

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 124 (1973)

**Heft:** 9

**Artikel:** Über die schädigende Wirkung des Fluors

**Autor:** Keller, T.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-767459>

#### 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:** 17.01.2026

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

## Über die schädigende Wirkung des Fluors

Von Th. Keller, EAFV Birmensdorf

Oxf.: 425.1 : 161.3 : 181.45

Äusserlich sichtbare Symptome einer Schädigung durch Fluor (Stadien zunehmender Schädigung) sind

— bei Laubbaumarten:

«zerknittertes» Aussehen der jungen Blätter; Aufwölben der Blattränder («Löffelform», «Schiffchenform») oder Aufwölben der Blattspreite; Blattrandnekrose;

— bei Nadelbaumarten:

Nadelspitzennekrose, braune Nadeln zwischen den normal grünen Nadeln, eventuell Chlorose; «verbrannte», rotbraune junge Triebe; vorzeitiger Nadelfall — schüttere Krone.

Alle diese Schädigungen der Assimilationsorgane beeinträchtigen die Assimilation, die Grundlage der Stoffproduktion. Dementsprechend leidet nicht nur der Höhenzuwachs (vorwiegend jüngere Bäume), sondern auch der Dickenzuwachs (vorwiegend ältere Bäume, vgl. Abbildung 1). Im Verlaufe der Zeit sterben empfindliche Individuen ab.

Die ausserordentliche Empfindlichkeit der Koniferen bzw. die extreme Giftigkeit der Fluorionen geht aus Abbildung 2 hervor, welche zeigt, dass bei zehntägiger Einwirkungsdauer bereits eine F-Konzentration von weniger als 1  $\mu\text{g}$  (Millionstel Gramm!) pro Kubikmeter Luft (bzw. weniger als 1  $\text{mm}^3$  Flusssäure/ $\text{m}^3$  Luft) genügt, um sichtbare Schädigungen an den Assimilationsorganen hervorzurufen.

Wegen der Langlebigkeit der Bäume sind für die Forstwirtschaft aber auch die «physiologischen Schädigungen» (früher unsichtbare Schäden genannt) von Bedeutung, welche sich in dem Bereich einstellen, in dem zwar äussere Schadensymptome fehlen, die Stoffwechselreaktionen der Pflanze aber bereits gestört sind. Dies kann zu einer Schwächung der pflanzlichen Vitalität führen, so dass der Baum leichter ein Opfer sekundärer Schadensursachen (Dürre, Kälte, Insekten oder Pilzbefall usw.) wird.

Unter dem langjährigen Einfluss der fluorhaltigen Abgase der Aluminiumhütte in Badisch Rheinfelden brechen die Nadelholzbestände des Reviers «Heimeholz» der Ortsbürgergemeinde Rheinfelden zusammen. In der Folge beauftragte das Eidgenössische Volkswirtschaftsdepartement die



Abbildung 1. Jahrringbreite F-beeinflusster Fichten im «Heimeholz» (J, linke Ordinate) und relativer Wasserverbrauch (W) der Gaswaschanlage (Abluftreinigungsanlage) der Aluminiumfabrik (rechter Ordinatenmassstab) für die Jahre 1957 bis 1966.

