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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 118 (1967)

**Heft:** 3

**Artikel:** Der Bleigehalt von Fichtennadeln als Indikator einer verkehrsbedingten Luftverunreinigung

**Autor:** Keller, T. / Preis, H.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-764287

**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:** 09.07.2025

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

# Der Bleigehalt von Fichtennadeln als Indikator einer verkehrsbedingten Luftverunreinigung*

Von *Th. Keller* und *H. Preis*

Oxf. 425.1

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, und
Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Dübendorf

## 1. Einleitung und Fragestellung

Im Frühjahr 1966 traten im ostschweizerischen Voralpengebiet in Lagen über etwa 750 m ü. M. chlorotische Verfärbungen an Fichten und Tannen auf. Da sich diese Chlorosen längs der Straße häuften, und zwar vor allem in Steigungen und in der Nähe von Kurven, lag es nahe, zu vermuten, daß es sich bei diesen physiologischen Störungen um Auswirkungen der Auspuffgase von Motorfahrzeugen handeln könnte. Dank amerikanischen Untersuchungen ist ja bereits seit längerer Zeit bekannt, daß derartige Abgase Pflanzenschäden verursachen. Es sei nur auf die Literaturübersicht von Leh (1964) hingewiesen.

Die Auspuffgase enthalten bekanntlich neben großen Mengen der unschädlichen Komponenten $N_2$, $CO_2$ und Wasserdampf auch CO, Kohlenwasserstoffe, wie Äthylen, Aldehyde, nitrose Gase, $SO_2$, Bleiaerosole usw. Der ungünstige Einfluß der Abgase auf Pflanzen ist vermutlich eine Folge der additiven oder gar synergistischen Wirkung der verschiedenen Komponenten. Dabei ist zu beachten, daß sich die Auspuffgase von Diesel- und Benzinmotoren hinsichtlich des Gehaltes einiger phytotoxischer Komponenten wesentlich unterscheiden. Allerdings übt neben der Treibstoffzusammensetzung auch die Fahrweise bzw. Motorbeanspruchung (Leerlauf, Vollgas, Bremsung usw.) einen starken Einfluß aus. Tabelle 1 gibt eine Zusammenstellung der Schwankungsbreite der Konzentration einiger Abgaskomponenten in ppm (1 ppm = part per million = $1:10^6$; $cm^3/m^3$; mg/kg).

*Tabelle 1*

| *Gaskomponente* | *Benzinmotor* [1] | *Dieselmotor* |
|---|---|---|
| $SO_2$ | $\leq 30$ | 60– 400 [2] |
| $NO / NO_2$ | 10–5000 | 200–2800 [3] |
| Aldehyde | 10– 300 | 5– 80 [3] |

[1] nach Brunner (1966 a) [2] nach Brunner (1966 b) [3] nach Hoffmann (1966)

* Auszugsweise an der 5. Internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchschadensachverständiger in Janske Lazne (ČSSR) im Oktober 1966 vorgetragen.

Der Schwefelgehalt der Treibstoffe schwankt in der Schweiz im Bereiche 0,01 bis 0,1 % (Mittel etwa 0,05 %) für Benzin und 0,1 bis 1 % (Mitte etwa 0,4 %) für Dieselöl (Brunner, 1966b). Der in den Auspuffgasen effektiv gemessene $SO_2$-Gehalt ist jedoch geringer als der errechnete, weil ein Teil des Schwefels Verbindungen mit Treibstoffzusätzen eingeht (zum Beispiel Bildung von $PbSO_4$) oder an Rußpartikelchen gebunden wird.

Die im Benzin als Antiklopfmittel beigegebenen Bleialkyle (in der Schweiz bis zu 0,63 g Blei/l, im Durchschnitt 0,45 bis 0,5 g/l) führen dazu, daß die Auspuffgase der Benzinmotoren mehr oder weniger fein verstäubte Bleiverbindungen enthalten, nach Brunner (1966a) bis zu 60 mg/m³. Partikelgröße und Menge hängen jedoch stark von der Fahrweise ab. Durchschnittlich ein Viertel des Bleis wird in Motor, Auspuffsystem und Öl abgelagert. Die übrigen drei Viertel werden fortlaufend ausgepufft, wobei bei konstanter Fahrgeschwindigkeit etwa 75 % eine Korngröße unter 5 $\mu$ besitzen und daher verwirbelt und gasähnlich in der Atmosphäre verteilt werden, während der Rest zufolge seiner Partikelgröße sedimentiert. Die in Verbrennungsraum und Auspuffsystem sich ansammelnden Bleirückstände können sich bei starkem, längerem Beschleunigen und bei hohen Geschwindigkeiten lösen und werden dann in vorwiegend grobkörniger Form ($> 100\ \mu$) zusätzlich ausgestoßen, so daß der gesamte Bleiausstoß dann ein Mehrfaches des im gerade verbrannten Benzin enthaltenen Bleis beträgt.

Auf der Suche nach einem Indikator für die Verschmutzung der Atmosphäre längs Autostraßen stellte sich die Frage, ob der Bleigehalt der Vegetation, besonders der ausdauernden Assimiliationsorgane, hiefür geeignet wäre. Andre und Ganglberger (1960) hatten zwar an der Semmeringstraße durch Barytlappen- und Nadelanalysen erhöhte $SO_2$-Immissionen nachzuweisen vermocht. Die gesteigerten Schwefelgehalte wurden jedoch vor allem im Bereich von Baustellen vorgefunden, wo schwere Baumaschinen mit Dieselmotoren als Hauptemittenten wirkten. Gegenüber der Schwefelgehaltsbestimmung schien die Analyse auf Blei aber aus drei Gründen verheißungsvoller:

1. sind nur etwa ein Zehntel der Fahrzeuge mit Dieselmotoren ausgerüstet, welche erhebliche $SO_2$-Mengen ausstoßen (vgl. Tabelle 1);
2. liegt der Bleispiegel unbeeinflußter Vegetation sehr niedrig, während der Schwefel als lebensnotwendiges Element Promille des Trockengewichtes ausmachen kann;
3. ist Blei, im Gegensatz zu Schwefel, in der Pflanze schwer beweglich. Es werden nur geringe Bleimengen von den Blättern in andere Pflanzenteile abtransportiert (Leh, 1966).

Interessant sind in diesem Zusammenhang jedoch Analysen von Stammholz. Schroeder und Balassa (1961) fanden in verschiedenen Jahrringgruppen einer Allee-Ulme folgende Werte:

| | | |
|---|---|---|
| Wuchsjahre 1900–1910 | 0,12 ppm | (= mg Blei/kg Holz) |
| Wuchsjahre 1940–1947 | 0,33 ppm | |
| Wuchsjahre 1956–1959 | 0,74 ppm | |

Die Zunahme des Verkehrs spiegelt sich in diesen Zahlen erstaunlich gut. Eine ähnliche Bleigehaltszunahme unter schweizerischen Verhältnissen entdeckte Meier* in den Jahrringen von Fichten, welche 1954 aus einer verkehrsfernen Baumschule an eine Durchgangsstraße versetzt worden waren:

| | |
|---|---|
| Wuchsjahre 1948–1951 | 0,3–0,4 ppm |
| Wuchsjahre 1951–1954 | 0,4 ppm |
| Wuchsjahre 1954–1957 | 0,9 ppm |
| Wuchsjahre 1957–1960 | 1,2 ppm |
| Wuchsjahre 1960–1962 | 2,4 ppm (inkl. Rinde) |

Kurz nach Beginn dieser Untersuchung erhielten wir Kenntnis der Arbeiten von Kloke und Riebartsch (1964) und Leh (1966), welche uns in der Absicht bestärkten, dem Bleigehalt Hauptaufmerksamkeit zu schenken. Diese Autoren stellten nämlich in Gräsern und Kräutern längs Autobahnen stark erhöhte Bleigehalte fest und wiesen in offenem Gelände einen Einfluß der Autostraßen bis auf 50 bis 100 m Entfernung nach. Cannon und Bowles (1962) fanden sogar bis in über 200 m Entfernung von Autostraßen gesteigerte Bleigehalte in der Bodenvegetation.

Da für forstlich wichtige Arten keine Unterlagen zur Verfügung standen, entschlossen wir uns, vorerst die Abhängigkeit des Bleigehaltes von Nadelalter und Kronenhöhe zu untersuchen, und zwar an Fichten *(Picea abies* [L.] Karst.), welche an Straßen verschiedener Verkehrsdichte standen. Ferner interessierte uns der Einfluß der Distanz vom Straßenrand auf den Bleigehalt sowie, vom physiologischen Standpunkt aus, die Abwaschbarkeit der Bleiverbindungen und die Gaswechselphysiologie der Nadeln.

