

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 125 (1974)

Heft: 10

Artikel: Über die Filterwirkung von Hecken für verkehrsbedingte staubförmige Luftverunreinigungen, insbesondere Bleiverbindungen

Autor: Keller, T.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766247>

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>

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Journal forestier suisse

125. Jahrgang

Oktober 1974

Nummer 10

Über die Filterwirkung von Hecken für verkehrsbedingte staubförmige Luftverunreinigungen, insbesondere Bleiverbindungen

Von Th. Keller

Oxf.: 181.45:425.1

(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf)

1. Literaturübersicht

Die staubfilternde Wirkung der Vegetation ist schon lange bekannt, und sie hat ihren Niederschlag in einer reichen Literatur gefunden, wovon nur einige neuere Arbeiten erwähnt seien (*Hennebo*, 1955; *Wentzel*, 1960; *Blum*, 1965; *Herbst*, 1965; *Neuwirth*, 1965; *Bernatzky*, 1968; *Steubing* und *Klee*, 1970; *Garber*, 1967, 1973; *Helbing*, 1973). Besonders oft zitiert werden in der forstlichen Literatur die Werte von *Meldau* (1955), wonach 1 ha Buchenwald im Kronenraum bis zu 68 t Staub zu binden vermöge. Der hohe Stand der heutigen Entstaubungstechnik dürfte in der Regel verhindern, dass es in der Umgebung moderner Industriewerke noch zu derartigen Verschmutzungen der Umwelt kommt. Abbildung 1 (die Aufnahme stammt von 1972) lässt die Zahlen Meldaus aber durchaus als realistisch erscheinen, und die Anpflanzung von Wald oder Hecken als Staubfilter ist verschiedentlich vorgeschlagen worden, so in neuerer Zeit von *Podgorow* (1967), *Bernatzky* (1968), *Keller* (1970) oder *Rao* (1970).

Während einerseits die Fortschritte der Entstaubungstechnik die staubförmigen Emissionen der Industrie mehr und mehr einzudämmen vermögen, führt anderseits der anschwellende Individualverkehr zu einer neuen Belastung der Luft mit gas- und staubförmigen Verunreinigungen. Zu den letzteren gehören die Bleiverbindungen in den Auspuffgasen der Benzinmotoren. Allein für die Schweiz wird angenommen, dass der verkehrsbedingte jährliche Bleiausstoss im Zeitraum 1947 bis 1969 von 150 auf 1300 bis 1400 t angestiegen sei (*Högger*, 1971). Eine amerikanische Erhebung schätzt, dass 1968 in den USA etwa 98 Prozent des emittierten Bleis auf Bleibenzin zurückzuführen sei (Anon., 1972). Die Zugabe von Bleialkylen zum Benzin führt dazu, dass nicht nur die Luft, sondern, wegen ihrer Filterwirkung, auch die Vegetation in einem breiten Streifen längs stark befahrener Autostrassen mit Blei verunreinigt wird. Dies gilt ebenfalls für den Boden (*Chow*, 1970; *Heilenz*, 1970; *Page* et al., 1971; *Briggs*, 1972). Verschiedene Untersuchungen haben ergeben, dass die Pflanzen in der Regel nur sehr wenig von den

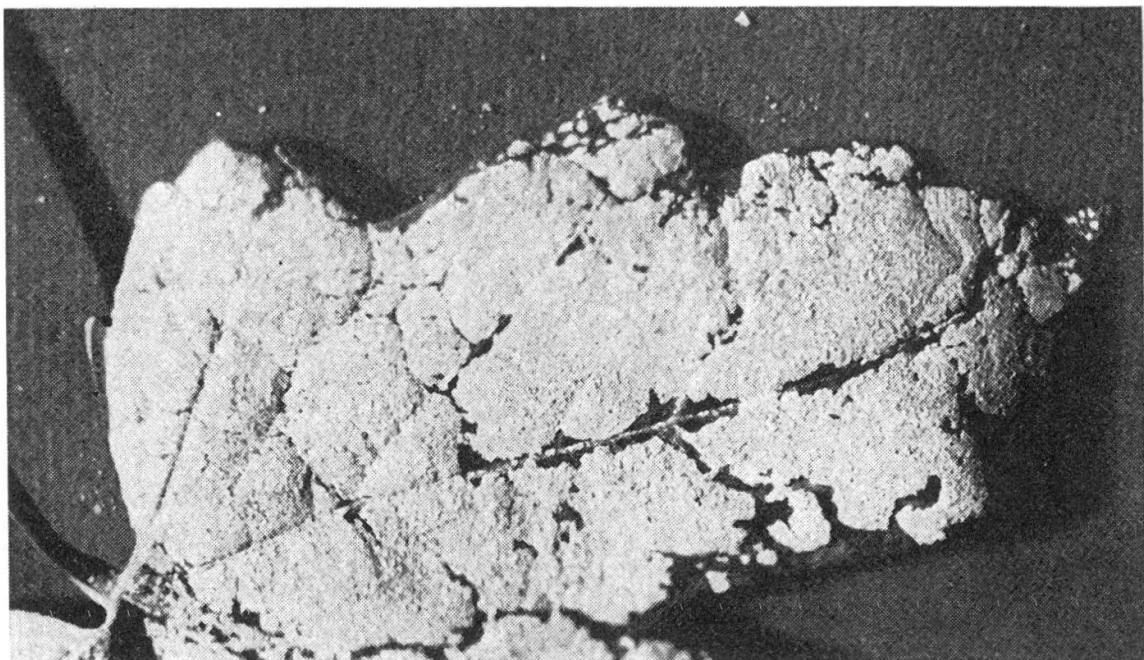


Abbildung 1 Mit einer Schmutzkruste überzogenes Ahornblatt aus der Umgebung einer ausländischen Zementfabrik ohne Staubfilter.

Wurzeln aufgenommenes Blei in den Spross verfrachten (Leh, 1966; Suchodoller, 1967; Rühling und Tyler, 1968; Zuber et al., 1970; Heilenz, 1970; Flückiger, 1973; Garber, 1974). Das aus dem Boden oder aus einer Nährlösung aufgenommene Blei bleibt vor allem in den Wurzeln stecken (Keaton, 1937; Kloke und Leh, 1968; Keller und Zuber, 1970; Broyer et al., 1972; Jones und Clement, 1972; Rabinowitz, 1972; Flückiger, 1973). Allerdings sollen nach Rolfe (1973) verschiedene Baumarten unter extremen experimentellen Bedingungen ausserordentlich starke Bleitranslokationen in die Assimilationsorgane aufgewiesen haben.

