

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 127 (1976)
Heft: 4

Artikel: Auswirkungen niedriger SO₂-Konzentrationen auf junge Fichten
Autor: Keller, T.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765254>

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: 03.05.2026

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

Auswirkungen niedriger SO₂-Konzentrationen auf junge Fichten¹

Von *Th. Keller*

Oxf.: 425.1

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

Anlässlich der Konzeption der Birmensdorfer Freiland-Begasungsanlage (Abb. 1) im Jahre 1969 wurde beschlossen, das Forschungshauptgewicht vorerst auf das Schadgas Schwefeldioxid (SO₂) zu legen. SO₂ ist weltweit eine der wichtigsten Luftverunreinigungen, welche überall entsteht, wo schwefelhaltiges Brennmaterial verbrannt wird. SO₂ gehört zu den «klassischen» Immissionen und wurde bereits vor über 100 Jahren als eine der Ursachen der Rauchsäden an Nadelwäldern im Bereich sächsischer Hüttenbetriebe (*Stöckhardt*, 1850, 1853, 1871, *Schroeder*, 1872, 1873) erkannt. Mit zunehmender Industrialisierung haben die Umweltsäden durch SO₂ selbst in jüngster Zeit gewaltige Dimensionen angenommen. Erwähnt seien nur einige neuere ausländische Angaben über geschädigte Waldflächen: DDR: 200 000 ha (*Ranft*, 1965); CSSR: 116 000 ha (*Pospišil*, 1974); Ontario (nur bei drei Hüttenwerken in Sudbury): 580 000 ha (*Linzon*, 1966).

Im Gegensatz zu diesen vorwiegend auf industrielle Grossemitterten zurückzuführenden Immissionen trägt in der Schweiz der Hausbrand Wesentliches zur SO₂-Belastung unserer Atmosphäre bei. So schätzt der im Auftrag des Amtes für Umweltschutz von der EMPA ausgearbeitete Schwefeldioxid-Emissionskataster 1970 für die Schweiz und Liechtenstein, dass 35 Prozent der SO₂-Emissionen, das heisst 48 000 t/Jahr, häuslichen Feuerungen zuzuschreiben sind (*Morkowski* und *Jutzi*, 1974). Demgegenüber emittierten allein die drei erwähnten riesigen Hüttenwerke von Sudbury zusammen täglich 6000 t SO₂. Der relativ geringe SO₂-Ausstoss in der Schweiz spiegelt sich auch in den Zahlen des SO₂-Emissionskatasters beider Basel für das Jahr 1970 (*Reinker* und *Leuppi*, 1975), der folgende Emissionsschätzungen enthält: Stadt Basel: 247 t SO₂/km² jährlich; Kanton Basellandschaft 8 t SO₂/km² jährlich.

¹ Gedruckt mit Unterstützung der EAFV, Birmensdorf.

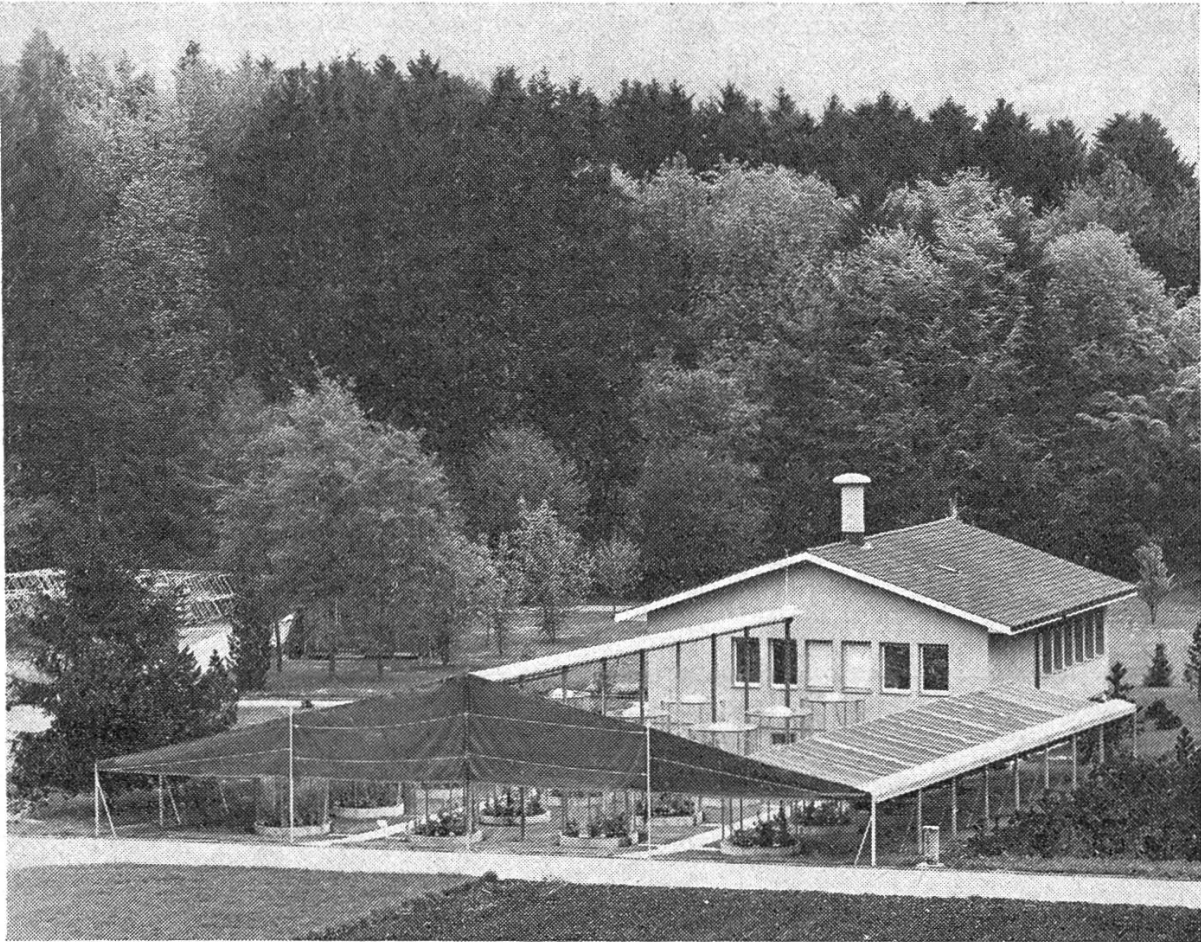
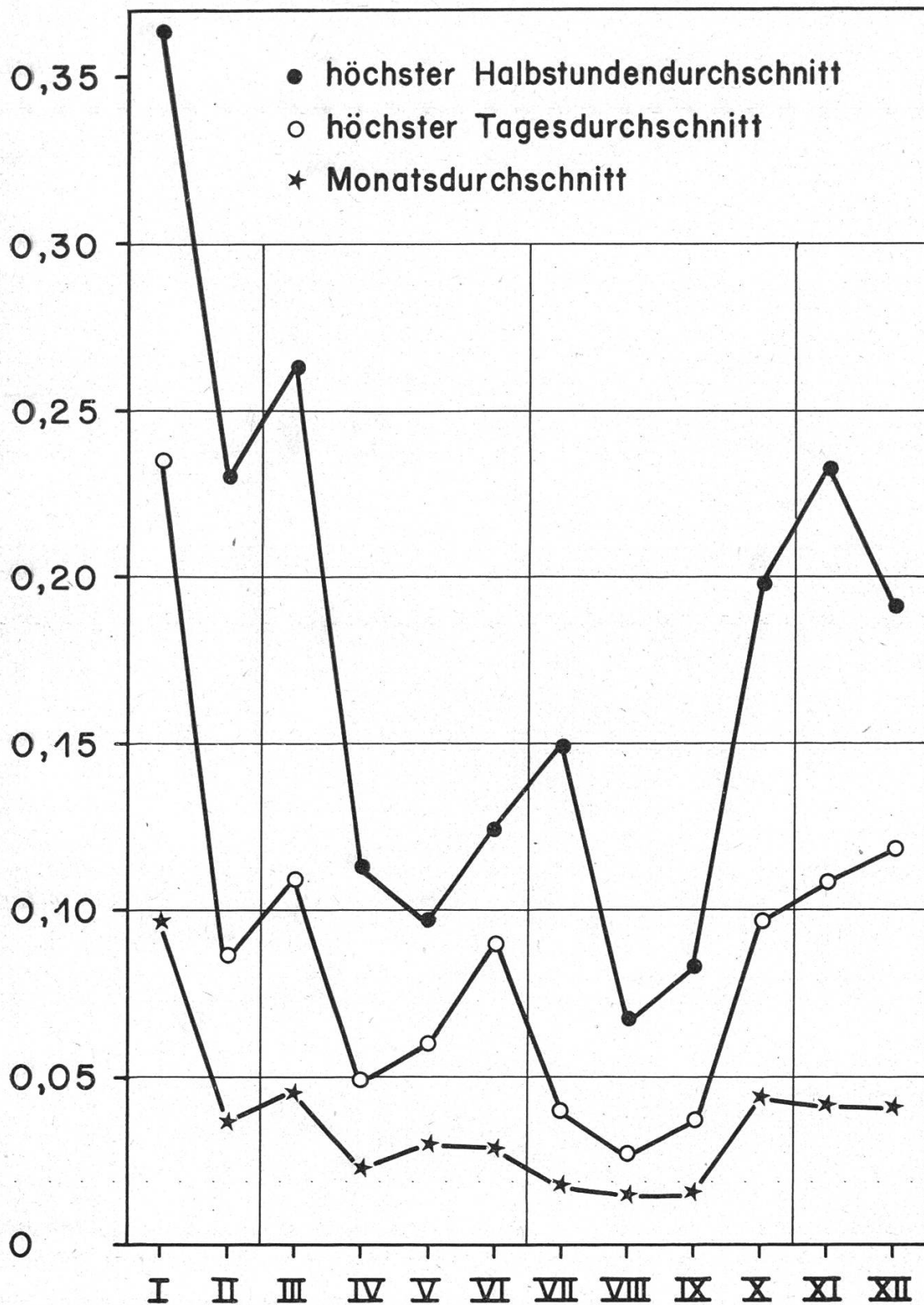


