

DIE AB- UND AUSWASCHUNG VON FLUORID ALS MECHANISMUS ZUR VERRINGERUNG DER FLUORAKKUMULATION IN NADELN UND BLÄTTERN

Von

KRONBERGER W.

Botanisches Institut der Universität für Bodenkultur
Wien

SUMMARY

Washing off and washing out of fluoride as a mechanism of
fluoride reduction in needles and leaves

As has been known so far, diffusion of fluoride through intact isolated cuticels is very small. However, diffusion of fluoride into leaves grown under natural environmental conditions is sufficient to produce damage to the leaf tissue when fluoride containing solutions are applied to astomatous leaf surfaces. An attempt was therefore made to evaluate the importance of transcuticular fluoride loss from leaves of woody plants.

A rather high amount of fluoride can be washed within 20 sec from leaves collected in immission areas. With further washing of up to 2 hours, the amount of fluoride found in the washing solution decreases rapidly.

Experiments with *Picea abies* and *Fagus sylvatica* show that only a small part of the internal fluoride is translocated to the leaf surface and easily removed by washing. In a chronically polluted area most of the surface fluoride will come directly from the immissions. Rainfall mainly decreases the high concentration of this surface-adsorbed fluoride and, therefore, transcuticular uptake.

Keywords: fluoride, woody plants, transcuticular loss, transcuticular uptake.

EINLEITUNG

Als Mechanismus, der den Fluor-Gehalt von Blättern verringert, wurde neben anderen auch die Wirkung atmosphärischer Niederschläge, vor allen von Regen diskutiert. Versuche an experimentell begasten Pflanzen zeigen tatsächlich, daß relativ große Mengen an Fluorid entfernt werden können. Sowohl LEDBETTER et al. (1960), als auch JACOBSON et al. (1966) fanden nach kurzer und schonender Wäsche mit verschiedenen wässrigen Medien deutliche Abnahmen des Blattfluorgehaltes von Tomatenpflanzen. In den Versuchen von LEDBETTER et al. mit dem Fluorisotop ^{18}F (Begasungsdauer bis 2 Stunden), betrug die Abnahme sogar weit über 50%. JACOBSON et al. konnten nach einer mehrtägigen Begasung mit HF 24 bis 40% des akkumulier-

ten Fluors wieder entfernen. Ebenfalls an Tomate fanden LEONE et al. (1956) nach variierten Begasungsbedingungen Abnahmen des F-Gehaltes, die von rund 20% bis über 50% reichten.

HITCHCOCK et al. (1971) verfolgten an experimentell begasten Luzernepflanzen die Abnahme der F-Konzentration unter Freilandbedingungen. Sie fanden eine 50 %-ige Abnahme in 8 bis 22 Tagen, wobei sie unter Berücksichtigung der Verdünnung des aufgenommenen Fluorids durch Biomassezuwachs von 17% nach einer Woche und 34% nach zwei Wochen nur den jeweils verbleibenden Rest der F-Abnahme auf die Wirkung der Witterungseinflüsse zurückführen.

An Wiesengräsern, die ausschließlich unter Freilandbedingungen in einem F-Rauchschaadensgebiet exponiert waren, konnten DAVISON und BLAKEMORE (1976) eine signifikante, negative Korrelation des Fluor-Gehalts gewaschener Blätter mit dem Regenfall feststellen. Diese Untersuchung weist somit neben der Abwaschung auch der Auswaschung einen bedeutenden Anteil am Mechanismus der F-Abnahme zu.

Die wenigen bisher zur Auswaschung durchgeführten Versuche erbrachten allerdings sehr unterschiedliche Ergebnisse. So fanden LEDBETTER et al. wie auch JACOBSON et al. bei Tomatenblättern nach einmaligem Waschen eine Abnahme von rund 45%, während EDDINS (1959) selbst nach täglich wiederholtem, insgesamt 5-maligem Waschen bei Buschbohne eine Abnahme von unter 10% feststellte.

Trotz der großen Schwankungsbreite der referierten Ergebnisse steht es prinzipiell fest, daß erhebliche F-Mengen durch Regen oder durch Waschen entfernt werden können. Die Ergebnisse beziehen sich allerdings auf relativ junge und ausschließlich krautige Pflanzen. Es war zu untersuchen, ob dieser Mechanismus auch für ältere Blätter, insbesondere von Laub- und Nadelbäumen von Bedeutung ist. Berücksichtigung fanden vor allem die Verhältnisse nach längerer Immissionsbelastung und nicht die nach einer Begasung über Stunden oder Tage.

METHODE

Die Fluor-Bestimmung an Pflanzen wurde nach der Methode von LEVAGGI et al. (1971) in der Modifikation von KRONBERGER und HALBWACHS (1974) ausgeführt. Die Probe wird dabei im Schönigerkolben aufgeschlossen, und danach die F-Konzentration in der Absorptionslösung mit ionenselektiver Elektrode gemessen. Die Analyse des F-Gehaltes im Waschwasser erfolgte nach der Vorschrift zur Bestimmung von Fluorid im Trinkwasser (ORION, 1978). Gewaschen wurde mit destilliertem Wasser, das mit Acetatpuffer auf pH 5 und eine Ionenstärke von 10^{-3} Mol/l gestellt war.

