

# Luftverunreinigungen und Waldsterben

Autor(en): **Keller, Theodor**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 44

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75555>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Luftverunreinigungen und Waldsterben

Von Theodor Keller, Birmensdorf

Die Abhängigkeit des Menschen von den verschiedensten Waldfunktionen wird immer deutlicher; somit wird es auch immer wichtiger, die Ursachen des Waldsterbens zu kennen, um geeignete Gegenmassnahmen treffen zu können. Da die Erkenntnis zunehmend wissenschaftlich untermauert wird, dass die Luftverunreinigungen die entscheidende Rolle spielen, seien zuerst die Ursachen genannt, welche für die hohe Empfindlichkeit des Waldes wesentlich sind, und sodann einige Faktoren, die das Waldsterben bewirkt oder massgebend beeinflussen haben sollen.

## Mensch und Wald

Der Mensch hat ein besonderes Verhältnis zum Wald. Die Zeiten sind schon lange verflossen, in denen das Roden von Wald als eine kulturelle Tat galt. Als Folge der Waldverwüstungen drohte bei uns am Ende des Mittelalters die Holznot, und im letzten Jahrhundert wüteten verheerende Überschwemmungen. Diese Ereignisse zeigen: Wer sich am Wald vergeht, der sägt am Ast, auf dem er sitzt! Das heute immer deutlicher werdende *Waldsterben* (das treffender *Baumsterben* genannt würde) bedroht sämtliche Funktionen des Waldes, nämlich

- Produktion (nachhaltige Holzerzeugung ist angesichts des Raubbaus in den ausgedehnten Waldgebieten heute besonders aktuell),
- Schutz (Lawinen, Erosion usw., ausgeglichene Wasserführung),
- Wohlfahrt (Erholung, Luftfilter, Landschaftsgliederung usw.).

Das Waldsterben ist vermutlich aus diesen Gründen so publikumswirksam, dass es auch die politischen Parteien nicht mehr unbeachtet lassen können. Wohl ist das Waldsterben – aber leider noch nicht der Wald – zu einem Politikum geworden, und der Blätterwald offenbart die vielfältigen Meinungen der Bevölkerung. Daher sei hier auf einige Zusammenhänge hingewiesen.

Beim Waldsterben wird zu Recht eine entscheidende Mitwirkung der Luftverunreinigungen vermutet. Dies nicht zuletzt deshalb, weil die Sanasilva-Umfrage im grossen und ganzen eine gute Übereinstimmung zeigt zwischen der Lage der Emittenten und dem Baumsterben [1]. Die Luftverunreinigungen haben ja in den letzten Jahren ganz ge-

waltig zugenommen [2], wobei jeder einzelne dazu beiträgt, sei es als Mieter, Automobilist, Konsument usw.

Das Waldsterben ist aber ein äusserst komplexes ökologisches Problem. Nicht nur gibt es keine spezifischen Symptome, die uns die Ursache bzw. die Rolle der Luftverunreinigungen eindeutig zeigen, sondern die Pflanzen haben auch nur sehr wenige Ausdrucksmöglichkeiten. Dazu kommt, dass zwischen Luftverunreinigungen, Erbanlagen, Nährstoffversorgung, Trockenheit, Frost, Anfälligkeit für Insekten, Pilze usw. sowie manch anderen Faktoren vielfältige Wechselwirkungen bestehen. Es sei nur erinnert an die synergistische – mehr als additive – Wirkung geringer Konzentrationen verschiedener Luftverunreinigungen oder an den Umstand, dass gesunde Bäume unmittelbar neben absterbenden Bäumen stehen können.

## Die Empfindlichkeit des Waldes

Weil die Assimilationsorgane der Bäume mehrere Monate oder gar Jahre tätig sind, müssen sie klimatische Unbill ertragen können. Daher stellt sich die Frage, warum die Waldbäume so empfindlich auf Luftverunreinigungen reagieren. Dabei dürften sechs Faktoren eine wichtige Rolle spielen:

- *Kronenvolumen*: Die Baumkronen müssen ein grosses Luftvolumen filtern, um zum benötigten CO<sub>2</sub> zu kommen. Damit werden auch viele Luftverunreinigungen ad- oder absorbiert, welche durch Entgiftung für die Pflanze unschädlich gemacht werden sollten.
- *Windgeschwindigkeit*: Mit zunehmender Höhe über Grund steigt die Windgeschwindigkeit – und damit streichen mehr Luftverunreinigungen an den Blättern vorbei.