Abbildung 1. Gesamtansicht der Freiland-Begasungsanlage der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf. Die 20 Kabinen sind in 4 Strängen à 5 Kabinen angeordnet. Je 5 Kabinen stellen eine Begasungseinheit dar, so dass gleichzeitig 5 Wiederholungen von 4 Behandlungen (zum Beispiel Nullprobe und 3 Schadgaskonzentrationen) untersucht werden können. Jede Kabine hat einen Durchmesser von 2 Meter und fasst bis zu 20 Topfpflanzen in 10-Liter-Töpfen (vgl. auch Abbildung 3). Die Anlage ist mit einem Schattierdach versehen, das sich bei direkter Sonnenstrahlung automatisch schliesst, um unnatürliche Übertemperaturen in den Kabinen zu vermeiden.

Der hohe Anteil der Hausfeuerungen am SO_2 -Ausstoss der Schweiz hat jedoch relativ hohe Immissionskonzentrationen in dicht besiedelten Gebieten zur Folge, weil das SO_2 aus niedrigen Schornsteinen emittiert wird und daher besonders bei Inversionslagen in Bodennähe bleibt. Dies wird in Abb. 2 für Zürich deutlich. Aus dieser Abbildung geht hervor, dass in der Schweiz trotz relativ geringer Emissionen unter Umständen recht hohe Immissionskonzentrationen auftreten können. Dem trägt die schweizerische «Richtlinie zur Beurteilung von Schwefeldioxid-Immissionen» vom 22. Dezember 1964 Rechnung, welche folgende Grenzwerte festlegt: Tagesmittel im Sommer (1. 3. bis 31. 10.) 0,2 ppm; Tagesmittel im Winter (1. 11 bis 28./29. 2.) 0,3 ppm; Halbstundenmittel im Sommer (nur einmal innert 2 Stunden) 0,3 ppm; Halbstundenmittel im Winter (nur einmal innert 2 Stunden) 0,5 ppm.

ppm SO₂



Sommerwertperiode der EKL

Abbildung 2. Höchste Halbstunden- und Tagesdurchschnittswerte sowie Monatsdurchschnitte der SO₂-Immissionen in Zürich im Jahre 1970 (aus Hess und Glogg, 1973).

Die Eidg. Kommission für Lufthygiene nahm damals an, «dass bei Einhaltung dieser Grenzen weder Gesundheitsschäden bei Menschen, Tieren oder Pflanzen . . . auftreten werden» (EKL, 1965).

Inzwischen haben ausländische Forstleute bei niedrigeren SO₂-Konzentrationen Schädigungen ihrer Nadelwälder festgestellt. Nach *Knabe* (1970) ist im Ruhrgebiet aufgrund der Immissionsmessungen der Jahre 1964/1967 jeder Anbau von Fichte und Kiefer dort sinnlos, wo die SO₂-Immissionen einen Jahresmittelwert von 0,08 ppm bzw. einen Vegetationszeit-Mittelwert von etwa 0,07 ppm überschreiten. Und im tschechischen Erzgebirge fanden *Materna* und Mitarbeiter (zitiert nach *Guderian* und *van Haut*, 1970), dass bereits eine Durchschnittskonzentration von etwa 0,06 ppm SO₂ genügte, um Fichten zu schädigen, wobei seltene Halbstunden-Spitzenmittelwerte 0,2 ppm überschritten. *Wentzel* (1968) errechnete aufgrund der Biersdorfer Versuche, dass schon eine langfristige Durchschnittskonzentration von 0,02 ppm zu Schäden an Eiche, Buche, Fichte und Föhre geführt habe.