## 2. Methodik

### *2.1 Probenahme für die Bleigehaltsbestimmung*

An Straßen verschiedener Verkehrsdichte wurden von randständigen Fichten in verschiedener Kronenhöhe, oft bis zum sechstobersten Wirtel hinauf, Äste abgesägt. Das anfallende Nadelmaterial wurde nach Jahrgängen getrennt und getrocknet. Von den meist etwa 100 g trockenen Nadeln wurden durch Ausvierteln Mischproben gewonnen und letztere gemahlen.

### *2.2 Bleigehaltsbestimmung*

Etwa 4 g des Mahlgutes wurden bei 450 °C bis zur Gewichtskonstanz verascht, was sich dank der lockeren und porösen Struktur der entstehenden Asche in etwa 10 Stunden und ohne Zuhilfenahme von Oxydationsbeschleu-

* Wir danken Herrn Dr. J. Meier vom wissenschaftlichen Dienst der Stadtpolizei Zürich für die Erlaubnis, die bisher unveröffentlichten Ergebnisse in diesem Zusammenhang zu publizieren.

nigern bewerkstelligen ließ. Eine merkliche Verflüchtigung des Bleis erfolgt unter derart milden Bedingungen erfahrungsgemäß nicht (vgl. hierzu: Official and Tentative Methods of Analysis of the U.S. Association of Official Agricultural Chemists, 5th ed., p. 396).

Ein Veraschen der Proben empfahl sich auch aus arbeitsökonomischen Gründen, da man bei einer Zahl von einigen Hundert zu analysierenden Proben weit rationeller trocken verascht als mit oxydierenden Säuren naß mineralisiert. Ebenso arbeitet eine die trockenen Aschen tel quel verwendende spektroskopische Methode bedeutend rascher als eine naß-chemische, etwa nach dem Dithizon-Verfahren. Vorproben hatten ergeben, daß kleinere Bleigehalte als 1 ppm kaum zu erwarten waren, so daß sich auch im Hinblick auf die im allgemeinen geringere Analysengenauigkeit der spektroskopischen Bestimmungsmethoden die Anwendung einer solchen verantworten ließ und nicht mit einem präziseren kolorimetrischen Verfahren gearbeitet werden mußte, wie es im Bereich unter 1 ppm notwendig gewesen wäre.

Die homogenisierte Probenasche wurde mit Kobaltoxid als internem Standard und Graphitpulver im Gewichtsverhältnis 2:1:10 gemischt und das Gemenge spektrographiert (Graphitelektroden, Anregung mit einer intermittierenden Kondensatorentladung von 50 Hz, 1000 V und 3 A, Analysenlinien: Pb 2833,1; Co 2837,1). Als Eichstandarde dienten Mischungen aus Calciumcarbonat mit bemessenen Anteilen an Bleioxid, wobei Calciumcarbonat als Matrix gewählt wurde in Annäherung an die Zusammensetzung der Probenasche, welche zur Hauptsache ebenfalls Calciumcarbonat enthielt. Jede Probe wurde im Triplikat spektrographiert; die drei Einzelwerte wurden ausgemittelt. Die Genauigkeit der Analysenwerte ergab sich für Gehalte kleiner als 10 ppm zu etwa $\pm 0{,}5$ ppm absolut, für größere Gehalte zu etwa $\pm 5\,\%$ relativ.

### *2.3 Bestimmung des Gaswechsels*

Diese erfolgte Anfang August im Labor an Zweigproben, welche am Rand der Hauptstraße Zürich—Bern im Wald zwischen Bremgarten und Wohlen in 1 m und 3 m Höhe geschnitten wurden. Als Nullprobe dienten Zweige aus dem Bestandesinnern, 100 m von der Straße entfernt. Die Zweige wurden sofort nach der Ankunft im Labor soweit in nassen Sand gesteckt, daß nur noch die Triebe der Jahre 1964 bis 1966 sichtbar waren. Diese Triebe wurden dann in eine Plastikküvette eingeschlossen, wie sie andernorts beschrieben und abgebildet ist (Keller, 1966). Der Luftdurchsatz durch die Küvetten betrug 12 bzw. 25 l/min., das heißt die Küvettenluft wurde pro Stunde 30- bis 60mal erneuert. Wasserdampf- und $CO_2$-Gehalt der Küvettenluft wurde gleichzeitig mit zwei URAS-Geräten analysiert. Auf diese Weise wurden Assimilation und Transpiration bei 30 000 Lux (entspricht etwa 0,29 cal/cm²/min, Lichtquelle: Osram Xenon-Hochdrucklampe), 26 °C und 43 % relativer Luftfeuchtigkeit ermittelt. Nach der ersten

Messung wurden die Triebe des Jahres 1966 entfernt und der Gaswechsel der Nadeljahrgänge 1964 und 1965 allein bestimmt.

Zur Charakterisierung der Verkehrsdichte dienten die Unterlagen der eidgenössischen Verkehrszählung 1965.

## 3. Ergebnisse

### *3.1 Bleigehalte von Nadeln verschiedenen Alters*

Von einigen Zweigproben wurden die ein-, zwei- und dreijährigen Nadeln gesondert analysiert. Die Analysenresultate sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

*Tabelle 2*

Bleigehalte von Nadeln verschiedenen Alters in ppm (Ernte 21. April 1966)

| *Probe* | *Nadelalter (Jahre)* | | | *Probe* | *Nadelalter* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *1* | *2* | *3* | | *1+2* | *3+4* |
| A | 20 | 18 | 19 | G | 480 | 430 |
| B | 19 | 30 | 33 | H | 250 | 260 |
| C | 17 | 24 | 21 | I | 660 | 560 |
| D | 36 | 32 | 30 | K | 430 | 390 |
| E | 29 | 28 | 32 | | | |
| F | 31 | 31 | 42 | | | |
| $\overline{X}$ | *25,3* | *27,2* | *29,5* | $\overline{X}$ | *455* | *410* |

Man sieht daraus, daß in den Proben A—F mit relativ geringen Bleigehalten entgegen den Erwartungen kein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den Nadeljahrgängen besteht, auch wenn die Durchschnittswerte eine leicht steigende Tendenz verraten. Bei den Proben G—K war die Benadelung so schütter, daß befürchtet wurde, es stehe zu wenig Nadelmaterial zur Verfügung, so daß jeweils zwei Jahrgänge zusammengenommen wurden. Bei diesen Proben zeigte sich sogar eine starke Tendenz abnehmenden Bleigehalts mit zunehmendem Alter. Dieses unerwartete Resultat ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß die älteren Zweige durch die jüngsten — und damit der Straße am nächsten — bereits etwas geschützt werden. Es ist anzunehmen, daß lokale, dynamische Gleichgewichte bestehen zwischen Bleianlagerung einerseits und der Abwaschung durch Niederschläge anderseits. Das Bestehen eines derartigen Gleichgewichts wurde auch von der Eidg. Bleibenzinkommission (1961) auf Grund mehrjähriger Untersuchungen des Bleigehaltes von Straßenstaub und Sedimentstaub auf Simsen in der Stadt Zürich angenommen.

Es ist allerdings auch darauf hinzuweisen, daß die Probenzahl klein ist und daß selbst kleinräumlich die Bleigehalte von Proben, welche in unmit-

telbarer Nähe voneinander in gleicher Höhe und gleichem Abstand vom Straßenrand geerntet wurden, starken Schwankungen unterliegen. Dies gilt besonders für den Straßenrand. So variierte der Bleigehalt von je vier Proben am 8. August 1966 zwischen 135 und 278 ppm in den 1966 gebildeten Nadeln und zwischen 160 und 591 ppm in den Nadeln der Jahrgänge 1964 und 1965.

An der Probeentnahmestelle «Wohlen, 1 m ab Boden» wurde der jahreszeitliche Verlauf der Bleigehaltszunahme verfolgt. Die Analysenresultate von Tabelle 3 zeigen sehr schön das kontinuierliche Ansteigen des Bleigehaltes im Verlaufe der Vegetationsperiode.

