

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	129 (1978)
Heft:	5
Artikel:	Der Einfluss einer SO ₂ -Belastung zu verschiedenen Jahreszeiten auf CO ₂ -Aufnahme und Jahrringbau der Fichte
Autor:	Keller, T.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-764356

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Einfluss einer SO₂-Belastung zu verschiedenen Jahreszeiten auf CO₂-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 SO₂-Einwirkung auf besonnte Pflanzen schädlicher ist als eine entsprechende Immission nachts. *Wislicenus* (1898) fand in seinen Begasungsversuchen, dass die SO₂-Empfindlichkeit der Fichte ungefähr proportional zur Lichtintensität während der Begasung ist, und postulierte, das SO₂ sei ein spezifisches Assimilationsgift. *Sorauer* und *Ramann* (1899) bemerkten eine Chlorophyllzerstörung durch SO₂. Nachdem alle diese Indizien für eine Beeinträchtigung der photosynthetischen Leistung durch SO₂ vorlagen, gelang *Wieler* (1903) erstmals der experimentelle Nachweis drastischer Einbussen der CO₂-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 CO₂-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 SO₂ in weiten Kreisen als weitgehend unschädlich für Pflanzen, selbst bei lang anhaltender Dauer niedriger Konzentrationen. Zweifel an dieser Unschädlichkeit führten zu unseren 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 unsren Versuchsbedingungen zu signifikanten CO₂-Aufnahmestörungen an Koniferen führen kann (Keller, 1977b).

Bereits Schröder (1872) hatte beobachtet, dass junge Tannennadeln SO₂-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 SO₂-Aufnahmerate müsse in Beziehung zum Entgiftungsvermögen des Gewebes gesetzt werden.

In den vergangenen Untersuchungen über die CO₂-Aufnahme blieb die daran anschliessende Verwendung der gebildeten 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 CO₂-Aufnahme vor allem in einer Verminderung der Zellenzahl pro Jahrring oder aber in einer Schwächung der Zellwände niederschläge, 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 SO₂-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 SO₂-Konzentrationen begastes Pflanzenmaterial schien sich hiezu vorzüglich zu eignen.

2. Material und Methoden

2.1 Material

Dreijährige Ppropfinge eines Fichtenklons (*Picea abies* [L.] Karst.) wurden mit niedrigen SO₂-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* SO₂ 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 SO₂ gewählt. 0,2 ppm ist der derzeit in der Schweiz gültige Sommernetzwert als Tages-Durchschnittswert ohne Beschränkung der Einwirkungsdauer (EKL, 1965). Die Einhaltung der gewählten Konzentrationen wurde im Kronenbereich der Bäumchen mit einem Philips-SO₂-Monitor überwacht. Der Luftwechsel in den Begasungskammern war etwa 1½fach pro Minute.

Für die Messung der CO₂-Aufnahme unter standardisierten Laborbedingungen stand ein URAS zur Verfügung. Vor und regelmässig während der Begasung wurden die Pflanzen ins Labor gebracht, wo die CO₂-Auf-