- *Langlebigkeit*: Gefahr häufiger «Begasungsepisoden» im Verlaufe der Jahre und Jahrzehnte.
- *Morphologie*: Neben derben Lichtblättern gibt es auch dünnwandige Schattenblätter mit dünnen Zellwänden und z. B. geringem Gehalt an reduzierender Ascorbinsäure, welche dem Ozon entgegenwirken.
- *Knappe Versorgung mit Wasser und Nährstoffen*: Im Laufe der Jahrhunderte ist der Wald auf Standorte mit eher geringer Fruchtbarkeit und ungünstigem Wasserhaushalt zurückgedrängt worden.
- *Schadstoffaufnahme*: erfolgt auch bei verminderter physiologischer Aktivität, bei Immergrünen z. B. im Winter.

## Luftverunreinigung als Ursache?

Auch wenn z. B. gerade in dieser Zeitschrift [3] eindrücklich gezeigt worden ist, dass die Luftverunreinigungen als Primärursache des Waldsterbens anzusehen sind, werden doch immer wieder Stimmen laut, welche andere Ursachen in den Vordergrund schieben wollen und damit den ökologisch Nichtgeschulten verunsichern. Dies wird durch den Umstand der mangelnden Spezifität von Ursache und Wirkung erleichtert. In der Folge wollen wir uns mit einigen dieser Einwände befassen.

## Falsche Baumartenwahl

Im allgemeinen gilt heute der Grundsatz, dass jede Pflanze dort am widerstandsfähigsten gegen widrige Umstände der Umwelt sei, wo sie sich im ökologischen Optimum befinde. Es ist durchaus möglich, dass an einigen Standorten vor Jahrzehnten einige Bäume gesetzt wurden, die nach heutiger Erkenntnis dort nicht standorttauglich sind. Wir können aber gerade auch aus dieser Tatsache unser heutiges Wissen der ökologischen Standorttauglichkeit schöpfen, welche die schweizerische Waldbaulehre charakterisiert. Unsere Vorfahren haben nach bestem Wissen und Gewissen etwas Tapferes und Nützliches getan, aus dem wir heute lernen können. Es wäre allzu billig, wenn wir jetzt einfach den Schwarzpeter auf sie abschieben wollten, um so mehr als das Waldsterben auch absolut standortgerechte Bestände erfasst hat.

Wenn weite Kreise heute eine «Verfichtung» unserer Wälder beklagen, so ist

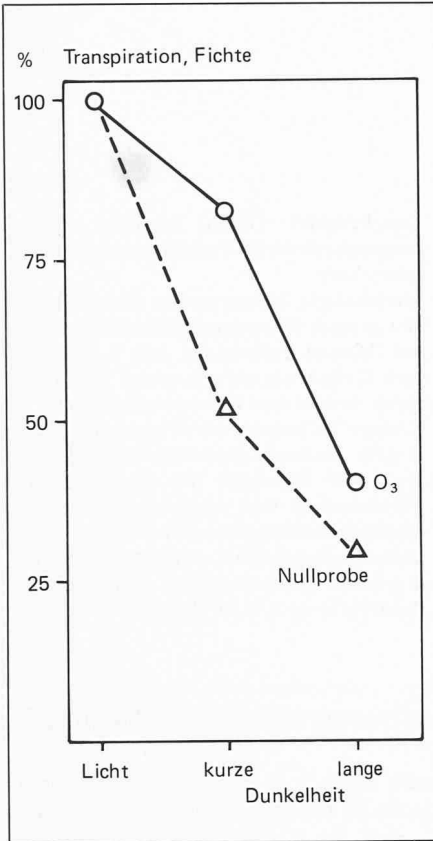
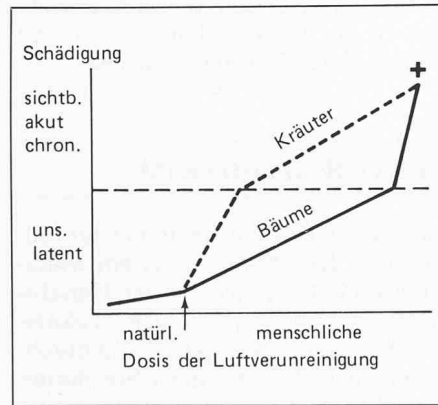