*Tabelle 3*

Bleigehaltsveränderungen zwischen Juni und November 1966

| *Datum* | *Bleigehalt im Nadeljahrgang (ppm)* | |
|---|---|---|
| | *1964+1965* | *1966* |
| 7. Juni | 250 | 98 |
| 8. August | 342 | 206 |
| 23. September | 510 | 255 |
| 14. November | 630 | 720 |

Zufolge der Resultate von Tabelle 2 wurden bei den später eingeholten Nadelproben nur noch Mischproben aus ein- und zweijährigen Nadeln analysiert. In einigen Fällen wurden außerdem die diesjährigen 2- bis 14wöchigen Nadeln untersucht. Gerade die frisch ausgetriebenen Nadeln, welche erst kurze Zeit den Abgasen ausgesetzt waren oder, noch besser, aus abgelegenen Gegenden stammen, vermögen einen Anhaltspunkt dafür zu geben, wieviel Blei den jungen Nadeln aus den Anlagen (Knospen) mitgegeben wird. Einige diesbezügliche Angaben vermittelt Tabelle 4.

*Tabelle 4*

Bleigehalte von Nadeln verkehrsferner Standorte (ppm)

| *Herkunft* | *Nadelalter* | |
|---|---|---|
| | *2—5 Wochen* | *1+2jährig* |
| Lehenkopf/Schwarzwald | 1,2 | 3,0 |
| Stillbergalp/Davos | — [1] | 2,7 |
| Hirschberg/Gais | 2,1 | 2,7 |
| Gmünden AR | 2,0 | 3,5 |
| Wohlen AG [2] | 1,5 | 4,1 |

[1] im Zeitpunkt der Probenahme noch nicht ausgetrieben
[2] durch 500 m Wald von der Straße getrennt

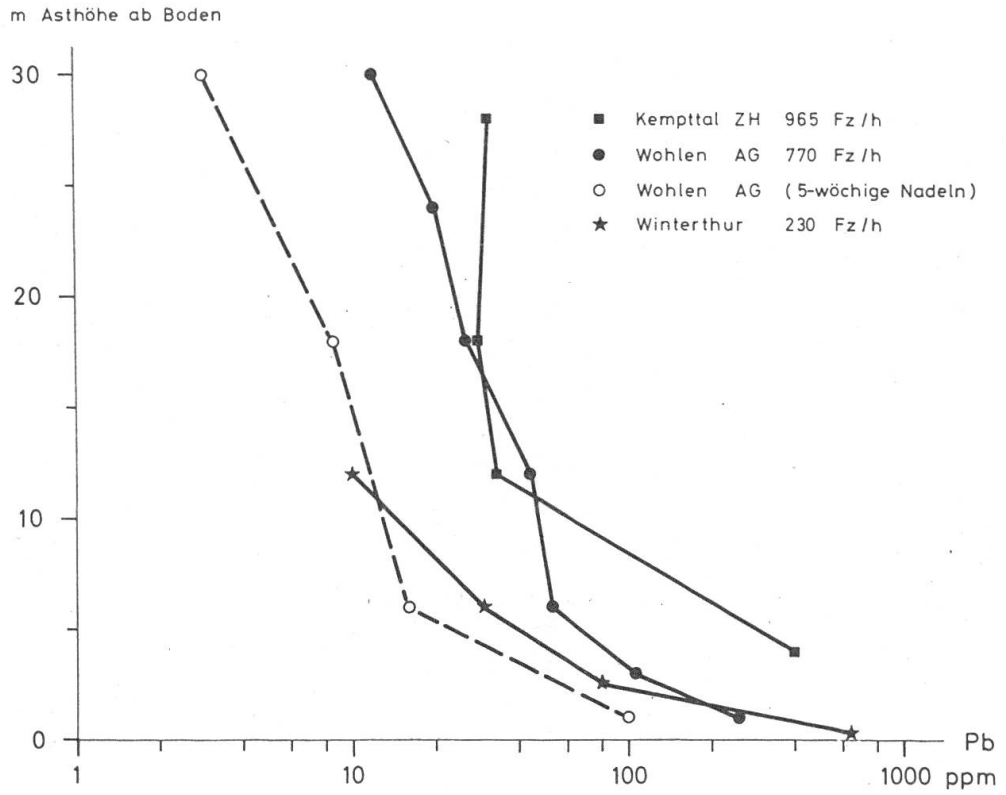
Den geringsten Bleigehalt aller Proben wiesen die etwa zwei- bis dreiwöchigen Nadeln aus dem Schwarzwald auf. Aber auch die fünfwöchigen Nadeln der verschiedenen schweizerischen Standorte besitzen durchweg sehr wenig Blei. In ein- und zweijährigen Nadeln dürfte ein Bleigehalt von 2–3 ppm etwa der Norm unbeeinflußter Nadeln entsprechen. Damit stimmen auch die von Schroeder und Balassa (1961) erwähnten Analysen amerikanischer Koniferen (ohne nähere Standortsangaben) überein: Fichte 2,0 ppm, Föhre 1,8 ppm, Tsuga 3,2 ppm.

Man kann sich allerdings fragen, ob im dichtbesiedelten Westeuropa überhaupt noch von unbeeinflußter Vegetation gesprochen werden kann, wenn man bedenkt, daß amerikanische Untersuchungen ergaben, daß Schnee selbst in den abgelegenen kalifornischen Bergen, etwa 300 km nordöstlich der San Francisco-Oakland-Agglomeration 1,6 $\mu$g Blei/kg enthielt. Außerdem wurde im vom Flußwasser durchmischten Oberflächenwasser des Pazifik vor der kalifornischen Küste sowie des Mittelmeeres ein vielfach höherer Bleigehalt gefunden als im Wasser in 1000 m Tiefe. Diese Bleianreicherung wurde auf Grund des Isotopenverhältnisses vor allem der Benzinverbleiung zugeschrieben (Tatsumoto und Patterson, 1963).

### *3.2 Die vertikale Bleiverteilung in randständigen Fichtenkronen*

Da die Auspuffgase meist nur wenige Dezimeter über Boden ausgestoßen werden, stellte sich die Frage, ob die Luft auch in der Kronenhöhe mittelalter und alter Bäume trotz Verwirbelung und Verdünnung der Motorabgase noch erheblich verschmutzt sei. Im Wald ist ja selbst bei geschlossenen Bestandesrändern eine seitliche Ausbreitung und Verdünnung der Gase möglich, im Gegensatz zu den Verhältnissen in den Städten, wo sich oft Bewohner der dritten und vierten Stockwerke noch über Abgasgestank beklagen.

In Darstellung 1 ist die Abnahme des Bleigehaltes mit der Kronenhöhe an den ein- und zweijährigen Nadeln dreier Fichten an Straßen verschiedener Verkehrsdichte aufgetragen. Es geht daraus hervor, daß der Bleigehalt vor allem in den untersten 12 m mit zunehmender Höhe sehr stark abfällt, so daß in jener Höhe weniger als ein Viertel des Bleis in Bodennähe vorhanden ist. Diese Abnahme zeigt sich sogar auch bei den erst fünfwöchigen Nadeln des Baumes «Wohlen», die durchweg rund ein Drittel des Bleigehalts der ein- und zweijährigen Nadeln aufwiesen. Erstaunlich ist jedoch, daß dennoch in 30 m Höhe noch Bleigehalte über 10 ppm vorgefunden wurden, ja daß selbst die fünfwöchigen Nadeln in 18 m Höhe nahe an diesen Schwellenwert kamen. Dieser Wert ist insofern bedeutsam, als er kürzlich von der Futtermittelrechtskommission der EWG als duldbare Blei-Höchstmenge in der Trockensubstanz von Viehfutter vorgeschlagen wurde (Leh, 1966). Das Schneiteln ist zwar im Schweizer Wald nicht mehr üblich, doch dürften die Resultate gewisse Hinweise auf erhöhte Bleigehalte von Obst