Der Bleigehalt der Pflanzensprosse ist normalerweise überwiegend oberflächlicher (nicht resorbierter) Art, das heisst, das Blei ist an die Blattoberfläche angelagert (Schuck und Locke, 1970) und bis zu einem gewissen Grade durch eine mehr oder weniger rigorose Behandlung abwaschbar (Kloke und Riebartsch, 1964; Leh, 1966; Keller und Preis, 1967; Suchodoller, 1967; Heilenz, 1970; Impens et al., 1973). Dabei spielt die Oberflächenbeschaffenheit der Pflanzenorgane (Behaarung, Ausbildung der Wachsschicht, Form der Blattspreite usw.) eine grosse Rolle für die Fang- und Rückhaltewirkung der Vegetation (Keller und Preis, 1967; Quinche et al., 1969; Page et al., 1971). Die Filterwirksamkeit ist daher stark von der Pflanzenart abhängig.

Die Vegetation wurde schon verschiedentlich als Indikator der lufthygienischen Situation verwendet. So haben sich zum Beispiel für Blei bewährt: Fichtennadeln (Keller und Preis, 1967), Gras (Cannon und Bowles, 1962; Chow, 1970; Goodman und Roberts, 1971; Rains, 1971; Lee, 1972) und vor

allem Moose (Rühling und Tyler, 1968, 1970, 1971; Goodman und Roberts, 1971; Briggs, 1972; Lee, 1972). Nach *Lee jr. et al.* (1971) soll der überwiegende Teil der ausgepufften Bleistäube kleiner als $0,5 \mu\text{m}$ (alte Schreibweise: μ ; $1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$) sein. Weil sie deswegen wie Gase verwirbelt und verteilt werden, stellt sich die Frage, wie weit die Bleiverunreinigung der Vegetation reiche. In offenem Gelände fanden Cannon und Bowles (1962) auch in Entferungen über 150 m von der Strasse noch erhöhte Bleigehalte im Gras. Im Wald sank der Bleigehalt von Fichtennadeln bis in etwa 125 m Distanz (Keller und Preis, 1967). Für Freilandverhältnisse nimmt man an, dass der Bleigehalt der Pflanzenproben im strassennahen Bereich bis 50 m stark abfällt und dass in etwa 100 m Entfernung von der Strasse mehr oder weniger natürliche Bleigehalte vorgefunden werden (Heilenz, 1970; *Marletta et al.*, 1973), obwohl *Quinche et al.* (1969), *Zuber et al.* (1970), *Daines et al.* (1970), *Page et al.* (1971) und *Bovay* (1971) in 100 m und gröserer Entfernung noch erhöhte Bleigehalte nachwiesen. Im Gegensatz zu zu erwartenden, kontinuierlichen Abnahme mit zunehmender Distanz stellten *Quinche et al.* (1969), *Schuck und Locke* (1970), *Gish und Christensen* (1973) anormale Bleiverteilungen mit einem zweiten Maximum im Bereich von 30 bis 100 m Entfernung vom Strassenrand fest (vgl. auch Abbildung 5).

2. Fragestellung unserer Versuche

Weil unser früherer Hinweis auf die Schutzwirkung von Hecken am Strassenrand (Keller, 1970) in Zweifel gezogen wurde, haben wir die Verhältnisse mit einer verbesserten Methodik überprüft. Wir suchten insbesondere Antworten auf die Fragen:

- Vermögen Hecken am Strassenrand die Bleikontamination der dahinter liegenden Vegetation nachweisbar zu vermindern?
- Bis in welche Entfernung lässt sich eine allfällige Schutzwirkung einer Hecke feststellen?
- Unterscheiden sich die Bleigehalte im offenen Freiland, im durch Hecken und dergleichen geschützten Freiland bzw. im Bereich eines Waldmantels?

Diese Fragen haben in den letzten Jahren an Aktualität gewonnen, weil die Bleitoxizität für Mensch und Tier vermehrtes Interesse der Öffentlichkeit fand und weil inzwischen nachgewiesen wurde, dass das Blei eine qualitätsvermindernde Wirkung auf Pflanzen schon in dem Bereich ausüben kann, in dem der Pflanze noch keine toxische Beeinträchtigung angesehen werden kann. Obwohl die Bleiverunreinigung oberflächlich haftet, ist zu berücksichtigen, dass 70 bis 80 Prozent der Bleiverbindungen in Auspuffgasen wasserlöslich sind (Lee et al., 1971), so dass eine minime Bleiaufnahme durch die Blattoberfläche durchaus möglich ist. Diese geringen Mengen vermögen den Stoffwechsel unter Umständen zu beeinträchtigen. So hat Flückiger (1973) nachgewiesen, dass in bleibesprühten Pflanzen die Aktivität des

Entgiftungsenzyms Peroxidase zunimmt, der Gehalt an Vitamin C und Provitamin A dagegen abnimmt, und dies bei Bleigehalten wie sie in Fichtenadelproben von Strassenrändern zu finden sind und ohne dass die Pflanze äusserlich sichtbare Symptome einer Schädigung zeigt.

3. Versuchsmethoden

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, dass die Staubfangwirkung der Pflanzen artabhängig ist. Die starke Parzellierung der offenen Flur führt dazu, dass in der Regel vor und in verschiedener Entfernung hinter einer Hecke verschiedene Pflanzenarten angebaut werden. Aus diesem Grunde sind oft keine vergleichbaren Resultate zu erhalten.

In der Vergangenheit haben sich Moose zufolge ihrer grossen spezifischen Oberfläche als Akkumulatoren für schwermetallhaltige Luftverunreinigungen (Rühling und Tyler; Huckabee, 1973, und andere), aber auch für SO_2 (Gilbert, 1968) bestens bewährt. Aus diesem Grunde entschlossen wir uns, «Staubfänger» (Probenehmer) aus Sphagnum-Moos herzustellen. Da befürchtet wurde, nistende Vögel würden das Moos wegzupfen, wurde auch Glaswolle in den Versuch einbezogen, welche ebenfalls eine sehr grosse spezifische Oberfläche aufweist.