* ppm = cm³ / m³ Luft

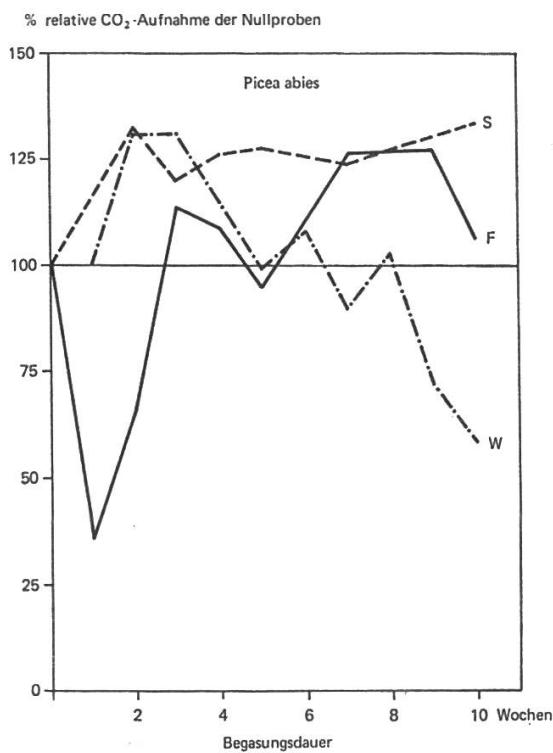
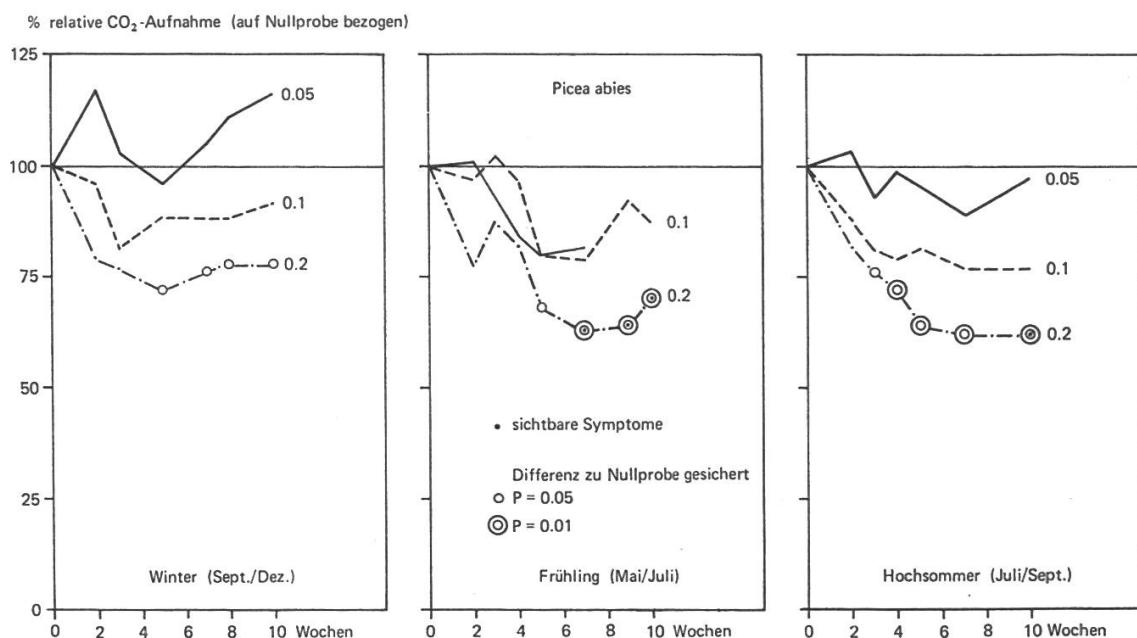


Abbildung 1. Relative CO₂-Aufnahme (Anfangsmessung = 100 %) der Nullproben während der Versuchsdauer zu den drei Jahreszeiten (W: Winter, F: Frühling, S: Sommer).

Abbildung 2. Auf die Nullproben bezogene relative CO₂-Aufnahme während der 10wöchigen Begasung zu den drei Jahreszeiten. Das Auftreten sichtbarer Schädigungs-symptome sowie die statistische Sicherung sind besonders gekennzeichnet.



nahme bei 40 000 Lux einer Xenonlampe ($\sim 750 \mu$ 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 CO₂-Aufnahme wurde auf den Anfangswert (vor der Begasung = 100 Prozent) bezogen (Abbildung 1). Um die Beeinträchtigung der CO₂-Aufnahme durch die SO₂-Begasung unabhängig von anderen Faktoren (zum Beispiel Knospenaustrieb, Winterkälte) deutlicher erscheinen zu lassen, wurde die so relativierte CO₂-Aufnahme zu jedem Zeitpunkt in Beziehung zur Nullprobe gesetzt (Abbildung 2).

Nach der Begasung wurden die Pflanzen für eine weitere Vegetationsperiode im Garten ohne SO₂-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 $0,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ überstieg.

Die *statistische Auswertung* einiger Daten (CO₂-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 SO₂-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 CO₂-Aufnahme zu allen drei Zeitpunkten infolge der SO₂-Einwirkung um rund 25 Prozent absinken konnte, ohne dass oder bevor sichtbare Symptome einer Schädigung auftraten!

3.2 CO₂-Aufnahme

Die CO₂-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 SO₂-Begasung auszuschliessen. Besonders auffällig ist die drastische Verminderung der CO₂-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 CO₂-Aufnahme wieder zu und überschreitet den Ausgangswert. Typisch für die Winterkurve ist der Abfall der CO₂-Aufnahme, der mit dem Beginn des kühlen Winterwetters einsetzt. Schon in früheren Untersuchungen ist wiederholt festgestellt worden, dass die winterliche CO₂-Aufnahme der Koniferen nur einen Bruchteil der im Sommer gemessenen Assimilation ausmacht.