Von medizinischer Seite wird zugegeben, die Pflanzen seien anfälliger für SO₂ als der Mensch (*Högger*, 1966). Da die Grenzrichtwerte in der Regel zum Schutze des Menschen aufgestellt werden, bieten sie keinen zuverlässigen Schutz der Vegetation vor Schädigungen. Dies ist besonders kritisch für die Waldbaumarten. Insbesondere die Nadelbäume gelten seit langem als empfindlich (*Stöckhardt*, 1871). Die meisten Länder haben inzwischen SO₂-Grenzwerte festgelegt, welche tiefer angesetzt sind als die schweizerischen Richtlinien. So legt die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 28. August 1974 für die Bundesrepublik Deutschland fest, dass für SO₂ ein Langzeitwert von 0,14 mg/m³ und ein Kurzzeitwert von 0,40 mg/m³ (entsprechend etwa 0,06 bzw. 0,16 ppm) zulässig sei. Und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika gelten heute folgende Bundesgrenzwerte: «primär» 0,03 ppm SO₂ als Jahresdurchschnitt; 0,14 ppm SO₂ als Tagesdurchschnitt; «sekundär» 0,02 ppm SO₂ als Jahresdurchschnitt; 0,1 ppm SO₂ als Tagesdurchschnitt; 0,5 ppm SO₂ als Durchschnitt von 3 Stunden.

«Primär» = zum Schutz der Volksgesundheit («public health»)

«Sekundär» = zum Schutz des allgemeinen Wohlbefindens
(«public welfare»)

Bis vor kurzem ist von seiten der Emittenten die hohe Phytotoxizität des SO₂ bezweifelt und als wissenschaftlich unbewiesen abgelehnt worden. Dementsprechend wurden die zulässigen Grenzwerte relativ hoch angesetzt oder deren Festsetzung verzögert. In der Folge kam es zu den einleitend erwähnten gravierenden Schädigungen der Waldgebiete. Diese Umweltzerstörungen haben sicher mit zur «Umweltschutzwelle» und zur Verketzerung der Industrie beigetragen.

Die Entwicklung der Technologie hat in den letzten Jahren kontinuierliche Begasungen von Pflanzen mit niedrigen Konzentrationen möglich

gemacht und damit lässt sich die Phytotoxizität des SO₂ experimentell einwandfrei nachweisen. Gleichzeitig lässt sich überprüfen, wieweit die erhobenen Einwände relevant sind, wie zum Beispiel: Durchschnittswerte seien unrealistisch, weil nur die darin versteckten hohen Spitzenwerte für die Schädigung entscheidend seien, oder: das Schädigungsagens sei gar nicht das SO₂, sondern eine Kombination zahlreicher Luftverunreinigungen (SO₂ allein sei erst bei höheren Konzentrationen schädlich).

Schwerwiegend für die Forstwirtschaft ist ferner der Umstand, dass die Existenz «unsichtbarer» oder «verborgener» Schädigungen lange Zeit bestritten wurde. Selbst das am Ende der sechziger Jahre erschienene Werk «Air Quality Criteria for Sulfur Oxides» des amerikanischen Gesundheitsamtes lässt diese Schädigungskategorie weitgehend unberücksichtigt, da es sich einseitig auf Versuchsergebnisse an krautigen Pflanzen stützt. Die langsame Schwächung der Vitalität infolge langjähriger Exposition ist jedoch für Waldbestände, deren Lebensdauer viele Jahrzehnte umfasst, von besonderer Bedeutung, im Gegensatz zum Ackerbau mit rascher Fruchtfolge.

Fragestellung

Aufgrund der erwähnten ausländischen Erfahrungen ist zu befürchten, dass selbst die Einhaltung der schweizerischen SO₂-Grenzwerte den Wald nicht vor schwerwiegenden und folgenschweren Schädigungen zu bewahren vermag. Da die Fichte einerseits das finanzielle Rückgrat unserer Forstwirtschaft darstellt, andererseits als eine der SO₂-empfindlichsten Baumarten gilt, stellten wir uns die Frage, wie diese Baumart auf eine kontinuierliche, mehrmonatige Belastung mit niedrigen SO₂-Konzentrationen reagiert, wobei besonderer Wert darauf gelegt wurde, die schweizerischen Grenzwerte einzuhalten.

- Wie lange hält die Fichte die Grenzwerte aus, ohne äusserlich sichtbare Schädigungssymptome auszubilden?
- Führen schon geringere SO₂-Belastungen zu sichtbaren Schädigungen im Verlaufe mehrerer Monate?
- Deuten physiologische Störungen auf eine schädigende Belastung hin, bevor äusserlich sichtbare Symptome einer Schädigung auftreten?

Material und Methode

Im Juni 1974 wurden 4jährige Fichten (Prov. Neuwilien; 2/2) zu dritt in 10-l-Töpfe mit gedüngtem Torf vertopft und vom 12. 7. 1974 bis 18. 4. 1975 in den Begasungskabinen (Abb. 1, 3) exponiert. Pro Kabine standen

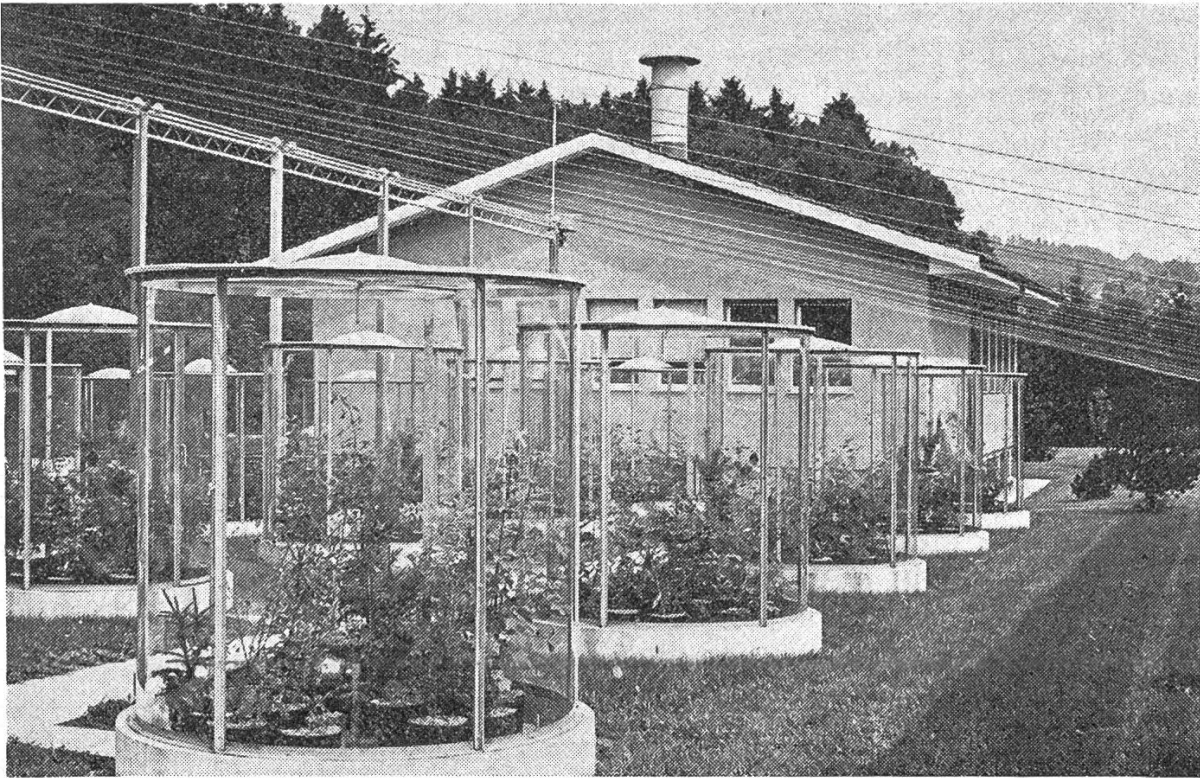


Abbildung 3. Nahansicht der Begasungskabinen.