Abbildung 2 Probenehmer. Auf ein Drahtnetz sind Sphagnum-Moos (links) bzw. Glaswolle (rechts) mit Gummibändern aufgespannt worden. Das Drahtnetz wird durch einen Blechhut vor Regen geschützt.

1 g Torfmoos bzw. 0,5 g Glaswolle wurden in einer einzigen Lage auf einem Drahtgeflecht (vgl. Abbildung 2) auf eine Fläche von 10 x 10 cm ausgebreitet und mit Gummibändern fixiert. Dieses Drahtnetz wurde mit Bostitch-Heftklammern an einem Pfahl so befestigt, dass sich der untere Drahtnetzrand zum Beispiel 10 cm über Boden¹ befand. Der obere Netzrand war bündig mit der Unterkante eines Blechhutes (Durchmesser 30 cm), welcher die Moosprobe vor der Auswaschung durch Niederschläge schützte (Abbildung 2). Auf diese Weise wurden einheitliche bleifangende «Luftfilter» erzielt, welche in verschiedener Entfernung vom Strassenrand bzw. vor und hinter einer Hecke aufgestellt werden konnten (Abbildung 3).



Abbildung 3 Anordnung der Messstellen (Probenehmer) im Bereich einer Laubhecke (der Hut ganz links steht vor der Hecke am Strassenrand).

Das Torfmoos wurde in einem verkehrsfernen, von Hochwald umgebenen Hochmoor auf dem Lindenbergs AG geholt und enthielt 5 bis 20 ppm Blei (ppm = mg/kg). Angesichts dieser grossen Streuung wurde für jede Messserie eine neue Moosprobe auf kleiner Fläche geerntet, wodurch die Streuung stark herabgesetzt werden konnte (die Streuung war vermutlich auf den variablen Schlussgrad der Bestandesoberfläche zurückzuführen).

¹ Diese Höhe richtete sich nach der Höhe der umgebenden Vegetation. Bei stets kurzgeschnittenem Rasen betrug sie 10 cm.

Nach einigen Wochen wurden die Netze eingezogen und Moos sowie Glaswolle bei 65 °C getrocknet. Die Glaswolle wurde im Soxhlet-Apparat (Glasfaser-Hülsen) mit konzentrierter Salpetersäure drei Stunden eluiert und der Bleigehalt des Eluats mit dem Atomabsorptionsphotometer bestimmt. Das Moos wurde gemahlen, nass verascht und der Bleigehalt der Aschenlösung ebenfalls mit dem Atomabsorptionsphotometer gemessen.

Zur Nassveraschung wurde die Moosprobe in 10 ml HNO_3 conc./100 mg Probe 15 bis 20 Minuten lang gekocht (bis klare Lösung), auf 3 ml eingedampft, abgekühlt, mit 5 ml H_2O_2 (30 Prozent) versetzt, erneut aufgekocht und auf etwa 2 ml eingedampft. Der Kolben wurde dann mit aqua dest. ausgespült und die Lösung auf 20 ml verdünnt.

Das Atomabsorptionsphotometer Jarrell-Ash (Modell 82-271) wurde mit einer Wasserstoff-/Pressluft-Flamme betrieben unter Verwendung einer Blei-Hohlkathodenlampe ($\lambda = 2170 \text{ nm}$).

Die Untersuchungen wurden an folgenden Orten durchgeführt:

1. EAFV Birmensdorf, Hagebuchenhecke und Ramerenwald an Zürcherstrasse;
2. Flugplatz Dübendorf, Hagebuchenhecke an Strasse nach Uster;
3. Oensingen, im Bereich der Autobahn N 3;
4. Rheinfelden, Laubholz- bzw. Thujahecke an Autobahn bei der Brauerei Feldschlösschen.

Der Bleigehalt des unmittelbar am Strassenrand aufgestellten Probenehmers wurde gleich 100 Prozent gesetzt, um von der Verkehrsfrequenz unabhängige Vergleichswerte zu erhalten.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Die Eignung des Filtermaterials

Bei den ersten Serien im Frühjahr 1972 wurde neben Sphagnum-Moos auch Glaswolle verwendet. Entgegen den Erwartungen bevorzugten die Vögel die Glaswolle als Nistmaterial und «plünderten» verschiedene Netze, so dass die Vergleichsuntersuchungen nur zum Teil durchgeführt werden konnten. Dabei zeigte sich, dass die Glaswolle, möglicherweise zufolge einer gewissen elektrostatischen Ladung, mehr Blei absorbierte als das Moos, doch waren die Relativwerte ähnlich (vgl. Abbildung 4). In den folgenden Serien wurde daher nur Moos verwendet.

4.2 Die Filterwirkung von Laubhecken

In Tabelle 1 finden sich Ergebnisse, welche im Bereich von je einer dichten bzw. lockeren Laubhecke sowie einer Hecke im unbelaubten bzw. belaubten Zustand gewonnen wurden. Alle diese Hecken bestanden aus Hagebuchen und waren etwa 1 m breit. Leider konnten keine von Hecken ungeschützte Proben an denselben Strassen exponiert werden. Als «Nullpro-

ben» müssen daher Werte dienen, welche an ungeschützten Proben im Bereich der Autobahn N 1 gefunden wurden. Zusätzlich werden Werte für Gras aus dem Bereich von Kantonsstrassen angegeben, welche nach Daten von Quinche et al. (1969) errechnet werden konnten.

Tabelle 1. Relative Bleigehalte im Bereich stark befahrener Strassen

Distanz m	ohne Laub		dichte Hecke				ohne Hecke ² (Gras) %
	dichte Hecke %	lockere Hecke %	ohne Laub %	mit Laub %	ohne Hecke %		
2/2,5	100 ³	100	100	100	100	100	100
3	42	59	60	36	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	58
7	—	—	—	—	77	—	—
8	22	35	37	35	—	—	—
12	—	—	—	—	70	—	—
13	26	37	34	30	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	44
22	—	—	—	—	42	—	—
23	27	11(?)	34	24	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	45

² Nach Angaben aus Quinche et al. (1969).

³ Dieser Balken deutet die Lage der Hecke an.

