Zum Nachweis einer Umweltbelastung durch Luftverunreinigungen

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **133 (1982)**

Heft 10

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-764949

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

Zum Nachweis einer Umweltbelastung durch Luftverunreinigungen

Von *Th. Keller,* EAFV, CH-8903 Birmensdorf Oxf.: 181.45

Die Pflanzendecke reagiert oftmals empfindlicher auf Luftverunreinigungen als der Mensch. Daher soll sie zum Schutze des Menschen vermehrt herangezogen werden, um eine Belastung unserer Umwelt anzuzeigen. Dabei besteht jedoch eine Unsicherheit betreffend der Ausdrücke «Bioindikator», «Bioindikation» und «Biomonitor». Wie der Ausdruck «Bio» andeutet, geht es stets um eine Beziehung zum Leben; im vorliegenden Falle soll dieser Bezug zum Leben durch Pflanzen sichergestellt werden. Bei den *Bioindikatoren* geht es um Pflanzen als Anzeiger einer Belastung, wobei in der Regel von blossem Auge sichtbare Symptome einer Schädigung für den Belastungsnachweis verwendet werden. Bei den *Bioindikationen* steht die Anzeige einer Belastung und Wirkung durch eine nicht augenfällige pflanzliche Reaktion im Vordergrund des Interesses, wobei die Wirkung vor allem in dem Bereich nachweisbar sein soll, in dem das unbewaffnete Auge noch nichts wahrnehmen kann. Der Ausdruck *«Biomonitor»* schliesslich, der sich vor allem im englischen Sprachgebrauch breitzumachen beginnt (*Manning* und *Feder,* 1980), soll dann gebraucht werden, wenn ein sichtbar reagierender Bioindikator auch noch quantitative Angaben bezüglich der wirkenden Dosis (Konzentration x Zeitdauer) machen kann.

Aus den vorangegangenen Ausführungen ist bereits ersichtlich geworden, dass es verschiedene Kategorien von Schädigungen durch Luftverunreinigungen gibt. Es werden drei Gruppen unterschieden, wie aus der schematisierten *Abbildung 1* hervorgeht. Im Bereich der chronischen Schädigung liegt die Trennung zwischen den von blossem Auge nicht wahrnehmbaren und den augenscheinlichen, sichtbaren Schädigungen.

Akute Schädigungen der Vegetation (Lebewesen) treten dann auf, wenn hohe Konzentrationen schädigender Stoffe während relativ kurzer Zeit einwirken können, wie das zum Beispiel bei Betriebsunfällen der Fall ist. Das Entgiftungsvermögen der Pflanze ist rasch überfordert, und es kommt zu sichtbaren Schädigungssymptomen, wie abgestorbenen Zellenkomplexen

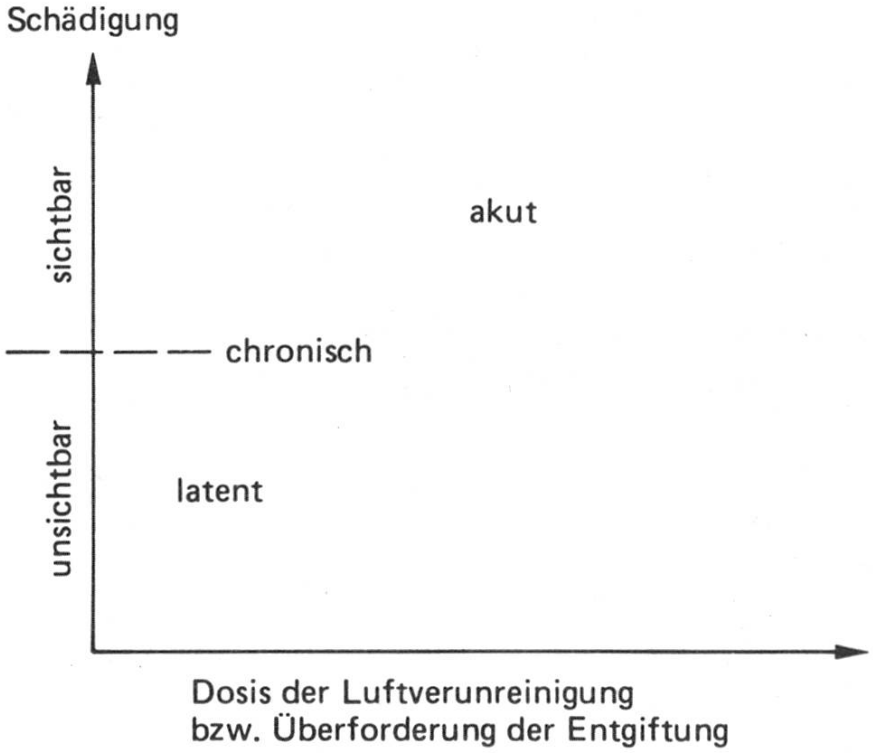

Abbildung 1. Schematische Darstellung der Schädigungskategorien in Abhängigkeit von Luftverunreinigungsdosis und Sichtbarkeit.