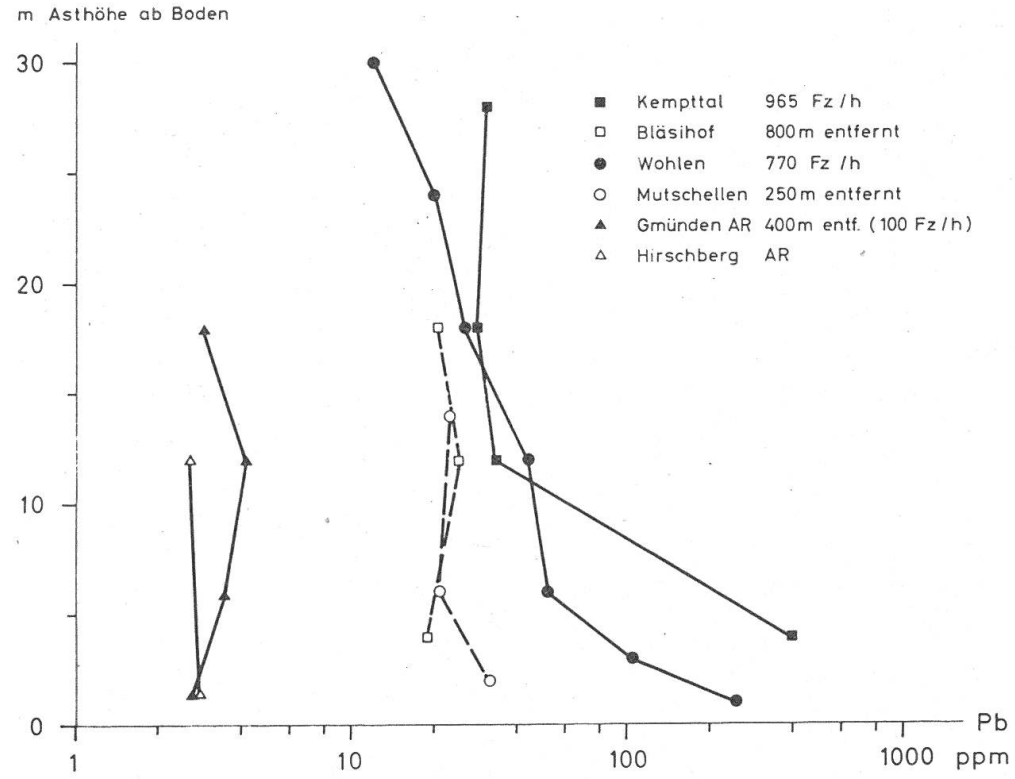



*Darstellung 1*

Abhängigkeit des Bleigehaltes ein- und zweijähriger bzw. fünfwöchiger Fichtennadeln von der Asthöhe über Boden an Straßen verschiedener Verkehrsdichte. (Kemptthal: Straße Zürich—Winterthur, etwa 1200 m nördlich Bahnstation Kemptthal, durchschnittlich 965 Fahrzeuge/h; Wohlen: Straße Zürich—Bern zwischen Bremgarten und Wohlen, durchschnittlich 770 Fahrzeuge/h; Winterthur: Steigstraße Winterthur—Brütten, 12 % Steigung, durchschnittlich 230 Fahrzeuge/h.)

geben, das längs vielbefahrener Straßen wächst, wenn auch Früchte eine wesentlich geringere spezifische Oberfläche besitzen als Nadeln und Blätter!

In Darstellung 2 sind die Bäume «Kemptthal» und «Wohlen» zwei als Nullproben gedachten Bäumen, «Bläsihof» und «Mutschellen», gegenübergestellt. Der Baum «Bläsihof» steht 800 m westlich und 100 m höher als der Baum «Kemptthal» an einem S- und W-Winden ausgesetzten Waldrand. Der Baum «Mutschellen» befindet sich in einem Feldgehölz etwa 400 m westlich der Mutschellen-Paßhöhe und 250 m nördlich der Hauptstraße Zürich—Bern. Trotz der beachtlichen seitlichen Entfernung von der Straße ist beim Baum «Mutschellen» noch eine Abnahme des Bleigehaltes in der Vertikalen festzustellen, während sich beim Baum «Bläsihof», wie auch bei den Proben aus dem Appenzellerland, der Bleigehalt über die ganze Kronenhöhe ziemlich gleich bleibt. Auffallend ist jedoch vor allem der beachtliche Bleigehalt (20—30 ppm) von «Bläsihof» und «Mutschellen». Er ist auf Grund




*Darstellung 2*

Abhängigkeit des Bleigehaltes ein- und zweijähriger Fichtennadeln von der Asthöhe bei randständigen und verkehrsfernen Fichten (Kemptthal und Wohlen wie Abbildung 1; Bläsihof: 800 m vom Baum «Kemptthal» entfernt; Mutschellen: 250 m von Hauptstraße Zürich—Bern entfernt; Gmünden: 400 m von Straße Stein—Teufen AR mit durchschnittlich 100 Fahrzeugen/h entfernt; Hirschberg: etwa 2 km von der nächsten Autostraße entfernt).

der Analysendaten der Bäume «Gmünden» und «Hirschberg» sowie der in Tabelle 4 aufgeführten Werte, welche durchweg um rund eine Zehnerpotenz tiefer liegen, wohl einer großräumigen Luftverschmutzung im Raume Zürich zuzuschreiben und nicht einer vermehrten Bleiaufnahme aus dem Boden. Denn bei einer Nadelprobe der Fichte «Mutschellen» verblieben nach dem Abwaschen der oberflächlich haftenden Schmutzkruste nur noch rund 2 ppm Blei oder etwa 10 % des Gehaltes der ungewaschenen Probe!

Als Vergleich seien in Tabelle 5 noch die Bleigehalte einiger Ulmenblattproben angegeben, welche Ende September 1966 in anderm Zusammenhang im Raume Zürich an in einheitliche Erde vertopften Pflanzen bestimmt wurden (Blattalter 5 Monate).

Erstaunlich ist vor allem der relativ niedere Bleispiegel im Botanischen Garten und der hohe Gehalt der Blätter auf dem Walchedach, der sicher zum Teil durch bleihaltige Flugasche verursacht wurde, wie dies auch bei der Kehrichtverbrennungsanlage anzunehmen ist.

*Tabelle 5*

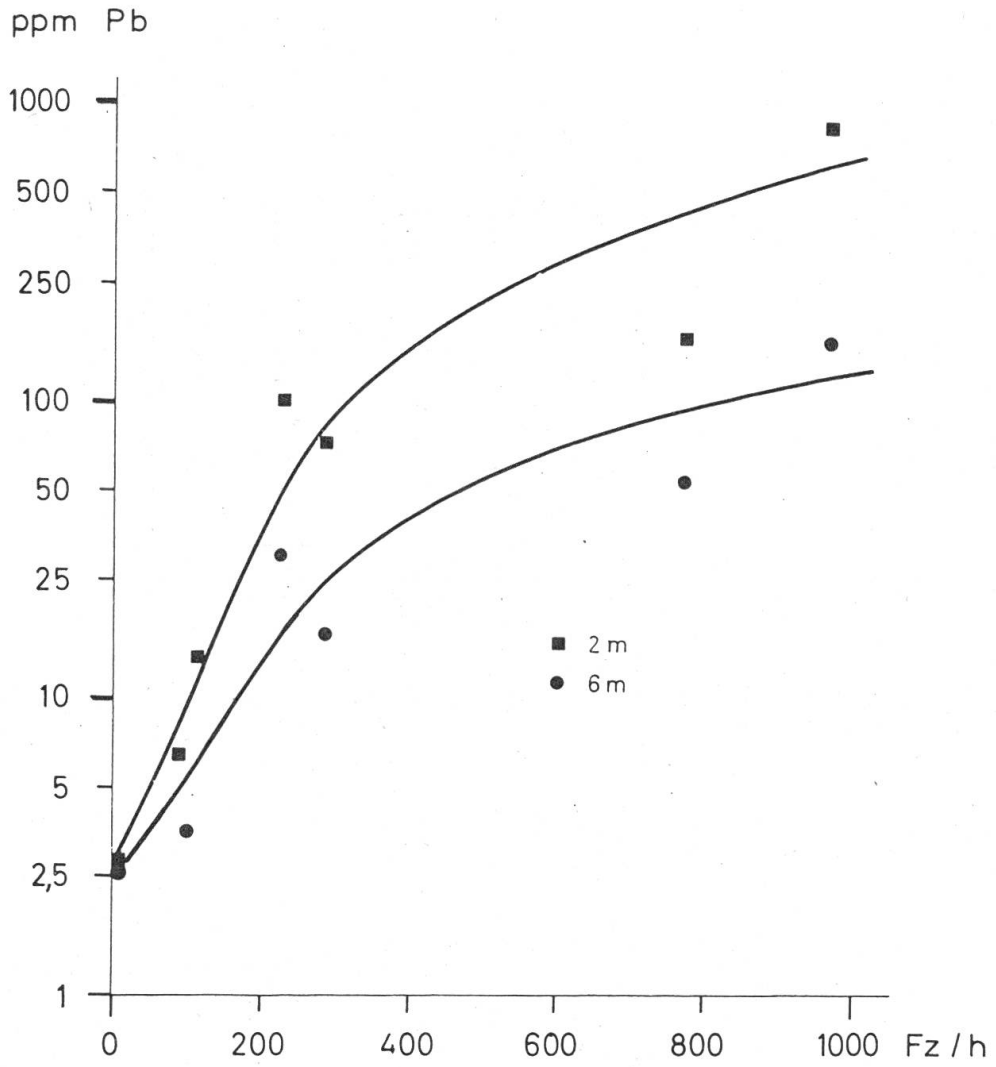
| *Ort* | *Bleigehalt* | *Bemerkungen* |
|---|---|---|
| Versuchsgarten Birmensdorf | 16 ppm | «Nullprobe»; 6,5 km W HB Zürich; 100 m von Straße entfernt, Schutzhecke in Straßennähe |
| Botanischer Garten | 20 ppm | Stadtzentrum, etwa 80 m von Straßenkreuzung, dichte Hecke längs Straße |
| Bodmergut | 20 ppm | 2,5 km SE HB Zürich, Parkanlage |
| Schulhaus Feldstraße | 48 ppm | 10 m von Straßenrand, Hecke |
| Bürohaus Walche | 57 ppm | beim HB Zürich, auf dem Dach des sechsgeschossigen Baus |
| Kehrichtverbrennungsanlage | 116 ppm | 1,5 km NW HB Zürich; vermutlich bleihaltige Flugasche |