Aus den Werten der Tabelle 1 geht hervor, dass eine dichte bzw. belaubte Hecke den Bleigehalt der Proben etwas stärker abfallen liess als eine lockere bzw. unbelaubte Hecke. Die Hecken-Schutzwirkung ist besonders deutlich beim Vergleich mit den ungeschützten Proben von Kolonne 6. Die Werte von Kolonne 7 weisen darauf hin, dass der Bleigehalt im strassennahen Bereich auch ohne Hecken rasch abfallen kann. Diese Werte sind jedoch an Gras und nicht mit der gleichen Methode erarbeitet worden. Die Stabilisierung dieser Werte im Distanzbereich > 15 m lässt relativ höhere Bleigehalte der nicht durch Hecken geschützten Proben auch in grösseren Distanzen von der Strasse vermuten.

4.3 Die Filterwirkung einer *Thuja*-hecke

Von immergrünen Hecken lässt sich eine bessere Schutzwirkung während der Vegetationsruhe erwarten. Aus diesem Grunde finden sich vereinzelt *Thuja*-hecken als Gartenabgrenzungen gegen Autostrassen. An der Auto-

bahn bei Rheinfelden liess sich die vergleichsweise Wirkung einer lockeren Laub- und einer dichten Thujahecke im strassennahen Bereich untersuchen. Dabei zeigte sich kein wesentlicher Wirkungsunterschied zwischen belaubter und unbelaubter Hecke (im Gegensatz zur dichten Hecke von Tabelle 1). Stets jedoch war der Bleigehaltsabfall im Bereich der Thujahecke sehr drastisch, wie aus Tabelle 2 hervorgeht. Aus technischen Gründen konnte die Untersuchung nicht auf grössere Distanzen ausgedehnt werden.

Tabelle 2. Vergleich der relativen Bleigehalte im Bereich einer Laub- bzw. Thujahecke in verschiedener Distanz vom Strassenrand

<i>Distanz</i> <i>m</i>	<i>Laubhecke</i> <i>%</i>	<i>Thuja</i> <i>%</i>
2	100	100
— ⁴		
3	—	23
4	44	—
10	46	10
14	42	8

⁴ Dieser Balken deutet die Lage der Hecke an.

4.4 Die Filterwirkung eines Waldsaumes

Wenn schon eine schmale und niedrige Hecke eine so starke Wirkung auszuüben vermag, wie in den Tabellen 1 und 2 zum Ausdruck kommt, dann müsste ein Waldsaum eine mindestens ebenso gute Wirkung aufweisen. Bereits Keller und Preis (1967) haben gezeigt, dass Fichtennadeln aus dem Waldesinnern schon in 50 m Entfernung von der Strasse bleiarm sind, doch fehlen in jener Arbeit Werte für den strassennahen Bereich. In Tabelle 3 werden die Ergebnisse von Messungen zusammengestellt, welche bei der EAFV an einer Hagebuchenhecke und im benachbarten Laubmischwald mit gutausgebildetem Waldmantel (etwa 6 m breite Gebüschezone) durchgeführt wurden.

Luft und Vegetation im Schutze eines gutausgebildeten Waldmantels werden somit wesentlich bleiärmer gehalten als im Schutze einer Hecke. Interessant ist die Beobachtung, dass die Werte im Bereich des Waldsaumes nicht wesentlich tiefer liegen als im Bereich einer Thujahecke (Tabelle 2). Während im Wald die Werte jedoch auch in grösseren Entfernung tief

Tabelle 3. Relative Bleigehalte im strassennahen Bereich einer Hecke und eines Waldsaums

<i>Distanz</i> <i>m</i>	<i>Laubhecke</i> <i>%</i>	<i>Wald</i> <i>%</i>
2	100	100
— ⁵		
3	36	—
8	35	12
13	30	10
18	—	3,5
23	24	—

⁵ Dieser Balken deutet die Lage der Hecke bzw. den Vorderrand des Waldsaums an.

bleiben, dürften sie im mit der Thujahecke geschützten Freiland wieder ansteigen, denn die Hecke wird von einem grossen Teil der Luft einfach überströmt. Die verschmutzte Luft senkt sich hinter der Hecke wieder (zwar verdünnt durch Zumischung von sauberer Luft). Demgegenüber muss die in den Wald einströmende Luft den reinigenden Waldmantel oder Kronenraum durchqueren.

4.5 Die Filterwirkung eines Feldgehölzes

Im Raume Oensingen führt die Autobahn N 1 der Dünnern entlang, welche an beiden Ufern von einer Pappelreihe mit Gebüsch begleitet wird. Diese Pappelallee hat sich im Laufe der Jahre zu einem über 10 m hohen Feldgehölz ausgewachsen. In diesem Gebiet liessen sich gleichzeitig Messungen in ungeschütztem Wiesland bis 42 m Distanz durchführen. Die an Moos und Glaswolle ermittelten Werte bis in etwa 250 m Entfernung sind in Abbildung 4 dargestellt. Diese Darstellung lässt erkennen, dass die Bleigehalte im Bereich des Feldgehölzes deutlich niedriger liegen als im offenen Freiland, wobei in beiden Fällen im strassennahen Bereich ein steiler Abfall des Bleigehaltes festzustellen ist. Im offenen Freiland scheint der Bleigehalt in grösserer Entfernung jedoch auf einem höheren Niveau zu bleiben.

In Abbildung 5 wird der Einfluss verschiedener Vegetationsformen auf die distanzabhängige Bleigehaltsabnahme zusammenfassend dargestellt. Dabei kommt zum Ausdruck, dass nach Quinche et al. (1969) in einiger Entfernung von der Strasse der Bleigehalt im Freiland ein zweites Maximum erreichen kann. Dies wurde vor allem im Hochsommer gefunden. Die Frage, ob