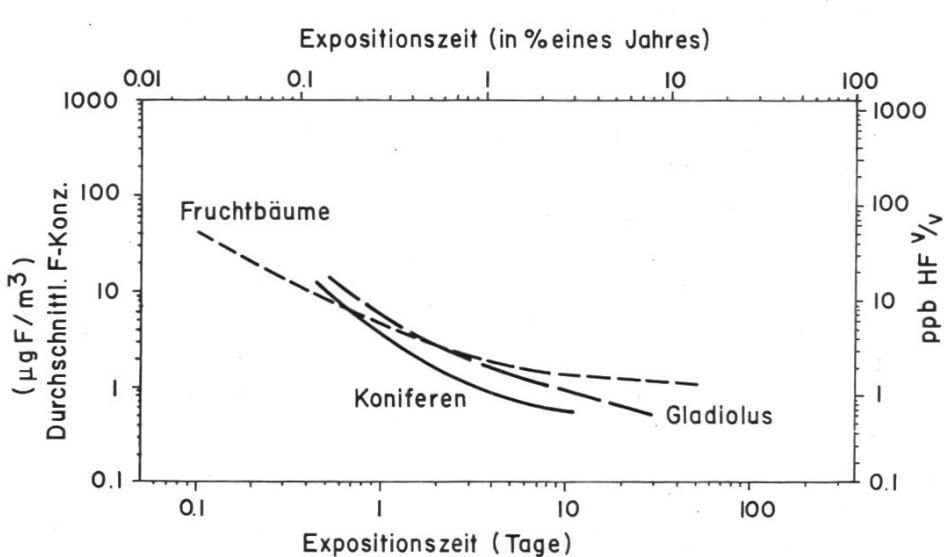
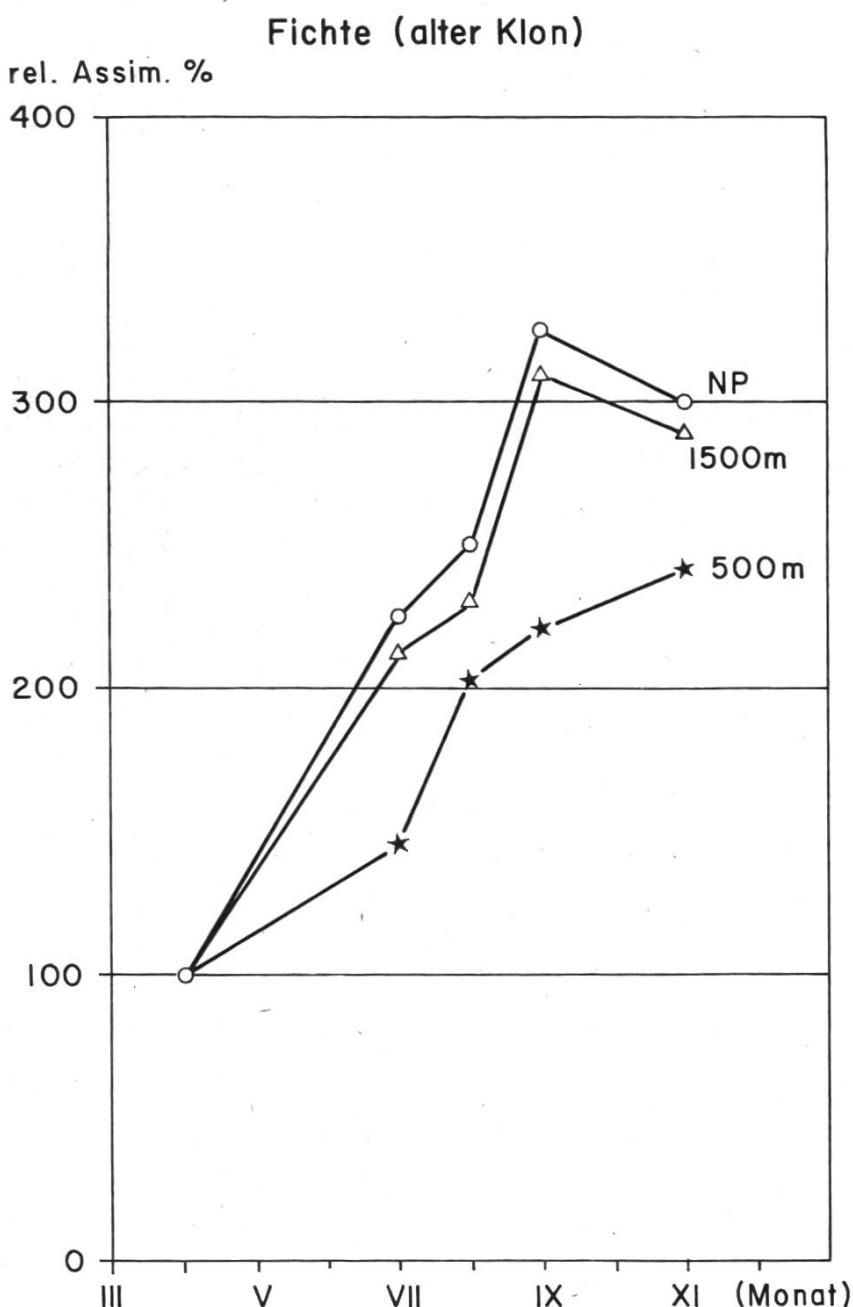


Abbildung 2. Zusammenhang zwischen Immissionsdauer und Konzentration, welche an Koniferen, Gladiolen (hochempfindliche Testpflanzen) und Fruchtbäumen zu Schadensymptomen führen (nach McCune, aus: Fluoride, 1971 von der US National Acad. of Sciences herausgegeben).