Bild 1. Erhöhte Transpiration der Fichte durch verlangsamt Spaltenschluss nach einer mehrwöchigen Ozonbegasung (O<sub>3</sub>)

Bild 2. Vereinfachte Darstellung des Einflusses der Dosis der Luftverunreinigung auf die sichtbare bzw. unsichtbare Schädigung von Kräutern und Bäumen



zu berücksichtigen, dass unser Gelddenken die Forstleute dazu gezwungen hat, im Rahmen einer kurzfristigen Rationalisierung vermehrt Nadelbäume zu pflanzen, welche schon in geringen Dimensionen verwertbar sind und mithelfen, die «roten Zahlen» zu vermindern. Ausserdem zwingen die übersetzten und ökologisch verfehlten Wildbestände in weiten Gebieten den Förster, dort Fichten zu pflanzen, wo er nicht jahrelang Zäune erstellen und unterhalten will, um eine Waldzerstörung durch das Wild zu vermeiden.

Wenn heute die Forstleute mit dem Hinweis auf eine falsche Baumarten-

wahl angeprangert werden, so ist auf die Tatsache hinzuweisen, dass durch das Waldsterben viele Baumarten gefährdet sind, nämlich neben Fichten und Tannen auch Föhre, Buche, Ahorn, Esche und Eiche [4]!

### Frühere Waldsterben

Es werden auch Stimmen laut, welche betonen, es habe schon früher «Waldsterben» gegeben, man dürfe die heutige Erscheinung nicht tragisch nehmen. Es wird etwa auf das Fichtensterben in Ostpreussen oder auf das Kastaniensterben hingewiesen. Zweifellos haben sich auch früher Unkenntnis oder Nichtberücksichtigung ökologischer Zusammenhänge gerächt. Aber auch bei den früheren «Waldsterben» war der Mensch im Spiele, sei es, dass er die Bedeutung von Standort oder von Erbfaktoren nicht kannte, sei es, dass er z. B. durch den Handel Krankheitserreger verschleppte.

Das heutige Waldsterben kann mit keiner Ursache früherer Waldzerstörungen erklärt werden. Vermutlich hat auch das schleichende, schon seit längerer Zeit beobachtete, in seinen Ursachen aber nach wie vor geheimnisvolle Weissstannensterben dazu beigetragen, die Gefährlichkeit und Sprunghaftigkeit des heutigen Waldsterbens nicht sogleich zu erfassen und es höchstens früheren Waldsterben gleichzusetzen.

### Falsche Bewirtschaftung

Da es sich beim Waldsterben um ein komplexes Phänomen handelt, kann auch falsche oder mangelnde Pflege oder Überalterung [5] ein mitbeteiligter Faktor, aber nicht die alleinige bestimmende Ursache sein. Denn das Waldsterben hat ja auch gut gepflegte Bestände erfasst. Die Luftverunreinigungen bedeuten eine wesentliche Belastung aller Waldbäume und können deren Vitalität beeinträchtigen. Man muss sich fragen, ob in unserer heutigen Lebensweise nicht sogar eine Art Rücksichtslosigkeit gegenüber dem Tun unserer Vorfahren zum Ausdruck kommt, das noch nicht auf eine derartige Produktion von Abfällen aller Art mit dem Beseitigungsmotto «Aus den Augen – aus dem Sinn» ausgerichtet war.

Während unsere Vorfahren im Wald Werte schufen, wurde bei uns z. B. bis in neueste Zeit die Rauchgasreinigung weitgehend vernachlässigt, weil sie nur als «konkurrenzbeeinträchtigende Verteuerung des Produkts» galt. Noch in

den sechziger Jahren wurde z. B. behauptet, das SO<sub>2</sub> sei gar nicht so schädlich für Pflanzen wie behauptet; im Gegenteil, das SO<sub>2</sub> der Luft stelle eine willkommene Schwefeldüngung dar!