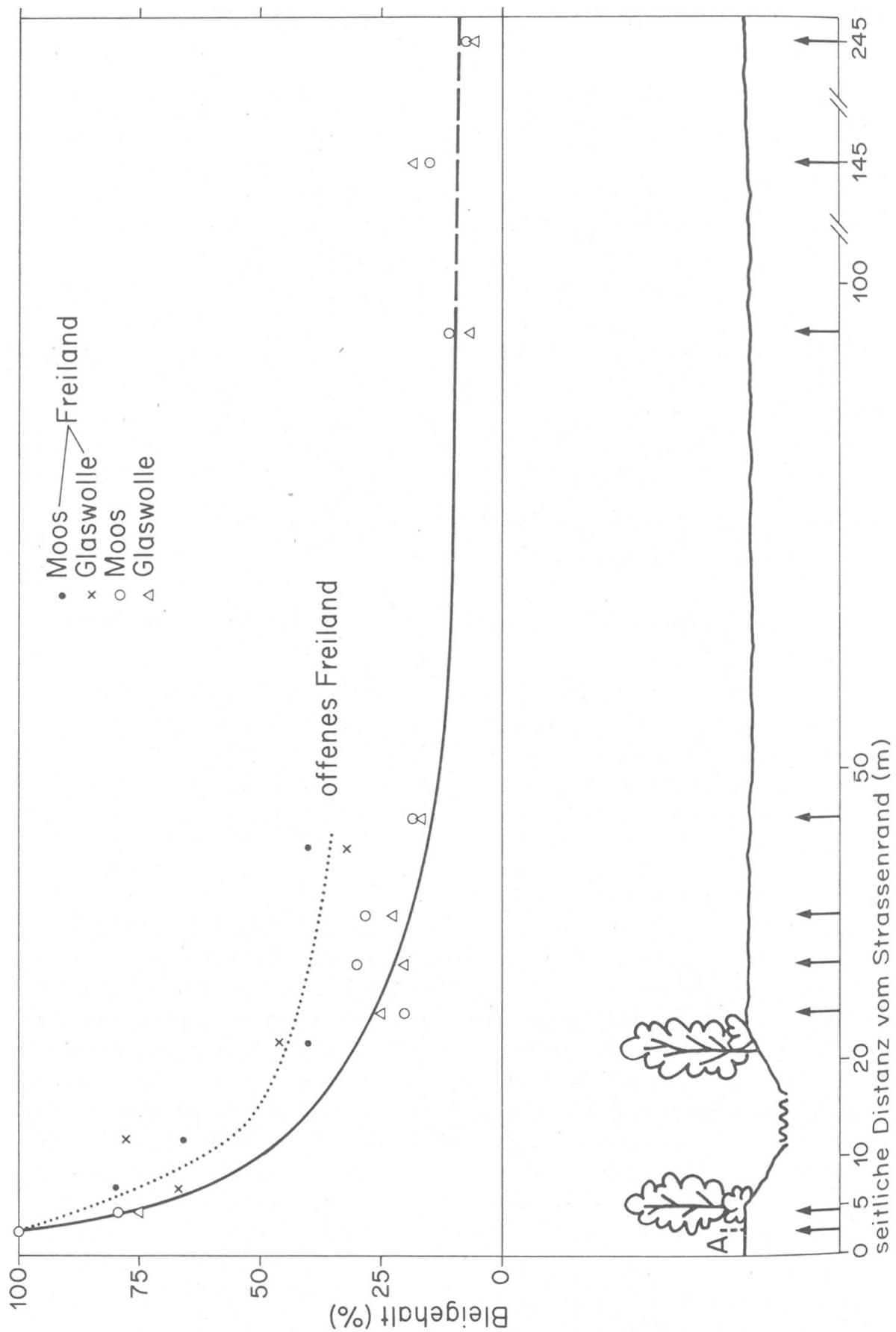


Abbildung 4 Relative Bleigehalte in Abhängigkeit der seitlichen Entfernung vom Strassenrand einer Autobahn im Bereich eines Feldgehölzes bzw. im offenen Freiland. Die untere Zeichnung gibt die Lage des Feldgehölzes wieder. A = Autobahn (Pannenstreifen).

solche Verhältnisse auch im Schutze des Feldgehölzes vorkommen können, bleibt unbeantwortet, weil unsere in dieser Richtung zielen den Versuche durch mutwilliges Entfernen mehrerer Probenehmer durch Unbekannte gestört wurden.

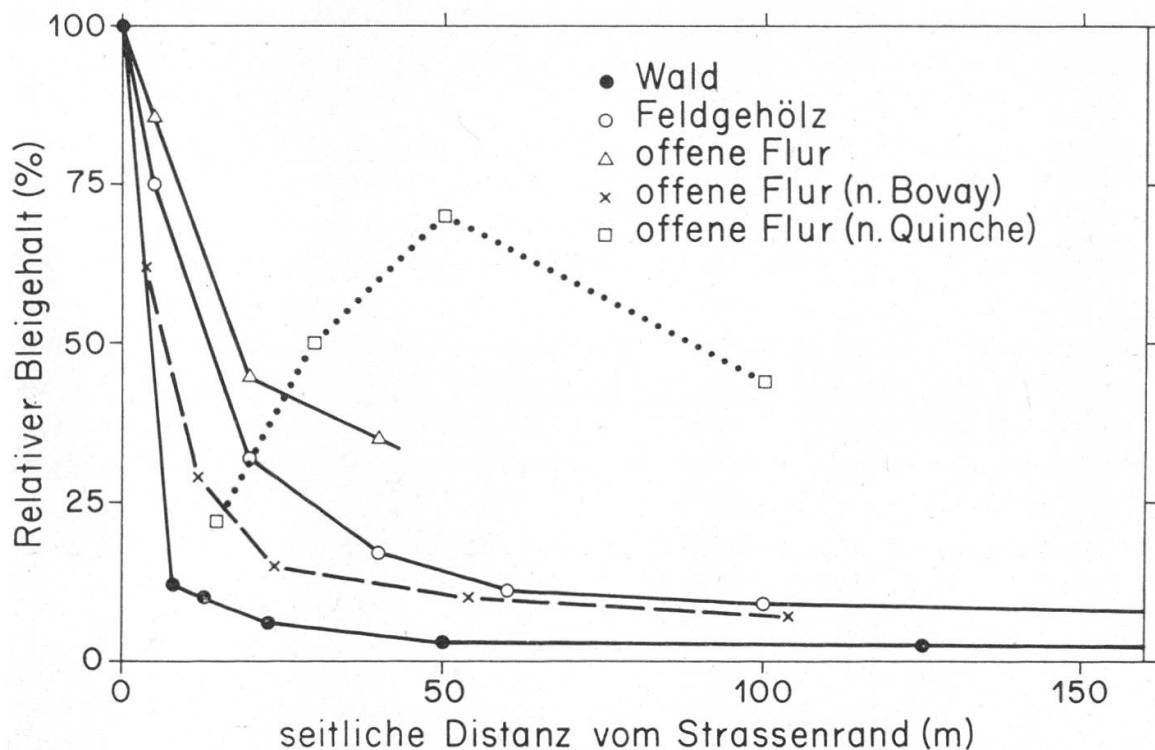


Abbildung 5 Relative Bleigehalte in Abhängigkeit der seitlichen Entfernung vom Strassenrand stark befahrener Strassen.