EAFV im März 1970, ein Gutachten über die Auswirkungen der Fluorimmissionen auf die Waldbestände im Raum «Heimeholz» auszuarbeiten.

Die Assimilationsleistung ist ein empfindlicher Indikator für die Beeinflussung des pflanzlichen Stoffwechsels durch äußere Faktoren. Aus diesem Grunde wurde die Gaswechselmessung von Versuchspflanzen verschiedener Arten in die Untersuchungen einbezogen, welche der vorerwähnten Expertise der EAFV zugrunde liegen. Diese Versuchspflanzen (zum Teil Stecklinge oder Ppropfungen, um genetische Unterschiede auszuschalten) wurden in ein-



*Abbildung 3.* Jahresgang der relativen Nettoassimilation (Aprilwert = 100 %) eines Fichtenklos in 500 m bzw. 1500 m Entfernung vom Werk bzw. der entsprechenden Nullproben (NP).

heitliche Erde vertopft und in Versuchsflächen mit zunehmender Entfernung von der Aluminiumhütte (500 m, 1000 m, 1500 m und Nullprobe in sauberer Luft) in der Hauptwindrichtung exponiert. Sie wurden periodisch ins Labor geholt für die physiologischen Untersuchungen.

Abbildung 3 zeigt den Jahresverlauf der relativen Nettoassimilation der Versuchspflanzen eines Fichtenklos aus 500 m bzw. 1500 m Distanz vom Werk und aus sauberer Luft (NP = Nullprobe). Die Assimilationsleistung, welche die Pflanzen im April gezeigt hatten, bevor sie den F-Immissionen ausgesetzt worden waren, wurde gleich 100 Prozent gesetzt. Die Vergrösserung des Assimilationsapparates durch die neuen Triebe (Mai—Juni) führte zu einer wesentlich grösseren Assimilationsleistung in den folgenden Monaten. Bei den F-exponierten Pflanzen blieb diese Zunahme aber wesentlich geringer als bei den Nullproben. Obwohl selbst in nur 500 m Entfernung vom Werk kaum Nadelbeschädigungen erkennbar waren, blieb die Assimilationsleistung der dortigen Pflanzen deutlich geringer als jene der Pflanzen in grösserer Entfernung, so dass mit erheblichen Zuwachseinbussen zu rechnen ist.