ERGEBNISSE

Zunächst wurde an Proben aus verschiedenen Rauchschaadensgebieten die kurzfristig abwaschbare F-Menge bestimmt, wobei die Blätter oder Triebe jeweils einzeln 20 sec lang im Wasser geschwenkt wurden. Die Menge des Waschwassers entsprachen dem rund 3 bis 5-fachen des insgesamt zu waschenden Frischgewichts. Der F-Gehalt des Waschwassers und der der gewaschenen Blätter und Nadeln wurde auf das Trockengewicht der Probe bezogen.

Es zeigt sich, daß der in 20 sec abwaschbare Teil des Gesamtfluorgehaltes von einigen wenigen % bis etwa 35% schwanken kann, wobei der Häufigkeitsschwerpunkt bei 10 bis 20% liegt. Dies schließt Proben ein, die aus unterschiedlichen Rauchschaadensgebieten, von verschiedenen Laub-

und Nadelbäumen, nach unterschiedlichen Witterungsverhältnissen und zu unterschiedlichen Jahreszeiten geworben wurden. Höhere abwaschbare Anteile bis etwa 50% wurden an jungen krautigen Pflanzen gefunden, in Einzelfällen, wie z.B. bei Raps, auch über 50%. Auch Blätter außerhalb von F-Rauchschadensgebieten weisen einen in 20 sec abwaschbaren Anteil auf. Bezogen auf die niedrigen, natürlichen F-Gehalte kann dieser Anteil 10% und auch mehr erreichen, vor allem dann, wenn die Blätter durch Staub kontaminiert wurden.

Um die Abhängigkeit der abwaschbaren F-Menge vom Nadelalter zu bestimmen, wurden die jahrgangsweise getrennten Triebe jeweils 20 sec lang gewaschen. Trotz steigender F-Gehalte in den älteren Jahrgängen nahm die abwaschbare F-Menge pro g Trieb stets ab. Diese Tendenz war in verschiedenen Rauchschadensgebieten und bei verschiedenen Arten (Fichte, Blaufichte, Tanne) festzustellen. Ein Beispiel zeigt Tab. 1 an einer Blaufichte. Selbst wenn man die abwaschbare F-Menge auf die (nur ungenau zu bestimmende) Oberfläche bezieht, bleibt der Abfall zu den älteren Jahrgängen hin erhalten. Zwei Gründe mögen dafür genannt sein: Die älteren Jahrgänge sitzen am Ast etwas geschützt, da die jüngeren, stärker exponierten schon einen Teil der Immissionen ausfiltern. Der zweite und wahrscheinlich gewichtigere Grund dürfte in der Oberflächenstruktur der Cuticularwachs zu suchen sein. Die Wachstrukturen werden mit zunehmendem Nadelalter und überdies in verstärktem Ausmaß unter dem Einfluß von SO₂-Immissionen degradiert (GRILL, 1973). Dadurch wird ihre Oberfläche ständig kleiner, sodaß sie auch weniger Fluorid adsorptiv binden können. Dafür spricht auch, daß die abwaschbare F-Menge stets kleiner wird, wenn man statt frischer Triebe bei 80°C getrocknete wäscht. Das beim Trocknen schmelzende Wachs verfließt zu einem Film mit einer viel geringeren Oberfläche und inkludiert dabei auch Fluorid.

Blaufichte			
	Nadelgehalt	in 20 sec waschbar	% waschbar
	(ppm F, TS)	(ppm F, TS Triebe)	(v. Nadelgehalt)
1. Jg.	17,4	1,80	10,3
2. Jg.	23,5	0,94	4,0
3. Jg.	31,0	0,84	2,7

Tab. 1: Der durch 20 sec Waschen entfernbare Teil des Gesamtfluorgehaltes in Abhängigkeit vom Nadelalter

Offenbar sind auch im Cuticularwachs frischer Triebe gewisse F-Mengen eingeschlossen, oder so fest daran adsorbiert, daß sie in 20 sec nicht abgewaschen werden. Wird nämlich das Wachs zunächst mit Chloroform entfernt, das Chloroform verdampft, und der Rückstand zur F-Analyse im Schönigerkolben aufgeschlossen, so steigt die Ausbeute auf das rund Dreifache an. Schließt man an die Chloroformwäsche noch eine mit Wasser, lassen sich nur mehr geringfügige F-Mengen entfernen. Wird jedoch vorher mit Wasser gewaschen, nimmt die Chloroformfraktion um den bereits entfernten Betrag ab (Abb.1).