### *3.3 Der Einfluß der Verkehrsdichte auf den Nadelbleigehalt*

Wenn der Bleigehalt der Vegetation wirklich die Luftverschmutzung durch die Motorabgase charakterisiert, so muß eine Beziehung zur Verkehrsdichte bestehen. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden die Analysenwerte von Proben aus 2 und 6 m Höhe (ein- und zweijährige Nadeln), die von einigen Bäumen an Straßen verschiedener Verkehrsfrequenz gewonnen wurden, auf logarithmischer Ordinate über der Verkehrsdichte aufgetragen. Aus der resultierenden Darstellung 3 kommt der sehr starke Anstieg des Bleigehaltes mit der Verkehrszunahme recht eindrücklich zur Geltung, auch wenn leider der Darstellung nur wenige Werte zugrunde liegen. Die starke Streuung ist auf verschiedene Variable zurückzuführen, wie zum Beispiel Steigung der Straße, Straßenbreite, Bewindung, welche aber auch die Immissionssituation beeinflussen, sowie auf den durch die lokalen Verhältnisse gegebenen etwas unterschiedlichen seitlichen Abstand der Zweige vom Straßenrand und die sub 3.1 bereits aufgeführte kleinörtliche Variabilität.

### *3.4 Nadelbleigehalte im Waldbestand in verschiedener Distanz von der Straße*

Nachdem am Straßenrand zum Teil erstaunlich hohe Bleigehalte gefunden wurden, wobei allerdings in vertikaler Richtung ein rascher Abfall zu verzeichnen war (Darstellung 1), stellte sich die Frage, wie weit die Abgase nachweisbar seitlich in den Bestand eindringen, wie breit also die von Auspuffgasen beeinflußte Randzone ist. Als Versuchsobjekt wurde ein ebenes Gebiet im Wald zwischen Bremgarten und Wohlen gewählt, der von der Hauptstraße Zürich–Bern (etwa 770 Fahrzeuge/h) durchquert wird. Zufolge zahlreicher Löcherhiebe und Verjüngungszentren ist der Bestandesaufbau ziemlich stufig. In 1 und 6 m Höhe wurden bis in eine Entfernung



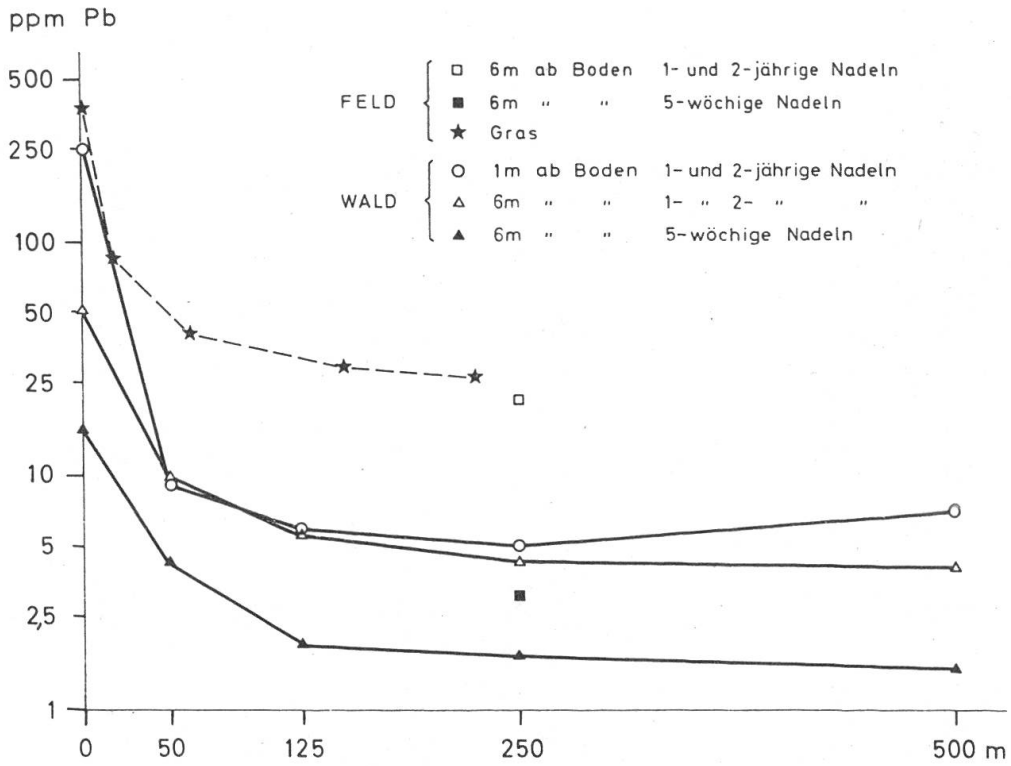

*Darstellung 3*

Einfluß der Verkehrsdichte auf den Bleigehalt der Nadeln.

von 500 m von der Straße Nadeln gewonnen. Die Analysenresultate sind in Darstellung 4 zusammengestellt.

Der Bleigehalt fällt innerhalb der ersten 50 m bereits auf einen kleinen Bruchteil des ursprünglichen Gehaltes ab und verringert sich nachher nur noch relativ schwach. Ab dieser Entfernung besteht auch praktisch kein Unterschied mehr zwischen den beiden Meßhöhen. Die Kurve für die fünfwöchigen Nadeln weist denselben Verlauf auf wie diejenige der ein- und zweijährigen Nadeln, nur daß die jungen Nadeln durchweg bloß etwa ein Drittel des Bleigehaltes alter Nadeln besitzen.

Daß der Wald eine luftreinigende Filterwirkung ausübt, ist schon lange bekannt (vgl. Wentzel, 1960). Während eine derartige Wirkung für gasförmige Verunreinigungen kaum besteht (Lampadius, 1966), ist sie für




*Darstellung 4*

Bleigehalt von Fichtennadeln in verschiedener Entfernung von der Hauptstraße Zürich—Bern und Vergleich mit den Bleigehalten von Gras im Freiland.

Aerosole nachgewiesen (Neuwirth, 1965), und auch in unserem Fall spricht folgendes für eine solche Wirkung:

1. Selbst in größerer Entfernung von der Straße ist die Bleigehaltszunahme der Nadeln im Verlaufe der Alterung zu einem großen Teil auf eine Anlagerung aus der Luft zurückzuführen. Analysen von Nadelproben aus dem Waldesinnern, 250 m von der Straße entfernt, ergaben nämlich, daß ein beträchtlicher Anteil des Bleis abwaschbar ist:

| *Alter* | *ungewaschen ppm* | *gewaschen ppm* |
|---|---|---|
| 5wöchig | 3,5 | 1,5 |
| 27wöchig (November) | 4,4 | 1,7 |
| 1- und 2jährig (November) | 6,3 | 4,5 |

2. Je nach der Beschaffenheit der Blattoberfläche wird mehr oder weniger Blei angelagert. So besaßen zum Beispiel am gleichen Ort entnommene, gleich alte Proben verschiedener Baumarten folgende Bleigehalte:

| | |
|---|---|
| Fichtennadeln (glatt) | 114 ppm, |
| Hagebuchenblätter (unbehaart) | 119 ppm und |
| Haselnußblätter (rauhhaarig) | 370 ppm. |

3. Die Nadelbleigehalte der Fichte «Mutschellen» (durch 250 m offenes Feld von der Straße getrennt) sind rund viermal höher als jene der entsprechenden Bestandesfichte.
4. Der Bleigehalt fällt in der straßennahen Zone außerordentlich steil ab.

