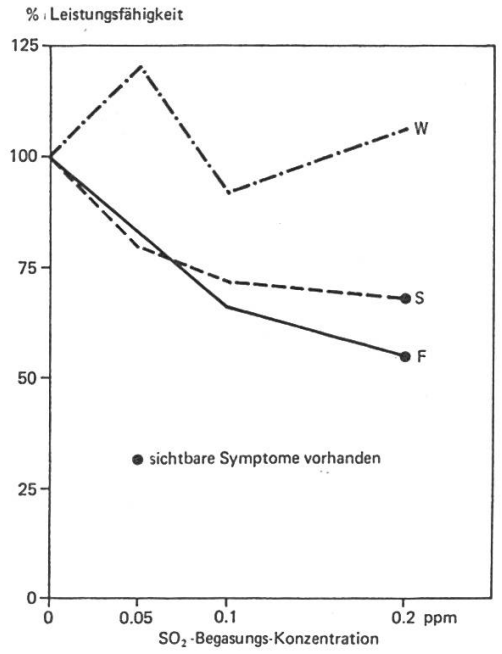


Abbildung 6. Schätzung der Folgen der Begasungskonzentration auf die Leistungsfähigkeit der Holzerzeugung zu den drei Begasungszeitpunkten (W: Winter, F: Frühling, S: Sommer).

2. Die CO_2-Aufnahme als Basis der Holzerzeugung kann aber um mehr als 25 Prozent absinken, ohne dass äusserlich sichtbare Symptome einer Schädigung bemerkbar sind.

3. Auch für die Fichte werden SO_2-Immissionen bei konstanter Dosis mit zunehmender Konzentration schädlicher. Dennoch ist zu beachten, dass auch niedrige Konzentrationen bei langer Einwirkungsdauer toxisch wirken.

4. Mit zunehmender SO_2-Konzentration, das heisst mit abnehmender CO_2-Aufnahme, werden weniger Zellen gebildet. Dadurch nimmt die Jahrringbreite ab, ganz besonders bei einer Begasung, welche sich auf die Frühholzbildung auswirkt. Beeinflusst eine Begasung die Spätholzbildung, so nimmt vor allem die maximale Holzdichte ab.

5. Aus Jahrringbreite und Holzdichte wird der Einfluss der SO_2-Begasung auf die Leistungsfähigkeit der Holzerzeugung geschätzt. Diese sinkt drastisch schon in dem Bereich, in dem sichtbare Symptome einer Schädigung fehlen. Eine Begasung während der Vegetationsperiode beeinflusst die Holzerzeugung viel stärker als eine solche ausserhalb der Wuchsperiode.

Abschliessend danke ich allen Angehörigen der EAFV, welche durch ihren Einsatz diese Untersuchung möglich machten. Namentlich zu nennen sind insbesondere die Dres. J. Bucher, O. Lenz und F. Schweingruber, Frau C. Grewenig-Rusch, und die Herren U. Bühlmann, H. Kobert, P. Nogler und W. Schoch.

Résumé

L'action en diverses saisons de l'anhydride sulfureux (SO_2) sur l'absorption de l'anhydride carbonique (CO_2) et sur la structure du cerne chez l'épicéa

Des greffons de 3 ans d'un clone d'épicéa furent exposés en permanence durant 10 semaines à des concentrations de SO_2 de 0,05, de 0,1 et respectivement de 0,2 ppm. Les époques d'exposition choisies furent «l'hiver» (fin septembre à décembre, «le printemps» (mai à juillet) et «l'été» (juillet à début septembre). L'absorption en CO_2 a régulièrement été mesurée à l'aide d'un analyseur à rayons infrarouges sous des conditions standard de laboratoire. Des coupes minces et des radiodensitogrammes servirent à étudier la structure du cerne.

Une exposition permanente à l'action du SO_2, même avec une concentration de 0,2 ppm, a été supportée pendant plusieurs semaines sans apparition de symptômes extérieurs visibles de dommage. Ces indices surgirent sur le clone relativement résistant seulement lors de la concentration la plus élevée en SO_2 (0,2 ppm).

Cependant l'absorption de CO_2 peut baisser de plus de 25 % sans que des symptômes extérieurs de dommage deviennent apparents (figure 2).

Les émissions de SO_2 deviennent à dose constante aussi plus néfastes pour l'épicéa avec l'augmentation de la concentration (tableau 1). Mais les faibles concentrations sont également d'un effet toxique à longue durée. Il y a moins de cellules élaborées lorsque la concentration en SO_2 augmente, c'est-à-dire lorsque l'absorption en CO_2 baisse (figure 3). La largeur du cerne diminue de ce fait, tout particulièrement lorsque le gaz agit sur la formation du bois initial (figure 4). Les suites d'une exposition à un gaz se reflète pour le bois final dans une réduction de la densité maximale du bois (tableau 2). La modification de la structure du bois par suite de l'action d'un gaz pendant le débourrement et la formation des aiguilles est visible sur les microphotographies (figure 5).