(vergleiche *Abbildung 2,* rechts; Blattrandnekrosen, abgestorbene Flecken auf der Blattspreite oder Zurückdorren der Koniferennadeln von der Spitze her), vorzeitigem Blattfall oder gar abgestorbenen Pflanzen (*Abbildung 3,* rechts). Dem Absterben gehen in der Regel Verfärbungen voraus wie Chlo-

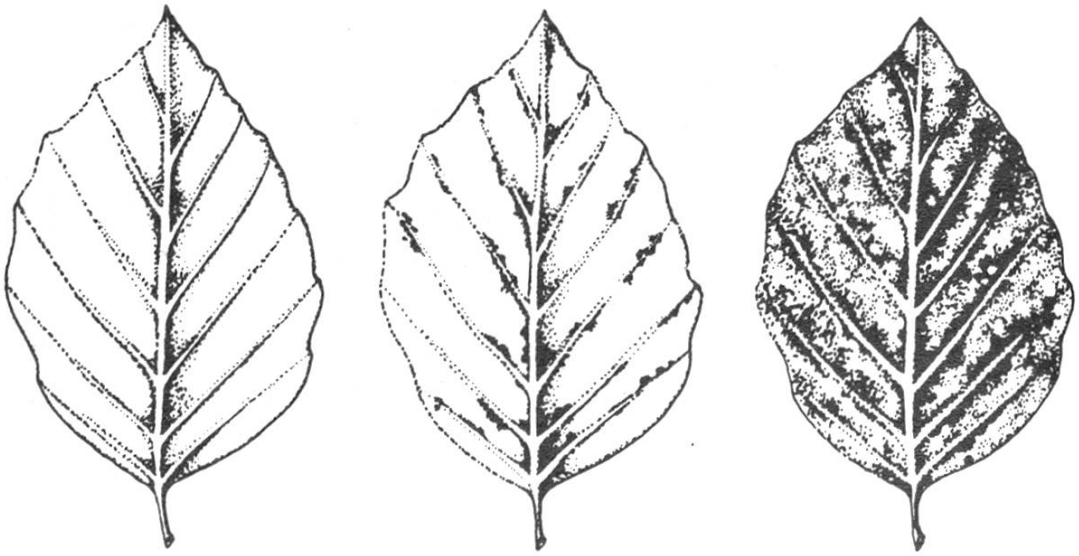

Abbildung 2. Zeichnerische Darstellung der Entwicklung sichtbarer Schädigungssymptome. Die Blätter dieser Buche wurden etwa $3^1/_2$ Wochen lang kontinuierlich mit 0,05 ppm (~ 130 µg SO_2/m^3 Luft) SO_2 begast. Das Blatt links sieht noch völlig normal aus, während im mittleren Blatt bereits einzelne schwarze Flecken auf der Spreite das Vorhandensein einer Belastung anzeigen (chronische bis akute Schädigung sichtbar). Das Blatt rechts zeigt bereits eine starke Fleckung der Spreite mit vielen abgestorbenen (nekrotisierten) Zellenkomplexen (Farbtönungen von gelbbraun bis schwarz; akute Schädigungssymptome). (Zeichnung *M. Novotná*)

rosen (Ausbleichung durch Zersetzung von Blattgrün) oder Braunfärbungen (Ausfällung von Gerbstoffen) usw.

Chronische Schädigungen sind in der Regel die Folge von langwirkenden, relativ niedrigen Konzentrationen von Schadstoffen, welche unter Umständen auf die Dauer das Entgiftungsvermögen der Pflanze nicht nur belasten, sondern überfordern. Da sichtbare Schädigungen nicht in jedem Falle auftreten, werden die «unsichtbaren», latenten Schädigungen manchmal dazugezählt. Sichtbare Schädigungen erscheinen oft wie die Vorboten akuter Schädigungen als Chlorosen usw. (vergleiche *Abbildung 2,* Mitte). Der Mangel an zur Verfügung stehenden Photosynthese-Produkten kann sich dagegen äussern in kleineren oder weniger häufigeren Zweigen, Blättern, Nadeln (vergleiche *Abbildung 3,* Mitte), aber auch in geringerem Wachstum von Wurzel oder Spross (Jahrringbreite!).

Abbildung 3. Buchen, welche im Vorjahr während einiger Wochen mit SO_2 begast worden waren. Links: normale Nullprobe. Mitte: die Begasung mit 0,1 ppm SO_2 (~ 260 $\mu g/m^3$) hatte die CO_2-Aufnahme beeinträchtigt. In der Folge wurden weniger und kleinere Blätter ausgebildet (chronische Schädigung). Rechts: die Begasung mit 0,2 ppm SO_2 hatte zum Tod der Pflanze (nach akuter Schädigung) geführt. *(Fotodienst EAFV)*

Die latenten Schädigungen (*Keller,* 1977) schliesslich liegen ganz im unsichtbaren Bereich und sind in der Regel nur durch biochemische oder physiologische Methoden nachzuweisen. Obwohl sich die Biologen darüber im klaren sind, dass schon vor dem Sichtbarwerden von Symptomen «etwas

passiert», wird diese Kategorie oft nicht beachtet oder gar negiert. Gerade für den Nachweis der latenten Schädigungen sind die Bioindikationen sehr wichtig. Sie haben daher für unsere Forstwirtschaft mit der gesetzlich vorgeschriebenen Walderhaltungspflicht die besondere Bedeutung der Vorwarnung einer wirkenden Belastung. Das Entgiftungsvermögen der Pflanze ist zwar belastet, aber noch nicht so überfordert, dass es zur Ausbildung sichtbarer Symptome einer Schädigung kommt.