Um diese jahreszeitlich bedingten Schwankungen auszuschliessen und den SO₂-Einfluss deutlicher werden zu lassen, wurde in Abbildung 2 die relative CO₂-Aufnahme auf die gleichzeitige CO₂-Aufnahme der Nullprobe bezogen (Nullprobe = 100 Prozent). Die eingerahmten Werte sind gegenüber der Nullprobe signifikant verschieden, zeigen also eine statistisch gesicherte Einbusse der CO₂-Aufnahme an. Zufolge der relativ kurzen SO₂-Einwirkung einerseits und der verhältnismässig geringen Empfindlichkeit des getesteten Fichten-Klons anderseits, ist die Reduktion der CO₂-Aufnahme nur bei der stärksten Konzentration (0,2 ppm SO₂) statistisch gesichert, obwohl die Mittelwerte auch bei 0,1 ppm SO₂ eine Einbusse erkennen lassen. In Abbildung 2 zeigt sich die erwartete Tendenz, dass mit zunehmender Belastung, das heisst mit zunehmender SO₂-Konzentration und Expositionsdauer, die CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Aufnahme abhängt, ist zu erwarten, dass die Verminderung der CO₂-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 SO₂-Konzentration (das heißt mit abnehmender CO₂-Aufnahme) die Anzahl der gebildeten Zellreihen — und damit die Jahrringbreite — wie auch die maximale Holzdichte abnehmen. 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 $\geq 0,5$ g · cm⁻³ wurde als Spätholz taxiert.

Weil neben der uns hier interessierenden SO₂-Einwirkung auch andere Umweltfaktoren die Jahrringbildung beeinflussen, soll für jede Begasung nur der Vergleich mit der entsprechenden Nullprobe gemacht werden.

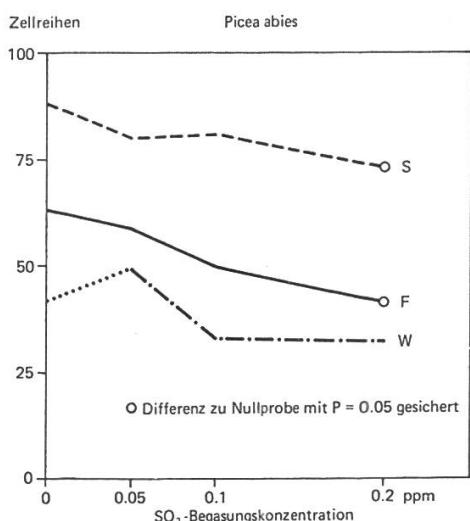
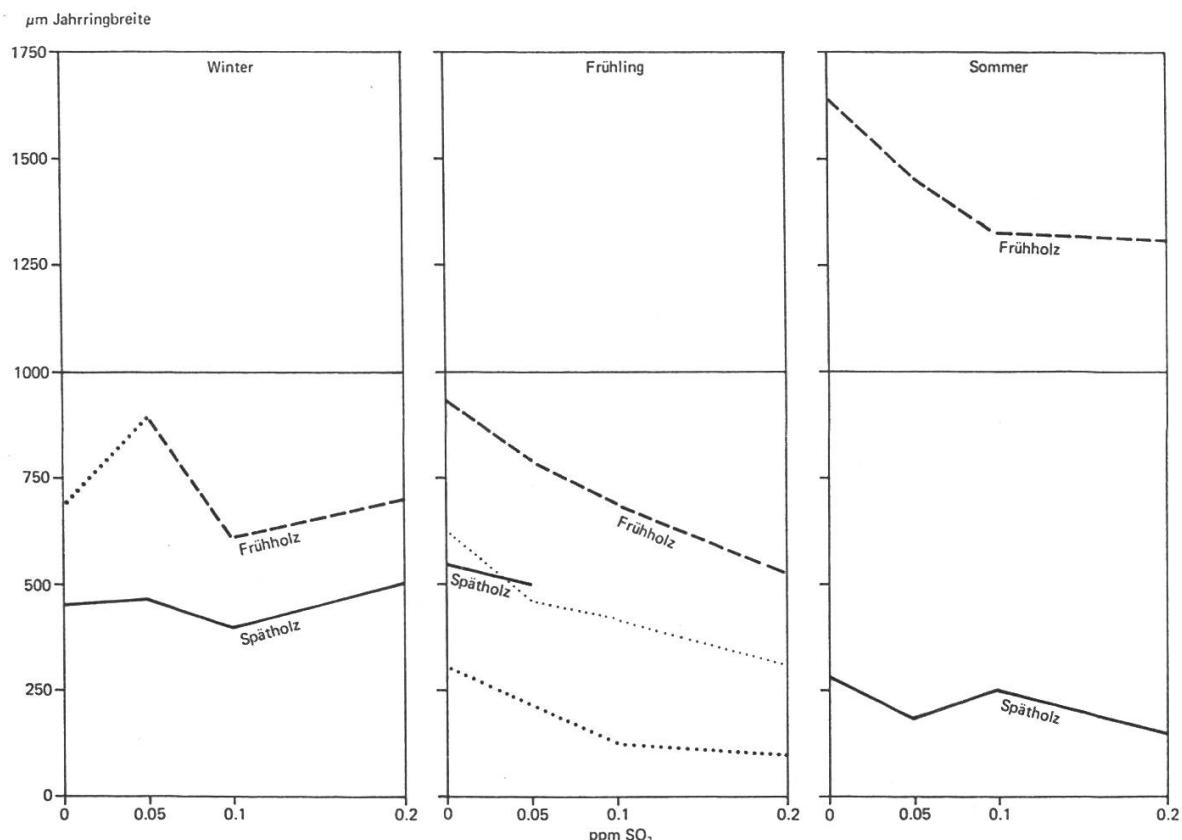