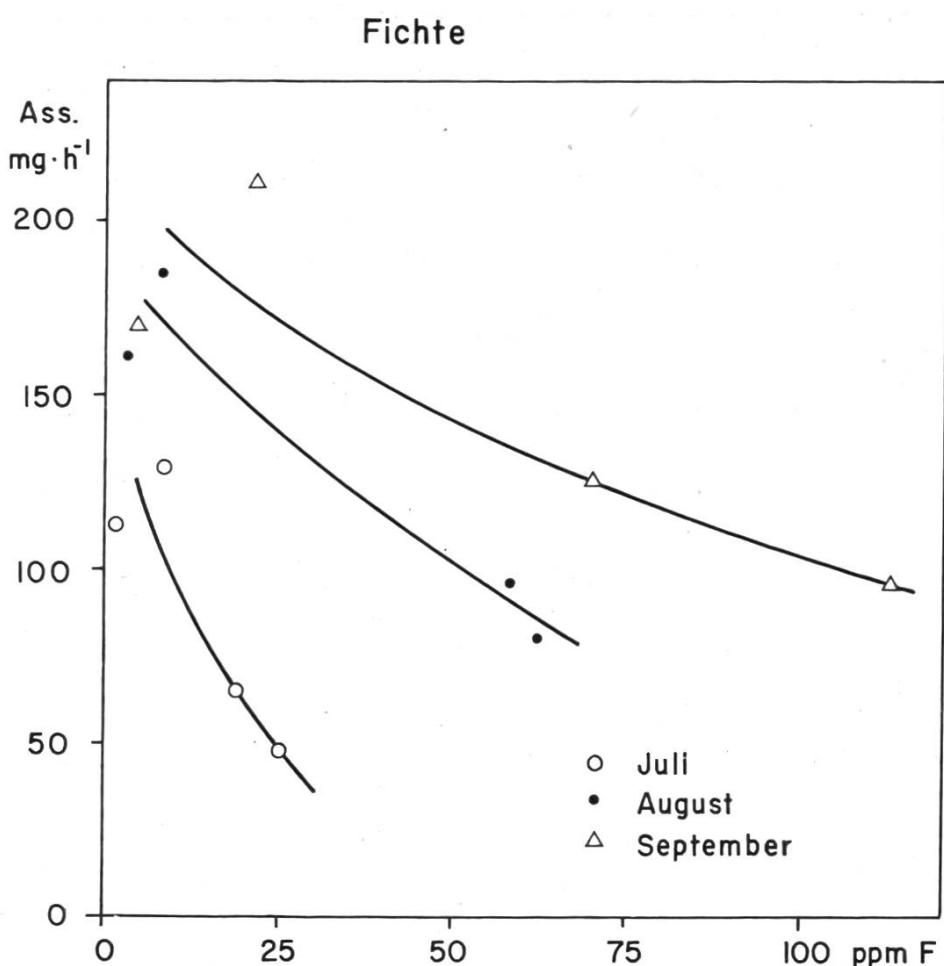


Abbildung 4. Einfluss des F-Gehaltes (ppm = mg F/kg Nadeltrockensubstanz) auf die Nettoassimilation bei Fichte zu verschiedenen Zeitpunkten während der Vegetationsperiode.

Im Bestreben, eine Korrelation zwischen F-Gehalt der Nadeln und Assimilationsleistung zu finden, wurde an zahlreichen Arten die Assimilation als Funktion des F-Gehaltes gemessen (die F-Analysen wurden in verdankenswerter Weise durch die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Bern-Liebefeld, durchgeführt). Dabei zeigte sich für alle Arten übereinstimmend, dass die Assimilationsorgane (Blätter, Nadeln) im Verlaufe der Vegetationsperiode zunehmend unempfindlicher werden für Fluor. Am Beispiel der Fichte zeigt Abbildung 4, wie die Assimilation im Juli mit zunehmendem F-Gehalt der Nadeln viel steiler abfällt als im September und dazu noch bei geringerem F-Gehalt. Da ausser dem Entwicklungszustand der Pflanze auch wesentlich ist, in welcher Form das F vorliegt (als gasförmiges HF oder als relativ inerter Kryolithstaub), und weil ausserdem die individuelle Resistenz jedes einzelnen Baumes eine Rolle spielt, wird leicht ersichtlich, dass es leider keine allgemeingültige Korrelation zwischen F-Gehalt und Assimilation bzw. Zuwachs geben kann.

In Abbildung 5 ist die relative Nettoassimilation einiger Koniferenarten im Frühherbst (September) in Abhängigkeit vom F-Gehalt der Nadeln dargestellt. Als Bezugsbasis wurde jeweils die Assimilation der Nullproben ge-