### Nährstoffmangel

Bei der Vielschichtigkeit des Problems ist es nicht verwunderlich, dass das Waldsterben auch bei uns mit Nährstoffmangel in Verbindung gebracht wird. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass unsere Waldböden dank der letzten Eiszeit in der Regel jung und relativ fruchtbar sind. Sie sind meist ziemlich reich an Nährstoffen und Basenbildnern, die einer Versäuerung entgegenwirken.

Da im Schweizer Wald nicht gedüngt wird, glauben manche, die Waldbewirtschaftung in ihrer heutigen Form übe Raubbau am Nährstoffkapital des Waldbodens. Dabei wird aber folgendes zu wenig beachtet:

□ Waldbäume durchwurzeln in der Regel ein sehr grosses Bodenvolumen; sie nutzen es während Jahrzehnten und können von der Verwitterung der Gesteinsunterlage profitieren.

□ Die Holzernte entzieht dem Boden nicht die ganze oberflächliche und nährstoffreiche Biomasse wie z. B. die Heuernte, denn das Holz ist nährstoffarm. So liess sich für den Raum Winterthur mit deutlichen Waldschäden schätzen, dass Fichten höchster Wachstumsleistung in 100 Jahren durch die Nutzung des Stammholzes weniger als 5% des in den obersten 10 cm des Bodens enthaltenen Ca, K und Mg entziehen.

□ Die Waldpflanzengesellschaften gedeihen im Gegensatz zu manchen Hochleistungsrassen landwirtschaftlicher Gewächse auch auf relativ nährstoffarmen Böden.

Selbst wenn lokal die Nährstoffversorgung des Waldes nicht optimal sein sollte, so darf man doch sagen, der Ernährungszustand sei nicht der Auslöser des Waldsterbens. Durch eine teure und vorübergehend wirkende Düngung könnte möglicherweise an einigen noch zu bestimmenden Orten die Widerstandskraft der Bäume erhöht werden, ohne aber das Grundübel zu beseitigen. Gerade die neuesten Nadelanalysen von Sanasilva haben nämlich ergeben, dass gesamtschweizerisch wohl eine Korrelation besteht zwischen dem Krankheitszustand des Waldes und den Nadelgehalten an luftverunreinigenden Stoffen (wie z. B. S), nicht aber den Nadelgehalten an den untersuchten Nährstoffen [6].

## Wassermangel

Es ist wohl unbestritten, dass sich manche unserer Waldstandorte durch Flachgründigkeit oder starke Durchlässigkeit des Bodens auszeichnen. Gerade in Trockenjahren sind diese Wälder besonders anfällig für zusätzliche Belastungen. Es ist daher leicht verständlich, dass sich an diesen Orten der letztjährige Niederschlagsmangel drastisch ausgewirkt hat. Nur darf nicht vergessen werden, dass das Waldsterben vielerorts vor der Trockenheit einsetzte und nicht nur an solchen Orten in Erscheinung trat oder dort sogar fehlte.

Ausserdem muss daran erinnert werden, dass manche Luftverunreinigungen den Wasserverbrauch der Pflanzen steigern. Bild 1 zeigt die erhöhte Transpiration der Fichte zufolge verlangsamter Bewegungen der Spaltöffnungen nach einer mehrwöchigen Ozonbelastung.

## Krankheitsbefall

Natürlich ist auch schon die Vermutung geäussert worden, das Waldsterben sei irgendwelchen Krankheiten, wie Virosen, Bakteriosen usw., zuzuschreiben. Trotz intensiver Suche liessen sich jedoch derartige Ursachen bisher nicht nachweisen; sie sind auch wenig wahrscheinlich, da zahlreiche verschiedene Baumarten betroffen wurden, wogegen Krankheiten meist artspezifisch sind.

Ein besonders «dankbares» Bekämpfungsobjekt ist natürlich der *Borkenkäfer*, dessen Massenvermehrung durch Wärme und Trockenheit gefördert wird und dessen Treiben leicht erkennbare Spuren hinterlässt.

Der Borkenkäfer ist aber ein Sekundärschädling, der also erst auftritt, wenn die Bäume bereits durch eine andere Ursache geschwächt sind. Luftverunreinigungen können ganz allgemein die Anfälligkeit der Bäume für Insekten erhöhen. Der unter Wassermangel leidende Baum vermag weniger Harz zu produzieren, das als Abwehrstoff wirkt, in welchem die Käferbrut zugrunde geht.