Einige Pflanzen werden relativ oft als Bioindikatoren verwendet, und zwar vor allem in zwei Fällen (vergleiche auch *Abbildung 4):*

a) Pflanzen, welche auf niedrige Konzentrationen bestimmter Luftverunreinigungen mit deutlich sichtbaren Symptomen reagieren (typische Bioindikatoren), und
b) Pflanzen, welche bestimmte Luftverunreinigungen in ihrem oberirdischen Gewebe speichern und das mindestens zeitweise Vorhandensein dieser Stoffe durch chemische Analysen nachweisbar machen. In der Regel ist dann von blossem Auge keine pflanzliche Reaktion feststellbar. Meist ist ja das Vorhandensein eines Stoffes auch noch kein Beweis für eine toxische Belastung oder Beeinträchtigung der Vegetation. Das Vorhandensein alleine beweist in der Regel keine Wirkung, wohl aber eine Belastung, wenn sie das ortsübliche Ausmass übersteigt. So ist zum Beispiel der standortsbedingte, «ortsübliche» Chloridgehalt in Laub sehr unterschiedlich: in einem Windschutzstreifen in Meeresnähe (salzige Luft) kann er im Vergleich zu einem Windschutzstreifen bei uns das Mehrfache betragen. Wenn bei uns zufolge einer chloremittierenden Anlage der Chloridgehalt im Laub ansteigt, so wird man von einer Belastung der Vegetation sprechen, auch wenn keine Schadsymptome auftreten.

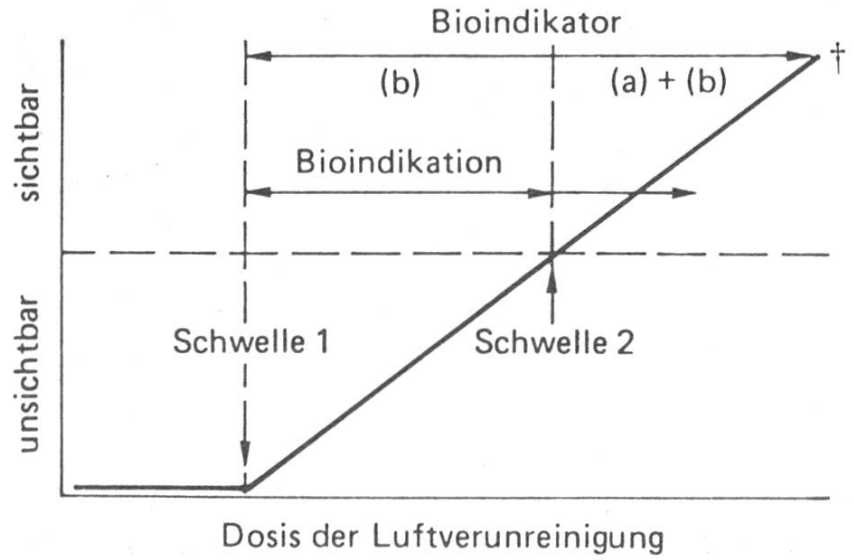

Abbildung 4. Schema der Beziehungen zwischen Bioindikator und Bioindikation. Die Beeinflussung der Pflanzenreaktion durch die Dosis der Luftverunreinigung.

Man muss sich jedoch bewusst sein, dass der Verwendung von Bioindikatoren der Nachteil einer allzu starken Bewertung des Auftretens sichtbarer Symptome anhaften kann. Die Welt wird dann dort als «heil» betrachtet, wo die Pflanzen keine sichtbaren Zeichen einer Schädigung aufweisen. So existieren mehrere Farbtafelatlanten, welche für verschiedene Pflanzenarten und Luftverunreinigungen Symptome zeigen (zum Beispiel *van Haut* und *Stratmann,* 1970; *Jacobson* und *Hill,* 1970; *Malhotra* und *Blauel,* 1980; für Fluor vergleiche Keller, 1975). Wir müssen aber daran denken, dass die Pflanzen im Bereich der sichtbaren Schädigung nur über eine begrenzte Ausdrucksfähigkeit verfügen. Verschiedene Faktoren können daher sehr ähnliche oder gleiche Chlorosen (Ausbleichungen) oder Nekrosen (abgestorbenes Gewebe) verursachen. So können auch die Symptome «typisch», aber nicht spezifisch sein; zum Beispiel können Blattrandnekrosen im Bereiche eines Fluoremittenten als «typische» Fluorsymptome betrachtet werden, obwohl auch Frost, Trockenheit usw. gleiche – und daher nicht spezifische – Nekrosen bewirken können.