2 Töpfe, das heisst 6 Pflanzen, zur Verfügung. Die Konzentrationen betragen kontinuierlich 0 (Nullproben), 0,05, 0,1 bzw. 0,2 ppm SO₂. Die Einhaltung der gewünschten Konzentrationen wurde mit einem Philips-SO₂-Monitor laufend überwacht. Der Luftwechsel in den Kabinen betrug etwa 1 $\frac{1}{2}$ mal pro Minute, was einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von etwa 5 cm/sec entspricht.

Eine reproduzierbare Begasung dieser Art ist nur in geschlossenen Kabinen möglich. Um biologisch fragwürdige Übertemperaturen in den Kabinen zu vermeiden, war eine Schattierung erforderlich (Abb. 1), welche durch eine Selenzelle gesteuert wird. Das Dach schliesst sich somit automatisch an sonnigen Tagen und bleibt an trüben Tagen geöffnet.

Die in den Kabinen und im angrenzenden Freiland herrschenden klimatischen Bedingungen wurden mit Thermohygrographen überwacht. Aus Abb. 4 und 5 geht hervor, dass in den Kabinen etwas höhere Temperaturen herrschen als im Freiland und dass dementsprechend die Luft in den Kabinen etwas trockener ist als im Freiland. Die Abweichungen sind jedoch nicht gravierend. Die leichte Erhöhung der Temperatur ist zum Teil auf die Reibungswärme der Ventilatoren zurückzuführen, zum Teil auf den Umstand, dass die Luft in 5 m Höhe (über dem Ziegeldach) angesaugt wird. Immerhin kamen im Winterhalbjahr auch in den Kabinen Frosttemperaturen vor, welche den pflanzlichen Gaswechsel (Photosynthese, Atmung) entscheidend beeinflussen (vgl. Keller, 1965).

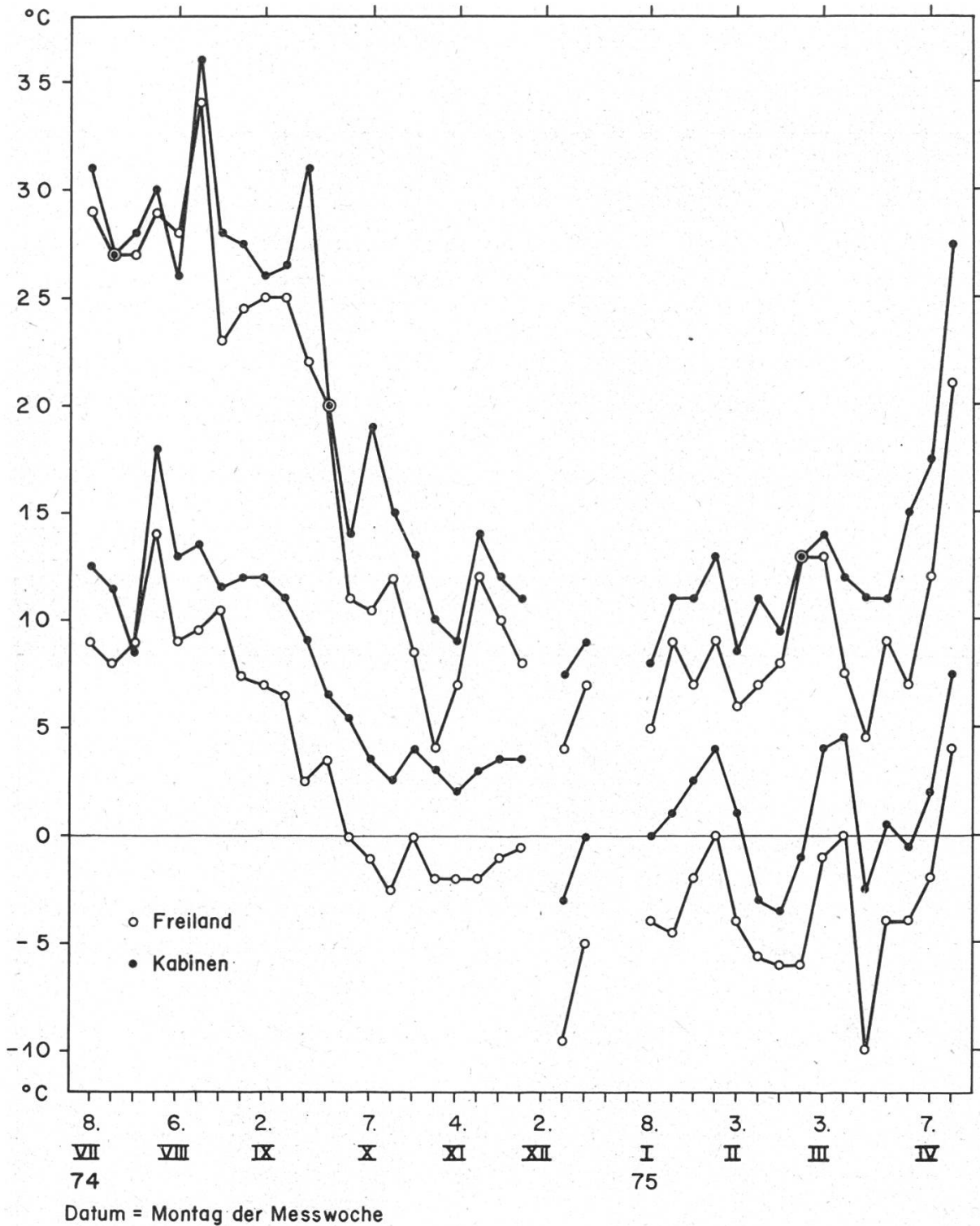


Abbildung 4. Wöchentliche Temperaturmaxima und -minima in den Kabinen und im angrenzenden Freiland während der Begasungsperiode.

Da ein Vorversuch im Frühjahr 1974 ergeben hatte, dass die jungen, sich entwickelnden Nadeln recht SO_2 -empfindlich sind, wurden die Pflanzen am 18. 4. 1975, unmittelbar vor dem Knospenaustrieb, zur Entfaltung der neuen Triebe in saubere Luft verbracht.

