

Walddauerbeobachtung im Kanton Aargau

Die Walddauerbeobachtung ist ein wichtiges Instrument, um schleichende Veränderungen und Risikopotentiale im Wald frühzeitig zu erkennen und allfälligen Handlungsbedarf aufzuzeigen. In einem gemeinsamen Walddauerbeobachtungsprogramm der Kantone Aargau, Basel-Land, Basel-Stadt, Solothurn, Zug und Zürich sowie dem Bund werden seit 1983/84 in heute 90 festgelegten Waldflächen Untersuchungen durchgeführt. Allein im Kanton Aargau stehen auf neun Flächen 1131 Bäume (Buchen, Fichten und Eichen) unter Beobachtung. Die Untersuchungen zeigen: hohe Stickstoffeinträge, eine abnehmende Phosphorversorgung, eine zunehmende Bodenversauerung und hohe Ozonwerte wirken sich negativ auf die Wurzeln aus. Dies kann zu einem schleichenden Stabilitätsverlust des Waldes führen.

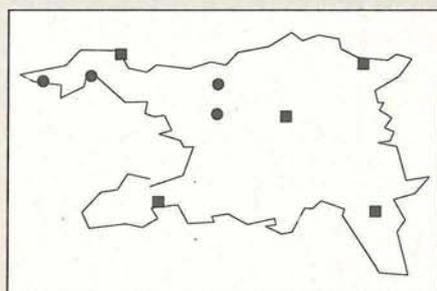


Abbildung 1: Karte des Kantons Aargau mit den Walddauerbeobachtungsflächen.
Kreise: Buchen. Vierecke: Buchen und Fichten.

Bei der Waldbeobachtung werden nicht nur die Bäume selber, sondern auch der Boden und der Schadstoffeintrag untersucht. Begleitende Labor- und Feldversuche ergänzen die

PD Dr. W. Flückiger
Institut für angewandte Pflanzenbiologie,
Schönenbuch
061 481 32 24

klärung von Wirkungszusammenhängen und mutmasslichen Schadensursa-

chen. Mit Hilfe von Experimenten werden aber auch kritische Belastungsgrenzen von Schadstoffen für das Ökosystem Wald ermittelt. Kenntnisse über solche Belastungsgrenzen sind im Hinblick auf die Risikoabschätzung und für die nachhaltige Sicherstellung der vielfältigen Waldfunktionen von zentraler Bedeutung. Wie sich in den vergangenen 15 Jahren zeigte, finden in

unseren Wäldern schleichende, für die Waldstabilität entscheidende Veränderungen statt. Nachfolgend sollen ein paar Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgestellt werden.

Kronenverlichtung bei Buchen

Die Kronenverlichtung kann als Ausdruck von Stress angesehen werden. Sie sagt aber nichts über die Ursache aus. Gemäss Konvention der Europäischen Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen gelten Bäume mit ei-

Kronenverlichtung

Von Kronenverlichtung spricht man, wenn die Baumkronen «lichter» werden, sei es infolge schwacher Verzweigung, spärlichem Laubaustrieb oder vorzeitigem Abwurf von Laub oder Nadeln.

Fruktifikation

Unter Fruktifikation versteht man die Ausbildung von Früchten oder Samen bei Pflanzen.

ner Kronenverlichtung grösser als 25 Prozent als «geschädigt». Wissenschaftlich ist dies allerdings nicht gesichert. Dieser Schwellenwert kann aber sicher als nützliche Richtgrösse angesehen werden, die es erlaubt, die Stresssituation des Waldes über einen längeren Zeitraum einzuschätzen.