4.6 Filterung oder nur Verdünnung und Ablenkung?

Die kritischen Gedanken Flemmings (1972) zur Staubschutzwirkung von Gehölzen führten dazu, dass dem quantitativen Aspekt des Problems vermehrt Beachtung geschenkt wurde, da dieser Autor die Filterwirkung in Frage stellt: «Die gute Qualität der Luft im Gehölzbereich beruht mehr auf dem Nichtvorhandensein von Rauchquellen als auf dem Vorhandensein von Gehölzen. Nur zu einem kleineren Anteil beruht sie auf einem echten Schutzeffekt des Gehölzes relativ zum gehölzfreien Gelände.» «Ausdrücke wie „Filterwirkung“ ... sind ... nur bedingt geeignet.» Flemmings Arbeit enthält jedoch keine quantitativen Resultate experimenteller Untersuchungen.

Aus Abbildung 5 geht deutlich hervor, dass auch ohne Hecke der Bleigehalt in Strassennähe mit zunehmender Distanz rasch abfällt (Angaben nach Bovay, 1971). Allerdings kann im Hochsommer in grösserer Entfernung wieder eine starke Bleigehaltszunahme eintreten (Quinche et al., 1969),

die möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass die Abgase im Sommer durch eine thermische Strömung zuerst vertikal verfrachtet und nachher durch Seitenwind in grössere Entfernung geblasen werden. Eine Hecke könnte durch Schattenwurf möglicherweise auch diesen Verhältnissen entgegenwirken.

Der effektive Staub-(Blei-)rückhalt der Hecke bleibt noch zu untersuchen. Zu diesem Zweck ist in Tabelle 4 die Bleigehaltszunahme pro 10 Tage der Probenehmer in Strassennähe im Bereich des Feldgehölzes (Abbildung 4) zusammengestellt. Daraus geht hervor, dass am Strassenrand vor dem Gehölz die Bleigehaltszunahme wesentlich grösser ist als im Freiland. Daraus darf geschlossen werden, dass das Feldgehölz effektiv eine Filter- und Schutzwirkung ausübt. Die in zahlreichen Untersuchungen festgestellten erhöhten Bleigehalte der strassennahen Vegetation implizieren ebenfalls eine Filterwirkung der Vegetation. Hecken besitzen gegenüber der Gras- und Krautflora eine erhöhte Filterwirkung, da ihr Kronenvolumen grösser ist. Der obere Kronenraum vermag Partikelchen aus der Luft zu absorbieren, welche sonst in grössere Entfernung verfrachtet worden wären. Die strassennahen Hecken bewirken damit eine vermehrte Bleianreicherung am Strassenrand. Daher dürften auch Bodenanalysen die Filterwirksamkeit von Hecken eindeutig nachweisen.

Tabelle 4. Bleigehaltszunahme der Probenehmer pro zehntägige Expositionsdauer (ppm = mg/kg Trockensubstanz)

<i>Distanz</i> <i>m</i>	<i>Bleigehaltszunahme ppm Pb/10 d</i> <i>ohne Hecke</i>	<i>mit Hecke</i>
2	141	182
4,5	—	124
7	104	—
12	103	—
22	54	—
25	—	44
30	—	40
42	46	—

Auch wenn wir daher weiterhin von einer Filterwirkung der Vegetation sprechen, so bestätigt doch eine Überschlagsrechnung die Ansicht Flemmings, dass die Verbesserung der Luftqualität im Bereich von Gehölzen nur

zum kleineren Teil auf der Filterwirkung beruhe. Wenn wir nämlich annehmen, dass auf der Autobahn an unserem Feldgehölz täglich 20 000 Autos mit einem durchschnittlichen Benzinverbrauch von 10 l/100 km vorbeifahren und dass der ganze Bleigehalt von 0,5 g/l Benzin ausgepufft werde, so entspricht dies einer täglichen Bleiemituation von 1 g Blei/m². Nimmt man weiter an, die Vegetation besitze ein Trockengewicht von 1 kg/m² (= 10 t/ha), so müsste ihr Bleigehalt täglich um 1000 ppm ansteigen, wenn alles Blei in einem meterbreiten Streifen haftenbleiben würde. Demgegenüber betrug die Bleigehaltszunahme in 2 m Entfernung vom Strassenrand in 10 Tagen nur 182 ppm (Tabelle 4). Im Heckenbereich bis 25 m betrug die durchschnittliche Bleigehaltszunahme $182 + 44 : 2 = 113$ ppm/10 d. Für 25 m² mit je 1 kg Vegetationsmasse würde dies nur 2,8 g Blei/10 d ausmachen (also rund 30 Prozent der Emission). Diese Zahlen mögen genügen, um zu zeigen, dass nur ein Bruchteil des emittierten Bleistaubes von der Vegetation aufgefangen werden kann. Auch wenn somit die Filterwirkung nicht überschätzt werden darf (*Lampadius*, 1963), so sollte sie doch auch nicht bagatellisiert werden.

Die Berechnung der Bleigehaltszunahme der Proben/10 Tage Expositionsdauer liess erkennen, dass die Zunahme des Bleigehalts im strassennahen Bereich bei kühlem Wetter mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit im Herbst grösser war als im Sommer. Offenbar bleibt das Blei zufolge geringerer Thermik in Boden- (und Strassen-)nähe. So betrug die Bleigehaltszunahme dreier Probestellen im August/September 37,1, 74,7 bzw. 96,8 ppm Pb/10 d, im September/November dagegen 40,4, 73,8 bzw. 61,8 ppm Pb/10 d, obwohl die Verkehrsfrequenz an diesen Messstellen im Herbst während mehrerer Wochen halbiert war. Dieser Befund unterstützt die Feststellung von Daines et al. (1970), wonach die höchsten Bleigehalte der Luft im Herbst und Winter auftreten.

Zum Schluss möchte ich allen danken, welche mich bei diesen Untersuchungen unterstützt haben: Prof. Dr. Trefzer (Technikum beider Basel, Liestal) und Dr. E. Bovay (Forschungsanstalt Liebefeld) übernahmen die Analyse von Proben aus Testversuchen, Dr. W. Flückiger (Universität Basel) beriet uns bei der Nassveraschung. Namentlich danke ich aber Herrn L. Bernhard für die sorgfältige Durchführung der Analysen und Frau H. Beda-Puta für die Vorbereitung der Probenehmer.