Während der Begasungsperiode wurden die Pflanzen verschiedentlich bezüglich der Ausbildung sichtbarer Schädigungssymptome bonitiert, wobei

jede einzelne Pflanze (30 Stück/Behandlung) mit folgender Skala klassiert wurde:

- 0: normal grün, gesund
- 1: Nadeln mit chlorotischen Nadelspitzen vorhanden
- 2: vereinzelt gebleichte (gräuliche) oder braunrote Nadeln
- 3: viele braunrote Nadeln; Gesamtpflanze überwiegend grün
- 4: noch grüne Nadeln vorhanden, Gesamtpflanze überwiegend braun
- 5: Pflanze braunrot; starker Nadelfall

Die Aktivität des Entgiftungsenzyms Peroxidase in den 1974 gebildeten Nadeln wurde am Ende der 9monatigen Begasung, das heisst kurz vor Knospenaustrieb, in einer Mischprobe der 3 Pflanzen/Topf mit der von

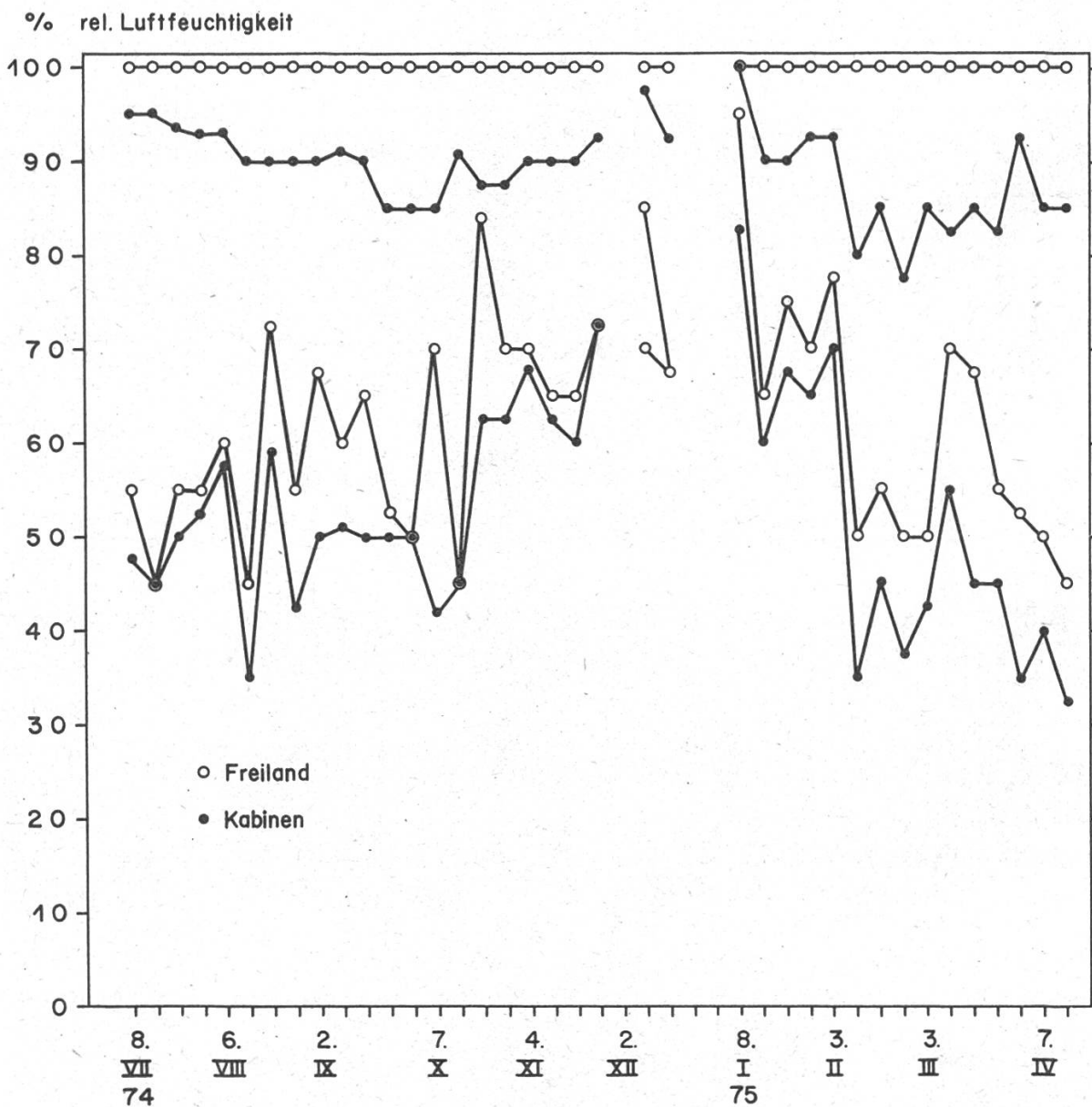


Abbildung 5. Wöchentliche Maxima und Minima der relativen Luftfeuchtigkeit in den Kabinen und im angrenzenden Freiland während der Begasungsperiode.

Keller und Schwager (1971) beschriebenen, nur leicht modifizierten Methode bestimmt. Die Modifikation besteht darin, dass als Massstab der Aktivität nicht die Extinktion nach 3 Minuten, sondern die Extinktionsänderung zwischen der 2. und 3. Minute gewählt wird.

In Anlehnung an Grill (1971) wurde in denselben Nadeln die Pufferungskapazität ermittelt. Grill hatte gefunden, dass SO₂-belastete Nadeln eine geringere Pufferung für pH-Änderungen besitzen als Nadeln aus SO₂-freier Umgebung. Das SO₂ ist das Anhydrid der schwefligen Säure. Das durch die Spaltöffnungen ins Innere der Assimilationsorgane gedrungene SO₂ muss daher in den Zellen neutralisiert werden und diese Neutralisation (Entgiftung) belastet das Pufferungsvermögen der Zellen. Zur Ermittlung dieses Pufferungsvermögens, das heisst der Widerstandsfähigkeit gegen pH-Veränderungen im Zellsaft, wurde 1 g einjährige Nadeln (Frischgewicht) in 10 ml entsalztem Wasser homogenisiert und 24 Stunden stehen gelassen. Der pH-Wert des Homogenats wurde mit der Glaselektrode gemessen. Darauf wurde die Veränderung des pH-Wertes bei Zugabe von 0,01 n NaOH verfolgt.

Resultate

1. Die Entwicklung sichtbarer Schädigungssymptome

In Tabelle 1 sind die durch Bonitierung (gemäss dem oben angegebenen Schema) der 30 Einzelpflanzen pro Behandlung erhaltenen Klassensummen zu verschiedenen Zeitpunkten zusammengestellt.

Daraus geht hervor, dass die höchste Konzentration, welche den schweizerischen Sommergrenzwerten entspricht, von den untersuchten Fichten mehr als zwei Monate lang ertragen wurde, ohne dass Schadsymptome ausgebildet wurden. Obwohl die Pflanzen im Winterhalbjahr als widerstandsfähiger gegen Luftverunreinigungen gelten, wurden die sichtbaren Symptome zwischen Ende Oktober und anfangs April zunehmend deutlicher und begannen sich auch bei den niedrigeren Konzentrationen abzuzeichnen. Abbildung 6 hält die Variabilität der Resistenz innerhalb der Population

Tabelle 1. Entwicklung der sichtbaren Schädigungssymptome (Klassensummen) im Verlauf der neunmonatigen Begasung der Fichten (unter dem Datum ist die Begasungsdauer in Wochen angegeben).

| Behandlung | 3. 9. 74 7 ¹ / ₂ Wo | 18. 10. 74 15 ¹ / ₂ Wo | 20. 12. 74 23 Wo | 21. 1. 75 27 ¹ / ₂ Wo | 25. 2. 75 32 ¹ / ₂ Wo | 8. 4. 75 38 ¹ / ₂ Wo |
|------------|--|---|---------------------|--|--|---|
| Nullproben | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,05 ppm | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| 0,1 ppm | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 10 |
| 0,2 ppm | 0 | 12 | 43 | 61 | 61 | 74 |