Die Ursachen der Kronenverlichtung können komplexer Natur sein. Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass unter anderem Durchforstung und plötzliche Freistellung der Bäume, Nährstoffmangel, Wurzelfäulnis,

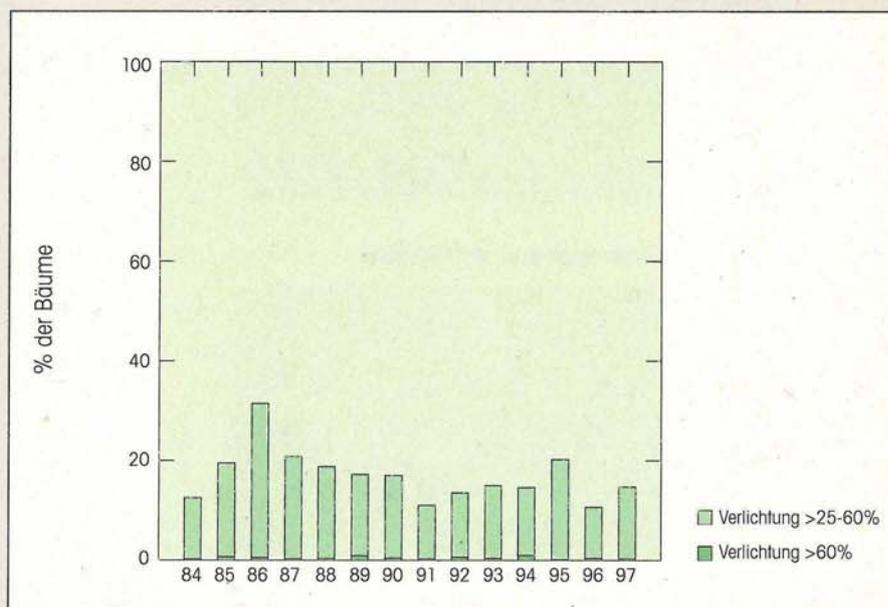


Abbildung 2: Entwicklung der Kronenverlichtung bei Buchen in den Walddauerbeobachtungsflächen der Nordwestschweiz sowie der Kantone Zürich und Zug von 1984/85 bis 1997 (52 Flächen, 3813 Bäume).

Fruktifikation, Luftschadstoffe oder Witterungsextreme wie Trockenheit, Stürme beteiligt sein können. In Abbildung 2 ist die Entwicklung der Kronenverlichtung bei Buchen dargestellt. Sowohl Mitte der achtziger Jahre als auch Mitte der neunziger Jahre lässt sich in den Beobachtungsflächen ein erhöhtes Ausmass an verlichteten Buchen feststellen. Unter Berücksichtigung aller Flächen betrug 1997 der Anteil Buchen mit mehr als 25 Prozent Kronenverlichtung 14,7 Prozent. Werden nur die Beobachtungsflächen im Kanton Aargau berücksichtigt, so sind es 13,6 Prozent.

Witterungsstress

Die Witterung und insbesondere die Wasserversorgung ist für das Wachstumsverhalten der Bäume von zentraler Bedeutung. Allerdings reagieren nicht alle Baumarten gleich empfindlich auf die Wasserversorgung.

Während sich die Fichte im Triebwachstum verhältnismässig «tolerant» bezüglich Wasserstress verhält, stellt das Triebwachstum bei der Buche einen empfindlichen Indikator hierfür dar.

Wie aus den Untersuchungen von 1984 bis 1995 hervorgeht, folgt das Triebwachstum ziemlich genau dem verfügbaren Bodenwassergehalt. Nach der Trockenperiode von 1975/76 fiel das Wachstum auf zirka 50 Prozent des Normwertes ab (Abb. 3). Mit den feuchteren Jahren von 1977 bis 1981 stellte sich in den Jahren 1980 und 1981 wieder eine vollständige Erholung ein. Die mässigen Trockenjahre von 1982 bis 1986 und 1989 bis 1992 lösten bei der Buche eine Triebwachstumsdepression von über 10 Jahren aus. Erst nach dem feuchten Sommer 1993 wurde kurzfristig wieder der Normwert erreicht. Die mässige Trockenheit von 1994/95 reichte aber bereits wieder aus, um eine starke

Wachstumshemmung auszulösen, vergleichbar mit derjenigen nach der grossen Trockenheit von 1975/76. Es scheint, als ob der Wald empfindlicher auf Witterungsstress geworden ist.