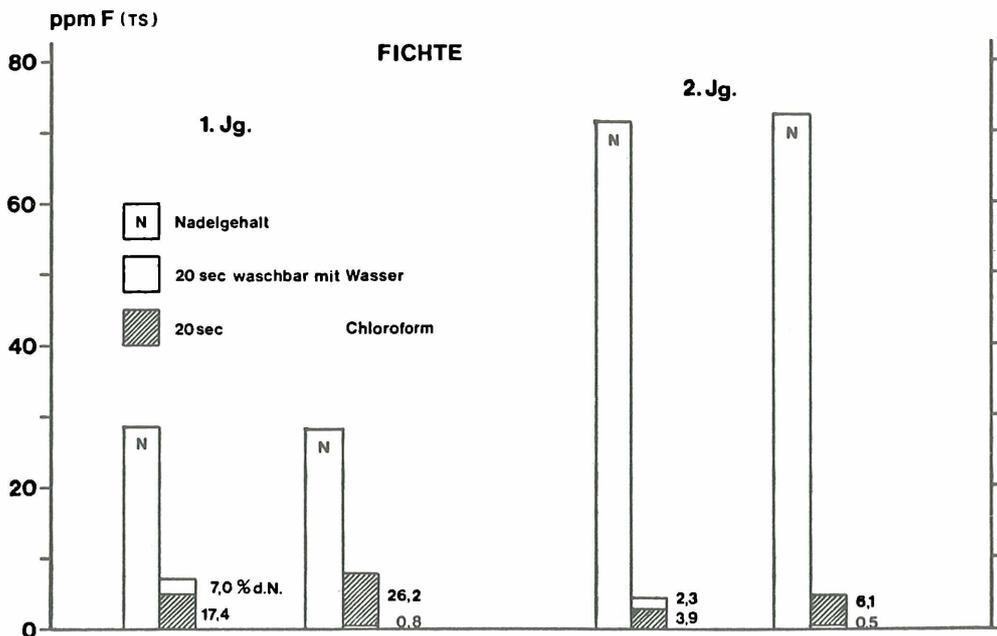


Abb. 1: In 20 sec abgewaschene F-Mengen im Verhältnis zu Gesamtfluorgehalt der Nadeln. Innerhalb eines Jahrgangs bedeuten die linken Balken: zuerst mit Wasser, dann mit Chloroform, die rechten Balken: zuerst mit Chloroform, dann mit Wasser gewaschen.

Den Verlauf eines länger dauernden Waschvorganges zeigt die Abb. 2. Zunächst wurde die in 20 sec abwaschbare F-Menge bestimmt, sodann alle Triebe in einem Becherglas mit einer ausreichenden Menge Wasser bedeckt, und unter ständigem Rühren die F-Zunahme im Waschwasser über zwei Stunden verfolgt. Die pro Zeiteinheit abwaschbare F-Menge ist in den ersten 20 sec am größten und nimmt unmittelbar danach rasch ab. Aber erst im Verlauf der zweiten Stunde nähert sich die gleichsam asymptotisch einem sehr geringen Wert.

In diesem Zusammenhang erhebt sich die Frage, ob Fluorid ausschließlich von der Blattoberfläche stammt, oder ob auch ein gewisser Anteil aus dem Blattinneren kommt. Es scheint wahrscheinlich, daß die anfangs abgewaschene Hauptmenge von außen stammt, und daß erst im Verlauf der zweiten Stunde Fluorid aus dem Blattinneren nachdiffundiert. Doch läßt sich aus diesem Versuch nicht belegen, ob eine Auswaschung stattgefunden hat, bzw. wenn, ab welcher Phase des Waschvorganges. Es ist ferner denkbar, daß Fluorid schon früher durch die Cuticula an die Blattoberfläche gelangt war, und von dort abgewaschen, also indirekt ausgewaschen wurde.

Eine derartige Auswaschung läßt sich nur dann belegen, wenn Fluorid nur über die Wurzeln oder über abgeschnittene Stengel in die Blätter und von dort erst an die Blattoberfläche gelangen kann. Dabei müßte externes, direkt aus Immissionen stammendes Fluorid mit Sicherheit auszuschließen oder zumindest kalkulierbar sein. Dazu wurden abgeschnittene Zweige aus einem weitgehend unbelasteten Gebiet in eine KF-hältige Lö-