Zum letzten Punkt ist allerdings zu sagen, daß die Verdünnung daran maßgeblich mitbeteiligt ist. Daher wurden unsere Werte in Darstellung 4 den im offenen Gelände an Gras ermittelten Werten von Cannon und Bowles (1962) gegenübergestellt. Es fällt sofort auf, daß bei den Freilandwerten der prozentuale Abfall der Bleigehalte in Straßennähe geringer ist und daß in größeren Entfernungen ein höheres Niveau gehalten wird als im Wald (Prozentwerte in Tabelle 6). Nun ist es allerdings möglich, daß das Gras jenes Standortes einen hohen natürlichen Bleigehalt besitzt. Daher wurde der Bleigehalt in größter Entfernung gleich 1 gesetzt und die Relativwerte in verschiedener Distanz berechnet. Auch in diesem Fall zeigt sich ein viel steileres Abfallen des Bleigehaltes im Wald als im Feld.

*Tabelle 6*

Vergleich der Abnahme des Bleigehaltes mit der Entfernung von der Straße im Wald und offenen Feld

| *Distanz, m Wald/Feld* | *Wald* | | | *Feld* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *ppm* | *%* | *Relativwert* | *ppm* | *%* | *Relativwert* |
| 0 | 250 | 100 | 50 | 380 | 100 | 14,1 |
| –/15 | – | | | 90 | 23,7 | 3,3 |
| 50/60 | 9 | 3,6 | 1,8 | 41 | 10,8 | 1,5 |
| 125/150 | 6 | 2,4 | 1,2 | 30 | 7,9 | 1,1 |
| 250/225 | 5 | 2,0 | 1 | 27 | 7,1 | 1 |

### *3.5 Die Abwaschbarkeit des Bleis*

Vom physiologischen Standpunkt aus interessiert natürlich die Frage, ob das Blei nur oberflächlich angelagert wird oder ob namhafte Bleimengen in das Nadelinnere aufgenommen werden und dort toxisch wirken (Blockierung von Enzymen usw.). Kloke und Riebartsch fanden, daß sich 5 bis 30 % des Bleis von Gras abwaschen ließen. Leh (1966) schreibt: «Vergleichsanalysen gewaschener Proben zeigten, daß ein mehr oder weniger großer Teil des Bleis von den Pflanzen abwaschbar ist; dies beweist, daß es sich primär um eine Oberflächenkontamination handelt.» Aus seinen graphischen Darstellungen zu schließen, waren aber selten mehr als 30 % abwaschbar. Dies dürfte vor allem auch von der Entfernung von der Straße und der Beschaffenheit der Blattoberfläche abhängen.

Da die von uns untersuchten Nadeln bis zu zwei Jahren den Luftverunreinigungen ausgesetzt waren, vermochte sich, namentlich bei Proben

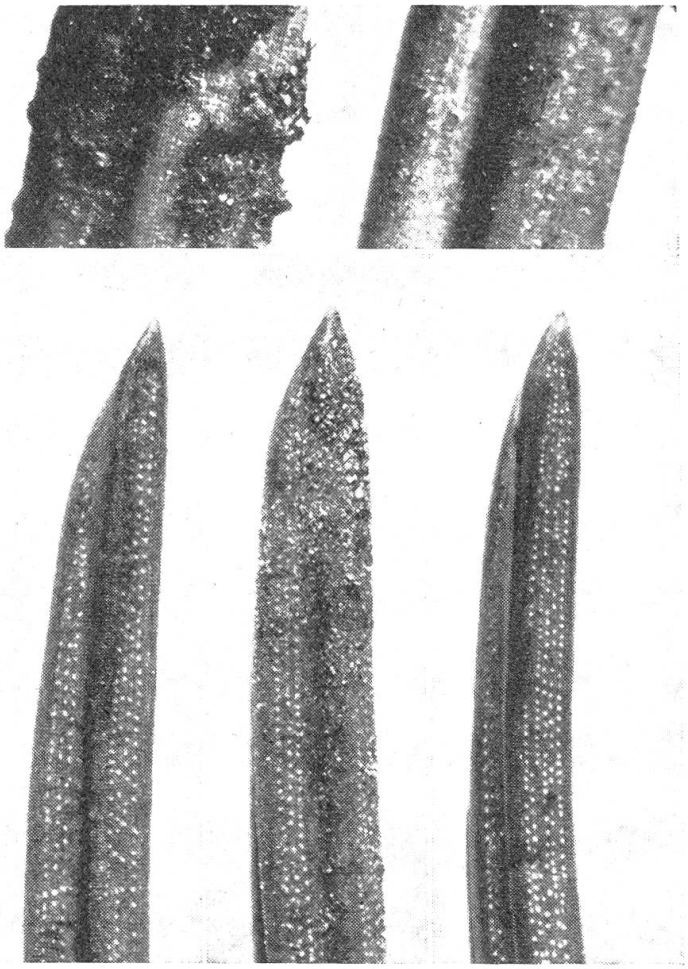


*Abbildung 1*

Abwaschbarkeit der oberflächlich angelagerten bleihaltigen Verunreinigungen. Oben links: Nadelabschnitt mit Schmutzkruste (Straßenrand). Rechts: Schwachverschmutzter Nadelabschnitt (aus dem Bestandesinnern). Unten: Drei Nadeln aus einer Probe vom Straßenrand. In der Mitte ungereinigt, links eine in 1 % Detergentienlösung gewaschene, aber noch immer verschmutzte Nadel; rechts eine in Salpetersäure und nachher Detergentienlösung gewaschene Nadel (weitgehend frei von Verunreinigungen).

vom Straßenrand, ein krustiger Belag aus Straßenstaub, Ruß usw. zu bilden (vgl. Abbildung 1 oben), welcher auch durch Waschung mit einer Detergentienlösung nicht vollständig zu entfernen war (Abbildung 1). Vergleichsweise wurden je vier Proben zuerst 5 Min. in 1 n $HNO_3$ und anschließend 5 Min. in 1 % Detergentienlösung bzw. nur 5 Min. in Detergentienlösung gewaschen und mit Leitungswasser und entsalztem Wasser gut nachgespült. In den Waschlösungen wurden die Zweige bewegt, so daß sich die Nadeln gegenseitig abrieben (die Zweige wurden erst nach der Ofentrocknung entnadelt).

*Tabelle 7*

Bleigehalte nach der Waschung

| *Probe Nadelalter* | *ungewaschen* | | *1 % Detergent.* | | *Säure + Detergent.* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *ppm* | *%* | *ppm* | *%* | *ppm* | *%* |
| Fi, 1+2jährig | 288 | 100 | 100 | 35 | 20 | 7 |
| Fi, 1+2jährig | 505 | 100 | 169 | 34 | 39 | 8 |
| Fi, 17wöchig | 114 | 100 | 15 | 13 | 7 | 6 |
| Hasel, 17wöchig | 370 | 100 | 75 | 20 | 24 | 7 |
| Fi, 1+2jährig | | | | | | |
| 1 m Höhe | 250 | 100 | — | | 21 | 8 |
| 12 m Höhe | 44 | 100 | — | | 4,2 | 10 |
| 24 m Höhe | 20 | 100 | — | | 4,0 | 20 |
| 30 m Höhe | 12 | 100 | — | | 4,3 | 36 |
| 6 m Höhe [1] | 21 | 100 | — | | 2,1 | 10 |

[1] 250 m von der Straße entfernt

Aus Tabelle 7 und Abbildung 1 geht hervor, daß der «Säureaufschluß» der Kruste die Reinigung wesentlich verbesserte, ohne jedoch eine hundertprozentige Wirkung zu gewährleisten. Dies war an den Haselnußblättern sogar von Auge festzustellen, da die Behaarung schwarze Schmutzpartikel zurückhielt. Anderseits wurde befürchtet, daß eine länger dauernde Säureeinwirkung Blei aus den Nadeln herauslösen könnte. Waren Proben zu waschen, so wurde in der Folge stets die Säure/Detergentien-Waschung durchgeführt, mit welcher 60 bis über 90 % des Bleis entfernt werden konnten. Dies bestätigt die Ansicht von Leh, daß es sich um eine Oberflächenverschmutzung handelt. Auf Grund der geringen verbleibenden Bleigehalte darf wohl geschlossen werden, daß eine Bleivergiftung der Vegetation durch Auspuffgase nur in seltenen Ausnahmefällen auftreten dürfte.