Abbildung 3. Einfluss der SO₂-Begasungskonzentration auf die Anzahl Zellreihen zu den drei Begasungszeitpunkten (W: Winter, F: Frühling, S: Sommer).

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 SO₂-Konzentration 0,05 ppm. Diese statistisch nicht gesicherte Abweichung vom Erwarteten ist möglicherweise eine Folge der bei 0,05 ppm gemessenen erhöhten CO₂-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 verhindert; 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 CO₂-Aufnahme) zurückzuführen. Die Abnahme der Ringbreite mit zunehmender SO₂-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 CO₂-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 CO₂-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 SO₂. Man beachte die Abnahme der Jahrringbreite und die schwache Ausbildung des Spätholzes, v. a. bei 0,1 ppm SO₂.

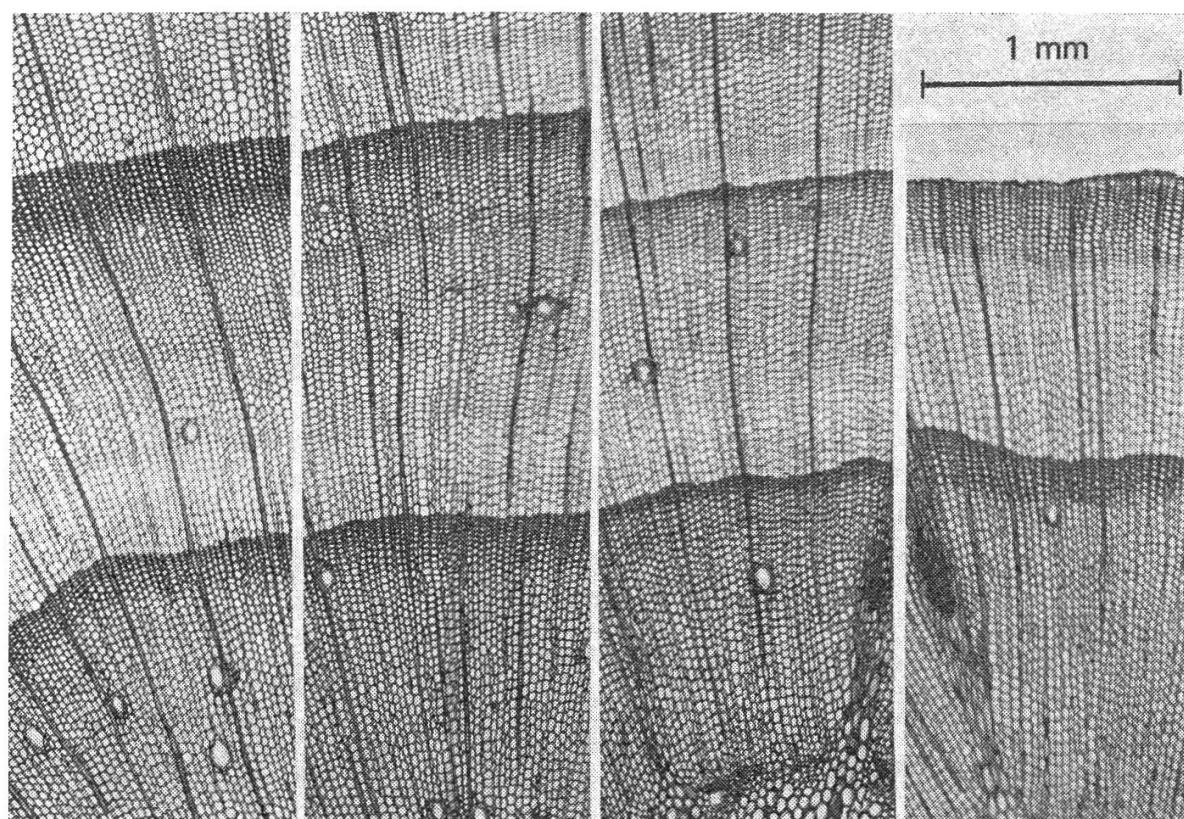


Tabelle 2. Minimale und maximale Holzdichte im Jahrring der zu verschiedenen Jahreszeiten begasten Fichten.

<i>Winter</i> (September—Dezember)	Nullprobe	0,05	0,1	0,2 ppm
min. Dichte, ϱ min., $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,39	0,35	0,43	0,40
max. Dichte, ϱ max., $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,80	0,79	0,86	0,85
<i>Frühling</i> (Mai—Juli)				
min. Dichte, ϱ min., $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,36	0,32	0,31	0,40
max. Dichte, ϱ max., $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,77	0,77	0,71	0,70
<i>Sommer</i> (Juli—September)				