Stickstoffüberdüngung

Der in den Beobachtungsflächen beim gleichen Baumkollektiv alle vier Jahre erhobene Nährstoffstatus weist in der für den Wald kurzen Zeitspanne von zwölf Jahren eine erhebliche Verschlechterung auf. Während 1984, zu Beginn der Untersuchungen, in fünf Prozent der Buchenflächen eine Stickstoffüberversorgung und in elf Prozent eine Phosphorunterversorgung zu verzeichnen war, zeigten 1995 bereits 61 Prozent der Flächen eine Stickstoffüberversorgung und 32 Prozent eine Phosphorunterversorgung (Abb. 4). In den Fichtenflächen konnte zwar keine vergleichbare Zunahme der Stickstoffversorgung, jedoch ebenfalls eine Abnahme der Phosphorversorgung festgestellt werden.

Wie Versuche zeigen, werden die Bäume durch eine solch unausgewogene Nährstoffversorgung anfälliger für pilzliche Krankheiten und saugende Schädlinge sowie empfindlicher gegenüber Trockenstress. Durch eine übermässige Stickstoffversorgung werden aber auch die Mykorrhizapilze, die in Symbiose mit den Waldbäumen leben, gehemmt. Diese Pilze, die an den Feinwurzeln der Bäume leben und ein grosses Pilzfadengeflecht im Boden bilden, werden vom Baum mit Zucker versorgt. Der Baum erhält vom Pilz Wasser und Nährstoffe, vor allem Phosphor. Der Pilz schützt den Baum aber auch vor pilzlichen Wurzelkrankheiten. Durch eine erhöhte einseitige Stickstoffernährung wird, wie die Versuche zeigten, das Wachstum der Sprossorgane (Stamm, Zweige, Nadeln) einseitig gefördert, nicht aber das Wurzelwachstum, was zu einem disharmonischen Verhältnis von Spross-