Tabelle 7 zeigt auch die Tendenz, daß mit zunehmender vertikaler Entfernung von der Emissionsquelle der Prozentsatz des abwaschbaren Bleis abnimmt, was für die Horizontale bereits von Kloke und Riebartsch beobachtet worden war.

### *3.6 Der Einfluß auf den Gaswechsel*

Den Nadeln der an der Autostraße Zürich—Bern stehenden Fichten war äußerlich keinerlei Schädigung anzusehen, obwohl die Analysen Anfang August bis zu 590 ppm Blei ergaben. Da dennoch physiologische Schäden im Sinne von Boertitz (1964) nicht ausgeschlossen sind, wurden Anfang August einige Zweigproben ins Labor geholt und deren Assimilation und Transpiration bei 30 000 Lux gemessen.

*Tabelle 8*

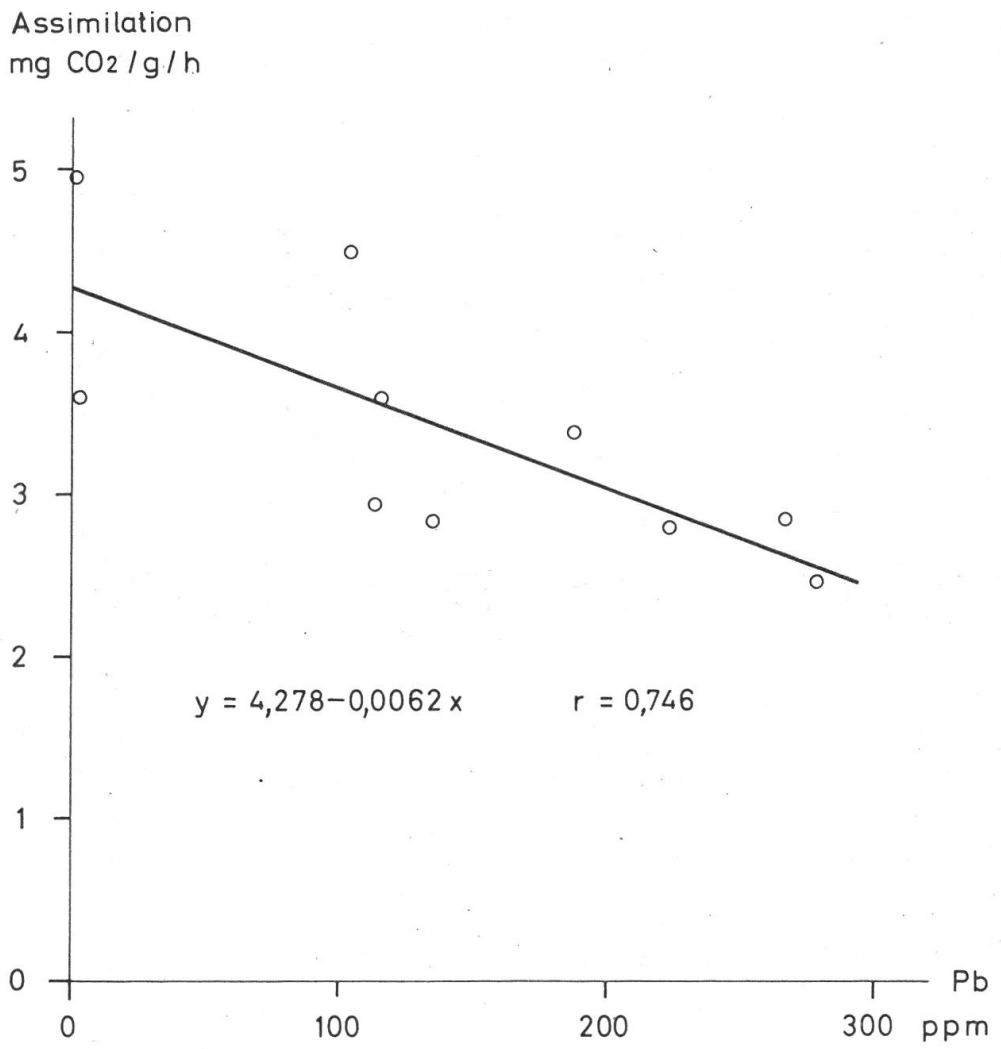
Gaswechsel einiger Zweigproben (30 000 Lux, 26 °C, 43 % rel. Luftf.)

| *Probe* | *Kontrolle im Bestand* | *Straßenrand 3 m Höhe* | *Straßenrand 1 m Höhe* |
|---|---|---|---|
| *Nadeljahrgang 1966* | | | |
| Bleigehalt, ppm | 3,2 | 156 | 198 |
| Assim. mg $CO_2$/g/h | 4,28 | 3,56 | 2,77 |
| % | 100 | 83 | 65 |
| Transp. g$H_2O$/g/h | 0,470 | 0,576 | 0,275 |
| *Nadeljahrgänge 1964/65* | | | |
| Bleigehalt, ppm | 8,5 | 456 | 342 |
| Assim. mg $CO_2$/g/h | 2,16 | 1,32 | 1,47 |
| % | 100 | 61 | 68 |
| Transp. g$H_2O$/g/h | 0,365 | 0,254 | 0,315 |

Wie aus Tabelle 8 zu entnehmen ist, assimilierten die Fichtenzweige aus dem Bestand deutlich stärker als die Proben vom Straßenrand, während bei der Transpiration keine eindeutige Tendenz zum Ausdruck kam.

Darstellung 5 orientiert über die Beziehung zwischen Bleigehalt und Assimilationsintensität der 14wöchigen Nadeln, welche beachtlich eng ist ($r = 0{,}746$, $t = 3{,}162$). Da es sich nicht um geklontes Material handelte, war von vornherein mit einer beträchtlichen Streuung zu rechnen. Auf Grund der im Abschnitt 3.5 diskutierten rein äußerlich haftenden Verbleiung der Nadeln darf außerdem ein Teil der Streuung darauf zurückgeführt werden, daß das Blei ja in erster Linie als Indikator der Immissionssituation diente und nicht selbst das primäre phytotoxische Agens darstellte. Die Verschmutzung der Nadeloberfläche war beim vorliegenden Material ein weiterer Faktor, der assimilationshindernd wirken konnte (vgl. u. a. Ersov, 1957; Steinhübel, 1963, 1966).

Da diese ganze Untersuchung durch das Auftreten von Chlorosen angeregt worden war, wurden natürlich auch vergleichbare Nadelproben von benachbarten chlorotischen und gesund erscheinenden Fichten analysiert. Entsprechend dem relativ schwachen Verkehr lagen die Bleigehalte jedoch niedrig, nämlich im Bereich 3,3—12 ppm (Mittel 7,9 ppm) für chlorotische Nadeln und 3,9—15 ppm (Mittel 7,4 ppm) für normale Nadeln. Zwischen den Bleigehalten beider Gruppen bestand somit kein Unterschied. Es ist aber möglich, daß eine individuelle Schwächung einzelner Bäume vorlag (zu welcher die Auspuffgasimmissionen beitrugen), welche die Disposition für Chlorosen unter dem Einfluß ungünstiger klimatischer Verhältnisse (warmer Februar gefolgt vom kalten März 1966) erhöhte. Nach Pfeffer (1966) ist es jedoch nicht ausgeschlossen, daß es sich bei dieser Chlorose um




*Darstellung 5*

Beziehung zwischen der Assimilationsintensität (mg $CO_2$/g/h) 14wöchiger Fichtennadeln und deren Bleigehalt.

eine durch saugende Insekten verbreitete Virose handeln könnte. Das gehäufte Auftreten der Chlorose längs der Straßen wäre darauf zurückzuführen, daß diese Insekten gegen Immissionen unempfindlicher sind als ihre Feinde, so daß sie sich stärker vermehren können. Eine darauf zurückzuführende auffallende Steigerung des Befalls junger Fichten durch *Chermes* in einem Fluorimmissionsgebiet beobachtete kürzlich Wentzel (1965).

### 4. Zusammenfassende Schlußfolgerungen

1. Die Assimilationsorgane von Nadelbäumen, welche an Autostraßen stehen, weisen im Vergleich zu Nadeln aus abgelegenen Gebieten einen gesteigerten Bleigehalt auf, und zwar nimmt der Bleigehalt mit zunehmender Verkehrsdichte stark zu. Der Nadelbleigehalt kann daher als Indikator der

verkehrsbedingten Luftverschmutzung dienen. Der «normale» Bleigehalt einjähriger Fichtennadeln dürfte etwa 2–3 ppm betragen.