So ist eine erhöhte Disposition für Borkenkäferbefall z. B. in Kalifornien nicht nur als Folge klimatischer Trockenheit, sondern auch als Folge des «Smog» festgestellt worden. Eine Borkenkäferbekämpfung ist daher eine Massnahme, die möglicherweise eine Folge, aber sicher nicht die Ursache des Waldsterbens bekämpft.

## Elektromagnetische Wellen, Radioaktivität

Als Ursache des Waldsterbens sind auch schon Radiowellen, radioaktive Strahlung u. ä. genannt worden, doch fehlen schlüssige Beweise. Es ist durchaus möglich, dass diese Faktoren zu einer vermehrten Belastung des Waldes beitragen könnten, doch ist nicht anzunehmen, dass sie die Primärursache des Waldsterbens darstellen.

## «Plötzliches» Auftreten

Während die Luftverunreinigungen vor allem mit dem technischen Aufschwung nach dem letzten Weltkrieg kontinuierlich zunahmen, sind die Waldschäden bei uns erst in neuester Zeit aufgetreten. Ihr nichtsynchrones, plötzliches Auftreten liess die Meinung laut werden, Luftverunreinigungen hätten nichts damit zu tun. Wir müssen uns aber vor Augen halten, dass schon 1968 gewarnt wurde, die Anfangsentwicklung der Schäden durch Luftverunreinigungen verlaufe langsam, könne aber nach einer zusätzlichen Belastung lawinenartig anschwellen [7]. Unglücklich war zudem der Umstand, dass die Welt so lange als «heil» erachtet wurde, als die Bäume grün blieben. Die latenten, unsichtbaren Schädigungen durch Stoffwechselstörungen, Vitalitätseinbussen usw. blieben unbeachtet oder wurden negiert, und damit wartete man ab, bis ein sichtbarer Schaden eintrat. Bild 2 zeigt das unterschiedliche Verhalten von Kräutern und Bäumen gegenüber einer menschlich bedingten Dosis der Luftverunreinigung. Die Bäume bleiben relativ lange im Bereich der unsichtbaren latenten Schädigung.

Schlussendlich braucht es dann nur noch den einen Tropfen, der das Fass zum Überlaufen bringt. Das schleichende Siechtum tritt rasch in die zum Tod führende sichtbare Schädigung über!

## Nebeneinander von gesund und krank

Zur Verwirrung kann beitragen, dass in befallenen Gebieten gesunde unmittelbar neben kranken Bäumen stehen können. Ein jeder Waldbaum ist ein einmaliges Individuum mit unterschiedlichen, die Widerstandskraft bestimmenden Erbanlagen. So zeigt Bild 3 die unterschiedliche Widerstandskraft am Beispiel der verschiedenen Assimilationsleistung dreier Rassen derselben

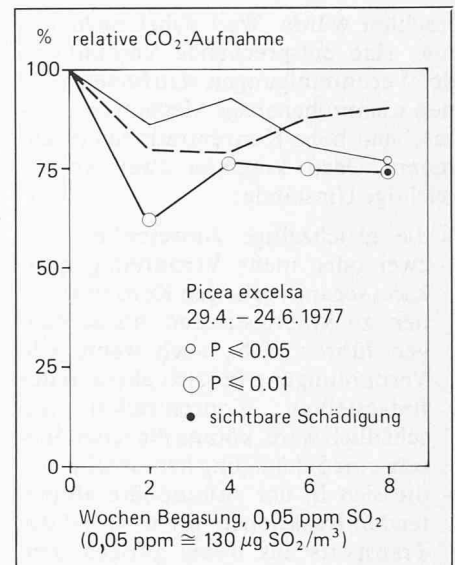


Bild 3. Relative Assimilationsleistung dreier, während acht Wochen mit  $SO_2$  schwach belasteter Fichtenrassen (in % der unbelasteten, gleicherbigen Pflanzen)

Bild 4. Der Tagesgang der Ozonkonzentration der Luft in Birmensdorf im Juli (VII), September (IX) und Dezember (XII) 1983