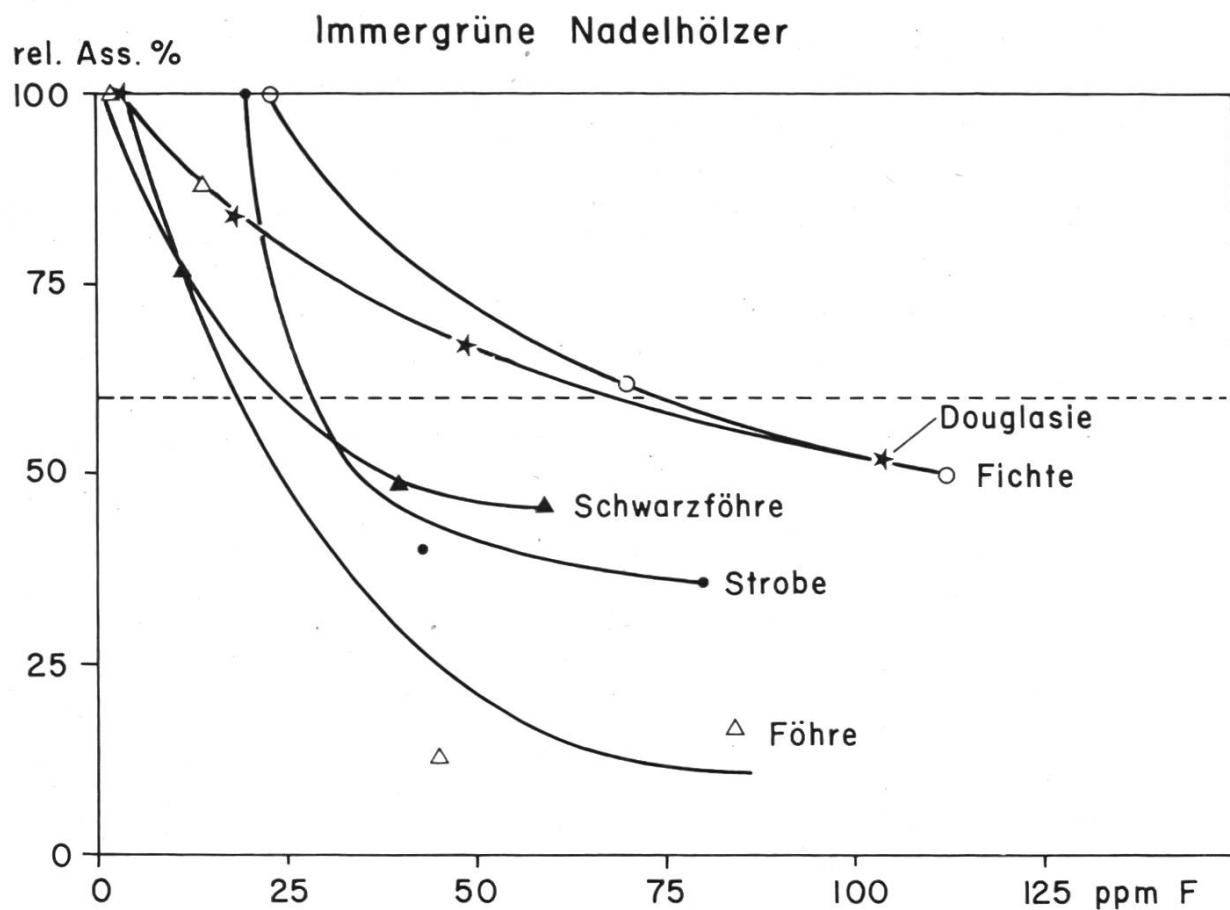


Abbildung 5. Relative Nettoassimilation ( $\text{CO}_2$ -Tagesbilanz) einiger Koniferenarten im Frühherbst in Beziehung zum F-Gehalt der Nadeln (Trockensubstanz).

wählt. Aus Abbildung 5 geht deutlich hervor, dass die untersuchten Föhrenarten (und -provenienzen) sehr F-empfindlich sind und schon bei F-Gehalten unter 30 ppm (mg/kg), welche sonst vielfach als obere Grenze eines noch «normalen» F-Gehaltes gelten, eine starke Assimilationseinbusse erleiden. Demgegenüber erwies sich der eine getestete Fichtenklon und die Douglasie als relativ widerstandsfähig. Die horizontale, gestrichelte Linie gilt als geschätzte Überlebensgrenze. Dort, wo die relative Assimilation unter 60 Prozent der Norm absinkt, ist das Überleben in Frage gestellt. In verschiedenen Versuchen hat sich nämlich immer wieder gezeigt, dass die Atmung von Wurzel und Spross in der Tagesbilanz etwa die Hälfte der Nettoassimilation wieder verausgabt. Die verbleibenden 10 Prozent der Nettoassimilation dürften ein Minimum sein, das die Pflanze für den Neuaufbau des Assimulationsapparates im Frühjahr benötigt; somit müssen der Pflanze also etwa 60 Prozent der normalen Assimilation zur Verfügung stehen, um das Überleben zu ermöglichen.

Neben der Assimilation erwies sich auch die Aktivität der Peroxidase als empfindlicher Indikator einer Stoffwechselveränderung. Die Peroxidase ist ein Enzym, das bei der Verholzung der Zellwände eine Rolle spielt und auch als Entgiftungsenzym wichtig ist. Da die Peroxidase-Aktivität mit dem Ge-