Während es bei den Bioindikatoren in erster Linie um das Manifestwerden von Symptomen (Fall a), in zweiter Linie um die Verwendung der chemischen Blattanalyse (Fall b) geht, steht bei den Bioindikationen die pflanzliche Reaktion als Ausdruck einer Wirkung der Luftverunreinigungen auf Lebewesen im Vordergrund. Dabei soll vor allem der unsichtbare, «latente» Bereich (Keller, 1977) einer pflanzlichen Schädigung berücksichtigt werden. Bioindikationen sind in der Regel Ergebnisse physiologischer oder biochemischer Untersuchungen. Wichtig sind aber auch Zuwachs, Ertrag, Vitalitätsveränderungen, Krankheitsanfälligkeit usw.

Wie bei den Bioindikatoren sind die Randbedingungen ausserordentlich wichtig. Unter diesen Randbedingungen sind die verschiedensten äusseren Faktoren (wie zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, Nährstoffangebot, Konkurrenz, Immissionssituation usw.) und inneren Faktoren (zum Beispiel Erbanlagen, Wasserhaushalt) zu verstehen.

In *Abbildung 4* wird versucht, den Zusammenhang zwischen Bioindikator und Bioindikation bildlich darzustellen. Wohl werden beide im Bereich der sichtbaren wie der unsichtbaren Schädigung eingesetzt. Bei den Bioindikatoren kann im Bereich der unsichtbaren Schädigung jedoch nur die meist nicht wirkungsbezogene Akkumulation (Fall b) mit Hilfe der chemischen Analyse erfasst werden (vergleiche auch *Abbildung 5,* links). Der Bereich der unsichtbaren, latenten Schädigung ist jedoch gerade für die Bioindikation äusserst wichtig. *Abbildung 4* zeigt aber auch, dass bereits unterhalb der Schwelle 1 eine «normale» pflanzliche Reaktion zu erwarten ist. Erst bei Überschreiten von Schwelle 1 ist von einer unsichtbaren, latenten Schädigung zu sprechen; bei Überschreiten der Schwelle 2 treten sogar sichtbare Schädigungen auf. Angesichts der zahlreichen Faktoren, welche eine pflanzliche Reaktion beeinflussen, ist allerdings nicht mit scharfen Schwellen zu rechnen, sondern

vielmehr mit Schwellenbereichen. Dies wird ja gerade bei Schwelle 2 und der Verwendung sichtbarer Schädigungen an Bioindikatorpflanzen deutlich: je empfindlicher eine Pflanze (Art, Sorte), desto mehr verschiebt sich die Schwelle 2 nach links!

Von den drei graphischen Darstellungen der *Abbildung 5* zeigt die Kurve links die Fichte als Bioindikator am Beispiel des relativen S-Gehaltes in den Nadeln. Durch die 3monatige kontinuierliche SO_2-Begasung nahm der S-Gehalt der Nadeln über den «ortsüblichen» Gehalt hinaus zu und zeigt somit eine Belastung der symptomlosen Fichten an. Der Nachweis einer Wirkung dieser Begasung, eine pflanzliche Reaktion also, war dagegen nur durch eine Bioindikation möglich. Die mittlere und die rechte Kurve von *Abbildung 5* sind daher Bioindikationen gewidmet: an denselben Pflanzen und im gleichen Zeitpunkt wurden zum Beispiel die relative CO_2-Aufnahme, die Grundlage der Stoffproduktion, und die relative Aktivität der Peroxidase gemessen, eines Enzyms also, das mit der Alterung und Entgiftungstätigkeit zunimmt.

Beim Arbeiten mit Bioindikatoren und Bioindikationen besteht die sauberste – und oft auch einzige – Lösung in einer möglichst guten Standardisierung sowohl der Pflanzen als auch ihrer «Exposition». Unter Exposition sei hier verstanden, wie die Pflanze ihrer Umwelt ausgesetzt wird, die sich in