Schlussfolgerungen

1. Wie aus den Tabellen 1 und 2 sowie den Abbildungen 4 und 5 deutlich hervorgeht, vermag eine Hecke am Strassenrand die Bleikontamination der dahinterliegenden Vegetation nachweisbar zu vermindern.
2. Schon bei einer niedrigen Hecke (1 m hoch) lässt sich diese Schutzwirkung bis in grössere Distanzen nachweisen als der 20fachen Heckenhöhe entspricht. (Die lokalen Verhältnisse der Messorte verhinderten leider eine

Ausdehnung der Untersuchungen bis in grössere Entfernungen.) Es liegt somit eine Ähnlichkeit mit den Befunden Nägelis (1965) vor, wonach sich die Wirkung einzelner (lockerer) Windschutzstreifen leeseits bis über die 25fache Streifenhöhe hinaus messen lässt (bei einem Auftreffwinkel des Windes von 90 Grad).

3. Die Bleigehalte vergleichbarer Moosproben aus dem offenen bzw. durch eine Hecke geschützten Freiland unterscheiden sich wesentlich. Die stärkste Schutzwirkung übt allerdings ein Waldmantel aus (Tabelle 3). Ein solcher lässt die Bleigehalte auf Werte absinken, wie sie im Freiland des schweizerischen Mittellandes im Einflussbereich stark befahrener Strassen wohl kaum mehr zu erreichen sind.

4. Die Schutzwirkung von Hecken und Waldrändern beruht nicht nur auf einer Filterwirkung durch Adsorption der Staubteilchen, sondern auch auf der Veränderung der Windströmungsverhältnisse. Eine Überschlagsrechnung deutet darauf hin, dass dem zweitgenannten Faktor sogar die grössere Bedeutung zukommen könnte. Angesichts der deutlichen Bleigehaltzunahme der Moosproben sollte die luftreinigende Filterwirkung der Vegetation jedoch nicht bagatellisiert werden.

Résumé

De l'effet filtrant des haies sur la poussière due au trafic routier et en particulier sur les composés du plomb

L'effet épurant de la végétation sur la poussière est connu depuis longtemps déjà, mais gagne à nouveau en actualité par l'augmentation constante du trafic à moteur. Spécialement les composés de plomb provenant des gaz d'échappement des moteurs à essence de plomb forment une couche sur la surface des plantes, de sorte que, entre autres, la question suivante se pose: «Les haies le long des routes sont-elles à même de protéger la végétation poussant derrière contre une contamination de plomb?»

Pour éclaircir cette question, des échantillons standard de mousse furent posés à différents écartements derrière les haies le long des routes, puis leur teneur en plomb fut analysée. Il en résulte que la teneur en plomb baissait d'autant plus que l'éloignement de la route augmentait, surtout dans la zone d'efficacité d'une haie.

On se demande également si l'effet protecteur mesurable d'une haie est dû à l'effet filtrant ou s'il est plutôt dû à une déviation du courant de l'air pollué dont l'effet nocif est atténué par son mélange avec de l'air frais. Selon un calcul approximatif, il en est déduit que l'amélioration de la qualité de l'air à proximité de haies, forêts, etc. n'est attribuée qu'en partie à un effet filtrant qui ne devrait pourtant pas être bagatellisé.

Traduction: S. Kober

Literatur

- Anon., 1972: Health hazards of lead. Für die EPA angefertigte, vervielfältigte Studie
- Bernatzky, A., 1968: Die Bedeutung von Schutzpflanzungen gegen Luftverunreinigungen. In: Air Pollution. Wageningen, p. 383—395
- Blum, W., 1965: Luftverunreinigung und Filterwirksamkeit des Waldes. Forst- und Holzwirt 20 (10): 211—215
- Bovay, E., 1971: Les dépôts de plomb sur la végétation le long des autoroutes. In: Das Problem der Benzinverbleitung. p. 101—117. Bull. Eidg. Gesundheitsamt, Beilage B 3/1971
- Briggs, D., 1972: Population differentiation in *Marchantia polymorpha* L. in various lead pollution levels. Nature 238 (5360): 166—167
- Broyer, T. C., Johnson, C. M., und Paull, R. E., 1972: Some aspects of lead in plant nutrition. Plant Soil 36 (2): 301—313
- Cannon, H. L., und Bowles, J. M., 1962: Contamination of vegetation by tetraethyl lead. Science 137: 765—766
- Chow, T. J., 1970: Lead accumulation in roadside soil and grass. Nature 225: 295—296
- Daines, R. H., Motto, H., und Chilko, D. M., 1970: Atmospheric lead: its relationship to traffic volume and proximity to highways. Environm. Sci. Technol. 4: 318—322
- Flemming, G., 1972: Qualitative Modellbetrachtungen zur Staubschutzwirkung von Gehölzen. Archiv Naturschutz Landschaftsforsch. 12 (3): 177—188
- Flückiger, W., 1973: Der Einfluss aufgesprühter Bleilösungen auf physiologische Prozesse bei *Ricinus communis* L. Unveröff. Diss. Univ. Basel; im Druck als «Bericht» der Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, Birmensdorf
- Garber, K., 1967: Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. Bornträger, Berlin-Nikolassee, 279 pp.
- Garber, K., 1973: Luftverunreinigungen, eine Literaturübersicht. Berichte Nr. 102, Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, Birmensdorf, 216 pp.
- Garber, K., 1974: Schwermetalle als Luftverunreinigung — Blei — Zink — Cadmium. Beeinflussung der Vegetation. Staub-Reinhaltg. Luft 34 (1): 1—7
- Gish, C. D., und Christensen, R. E., 1973: Cadmium, nickel, lead, and zinc in earthworms from roadside soil. Environm. Sci. Technol. 7: 1060—1062
- Goodman, G. T., und Roberts, T. M., 1971: Plants and soils as indicators of metals in the air. Nature 231 (5301): 287—292
- Heilenz, S., 1970: Untersuchungen über den Bleigehalt von Pflanzen an verkehrsreichen Standorten. Landwirtsch. Forschung, Sonderheft 25: 73—78
- Helbing, C. D., 1973: Staubimmissionen im Bonner Stadtgebiet. Diss. Rhein. Friedr. Wilh. Univ. Bonn, 151 pp.
- Hennebo, D., 1955: Staubfilterung durch Grünanlagen. Wiss. Ber. II, Bauwesen, Heft 19, 79 pp. VEB-Verlag Technik, Berlin
- Herbst, W., 1965: Filter und Schutzwirkung des Waldes gegen radioaktive und andere Beimengungen der Atmosphäre. Forst- und Holzwirt 20 (10): 216—220