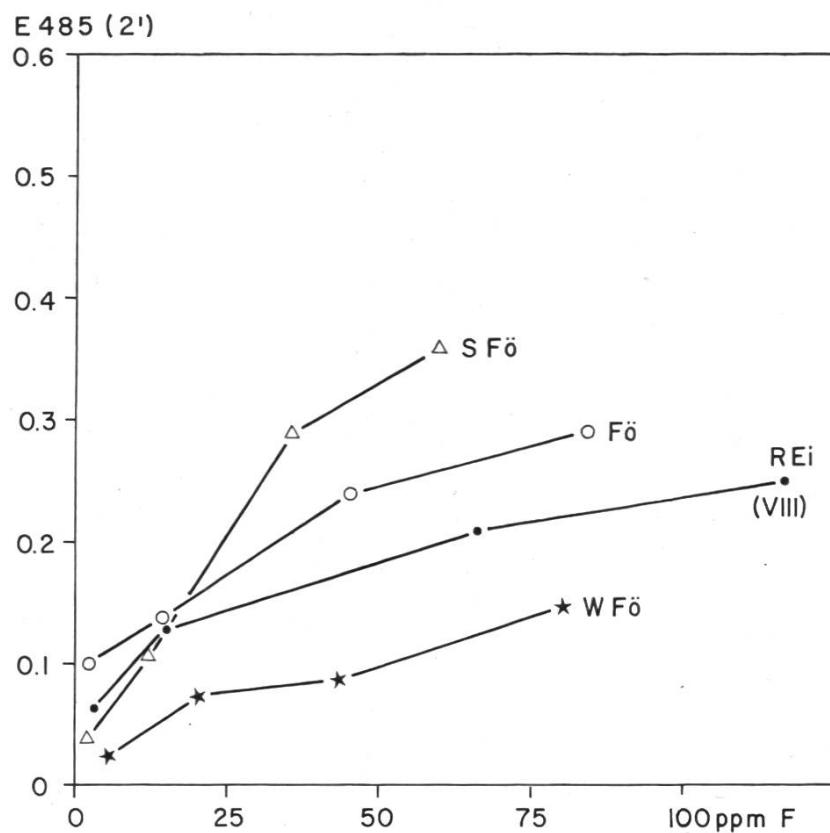


Abbildung 6. Herbstliche Peroxidase-Aktivität der Assimilationsorgane in Abhängigkeit von deren F-Gehalt (Trockensubstanz). SFö = Schwarzföhre, Fö = Waldföhre, WFö = Strobe, REi = Roteiche.

webealter zunimmt, aber ebenso mit steigendem F-Gehalt des Gewebes, liegt es nahe zu vermuten, die F-Immissionen führten zu einer vorzeitigen Alterung des Gewebes. Das verfrühte Einsetzen der Herbstfärbung und der vorzeitige Blatt- und Nadelfall im F-beeinflussten Gebiet unterstützen diese Hypothese. In Abbildung 6 ist die Peroxidase-Aktivität im Oktober (für Rot-eiche: August) in Abhängigkeit vom F-Gehalt aufgetragen. Bei allen Arten zeigt sich eine Aktivitätszunahme mit wachsendem F-Gehalt, und zwar auch schon im symptomlosen Bereich.

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, dass die F-Immissionen den Waldbäumen auch schon in jenem Bereich zuzusetzen vermögen, in dem äußerlich noch keine Symptome einer Schädigung auftreten.

## Résumé

### A propos de l'action nocive du fluor

Après une brève description des symptômes de dommages engendrés par le fluor, l'article est consacré aux dégâts invisibles produits aux plantes forestières, que seules des recherches physiologiques permettent de déceler.

L'assimilation nette en tant que base de la production des tissus végétaux est un indicateur sensible d'une réaction des plantes à la pollution de l'air (fig. 3 et 4). Une perturbation évidente de l'assimilation pouvait être mesurée chez des plantes n'accusant pas ou peu de symptômes visibles. De nombreux facteurs (état de développement des organes d'assimilation, résistance individuelle, activité du composé fluoré) entravent l'élaboration d'une corrélation généralement valable entre teneur F et perte d'assimilation (voire de croissance). Mais on peut dire qu'une essence a peu de chances de survivre si son bilan journalier de CO<sub>2</sub> tombe au-dessous de 60 % de la normale (fig. 5).

L'activité intensifiée de l'enzyme peroxydase (fonctions: lignification de la membrane cellulaire, désintoxication) se révéla également être un indicateur sensible de la réaction de la plante et laisse entrevoir un vieillissement prématué des tissus (fig. 6).

*Traduction: M. N. Frei-Pont*