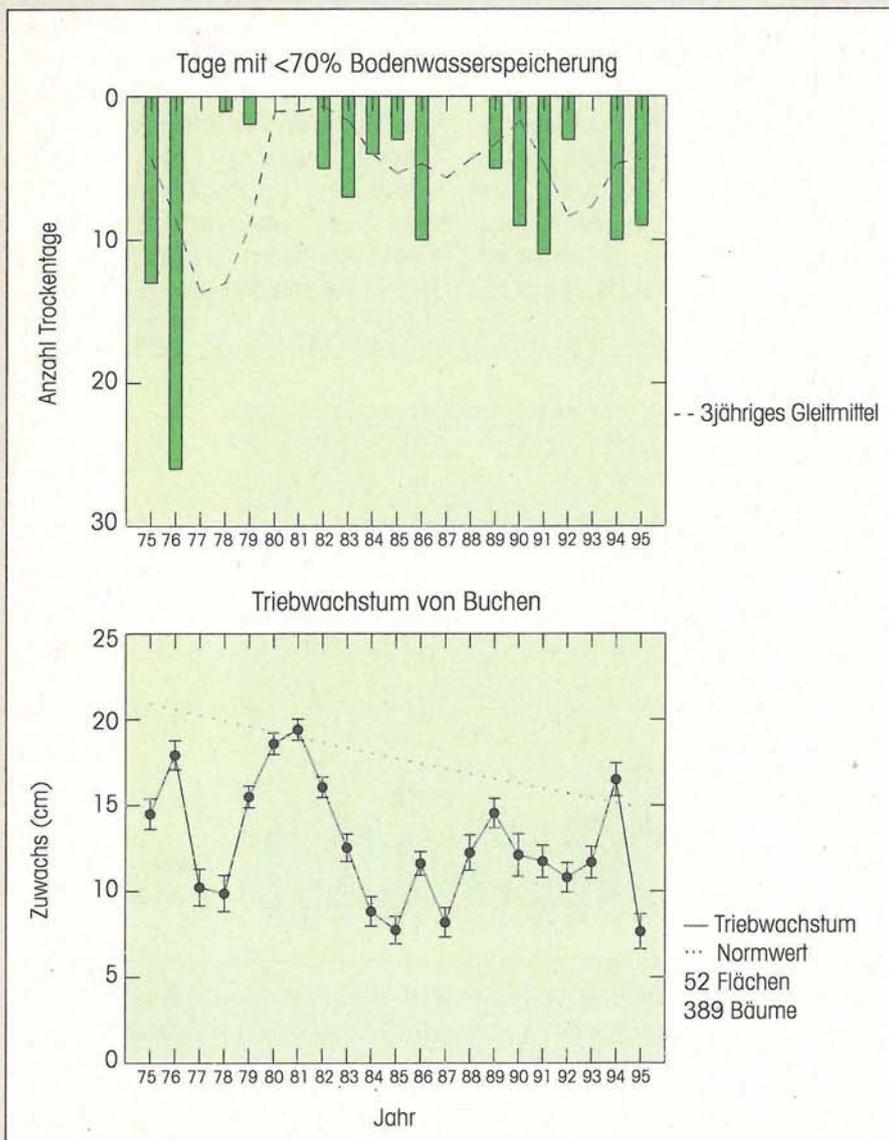


Abbildung 3: Triebzuwachs bei Buchen (unten) in den Walddauerbeobachtungsflächen von 1975 bis 1995 sowie Anzahl Tage, bei denen die Bodenwasserspeicherung 70% der Wassersättigung unterschritt (oben). Man beachte die Übereinstimmung zwischen Trockenperioden und gehemmtem Triebwachstum.

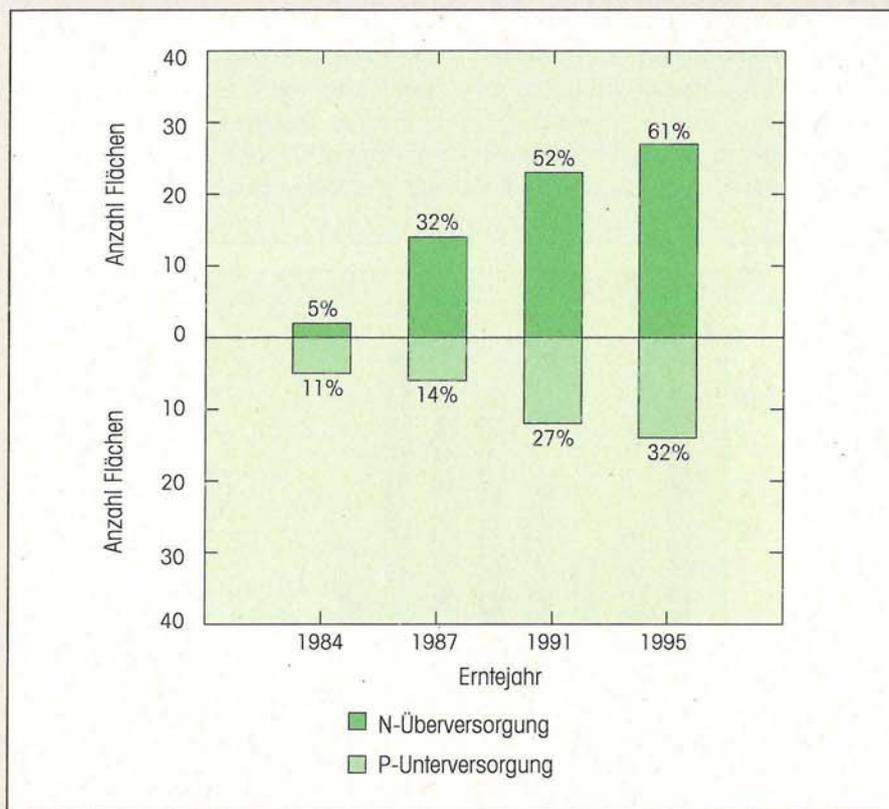


Abbildung 4: Veränderung der Stickstoff- und Phosphorversorgung bei Buchen in den Walddauerbeobachtungsflächen von 1984 bis 1995. Nährstoffklassifikation nach ICP Forests (1996), 44 Flächen mit je 8 Bäumen pro Fläche.