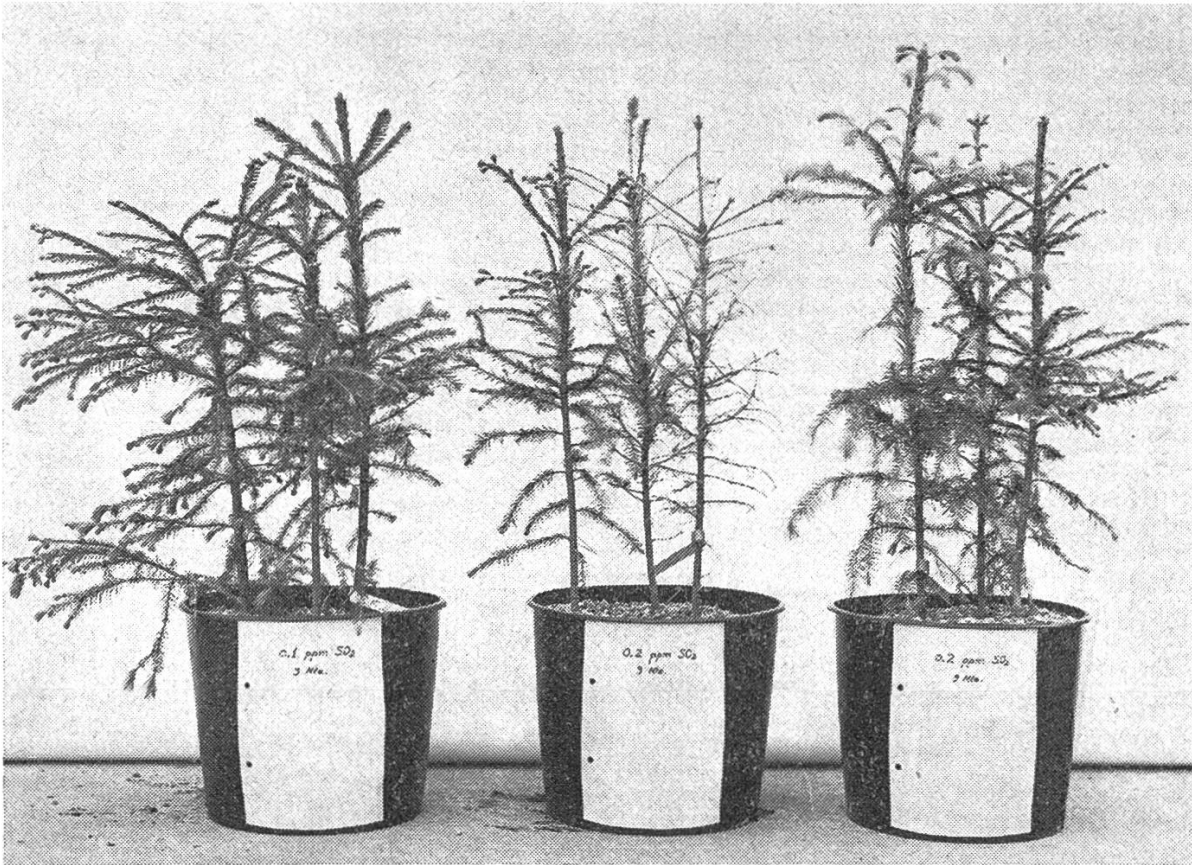


Abbildung 6. Individuelle Variabilität der Resistenz. Zustand der Fichten nach neunmonatiger Begasung. Topf mitte und rechts: 0,2 ppm SO₂, Topf links: 0,1 ppm SO₂.

fest. Die rechte Pflanze im mittleren Topf ist stark geschädigt und hat praktisch alle Nadeln verloren, während die Pflanzen im rechten Topf ungeschädigt erscheinen, wie auch die drei Pflanzen des linken Topfes (0,1 ppm SO₂).

2. Die Aktivität der Peroxidase nach 9monatiger Begasung

In früheren Versuchen hat sich gezeigt, dass die Peroxidase-Aktivität als Indikator einer unsichtbaren Schädigung verwendet werden kann, und zwar bei Stress durch Fluor (Keller und Schwager, 1971), Autoabgase (Martin und Keller, 1974; Keller, 1974), Blei (Flückiger, 1975) oder SO₂ (noch unveröffentlichte Resultate). In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Peroxidase-Untersuchung an diesen Fichten zusammengestellt, woraus hervorgeht, dass die SO₂-Belastung zu einer gewaltigen Aktivitätssteigerung dieses Entgiftungsenzyms in den einjährigen Nadeln geführt hat, selbst bei der schwächsten Begasungskonzentration.

Tabelle 2. Peroxidase-Aktivität einjähriger Fichtennadeln, nach neunmonatiger Begasung mit SO₂, unmittelbar vor Knospenaustrieb (Durchschnitt von je 10 Proben mit Standardfehler und Standardabweichung).

| <i>Behandlung</i> | $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ | σ |
|--------------------------|---------------------------|----------|
| Nullprobe | 43,2 ± 10,3 | 32,5 |
| 0,05 ppm SO ₂ | 280,5 ± 50,0 | 158,2 |
| 0,1 ppm SO ₂ | 527,0 ± 37,8 | 119,5 |
| 0,2 ppm SO ₂ | 577,0 ± 84,9 | 268,4 |

3. Die Pufferkapazität für pH-Änderungen

Die Bestimmung des pH-Wertes in den Nadelhomogenaten ergab, dass mit zunehmender SO₂-Belastung das Homogenat (Zellsaft) die Tendenz einer zunehmenden Ansäuerung zeigte, wie aus Tabelle 3 hervorgeht.

Grill (1971) und zahlreiche von ihm zitierte Autoren stellten dagegen fest, «dass sich die pH-Werte von Nadelhomogenisaten chronisch rauchgeschädigter Bäume nicht von denen der Kontrollen unterscheiden». Der Unterschied ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass unsere pH-Messungen am Ende des Winterhalbjahrs durchgeführt wurden, während dem die Aufnahme von Basenbildnern aus dem Boden durch die Wurzeln praktisch stillgelegt ist und auch die Synthese organischer Puffersubstanzen in den Assimilationsorganen wesentlich geringer ist als während der Vegetationsperiode.

In Übereinstimmung mit Grill steht dagegen der Befund, dass im sauren Bereich die Pufferkapazität begaster Nadeln vermindert worden ist. In Abbildung 7 ist die durch die Zugabe von 0,01 n Natronlauge zum Homogenat bewirkte pH-Veränderung dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die SO₂-begasten Nadeln durch Zugabe von 1 bis 2 ml Lauge eine wesentlich stärkere pH-Veränderung erfuhren als die Nullproben. Dies betrifft den sauren Bereich, da der Ausgangs-pH-Wert der Homogenate bei etwa 4,5 lag (Tabelle 3).

Anschliessend danke ich den Herren Dr. J. Bucher für die Betreuung der Begasungsanlage und H. Schwager für die zuverlässige Durchführung der Analysen.