L'influence de l'exposition au gaz SO_2 sur la production en matière peut être estimée à partir de la largeur du cerne et de la densité du bois. Cette productivité baisse déjà de manière frappante lorsque les symptômes visibles de dommage manquent encore (figure 6). L'action d'un gaz sur la production de bois est bien plus forte pendant la période de végétation qu'au cours de la période de repos.

Traduction: O. Lenz

Literatur

Dietz, P., 1977: Gewichtsmessung von Industrieholz — warum? Allg. Forstztg. *88* (4): 81—84

EKL, 1965: Richtlinien zur Beurteilung von Schwefeldioxid-Immissionen. Bull. Eidg. Gesundheitsamt, Beilage B2/1965, Bern

Guderian, R., 1970: Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem Schwefelgehalt von Pflanzen und dem Schwefeldioxidgehalt der Luft. Z. Pfl'krankh. Pfl'schutz *77:* 200—220, 289—308, 387—399

Guderian, R., 1977: Air pollution. Springer, Berlin—Heidelberg—New York

Haselhoff, E. und *Lindau, G.*, 1903: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Bornträger Leipzig

Van Haut, H. und *Stratmann, H.*, 1960: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Schwefeldioxid auf die Vegetation. Forsch. ber. Land Nordrhein-Westfalen *884*, Westdeutscher Verlag Köln-Opladen

Keller, Th., 1971: Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Städtehygiene *22:* 130—136. Auch Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Berichte 67

Keller, Th., 1976a: Auswirkungen niedriger SO_2-Konzentrationen auf junge Fichten. Schweiz. Z. Forstwes. *127:* 237—251

Keller, Th., 1976b: Der Einfluss von Schwefeldioxid als Luftverunreinigung auf die Assimilation der Fichte. Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Berichte 161

Keller, Th., 1977a: The effect of long during, low SO_2 concentrations upon photosynthesis of conifers. Proc. IVth Internat. Clean Air Congr. Tokyo, 81—83

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

Keller, Th., 1977c: Der Einfluss von Fluorimmissionen auf die Nettoassimilation von Waldbaumarten. Mitt. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. (im Druck)

Keller, Th., 1978a: Frostschäden als Folge einer «latenten» Immissionsschädigung. Staub-Reinhalt. Luft *38:* 24—26

Keller, Th., 1978b: Über den Einfluss niedriger SO_2-Konzentrationen auf die CO_2-Aufnahme von Koniferen. Photosynthetica (im Druck)

Keller, Th. und *Schwager, H.*, 1977: Air pollution and ascorbic acid. Eur. J. For. Path. *7:* 338—350

Lenz, O., Schär, E. und *Schweingruber, F. H.*, 1976: Methodische Probleme bei der radiographisch-densitometrischen Bestimmung der Dichte und der Jahrringbreiten von Holz. Holzforschung *30:* 114—123

Liese, W., Schneider, M. und *Eckstein, D.*, 1975: Histometrische Untersuchungen am Holz einer rauchgeschädigten Fichte. Eur. J. For. Path. *5:* 152—161

Parker, M. L., Bunce, H. W. F. und *Smith, J. H. G.*, 1974: The use of x-ray densitometry to measure the effects of air pollution on tree growth near Kitimat, British Columbia, IX. Internat. Tag. über die Luftverunreinig. u. Forstwirtschaft, Tag. ber. 185—204. Zbraslav n. Vlt.

Polge, H. und *Keller, R.*, 1969: La xylochronologie, perfectionnement logique de la dendrochronologie. Ann. Sci. For. *26:* 225—256

Pollanschütz, J., 1962: Rauchschadenfeststellung unter besonderer Berücksichtigung von Bohrkernanalysen, Allg. Forstztg. *73*

Pollanschütz, J., 1971: Die ertragskundlichen Messmethoden zur Erkennung und Beurteilung von forstlichen Rauchschäden. Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst. Wien *92:* 153—206

Sachs, L., 1968: Statistische Auswertungsmethoden, Springer, Berlin

Schröder, J., 1872/1873: Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen, Tharander forstl. Jahrbuch *22:* 185—239, *23:* 217—267

Sorauer, P. und *Ramann, E.*, 1899: Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. Bot. Cbl. *80:* 50—56, 106—116, 156—168, 205—216, 251—262

Vins, B., 1962: Die Auswertung jahrringchronologischer Untersuchungen in rauchgeschädigten Fichtenwäldern des Erzgebirges. Wiss. Z. T. U. Dresden *11*

Wieler, A., 1903: Über unsichtbare Rauchschäden. Z. Forst- u. Jagdwes. *35:* 204—225

Wislicenus, H., 1898: Resistenz der Fichte gegen saure Rauchgase bei ruhender und bei tätiger Assimilation. Tharander forstl. Jahrbuch *48:* 152—172