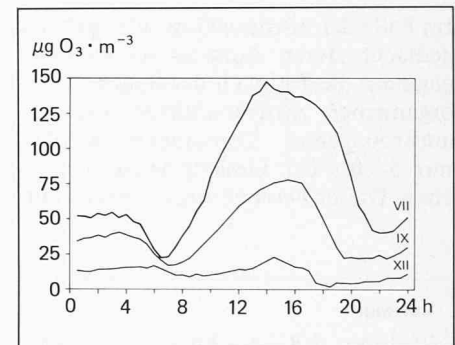


Tabelle 1. Von Fichtennadeln abwaschbare Blei- und Bromgehalte an einigen Standorten im Raume Winterthur (ppm; Durchschnitte aus mindestens 5 Wiederholungen)

	Wald	ländliche und Wohngebiete	Autobahnrand
Blei	2,85	5,96	32,84
Brom	0,14	0,59	5,04

Fichtenart während einer 8wöchigen schwachen  $SO_2$ -Belastung, welche keinerlei Nadelfall verursachte.

## Schäden an Orten ohne Emittenten

Die Beobachtung von Waldschäden in Gebieten fern jeder Emissionsquelle kann ebenfalls zur Annahme führen, Luftverunreinigungen seien in diesen Fällen unbeteiligt. Dies wäre der Fall, wenn nicht der Wind verunreinigte Luftpakete über weite Distanzen ver-



frachten würde. Weil dabei nicht immer eine entsprechende Verdünnung der Verunreinigungen stattfindet, können stichprobenartige Messungen überraschend hohe Konzentrationen offenbaren. Dazu kommen zwei weitere wichtige Umstände:

- die gleichzeitige Anwesenheit von zwei oder mehr Verunreinigungen kann sogar in geringen Konzentrationen zu synergistischen Auswirkungen führen, d. h., auch wenn jede Verunreinigung für sich allein in der festgestellten Konzentration unschädlich wäre, könnte die Kombination eine Schädigung hervorrufen;
- die sich in der Atmosphäre abspielenden Reaktionen, die während des Transports aus wenig giftigen Substanzen hochtoxische erzeugen können. Dazu gehört z. B. die Bildung von Ozon  $O_3$  unter dem Einfluss der UV-Strahlung des Sonnenlichtes aus nitrosen Gasen ( $NO_x$ ), die bei jeder Verbrennung entstehen. Dabei ist zu bedenken, dass gerade emittentenferne Berggebiete recht strahlungsintensiv sein können.

Im Falle der nitrosen Gase wird geltend gemacht, deren Ausstoss sei überwiegend auf die Tätigkeit der Bodenmikroorganismen zurückzuführen, und die anthropogenen Emissionen würden nur 5-10% der Gesamtmenge ausmachen. Dieser Feststellung ist jedoch ent-

gegenzuhalten, dass dies wohl *global* zutreffen mag. Es kommt aber nicht so sehr auf die emittierte Totalmenge an, sondern auf die *lokal* wirkende Konzentration. So können die vom Menschen verursachten nitrosen Gase auf relativ eng begrenztem Raum bedenkliche Konzentrationen erreichen, wobei zu beachten ist, dass die  $NO_x$  Vorläufer des giftig wirkenden Ozons sind.

### Quellen der Luftverunreinigung

Nachdem feststeht, dass die Luftverunreinigungen bei uns den wohl wichtigsten Faktor des Waldsterbens darstellen, stellt sich die Frage nach den Verursachern der Luftverunreinigung, zu welcher sowohl Industrie als auch Motorfahrzeugverkehr und Haushaltheizungen mit verschiedenen Komponenten beitragen. Seit den sechziger Jahren bestehen in der Schweiz Richtlinien für  $SO_2$ , aber die  $SO_2$ -Verunreinigung der Luft ist bei uns trotz Ferntransport («Import») im Sommer in der Regel gering. Die höchsten Werte werden im Winter in städtischen Agglomerationen gemessen (Ölheizungen). Für das Waldsterben dürfte dagegen das aus den Stickoxiden entstehende Ozon entscheidender sein, allein oder zusammen mit Spuren anderer Luftverunreinigungen. Dass dabei der Motorfahrzeugverkehr eine entscheidende Rolle spielt, geht aus den folgenden Umständen hervor:

- Die Zahl der Motorfahrzeuge und der Treibstoffverbrauch haben in den letzten Jahren gewaltig zugenommen.
- Die Konzentration an  $NO_x$  und an  $O_3$  hat an den drei Messstellen des NABEL von 1981 auf 1982 um 40 Prozent zugenommen [2]. Ausserdem zeigen Tabakblätter einer ozonempfindlichen Sorte im Versuchsgarten Birmensdorf deutliche Symptome, während Blätter derselben Sorte 1968 beim Hauptbahnhof Zürich noch symptomlos geblieben waren.
- Der Motorfahrzeugverkehr emittiert grosse Mengen von  $NO_x$  gerade im Sommer, wenn die Haushaltheizungen abgestellt sind, die verstärkte Sonnenstrahlung aber eine erhöhte Ozonproduktion verursacht. Bild 4 zeigt den Tagesgang des Ozongehaltes der Luft wäh-

rend einiger Monate in Birmensdorf. Sie lässt deutlich erkennen, dass die höchsten Ozongehalte zu den Zeiten der stärksten Sonnenstrahlung vorhanden sind.

□ Im Zusammenhang mit der Klopffestigkeit werden dem Benzin Blei- und Bromverbindungen zugegeben. Diese Elemente gelangen mit den Auspuffgasen in die Atmosphäre. Kürzlich wurden an verschiedenen Orten Fichtennadeln entnommen und mit einem Lösungsmittel von allem oberflächlich haftenden Schmutz und Wachs befreit. Im Rückstand des Abgewaschenen ergaben sich die Werte von Tabelle 1, welche deutlich zeigen, dass Blei und Brom selbst mitten im Wald aus der Luft ausgefiltert wurden, dass beide Elemente aber mit zunehmendem Verkehr gewaltig zunahmen.

□ Anschliessende Bodenuntersuchungen ergaben eine Anreicherung von Brom im Oberboden, während die Gehalte anderer Elemente wegen der Auswaschung dort deutlich vermindert sind.

### Ausblick

Die Höhe unseres heutigen Lebensstandards war vermutlich nur auf Kosten der Umwelt zu erreichen. Das erwachende Umweltbewusstsein verlangt dringend eine deutliche Senkung der Luftverunreinigungen, da nur so der dem Menschen dienende Wald erhalten werden kann. Diese Senkung lässt sich jetzt wohl nur durch zahlreiche, relativ kleine Schritte erreichen und fordert von uns allen Opfer, welche wahrscheinlich nur durch behördliche Verordnungen erzwungen werden können. Es wäre unrealistisches Wunschdenken, auf den einen grossen Schritt oder auf allgemeinen Altruismus zu hoffen.

Die Forschung wird weiterhin Methoden der Erfassung der Belastung des Waldes durch Luftverunreinigungen suchen müssen und sich auch deren Auswirkungen widmen müssen.

Adresse des Verfassers: Dr. T. Keller, Sektionschef, Eidg. Anstalt für das forstl. Versuchswesen EAFV, 8903 Birmensdorf.

#### Literatur

- [1] Bucher, J. B., Kaufmann, E., Landolt, W.: Waldschäden in der Schweiz - 1983. Schweiz. Z. Forstwesen 135 (1984) S. 271-287
- [2] Bundesamt für Umweltschutz: Luftbelastung 1982, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 16 (3Opp). Bern 1983
- [3] Bosshard, W.: Waldsterben - ein bedrohlicher Vorgang. Schweiz. Ingenieur u. Architekt 102 (1984) S. 97-100
- [4] Flückiger, W., Flückiger-Keller, H., Braun, S.: Untersuchungen über Waldschäden in der Nordwestschweiz. Schweiz. Z. Forstwesen 135 (1984) S. 389-444
- [5] Fischer, F.: «Waldsterben» hat viele Ursachen. TCS-Revue 5/84. Zürich 1984
- [6] Landolt, W., Bucher, J. B., Kaufmann, E.: Waldschäden in der Schweiz - 1983. II. Schweiz. Z. Forstwesen 135 (1984) S. 637-653
- [7] Keller, T.: Der Einfluss der Luftverunreinigungen auf den Wald im Lichte der neuesten Literatur. Schweiz. Z. Forstwesen 119 (1968) S. 353-363