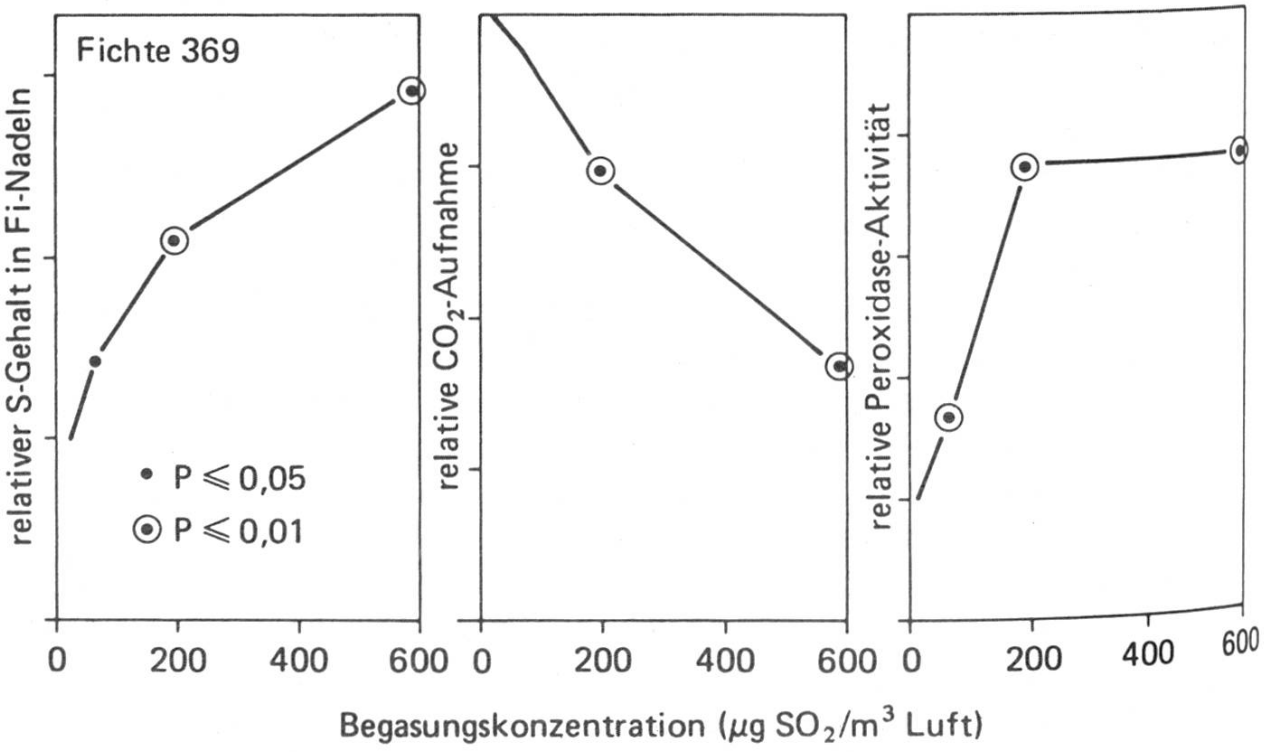

Abbildung 5. Der Einfluss einer 3monatigen (Oktober bis Dezember) SO_2-Begasung auf Fichtennadeln (jeweils 10 Wiederholungen pro Behandlung; statistische Sicherung mit dem u-Test von Wilcoxon et al.). Links: der S-Gehalt der normalgrünen Nadeln als Bioindikator. Mitte: die relative CO_2-Aufnahme/Spross als Bioindikation. Rechts: die relative Aktivität des Entgiftungs- und Alterungsenzyms Peroxidase als Bioindikation.

den verschiedensten Randbedingungen (siehe oben) äussert. Von den «inneren» Faktoren sei hier nur auf die Erbanlagen hingewiesen. Allzuoft werden beim Arbeiten mit Forstpflanzen gemischterbige, generativ vermehrte Pflanzen (zum Beispiel Sämlinge) verwendet (oft ohne die nötige Anzahl der Wiederholungen). Gerade für typische Bioindikatorpflanzen werden dagegen zum Beispiel für Ozon die reinerbige Tabaksorte Bel W3 oder für Fluorid die Gladiolensorte «snow princess» vorgeschrieben. Daher haben wir versuchsweise drei verschiedene Fichtenklone gleich und gleichzeitig während acht Wochen mit der in Industrieagglomerationen realistischen Konzentration 0,05 ppm SO_2 (~ 130 μg SO_2/m^3 Luft) begast und periodisch die CO_2-Aufnahme als Bioindikation gemessen *(Abbildung 6)*. Dabei zeigte es sich, dass sich die drei Klone unterschiedlich verhielten: Ein Klon reagierte auch nach acht Wochen noch nicht, während ein anderer Klon schon nach zwei Wochen eine statistisch gesichert verminderte CO_2-Aufnahme aufwies und nach acht Wochen sogar sichtbare Symptome einer