min. Dichte, ϱ min., $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,35	0,35	0,32	0,31
max. Dichte, ϱ max., $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	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 $0,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ als Grenze zwischen Früh- und Spätholz gewählt wurde. Das Ergebnis der Formel

$$\text{Frühholz- breite} \times \left(\frac{0,5 + \text{min. Dichte}}{2} \right) + \text{Spätholz- breite} \times \left(\frac{0,5 + \text{max. Dichte}}{2} \right)$$

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 SO₂, auf.

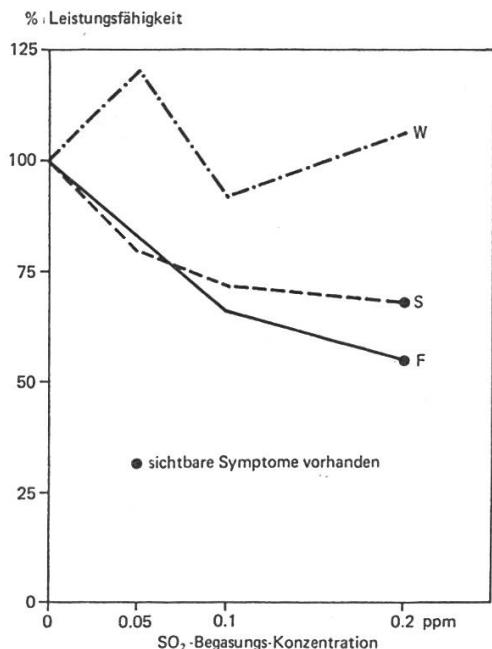


Abbildung 6. Schätzung der Folgen der Begasungskonzentration auf die Leistungsfähigkeit der Holzerzeugung zu den drei Begasungszeitpunkten (W: Winter, F: Frühling, S: Sommer).

2. Die CO₂-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 SO₂-Immissionen bei konstanter Dosis mit zunehmender Konzentration schädlicher. Dennoch ist zu beachten, dass auch niedrige Konzentrationen bei langer Einwirkungsdauer toxisch wirken.

4. Mit zunehmender SO₂-Konzentration, das heisst mit abnehmender CO₂-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 SO₂-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 Schwefeldioxidegehalt 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 SO₂-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 SO₂ 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 SO₂-Konzentrationen auf die CO₂-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 schwefeligen 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