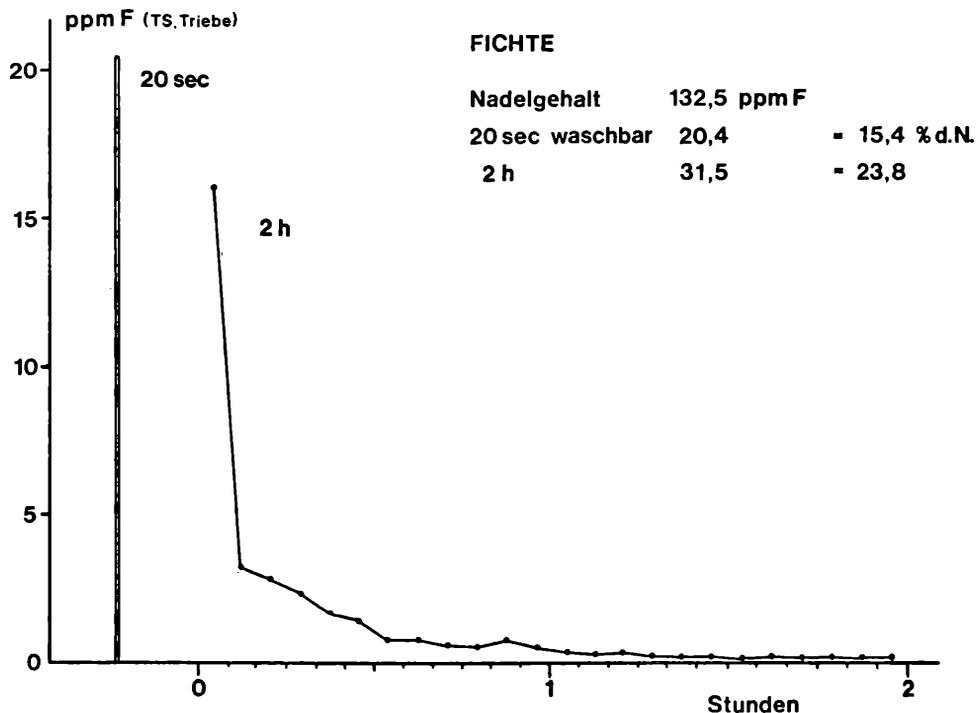


Abb. 2: Der zeitliche Verlauf der Ausbeute an Fluorid im Waschwasser beim 1. Jahrgang der Fichte. Zuerst wurde 20 sec, danach 2 Stunden lang gewaschen. Bei 2 Stunden: Meßintervall 5 min.

sung gestellt, wo sie zwei Wochen lang über den Transpirationsstrom Fluorid in den Blättern akkumulieren konnten. Sodann wurden die Blätter bzw. Triebe zunächst 20 sec und dann 2 Stunden lang gewaschen. In gleicher Weise wurde mit Kontrollzweigen verfahren, die in F-freier Lösung gestanden waren. Die KF-Konzentration wurde so gewählt, daß innerhalb der Zeit des Aufsaugens keine Schädigungssymptome auftraten ($5 \cdot 10^{-3}$ Mol/l bei Buche, Tab. 2; 10^{-3} Mol/l bei Fichte, Tab. 3). Das aufgesaugte Fluorid verursachte im Vergleich zu den Kontrollen eine deutliche Verminderung der Gesamttranspiration.

Wie aus den Tab. 2 und 3 hervorgeht, ist eine Auswaschung im oben definierten Sinn möglich. Die F-Mengen sind zwar relativ gering, können aber doch beim ersten Nadeljahrgang der Fichte nach zwei Stunden bis zu 6% des Nadelfluorgehaltes erreichen. Bei der Fichte zeigt sich ferner, daß die durch Waschen entfernbare F-Menge bei den älteren Jahrgängen zunimmt, sich also eine Trendumkehr gegenüber Proben aus Immissionsgebieten (und auch gegenüber Kontrollen) ergibt.

Offenbar wird die Cuticula älterer Nadeln für Fluorid durchlässiger. Hinweise für eine solche Annahme ergaben Versuche, wobei eine KF-Lösung an der Blatt- bzw. Nadeloberfläche appliziert wurde. Dazu dienten abgeschnittene und in Wasser gestellte Zweige aus einem weitgehend unbeeinflussten Gebiet. Bei der Fichte wurde je ein Tropfen von 10 μ l einer 10^{-3}

BUCHHE, Aufsaugerversuch $5 \cdot 10^{-3}$ Mol/l

	ppm F (rs)		
	F-Gehalt, Blätter	20 sec waschbar	2 h waschbar
Kontrolle	12,3	0,56	0,28
$5 \cdot 10^{-3}$	288,7	1,50	2,26
Diff. z. Ko.		0,94	1,98
		-0,33 % d.B.	-0,69 % d.B.

Tab. 2: Die auswaschbaren F-Mengen nach 2-wöchigem Aufsaugen einer $5 \cdot 10^{-3}$ molaren KF-Lösung. Diff.z.Ko Differenz zur Kontrolle; % d.B. % Anteil des auswaschbaren Fluorids am Gesamtfluorgehalt.

FICHTE, Aufsaugerversuch 10^{-3} Mol/l

	F-Gehalt, ppm (rs)			
	Nadeln	Rinde	20 sec waschbar	2 h waschbar
Kontrolle 1. Jg.	5,8	4,4	0,18	0,29
2. Jg.	8,8	6,5	0,17	0,25
3. Jg.	10,6	7,4	0,13	0,19
10^{-3} 1. Jg.	14,8	31,3	0,22	1,18
2. Jg.	38,2	30,6	0,26	1,32
3. Jg.	55,4	29,6	0,33	1,84
Diff.z. Ko. 1. Jg.			0,04	0,89
2. Jg.			0,09	1,07
3. Jg.			0,21	1,65

Tab. 3: Die auswaschbaren F-Mengen nach 2-wöchigem Aufsaugen einer 10^{-3} molaren KF-Lösung. Diff.z.Ko = Differenz zur Kontrolle.

molaren Lösung im unteren Drittel einiger Nadeln aufgebracht, wo er eintrocknen konnte. Nach etwa drei Tagen traten an den behandelten Nadeln des zweiten Jahrgangs durch das eingedrungene Fluorid Schädigungen auf, während die des ersten Jahrgangs ungeschädigt blieben. Erst nach einer Erhöhung der Konzentration auf 10^{-2} Mol/l waren auch am ersten Jahrgang Schädigungen auszulösen. Analoge Ergebnisse ergaben sich an der Douglasie. Auf die Oberseite von Buchenblättern aufgebrachte 10^{-3} molare KF-Lösungen, und zwar 100 μ l Tropfen auf einen Durchmesser von etwa 1 cm^2 , verursachen bereits am nächsten Tag Schädigungen. Diese äußern sich zunächst in Form

kleiner brauner Punkte und dehnen sich im Verlauf des dritten Tages auf die gesamte ursprünglich benetzte Fläche aus. Erhöht man die Konzentration der Lösung auf 10^{-2} Mol/l und mehr, breiten sich die Schädigungen auch auf ursprünglich nicht benetzte Bereiche aus. Ähnliche Ergebnisse wurden an Blättern von Kirsche und Birne erhalten.