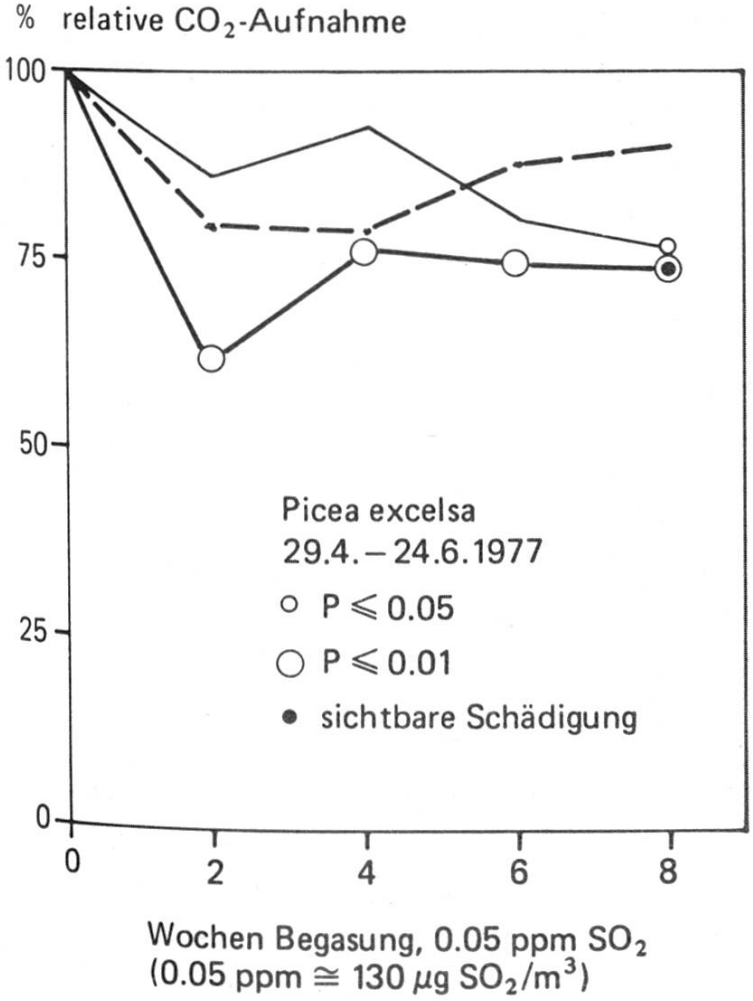

Abbildung 6. Die Einwirkung einer mehrwöchigen SO_2-Begasung auf die relative CO_2-Aufnahme von drei Fichtenklonen (jeweils 5 Wiederholungen/Wert).

Schädigung zeigte. Der dritte Klon verhielt sich intermediär und offenbarte nach acht Wochen zwar statstische Signifikanz der Einbusse der CO_2-Aufnahme, aber noch keine sichtbaren Symptome.

Von den vielen äusseren Faktoren, welche die Pflanzenreaktion beeinflussen, sei hier nur das Beispiel des Nährstoffangebots aufgeführt. Es wird ja oft darauf hingewiesen, dass zum Beispiel eine gute Stickstoffversorgung die Widerstandskraft der Pflanze erhöhe, indem das reichliche Stickstoffangebot trotz Schadstoffaufnahme eine Regeneration der Pflanze durch neue Assimilationsorgane erlaube. Andererseits wurde gezeigt, dass die Pflanzen bei N-Mangel die Spaltöffnungen schliessen und damit die Schadstoffaufnahme vermeiden können, was eine Resistenzerhöhung bedeuten würde. So enthält die Düngungsliteratur manche Widersprüche in bezug auf die Immissionsresistenz. Mir scheint es daher angezeigt, an die Stelle des menschlichen Gesichtspunktes der ökonomischen Produktion die ökologischen Bedürfnisse der Pflanze zu ihrem Gedeihen in den Vordergrund zu rücken. So wurden die Fichtensämlinge von *Abbildung 7* zum Teil mit einem Mykorrhiza-Inokulum versehen, um die Ernährung zu harmonisieren; dies in der Annahme, eine harmonische Ernährung erhöhe die Widerstandskraft gegenüber SO_2. Bei genügendem S-Angebot aus dem Boden wird der S-Gehalt der Pflanze weitgehend durch das SO_2 der Luft bestimmt. Daher wurde in *Abbildung 7* die mehrmonatige SO_2-Begasung durch den S-Gehalt der Pflanzen charakterisiert (Abszisse).

Bei den Pflanzen von Abbildung 7 wurden die Nadeln zwar von der Spitze her chlorotisch, sie wurden aber nicht nekrotisiert. Es wurde folgende Bonitierung verwendet:

1 normal,
2 weniger als 5 % der Nadeln bis zu 2 mm chlorotisch,
3 weniger als 5 % der Nadeln über 2 mm chlorotisch,
4 bis 35 % der Nadeln bis zu 2 mm chlorotisch,
5 36 – 65 % der Nadeln bis zu 2 mm chlorotisch,
6 bis 35 % der Nadeln über 2 mm chlorotisch,
7 36 – 65 % der Nadeln über 2 mm chlorotisch,
8 über 65 % der Nadeln bis zu 2 mm chlorotisch,
9 über 65 % der Nadeln über 2 mm chlorotisch.

Aus *Abbildung 7* geht hervor, dass die inokulierten Fichten (+ I) bei gleichem oder leicht erhöhtem S-Gehalt einen geringeren Schädigungsindex aufwiesen. Die Widerstandskraft der Fichten wurde durch die Inokulation offenbar leicht gesteigert, obwohl die SO_2-Aufnahme – gemessen am S-Gehalt der Pflanzen – offenbar nicht gedrosselt wurde. Vermutlich konnten die mit dem Mykorrhiza-Inokulum versehenen Pflanzen besseren Gebrauch vom aufgenommenen SO_2 machen.

Dort wo die Immissionen über einige Zeit mit ungefähr gleichbleibender Wirkung die Pflanzen beeinflussen, wie zum Beispiel am Rande einer stark