Tabelle 3. pH-Wert homogenisierter einjähriger Fichtennadeln nach neunmonatiger Begasung mit SO₂.

| <i>Behandlung</i> | <i>pH; $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$</i> | σ |
|-------------------|---|----------|
| Nullprobe | 4,57 ± 0,05 | 0,14 |
| 0,05 ppm | 4,49 ± 0,06 | 0,18 |
| 0,1 ppm | 4,41 ± 0,05 | 0,16 |
| 0,2 ppm | 4,43 ± 0,08 | 0,24 |

$\Delta p H / ml$

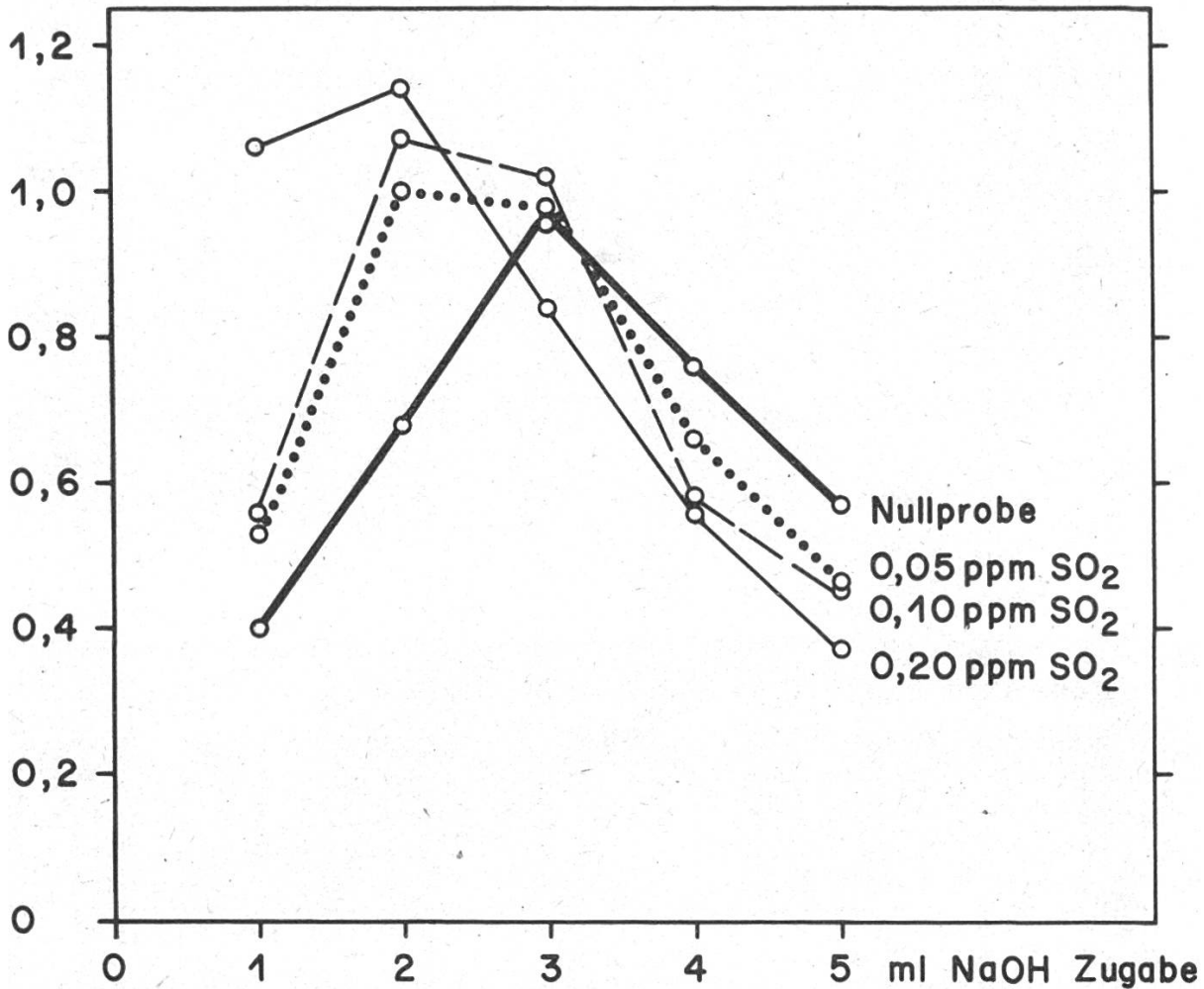


Abbildung 7. Die Pufferkapazität einjähriger Fichtennadeln nach neunmonatiger SO₂-Begasung. Pufferkapazität = pH-Änderung pro ml 0,01 n NaOH.

Schlussfolgerungen

1. Der Versuch zeigte, dass die untersuchten Fichtensämlinge unter den Versuchsbedingungen mehr als zwei Monate lang die nach schweizerischen Richtlinien tolerierte SO₂-Konzentration ertrugen, ohne sichtbare Schädigungssymptome aufzuweisen. Mit zunehmender Begasungsdauer nahm das Schadenausmass zu, und eine 9monatige Begasung führte zum Tod einzelner Sämlinge. Die Verschärfung der Schädigung bei Begasung im Winter zeigt, dass auch die «Vegetationsruhe» nicht vor Immissionschäden schützt.

2. Eine Reduktion der Konzentration auf die Hälfte führte dazu, dass mehr als ein halbes Jahr verstrich, bis sichtbare Schädigungssymptome auftraten.

3. Die physiologischen Untersuchungen, welche nach 9monatiger Begasung nur an äusserlich symptomfreien Nadeln (bei 0,2 ppm nicht mehr

möglich) durchgeführt wurden, ergaben, dass die Aktivität des Entgiftungsenzyms Peroxidase um ein Mehrfaches erhöht wurde (selbst bei der niedrigsten Begasungskonzentration), dass das Pufferungsvermögen der jungen Nadeln für pH-Veränderungen im sauren Bereich dagegen herabgesetzt wurde. Diese Befunde zeigen eine Belastung des pflanzlichen Organismus an, welche auf die Dauer zu einer Schwächung der Abwehrkraft führt. In Assimilationsversuchen (Keller, 1976) zeigte sich, dass die Stoffproduktion schon lange vor dem Auftreten sichtbarer Schädigungssymptome beeinträchtigt wird.

4. Soll der Schweizerwald vor SO₂-Immissionsschädigungen wirksam geschützt werden, so ist eine Änderung der derzeit gültigen Richtlinien (SO₂-Grenzwerte) dringend notwendig. Zwar werden diese Grenzwerte in bewaldeten Gebieten heute noch nicht «ausgeschöpft». Die amtlichen Berechnungen der zu fordernden Kaminhöhe bei neuen Grosse mittentent nehmen sie jedoch als Grundlage. Ferner darf nicht übersehen werden, dass SO₂ in Kombination mit andern giftigen Luftverunreinigungen wie Ozon oder nitrosen Gasen (vgl. *Bucher*, 1975) synergistisch wirkt; das heisst dass bei Gasgemischen eine Vegetationsschädigung bereits bei viel geringeren Konzentrationen eintritt als bei Einzelgasen.