DISKUSSION

Wie die Aufsaugerversuche gezeigt haben, kann also auch bei Holzgewächsen Fluorid durch die Cuticula aus dem Blattinneren an die Oberfläche gelangen. Umgekehrt tritt an die Blattoberfläche appliziertes Fluorid ins Innere ein. Entscheidend für eine Abgabe oder Aufnahme ist die Richtung der Konzentrationsdifferenz. Die in einer bestimmten Richtung fließende F-Menge ist bestimmt durch die Höhe der Konzentrationsdifferenz und den Widerstand der Cuticula (analog dem Ohm'schen Gesetz für den Fluß von Elektronen). Was den Cuticularwiderstand für Fluorid betrifft, liegen Untersuchungen von CHAMEL und GARREC (1977) an enzymatisch isolierten Cuticulen von Birnblättern vor. Sie fanden bei einer Konzentrationsdifferenz von 1000 ppm F (etwa $5 \cdot 10^{-3}$ Mol/l), daß nach zwei Stunden insgesamt 16 nmol F durch eine Cuticularscheibe von 7 mm Durchmesser gelangt waren, und zwar von außen nach innen. In der umgekehrten Richtung aber (obwohl statistisch nicht signifikant) betrug die Durchlässigkeit nur 1/4 davon. Eine derart unterschiedliche Durchlässigkeit - von außen nach innen stets höher - wird auch für Ca-, Rb-, S- und Cl-Ionen berichtet (YAMADA et al., 1964). CHAMEL und GARREC beurteilen die Durchlässigkeit der Birncuticula als gering. Bezieht man aber ihre Werte auf die Trockensubstanz des unter der Cuticula liegenden Blattgewebes, zeigt sich die überraschend hohe F-Aufnahme von rund 80 µg F/gTS nach 2 Stunden (unter der Annahme von 1 g TS/100 cm² Cuticula). Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Konzentrationsdifferenz von 1000 ppm unter praxisnahen Bedingungen zu hoch sein dürfte, da schon die gleichzeitige Anwesenheit von Ca genügt, um die freie F-Konzentration auf einen dem Löslichkeitsprodukt von CaF₂ entsprechenden Wert herabzusetzen. Zudem baut sich die Konzentrationsdifferenz durch das hindurchdiffundierende Fluorid ab.

CHAMEL und GARREC verwendeten Cuticulen, die sich nach sorgfältiger mikroskopischer Inspektion als intakt erwiesen haben. Sie sind der Ansicht, daß zwischen der geringen Durchlässigkeit dieser Cuticulen und der an Blättern aus dem Freiland beobachteten höheren F-Abnahme eine Diskrepanz bestünde. Sie führen dies darauf zurück, daß Blätter aus dem Freiland häufig verletzt sind und Bruchstellen in der Cuticula aufweisen (GARREC et al., 1976). Nun können verwundete Stellen aber durch Korkbildung wieder abgeschlossen werden, und eine beschädigte Cuticula ist durchaus reparabel. Eine erhöhte Durchlässigkeit an beschädigten Stellen ist sicherlich dann gegeben, wenn die Heilung der Cuticula unterbunden wird. Dies wäre z.B. durch die toxische Wirkung des Fluorids selbst denkbar. Ein weiterer Faktor ist wahrscheinlich die Einwirkung von Frost. Bei der Eisbildung in der Zellwand könnten in der Cuticula feine Risse entstehen, deren Reparatur bei winterlichen Temperaturen sicherlich nicht leicht möglich ist.

Vielleicht liegt darin auch eine Erklärung für die relativ starken Schädigungen, die MATERNA (1974) an Fichten gefunden hat, welche ausschließlich im Winter SO₂-Immissionen ausgesetzt waren. Auch HUTTUNEN (1979) beobachtete gerade in den Wintermonaten an Kiefern der borealen Zone trotz geschlossener Spaltöffnungen eine Zunahme des Schwefelgehaltes der Nadeln. Unter derartigen Bedingungen könnte eine verstärkte

transcuticuläre Aufnahme des Schadstoffes entscheidend ins Gewicht fallen.

Andererseits hätten bereits vorbelastete Pflanzen den Vorteil, daß die akkumulierten Schadstoffe im Winter auch leichter ausgewaschen werden könnten. Eigene Ergebnisse (KRONBERGER und HALBWACHS, 1974), wonach in Rauchschadensgebieten der F-Gehalt von Fichtennadeln in den kältesten Wintermonaten abnahm, während der anderen Monate des Jahres aber durchwegs eine steigende Tendenz zeigte, weisen in diese Richtung.