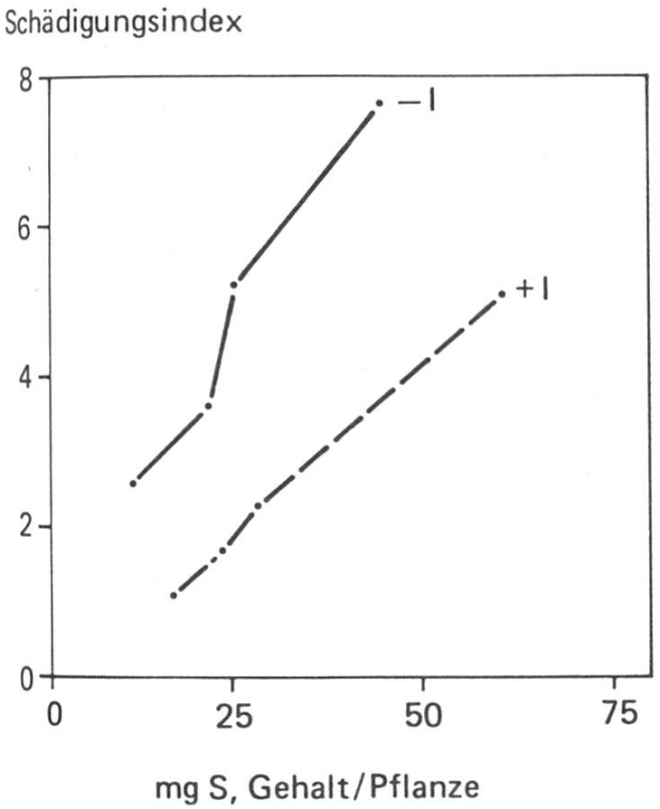

Abbildung 7. Der Einfluss einer mehrwöchigen SO_2-Begasung (ausgedrückt als S-Gehalt/Pflanze) auf den Schädigungsindex von Fichten-Sämlingen mit (+ I) bzw. ohne (– I) Mykorrhiza-Inokulum. (Jeder Wert ist der Durchschnitt von 9 Wiederholungen à 3 Pflanzen.)

befahrenen Strasse, kann auch mit generativen Pflanzenorganen gearbeitet werden. Dies setzt voraus, dass die Pflanzen bzw. Pflanzenteile nur relativ kurz den Immissionen ausgesetzt werden müssen, um deren Wirkung zu erfassen. So wurde Pollenstaub der Schwarzföhre 16 bzw. 24 Stunden mit SO_2 begast. Die Ergebnisse sind in *Abbildung 8* dargestellt und zeigen, dass schon eine 24stündige Einwirkung von 0,025 ppm (~ 65 μg SO_2/m^3) zu einer statistisch gesicherten Verminderung der Pollenkeimkraft führte. Auch wenn in diesem Falle die Befruchtung gesichert wäre, so müssen wir uns doch bewusst sein, dass dieser empfindliche Test bereits eine Einbusse an Erbanlagen andeutet, der besonders dann folgenschwer sein kann, wenn wir uns die ganze Baumpopulation vor Augen halten.

Leider sind die verschiedenen Methoden nicht spezifisch für Luftverunreinigungen, sondern sprechen auf verschiedene Stressursachen an. Ferner erschweren die Feldbedingungen die nötige Standardisierung und verhindern oft eine Reproduktion der Ergebnisse im Laufe der Jahre. Daher ist anzustreben, mehrere verschiedene Methoden zu verwenden, welche eine Wirkung der Luftverunreinigung anzeigen.

Ich danke allen, die mich bei diesen Versuchen unterstützt haben, insbesondere Frau H. Beda, Dr. J. Bucher und Herrn U. Bühlmann. Spezieller

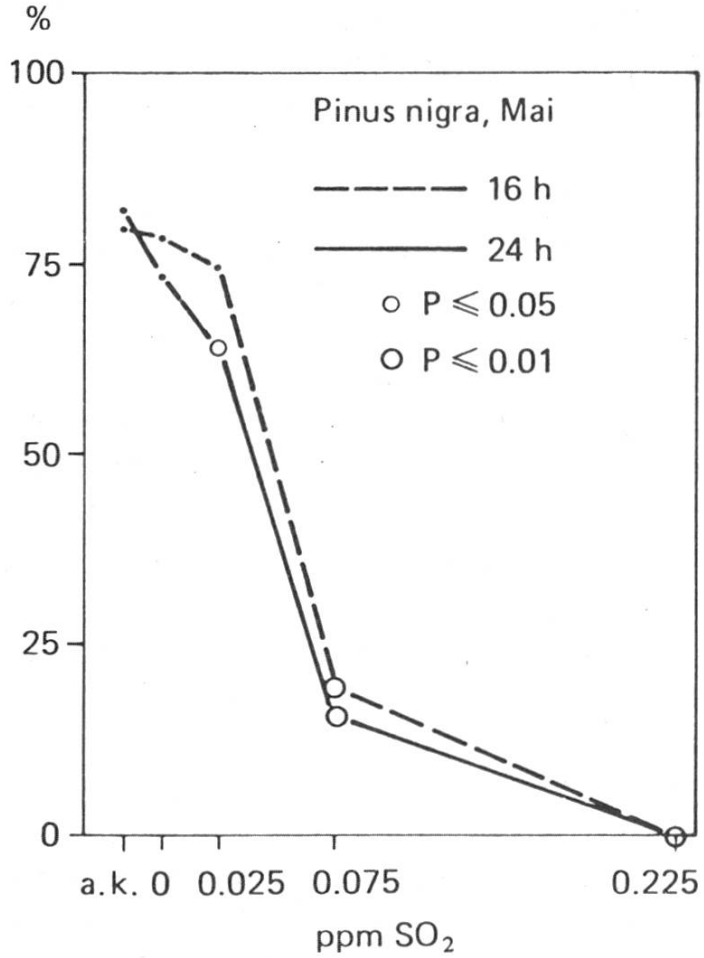

Abbildung 8. Der Einfluss kurzfristiger SO_2-Begasungen bei verschiedenen Konzentrationen auf die Keimkraft von *Pinus nigra*-Pollen (jeder Wert ist der Durchschnitt von 5 Wiederholungen (Bäumen) à 10 Auszählungen. a.K. = ausserhalb der Kabine).