Die gültigen Grenzrichtwerte sind vor allem durch Langzeitwerte zu ergänzen. Aufgrund unserer derzeitigen Kenntnisse und Erfahrungen wird vorgeschlagen: 0,2 ppm als Tagesmittel, 0,03 ppm als Monatsmittel und 0,02 ppm als Jahresdurchschnittswert.

Die Differenzierung des Tagesmittels in Sommer- und Winterwerte ist aufzugeben.

Résumé

Les effets de basses concentrations de SO₂ sur de jeunes épicéas

Dans le laboratoire de Birmensdorf pour l'étude des effets de l'air pollué l'auteur a exposé des jeunes semis d'épicéa durant 9 mois à l'air ambiant, resp. pollué par 0,05, 0,1 et 0,2 ppm de SO₂.

Les conditions d'expérience étaient proches de celles de la nature. La concentration la plus élevée de SO₂ correspond à la valeur-limite tolérée par les directives suisses de 1964; la concentration la plus basse est déjà atteinte ou même dépassée par la moyenne mensuelle hivernale dans les agglomérations suisses.

Des symptômes apparurent à 0,2 ppm après une exposition durant plus de deux mois, à 0,1 ppm après plus de 6 mois et quelques plantes moururent à la concentration la plus élevée après 9 mois.

Des examens physiologiques ont été effectués après 9 mois d'exposition au SO₂. Ils ont révélé que les aiguilles apparemment saines de l'année précédente (les plus jeunes) présentaient une activité très accrue de la peroxydase, enzyme désintoxicante, ainsi qu'un amoindrissement de la capacité tampon aux variations du pH.

Ces résultats signifient que les émissions de gaz de l'expérience sont une charge pour les plantes, qui conduit à la longue à un affaiblissement de la résistance (vitalité).

Si la forêt suisse veut être protégée efficacement contre les dégâts causés par les émissions de SO₂, il faut se dépêcher de modifier les valeurs-limites de SO₂ en vigueur actuellement (compléter par les valeurs basses mais agissant sur de longues périodes; renoncer aux valeurs plus élevées en hiver).

Traduction: *L. Froidevaux*

Literatur

- Bucher, J. B.*, 1975: Zur Phytotoxizität der nitrosen Gase. Eine Literaturübersicht. Schweiz. Z. Forstw. 126 (5), 373—391. Auch: Berichte EAFV Nr. 140
- Bundesminister des Innern*, 1974: Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft-TA Luft) vom 28. Aug. 1974. G. M. Bl. Nr. 24
- Eidg. Kommission für Lufthygiene*, 1965: Richtlinien zur Beurteilung von Schwefeldioxyd-Immissionen. Bull. Eidg. Gesundheitsamt, Beilage B 2/1965, 3. Apr. 1965
- Flückiger, W.*, 1975: Der Einfluss aufgesprühter Bleilösungen auf physiologische Prozesse bei *Ricinus communis* L. Berichte EAFV, Nr. 142
- Grill, D.*, 1971: Pufferkapazität gesunder und rauchgeschädigter Fichtennadeln. Z. Pflzkrankh. 78 (10), 612—622
- Guderian, R., van Haut, H.*, 1970: Nachweis von Schwefeldioxid-Wirkungen an Pflanzen. Staub-Reinh. Luft 30 (1), 1—10
- Hess, W., Glogg, P.*, 1973: Schwefeldioxid-Bestimmung in der Stadt Zürich. In «Jahrbuch f. Umweltschutz 1973», p. 94—107, Keller-Verlag, Luzern
- Högger, D.*, 1966: Bestimmung und Beurteilung des Schwefeldioxydgehaltes der Atmosphäre. Bull. Eidg. Gesundheitsamt, Beilage B 4/1966, p. 21—47
- Keller, Th.*, 1965: Über den winterlichen Gaswechsel der Koniferen im schweizerischen Mittelland. Schweiz. Z. Forstw. 116 (9), 719—729
- Keller, Th.*, 1974: Verkehrsbedingte Luftverunreinigungen und Vegetation. Garten und Landschaft 84 (10), 547—550. Auch: Berichte EAFV, Nr. 132
- Keller, Th.*, 1976: Der Einfluss von Schwefeldioxid als Luftverunreinigung auf die Assimilation der Fichte. Beiheft zur Schweiz. Z. Forstw. (im Druck)

- Keller, Th., Schwager, H.*, 1971: Der Nachweis unsichtbarer («physiologischer») Fluor-Immissionsschädigungen an Waldbäumen durch eine einfache kolorimetrische Bestimmung der Peroxidase-Aktivität. *Europ. J. Forest Pathol.* 1, 6—18
- Knabe, W.*, 1970: Kiefernwaldverbreitung und Schwefeldioxid-Immissionen im Ruhrgebiet. *Staub-Reinhalt. Luft* 30 (1), 32—35
- Linzon, S. N.*, 1966: Damage to Eastern white pine by sulfur dioxide, semimature tissue needle blight, and ozone. *J. Air Poll. Contr. Assoc.* 16, 140—144
- Martin, W., Keller, Th.*, 1974: Über den Einfluss verunreinigter Stadtluft auf die Vegetation. *Umwelthygiene* 25 (10), 221—227. Auch: Berichte EAFV, Nr. 134
- Morkowski, J., Jutzi, W.*, 1974: Emissionskataster für Schwefeldioxid für das Gebiet der Schweiz und Liechtensteins für das Jahr 1970. EMPA Dübendorf, 37 pp.
- Pospišil, B.*, 1974: Eröffnungsansprache an der Internat. Konferenz forstlicher Rauchschaden-Sachverständiger, Mariánské Lázně, 14. 10. 74
- Ranft, H.*, 1965: Empfehlungen zur Wirtschaftsführung in Rauchschadengebieten. Beilage zu *Sozialist. Forstwirtsch.* 15, Heft 12
- Reinker, D., Leuppi, F.*, 1975: Emissionskataster für Schwefeldioxid für die Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt für das Jahr 1970. Amt f. Lufthygiene, Liestal, 19 pp.
- Schröder, J.*, 1872: Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen. *Tharander Forstl. Jb.* 22, 185—239
- Schröder, J.*, 1873: Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen. *Tharander Forstl. Jb.* 23, 217—267
- Stöckhardt, A.*, 1850: Über die Einwirkung des Rauches der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation. *Polytechn. Centralbl.* (Zitiert nach Haselhoff, E., und Lindau, G., 1903. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. *Bornträger*, Leipzig, 412 pp.)
- Stöckhardt, A.*, 1853: Untersuchung junger Fichten und Kiefern, welche durch den Rauch der Antonshütte krank geworden. *Jb. königl. sächs. Akad. Forst- u. Landwirthe Tharandt* 9, 169—172
- Stöckhardt, A.*, 1871: Untersuchungen über die schädliche Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf das Wachsthum der Pflanzen, insbesondere der Fichte und Tanne. *Tharander Forstl. Jb.* 21, 218—254
- US Dept. Health, Education, and Welfare*, 1970: Air Quality Criteria for Sulfur Oxides. Washington, D. C. 2. Druck, p. 59—69
- Wentzel, K. F.*, 1968: Empfindlichkeit und Resistenzunterschiede der Pflanzen gegenüber Luftverunreinigung. In «Air Pollution», p. 357—370, Wageningen