2. Der Bleigehalt der Nadeln nimmt nur insofern mit dem Nadelalter zu, als junge Nadeln weniger Blei enthalten als ein- und mehrjährige. Der Bleigehalt steigt im ersten Jahr mit der Expositionszeit, bis sich ein lokales, dynamisches Gleichgewicht einstellt.

3. Der Bleigehalt nimmt mit der Höhe über der Straße stark ab, vor allem im untersten Kronenabschnitt bis etwa 10–12 m Höhe. In seitlicher Richtung fällt der Bleigehalt innerhalb der ersten 50 m im Wald stärker als im Freiland.

4. Der größte Teil der Bleiverbindungen bleibt an der Nadeloberfläche haften, so daß bis über 90 % des Bleigehaltes ungewaschener Nadelproben durch Waschen in Säure und Detergentienlösung entfernt werden kann. Die geringen verbleibenden Bleigehalte deuten darauf hin, daß eine Bleivergiftung der Vegetation durch Auspuffgase nur selten eintreten dürfte.

5. Gaswechselmessungen offenbaren eine Depression der $CO_2$-Assimilation selbst normaler, gesund erscheinender Nadeln mit zunehmendem Bleigehalt. Diese Hemmung der Photosynthese wird aber zufolge des in Punkt 4 Gesagten auf die Verschmutzung der Nadeloberfläche und vor allem auf die toxische Wirkung der verschiedenen übrigen Abgaskomponenten zurückgeführt.

6. Die zum Teil sehr hohen Bleigehalte lassen es als dringend wünschbar erscheinen, daß derartige Untersuchungen auch für Gemüse, Obst und landwirtschaftliche Futtermittel durchgeführt werden, denn es ist denkbar, daß derartige Produkte, in der Randzone stark befahrener Straßen nachgezogen, aus toxikologischen Gründen nicht mehr verwendet werden dürfen.

Zum Schluß sei allen, die uns in unserer Arbeit unterstützt haben, bestens gedankt, namentlich Herrn R. Keiser für die nicht immer ungefährliche Einholung der Nadelproben, Herrn A. Ganz für die Durchführung der Analysen sowie Herrn Kantonsoberförster R. Ehrbar und den verschiedenen Waldbesitzern.

### La teneur en plomb des aiguilles d'épicéa comme indicateur de pollution de l'air par la circulation routière

Les gaz d'échappement des véhicules à moteur contiennent différents composants phytotoxiques tels le $SO_2$, $NO_2$, des aldéhydes et des combinaisons du plomb. Ces dernières surtout, qui s'échappent sous forme de particules très fines, constituent l'objet principal de cette étude, dont le but est de déceler si la teneur en plomb des organes permanents d'assimilation des végétaux bordant les routes peut servir à caractériser la pollution de l'air par le trafic automobile. Le plomb semble être un indicateur parfait, cet élément n'étant représenté normalement qu'en traces très faibles dans la plante et s'y mouvant difficilement. La détermination du plomb se fit par la méthode spectrographique. Les résultats suivants furent obtenus:

1° La teneur en plomb des aiguilles d'épicéa augmente avec l'intensité du trafic routier et peut dépasser largement le centuple de la teneur « normale » (2—3 ppm). Cet élément peut donc servir d'indicateur (voir graphique 3).

2° La teneur en plomb augmente la première année avec le temps d'exposition jusqu'à ce qu'un équilibre dynamique local se soit établi entre l'accumulation et le lessivage.

3° La teneur en plomb diminue fortement avec la hauteur au-dessus de la route, en particulier dans les régions inférieures du houppier jusqu'à 12 m environ de hauteur (graphiques 1, 2). En direction horizontale, la teneur en plomb, sur une distance de 50 m, diminue plus rapidement en forêt que sur le terrain libre (graphique 4).

4° La plus grande partie des combinaisons de plomb restent collées sur la surface des aiguilles. Une intoxication de plomb de la végétation par les gaz d'échappement ne peut s'effectuer qu'exceptionnellement.

5° Des mesures de l'échange gazeux de la plante décelèrent une dépression de l'assimilation en $CO_2$ avec l'augmentation de la teneur en plomb, même chez les aiguilles d'épicéa apparemment saines. Ce ralentissement de la production en matière est surtout imputable à l'action toxique des produits gazeux de combustion ($SO_2$, $NO_2$, etc.).

6° La teneur en plomb, parfois très élevée, demande impérieusement que des analyses semblables soient exécutées pour les produits agricoles et maraîchers. Il se pourrait que de tels produits, qui poussèrent dans le voisinage d'une route, ne puissent plus être utilisés à cause de leur toxicité. *Traduction : O. Lenz*

*Literaturverzeichnis*

*Andre, F.,* und *Ganglberger, F.,* 1960: Treibstoffabgase — eine Gefahr für den Wald. Inform.dienst Forstl. Bundes-Vers.Anstalt Mariabrunn, 28. Folge, 2 pp.

Bericht der Eidg. Bleibenzin-Kommission an den Bundesrat über ihre Tätigkeit im Zeitraum 1947—1960. 1961. Mitt. aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene, Heft 3

*Boertitz, S.,* 1964: Durch $SO_2$ bewirkte Veränderungen im Stoffwechsel von Koniferennadeln unterschiedlicher Resistenz. Vortrag an 4. Internat. Arbeitstagung forstl. Rauchschadensachverständiger, Wien

*Brunner, M.,* 1966a: Die Zusammensetzung der Auspuffgase bei Benzinmotoren. Z. Präventivmedizin 11, 77—103

*Brunner, M.,* 1966b: Der Einfluß der Treibstoffzusammensetzung. Z. Präventivmedizin 11, 206—219

*Cannon, H. L.,* und *Bowles, J. M.,* 1962: Contamination of vegetation by tetraethyl lead. Science 137, 765—766

*Ersov, M. F.,* 1957: Die Photosynthese sauberer und rußverschmutzter Blätter von *Tilia cordata* Mill. und *Ulmus pinnatoramosa* Dieck. Akad. Nauk SSSR 112 : 1136—1138. Referat in Forstl. Umschau, 2, 158—159 (1959)

*Hoffmann, H.,* 1966: Die Zusammensetzung der Auspuffgase bei Dieselmotoren. Z. Präventivmedizin 11, 104—121

*Keller, Th.*, 1966: Über den Einfluß von transpirationshemmenden Chemikalien (Antitranspirantien) auf Transpiration, $CO_2$-Aufnahme und Wurzelwachstum von Jungfichten. Forstwiss. Cbl. 85, 65–79

*Kloke, A.*, und *Riebartsch, K.*, 1964: Verunreinigung von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. Naturwiss. 51, 367–368

*Lampadius, F.*, 1966: Luftanalytische Untersuchungen zur $SO_2$-Filterung durch Waldbestände. Vortrag an 5. Internat. Arbeitstagung forstl. Rauchschadensachverständiger, Janske Lazne

*Leh, H. O.*, 1964: Pflanzenschäden durch Kraftfahrzeugabgase. Na.Blatt Dtsch. Pflz.schutzdienst 16, 23–26

*Leh, H. O.*, 1966: Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. Gesunde Pflanzen 18, Heft 2

*Neuwirth, R.*, 1965: Der Wald als Aerosolfilter. Forst- und Holzwirt 20, 220–223

*Pfeffer, Prof. Dr.*, 1966: Diskussionsbeitrag an 5. Internat. Arbeitstagung forstl. Rauchschadensachverständiger, Janske Lazne

*Schroeder, H. A.*, und *Balassa, J.J.*, 1961: Abnormal trace elements in man : lead. J. chronic diseases 14, 408–425

*Steinhübel, G.*, 1963: Zur Frage der Resistenz immergrüner Laubgehölze gegen schädliche Einwirkungen von festen Rauchemissionen. Acta Bot. Acad. Sc. Hungar. 9, 433–445

*Steinhübel, G.*, 1966: Beitrag zum Studium der Einwirkung nicht toxischer Immissionen auf die Holzarten. Vortrag an 5. Internat. Arbeitstagung forstl. Rauchschadensachverständiger, Janske Lazne

*Tatsumoto, M.*, und *Patterson, C. C.*, 1963: Concentrations of common lead in some Atlantic and Mediterranean waters and in snow. Nature 199, 350–352

*Wentzel, K. F., 1960:* Wald und Luftverunreinigung. Landwirtschaft–Angew. Wissenschaft, Heft 107, 140–168

*Wentzel, K. F.*, 1965: Insekten als Immissionsfolgeschädlinge. Naturwiss. 52, 113–114