- Högger, D.*, 1971: Das Problem der Benzinverbleiung. Bull. Eidg. Gesundheitsamt, Beilage B, 3/71: 3—19
- Huckabee, J. W.*, 1973: Mosses: sensitive indicators of airborne mercury pollution. *Atmos. Environm.* 7 (7): 749—754
- Impens, R., Deroanne-Bauvin, J., und Billian, J.*, 1973: La contamination plombique de l'environnement à proximité des autoroutes. *Ann. Gembloux*, 79: 85—96
- Jones, L. H. P., und Clement, C. R.*, 1972: Lead uptake by plants and its significance for animals. In: *Lead in the Environment* (Hepple, P. edit.) p. 29—32. Inst. Petrol. London
- Keaton, C. M.*, 1937: Influence of lead compounds on the growth of barley. *Soil Sci.* 43: 401—411
- Keller, Th.*, 1970: Zum Problem der verkehrsbedingten Bleirückstände in der Vegetation. *Strasse und Verkehr* 56 (1): 52—54
- Keller, Th., und Preis, H.*, 1967: Der Bleigehalt von Fichtennadeln als Indikator einer verkehrsbedingten Luftverunreinigung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 118: 143—162
- Keller, Th. und Zuber, R.*, 1970: Über die Bleiaufnahme und die Bleiverteilung in jungen Fichten. *Forstwiss. Cbl.* 89: 20—26
- Kloke, A., und Leh, H. O.*, 1968: Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. In «*Air Pollution*» Wageningen; p. 259—268
- Kloke, A., und Riebartsch, K.*, 1964: Verunreinigung von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. *Naturwiss.* 51: 367—368
- Lampadius, F.*, 1963: Die lufthygienische Bedeutung des Waldes in ihrer Abhängigkeit von schädlichen Rauchwirkungen auf den Wald. *Angew. Meteorologie* 4 (8—10): 248—249
- Lee, J. A.*, 1972: Lead pollution from a factory manufacturing antiknock compounds. *Nature* 238: 165—166
- Lee, R. E., Jr., Patterson, R. K., Crider, W. L., und Wagman, J.*, 1971: Concentration and particle size distribution of particle emissions in automobile exhaust. *Atm. Environm.* 5 (4) 225—237. Zitiert nach Referat in *Staub-Reinhalt. Luft* 32 (1), (1972)
- Leh, H. O.*, 1966: Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. *Gesunde Pflanzen* 18 (2)
- Marletta, G., Pertoldi, L., Favretto, G., und Favretto, L.*, 1973: Lead in grapes exposed to automobile exhaust gases. *J. Sci. Food Agr.* 24: 249—252. Zitiert nach: *Air Pollut. Abstr.* 4 (9): 96 (1973)
- Meldau, R.*, 1955: *Handbuch der Staubtechnik*. Bd. 1, Düsseldorf
- Nägeli, W.*, 1965: Über die Windverhältnisse im Bereich gestaffelter Windschutzstreifen. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Vers.wesen* 41 (5): 221—300
- Neuwirth, R.*, 1965: Der Wald als Aerosolfilter. *Forst- u. Holzwirt* 20 (10): 220—223
- Page, A. L., Ganje, T. J., und Joshi, M. S.*, 1971: Lead quantities in plants, soil, and air near some major highways in southern California. *Hilgardia* 41 (1): 1—31. Zitiert nach: *Air Pollut. Abstr.* 3 (3): 132 (1972)

- Podgorow, N. W.*, 1967: Die staubfilternde Rolle von Anpflanzungen. *Les Khoz.* 20: 39—40. Zitiert nach: *Air Pollut. Abstr.* 2 (2): 29 (1971)
- Quinche, J. P., Zuber, R., und Bovay, E.*, 1969: Les dépôts de plomb provenant des gaz d'échappement des véhicules automobiles le long des routes à forte densité de circulation. *Phytopath. Z.* 66: 259—274
- Rabinowitz, M.*, 1972: Plant uptake of soil and atmospheric lead in southern California. *Chemosphere* 1 (4): 175—180
- Rains, D. W.*, 1971: Lead accumulation by wild oats (*Avena fatua*) in a contaminated area. *Nature* 233: 210—211
- Rao, D. N.*, 1970: A study of the air pollution problem due to coal unloading in Varanasi, India. 2nd Internat. Clean Air Congress. Zitiert nach: *Air Pollut. Abstr.* 2 (4): 141 (1971)
- Rolfe, G. L.*, 1973: Lead uptake by selected tree seedlings. *J. Environm. Quality* 2 (1): 153—157
- Rühling, A., und Tyler, G.*, 1968: An ecological approach to the lead problem. *Bot. Notiser* 121: 321—342
- Rühling, A., und Tyler, G.*, 1970: Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch. *Oikos* 21: 92—97
- Rühling, A., und Tyler, G.*, 1971: Regional differences in the deposition of heavy metals over Scandinavia. *J. appl. Ecol.* 8: 497—507
- Schuck, E. A., und Locke, J. K.*, 1970: Relationship of automotive lead particulates to certain consumer crops. *Environm. Sci. Technol.* 4 (4): 324—330
- Steubing, L., und Klee, R.*, 1970: Vergleichende Untersuchungen zur Staubfilterwirkung von Laub- und Nadelgehölzen. *Angew. Bot.* 44: 73—85
- Suchodoller, A.*, 1967: Untersuchungen über den Bleigehalt von Pflanzen in der Nähe von Strassen und über die Aufnahme und Translokation von Blei durch Pflanzen. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.* 77: 266—308
- Wentzel, K. F.*, 1960: Wald- und Luftverunreinigung. *Landwirtschaft-Angew. Wissenschaft* 107: 140—168
- Zuber, R., Bovay, E., Tschannen, W., und Quinche, J. P.*, 1970: Le plomb comme facteur de pollution atmosphérique et son accumulation sur les plantes croissants en bordure des artères à forte densité de circulation. *Recherche agron. Suisse* 9 (1): 83—96