Dank gebührt den Herren Dr. L. Froidevaux und R. Amiet für Bereitstellung und Abgabe des Mykorrhiza-Inokulums. Der Dank gilt aber auch der ganzen Infrastruktur der EAFV sowie aufbauender Kritik durch die Herren Drs. H.M. Keller, F.H. Schwarzenbach und E. Surber.

Résumé

A propos de la détection des polluants atmosphériques dans l'environnement

L'homme a de plus en plus recours aux plantes dans sa lutte contre les pollutions atmosphériques, car elles y sont souvent plus sensibles que lui. Les dégâts occasionnés peuvent être aigus, chroniques ou latents *(figure 1)*. Les dégâts aigus affectent la plante à tel point que sa capacité de désintoxication est saturée, ce qui se manifeste par des lésions apparentes (*figure 2,* droite; *figure 3,* droite). Egalement lors de dégâts chroniques, la capacité de désintoxication est souvent surchargée, et des lésions visibles peuvent apparaître (*figure 2,* centre; *figure 3,* centre). Par contre, les dégâts latents ne produisent pas de lésions visibles et c'est pourquoi ils passent souvent inaperçus. Ils sont pourtant, pour le sylviculteur, des indices très importants de l'effet nocif des immissions et ils peuvent en outre être décelés par des bioindications.

Voici quelques précisions au sujet des expressions bioindicateur, bioindication et biomoniteur:

Les plantes en tant que *bioindicateur* ont un spectre d'application relativement étendu, mais on utilise avant tout

a) des plantes particulièrement sensibles à certains polluants atmosphériques, et réagissant par des symptômes visibles (effet),

b) des plantes dont les organes aériens accumulent certains polluants atmosphériques pouvant être décelés par l'analyse des tissus (le plus souvent, seule la présence d'une substance est constatée, sans que la preuve d'un effet toxique puisse être apportée).

Soyons cependant conscients que les plantes présentent une gamme relativement étroite de réactions se manifestant par des lésions visibles et qu'elles réagissent à différents facteurs par des symptômes semblables ou très proches les uns des autres. En outre, on a tendance à considérer que là où les symptômes sont absents, tout va pour le mieux dans le meilleur des mondes.

Les *bioindications* doivent en tout cas permettre de déceler *l'effet* de polluants atmosphériques, et ceci même dans la phase latente. Plutôt que des effets sur la productivité et sur les facteurs physiologiques ou biochimiques, on doit pouvoir constater des réactions écologiques telles que modifications de la vitalité ou vulnérabilité envers les maladies, etc.

Quant aux *biomoniteurs,* ils doivent en plus fournir des informations quantitatives sur les dégâts visibles provoqués par la pollution atmosphérique. La très grande multiplicité des facteurs modifiant les conditions d'essai (température, humidité de l'air, nutrition, patrimoine génétique, concurrence, émanations, etc.) est la cause de grandes complications et rend nécessaire une standardisation aussi bien du matériel végétal que des modalités d'expositions aux substances à tester.

Les *figures 4* et *5* illustrent les relations existant entre bioindicateurs et bioindications, tandis que la *figure 6* démontre comment le patrimoine génétique (facteur interne) modifie l'assimilation du CO_2 de trois clones d'épicéa. La *figure 7* montre à quel point l'inoculation mycorrhizienne artificielle influence l'effet exercé par les substances nutritives disponibles dans le sol (facteur externe) sur la résistance des semis d'épicéa à la toxicité (indice de dégradation). Une nutrition bien balancée a vraisemblablement permis aux plantes de faire meilleur usage du SO_2 prélevé dans l'air.

Même une exposition de courte durée du pollen à des émanations restant longtemps constantes peut déjà influencer sa capacité de germination, et l'effet produit constitue une bioindication sensible *(figure 8)*.

On n'a pas encore trouvé chez les plantes de réaction spécifique aux polluants atmosphériques. En outre, les conditions de plein air empêchent une reproduction des résultats dans le courant de l'année. Il faut donc recourir à plusieurs méthodes différentes pour déceler les effets nocifs.

Traduction: *R. Amiet*

Literatur

Jacobson, J.S., Hill, A.C., 1970: Recognition of air pollution injury to plants: A pictorial atlas. Air Pollut. Contr. Assoc., Pittsburgh.

Keller, Th., 1975: Zur Phytotoxizität von Fluorimmissionen für Holzarten. Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Mitt. *51* (2): 303–331.

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

Malhotra, S.S., Blauel, R.A., 1980: Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms on forest vegetation in western Canada. Edmonton.

Manning, W.J., Feder, W.A., 1980: Biomonitoring air pollutants with plants. Applied Science Publ. Ltd., London.

Van Haut, H., Stratmann, H., 1970: Farbtafelatlas über Schwefeldioxid-Wirkungen an Pflanzen. Girardet, Essen.