Die in den Aufsaugerversuchen gefundene Verminderung der Gesamttranspiration durch Fluorid wurde von NAVARA und KOZINKA (1967) auch nach HF-Begasungen festgestellt. Sie fanden aber, daß der Anteil der cuticulären Transpiration angestiegen ist; bei *Prunus armeniaca* sogar auf das rund 2,5-fache der unbegasteten Kontrollen. Dies bedeutet einerseits, daß Fluorid auf die Durchlässigkeit der Cuticula für Wasser Einfluß nehmen kann und damit auch auf die Durchlässigkeit für wasserlösliche Substanzen, also auch für Fluorid selbst. Andererseits bestünde trotz geschlossener Spaltöffnungen die Möglichkeit zu einem stärkeren Wasserverlust bei Trockenheit oder bei Forsttrocknis. Aus dieser Sicht käme für die oben erwähnten Winterschäden als zusätzlicher Stressfaktor auch die erhöhte cuticuläre Transpiration in Betracht.

Ein summarisches Bild über die Bedeutung der Auswaschung läßt sich gewinnen, verfolgt man die Abnahme des akkumulierten Fluorids unter Freilandbedingungen nach der Beendigung jeglicher F-Immission. Das Ausmaß der F-Abnahme wäre dann allerdings noch von Faktoren überlagert, die zusätzlich auf den F-Gehalt Einfluß nehmen, wie z.B. Änderungen der Trockensubstanz als Bezugsgröße oder Rückverteilung von Fluorid durch Translokation. Eigene Beobachtungen an der Blaufichte, *Picea pungens*, ergaben eine 50 %-ige Abnahme des F-Gehalts innerhalb eines Jahres nach einer entscheidenden Einschränkung der Immissionen, und zwar im ursprünglich ersten Nadeljahrgang, bei einer Ausgangskonzentration von rund 100 ppm F und dem Beobachtungszeitraum von Herbst bis Herbst.

Eine wesentlich relevantere Antwort auf diese Frage läßt sich aus Ergebnissen einer Untersuchung von KNABE (1970) ableiten. Er exponierte verklonte Fichtenstecklinge 14 Monate lang in zwei unterschiedlichen Immissionsgebieten (Cappenberg und Herten), wobei die Pflanzen - auch innerhalb eines Gebietes - unterschiedliche Fluormengen akkumulieren konnten. Danach wurden sie von Oktober bis März in ein wesentlich weniger beeinflusstes Gebiet verbracht (Velen). Daneben waren in Velen Kontrollpflanzen über den gesamten Zeitraum aufgestellt. Ermittelt man die F-Abnahme des ersten Jahrganges in % der Konzentration im Oktober und trägt sie gegen diese Ausgangskonzentration auf, zeigt sich eine deutliche Beziehung (Abb. 3). Unabhängig, ob der F-Gehalt gewaschener oder ungewaschener Nadeln eingetragen wird, nimmt die Konzentration nach 5 Monaten mit steigender Ausgangskonzentration prozentuell stärker ab. Die Bedeutung der Konzentrationsdifferenz für die Abnahme ist hier klar ersichtlich.

Zwei Einschränkungen sind allerdings zu treffen: Auch eine Translokation von Fluorid aus den Nadeln könnte mit zunehmendem Konzentrationsgradienten (zwischen den Nadeln als "source" und anderen Organen als "sink") größer werden. Die zweite Einschränkung betrifft die in Velen exponierten Fichten. Sie wurden nicht verstellt und sind deshalb mit den anderen nicht vergleichbar. In einem noch weniger beeinflussten Gebiet wäre die F-Abnahme sicherlich höher gewesen. Beide Einschränkungen ändern aber nichts an der grundsätzlichen Aussage dieses Versuches.

Aus dem bisher Gesagten läßt sich bereits ein grob schematisches Modell darlegen. Sowohl das Blattinnere als auch die Blattoberfläche können jeweils als ein eigenes Kompartiment aufgefaßt werden (Abb. 4). Beide Kompartimente stehen über die Cuticula miteinander in Verbindung. Sie besitzen ferner ein bestimmtes Aufnahmevermögen für Fluorid. Für das Blatt-

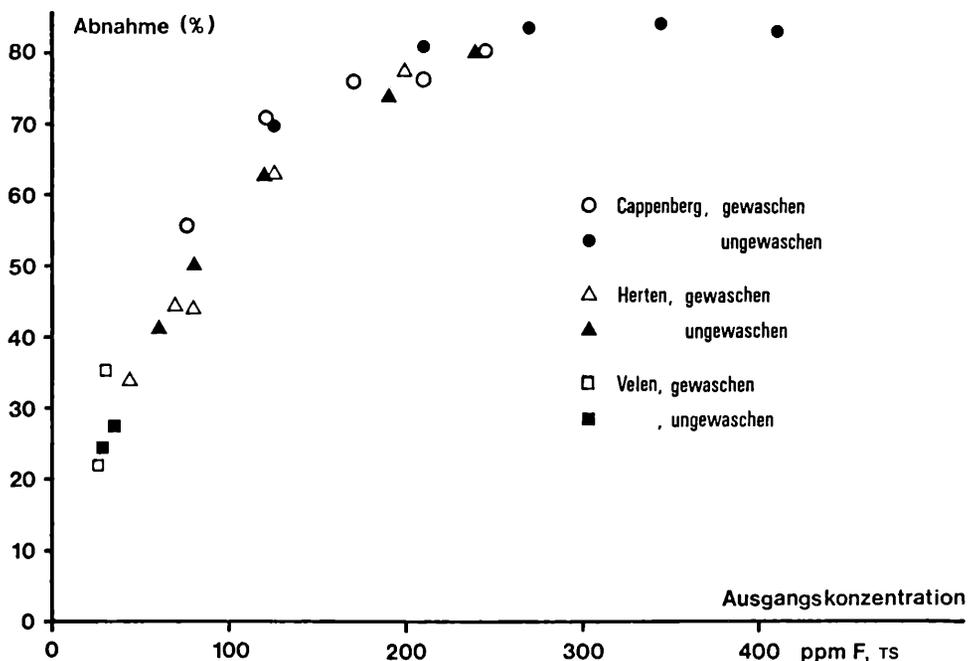


Abb. 3: Prozentuelle Abnahme des F-Gehaltes im ersten Nadeljahrgang der Fichte nach einer 5-monatigen Erholungszeit. Nach Ergebnissen von KNABE (1970).

innere kann dafür in erster Näherung das Wasservolumen des Gewebes gelten; es ist somit auch relativ stabil. Das Volumen des Oberflächenkompartiments kann im Gegensatz dazu aber stark schwanken, je nachdem ob tropfbar flüssiges Wasser vorhanden ist oder nicht. An nicht benetzten Blattoberflächen reduziert sich dieses Volumen auf einen verschwindenden Rest. Die Aufnahmefähigkeit wird dann immer mehr eine Funktion der Adsorptionseigenschaften der betreffenden Blattoberflächen und somit auch der Oberfläche der Cuticularwachse.

Gasförmige F-Immissionen gelangen sowohl durch die Spaltöffnungen ins Blattinnere als auch direkt an die Blattoberfläche. Dabei führt aber die gleiche F-Menge an der Oberfläche eines nicht benetzten Blattes zu einer stärkeren Konzentrationszunahme als im Inneren (sofern die oberflächliche Aufnahmekapazität noch nicht erschöpft ist). Andererseits wird bei Regen die Konzentration an der Oberfläche rasch absinken, wobei sich der Konzentrationsgradient zwischen außen und innen umkehren kann. Die Folge ist ein Umschalten von transcuticulärer Aufnahme auf transcuticuläre Abgabe.

Welcher der beiden Flüsse überwiegt nun langfristig? Nach dem Beenden jeglicher F-Immission wird die Abgabe überwiegen und damit die Auswaschung voll zum Tragen kommen. Anders aber in einem etablierten, chronischen Rauchschadensgebiet. Durch Niederschläge wird zwar das Oberflächenkompartiment entleert und bei lange anhaltenden Regenfällen auch ein ge-

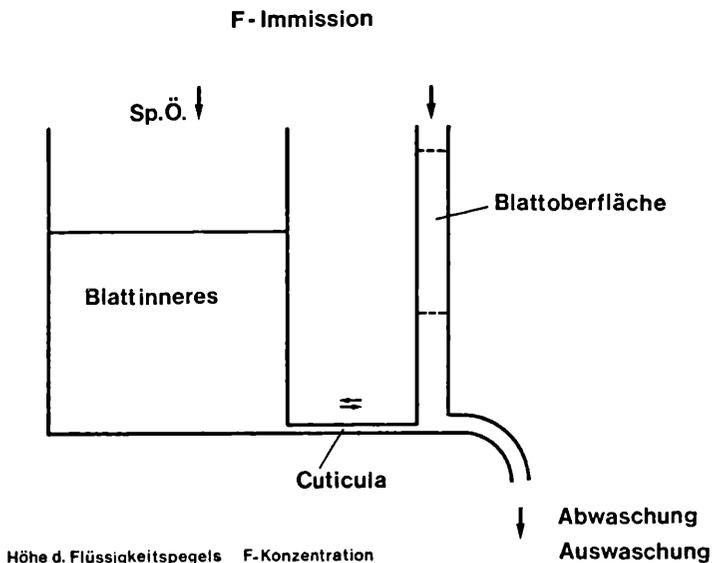


Abb. 4: Schematisches Kompartimentmodell zur Darstellung der transcuticulären Aufnahme und Abgabe von Fluorid. Sp.Ö. Spaltöffnungen.

ringer Teil aus dem Blattinneren entfernt. Bald danach wird das Oberflächenkompartiment aber aus den Immissionen wieder aufgefüllt sein. Dadurch wird die transcuticuläre Abgabe unterbunden. In diesem Fall tragen Niederschläge hauptsächlich zu einer Abwaschung bei und vermindern damit auch die transcuticuläre Aufnahme.

Dazu kommt, daß nach CHAMEL und GARREC die Cuticula von außen nach innen leitfähiger sein dürfte als in der anderen Richtung, was einer gewissen Gleichrichterwirkung gleichkäme. Unter der Annahme, daß die Cuticula durch Frost durchlässiger wird, ginge auch diese Gleichrichterwirkung verloren. Dadurch würde die Durchlässigkeit von innen nach außen stärker ansteigen als umgekehrt. Diese Annahme müßte natürlich einer experimentellen Überprüfung standhalten. Trifft sie zu, wäre damit die Möglichkeit einer verstärkten Auswaschung vorbelasteter Pflanzen (mit einer relativ hohen Konzentration im Blattinneren) in den Wintermonaten erklärt.

Ferner gelangen neben gasförmigen F-Immissionen fast immer auch partikuläre (und daran adsorbiert wieder gasförmige) F-Verbindungen an die Blattoberfläche. Bei Niederschlägen, die nicht zum Abtropfen des Wassers führen, wie z.B. bei Tau, geht Fluorid in Lösung und kann dann beim Eintrocknen des Wassers zu einer zusätzlichen Konzentrationserhöhung beitragen.

LITERATUR

- CHAMEL, A. and GARREC, J.P., 1977: Penetration of fluorine through isolated pear leaf cuticles. *Environ. Pollut.*, vol. 12, pp. 307-310
- DAVISON, A.W. and BLAKEMORE, J., 1979: Factors determining fluoride accumulation in forage. In: Mansfield, T.A. (Edit.): *Effects of air pollutants on plants*, pp. 17-30. Cambridge University Press, Cambridge.

- EDDINS, O.N., 1959: Fluoride retention in leaf tissue. M.S. Thesis, University of Utah, 59 pp.
- GARREC, J.P., CHAMEL, A. and LHOSTE, A.M., 1976: Transcuticular movement of fluoride: its relation with leaching of fluoride from leaves. Fluoride, vol. 9, pp. 148-152.
- GRILL, D., 1973: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an SO₂-belasteten Fichtennadeln. Phytopath. Z., vol. 78, pp. 75-80.
- HITCHCOCK, A.E., McCUNE, D.C., WEINSTEIN, L.H., MacLEAN, D.C., JACOBSON, J.S. and MANDL, R.H., 1971: Effects of hydrogen fluoride fumigation on alfalfa and orchard grass: a summary of experiments from 1952 through 1965. Contrib. Boyce Thompson Inst., vol 24, pp. 363-385.
- HUTTUNEN, S., 1979: Winter injuries of coniferous trees and the accumulation of sulphur compounds in pine needles. X. Int. Tagung der IUFRO Fachgruppe S 2.09, Luftverunreinigung, Ljubljana, Sept. 1978, Tagungsbericht pp. 103-114.
- JACOBSON, J.S., WEINSTEIN, L.H., McCUNE, D.C. and HITCHCOCK, A.E., 1966: The accumulation of fluorine by plants. J. Air Poll. Control Assoc., vol. 16, pp. 412-417.
- KNABE, W., 1970: Natürliche Abnahme des aus Immissionen aufgenommenen Fluors in Fichtennadeln. Staub - Reinhalt. Luft, vol. 30, pp. 384-385.
- KRONBERGER, W. und HALBWACHS, G., 1974: Über die einfache Methode zur Bestimmung des Fluorgehaltes von Pflanzen mittels ionenspezifischer Elektrode. IX. Int. Tagung über die Luftverunreinigung und Forstwirtschaft, Mariánské Lázně, Okt. 1974, Tagungsbericht pp. 121-129.
- LEDBETTER, C.M., MAVRODINEANU, R. and WEISS, A.J., 1960: Distribution studies of radioactive fluorine-18 and stable fluorine-19 in tomato plants. Contrib. Boyce Thompson Inst. vol. 20, pp. 331-348.
- LEONE, I.A., BRENNAN, E. and DAINES, R.H., 1956: Atmospheric fluorine: its uptake and distribution in tomato and corn plants. Plant Physiol., vol. 31, pp. 329-333.
- LEVAGGI, D.A., OYUNG, W. and FELDSTEIN, M., 1971: Microdetermination of fluorine in vegetation by oxygen bomb combustion and fluoride ion electrode analysis. J. Air Poll. Control Assoc. vol. 21, pp. 277-279.
- MATERNA, J., 1974: Einfluß der SO₂ Immissionen auf Fichtenpflanzen in Wintermonaten. IX. Int. Tagung über die Luftverunreinigung und Forstwirtschaft, Mariánské Lázně, Okt. 1974, Tagungsbericht pp. 107-114.
- NAVARA, J. und KOZINKA, V., 1967: Wasserhaushalt der Pflanzen in Gegenwart gasförmiger Fluorverbindungen in der Atmosphäre. Biológia, vol. 22, pp. 210-220.
- Orion Research Incorporated, 1978: Analytical methods guide. Cambridge, MA.
- YAMADA, Y., WITTEW, S.H. and BUKOVAC, M.J. 1964: Penetration of ions through isolated cuticles. Plant Physiol., vol. 39, pp. 28-32.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [137_2_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Kronberger Winfried

Artikel/Article: [Die Ab- und Auswaschung von Fluorid als Mechanismus zur Verringerung der Fluorakkumulation in Nadeln und Blättern 181-191](#)