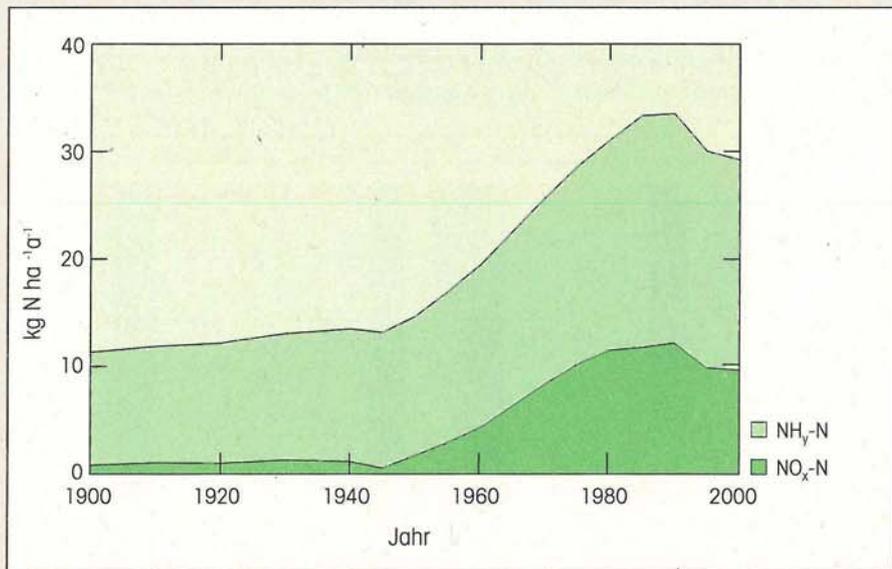


Abbildung 5: Historische Entwicklung der Stickstoffdeposition in der Schweiz. Die Zahlen stellen den mittleren Eintrag für Schweizer Wälder dar.

masse zu Wurzelmasse führt, d.h. eine verhältnismässig kleinere Wurzelmasse muss eine immer grössere Sprossmasse mit Wasser und Nährstoffen versorgen (Flückiger et al. 1997).

Diese zunehmende Stickstoffversorgung dürfte hauptsächlich auf die in den letzten Dekaden stark angestiegenen atmosphärischen Stickstoffeinträge als Folge von Verkehr und Landwirtschaft zurückzuführen sein (Abb. 5). Während von 1900 bis 1945 im schweizerischen Durchschnitt gleichbleibend zwischen elf und dreizehn Kilogramm Stickstoff pro Hektar und Jahr in unsere Wälder eingetragen wurden, stieg der Stickstoffeintrag seit den fünfziger Jahren stark an und erreichte in den achtziger Jahren ein Maximum von 33 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr. Nach UN/ECE (1996) liegt die kritische Belastungsgrenze für Stickstoff für den Wald bei 10 bis 20 kg pro Hektare und Jahr. Seit bald 40 Jahren wird unser Wald somit mit Stickstoff überdüngt. Nach Kurz und Rihm (1997) sollen die kritischen Eintragswerte bei 90 Prozent des Schweizer Waldes überschritten sein.

Wie epidemiologische Untersuchungen in den Beobachtungsflächen aufzeigen, besteht eine hohe positive Korrelation zwischen Stickstoffeintrag und Stickstoffgehalt in den Nadeln der Fichten einerseits und dem Stickstoffgehalt in den Fichtennadeln und dem Stammzuwachs andererseits. Das in den letzten rund 40 Jahren europaweit beobachtete gesteigerte Waldwachstum kann somit, zumindest teilweise, auf die erhöhten Stickstoffeinträge zurückgeführt werden.

Zunehmende Bodenversauerung

Verschiedene Untersuchungen weisen darauf hin, dass in unseren Waldböden beschleunigte Versauerungsprozesse ablaufen (Fitze et al. 1991; Zysset et al. 1997). Als eine Ursache der Bodenversauerung müssen die hohen Einträge von Säure, u.a. Stickstoffverbindungen, gesehen werden. Mit der Bodenversauerung einhergehend findet auch eine Verarmung der Böden an basischen Kationen, also Nährstoffen wie Kalium, Kalzium und Magnesium, statt. Durch die Versauerung werden



zonbelastung

auch erhöhte Mengen von Mangan und toxischem Aluminium pflanzenverfügbar. Seit den Erhebungen im Jahre 1984 hat die Manganversorgung der Buchen um 41 Prozent zugenommen, was auf einen Versauerungsprozess im Boden hindeutet (Ulrich 1987).

Von solchen Versauerungsprozessen sind vor allem die Wurzeln betroffen. Die aktiven Feinstwurzeln, die das Wasser und die Nährstoffe aufnehmen, reagieren besonders empfindlich auf eine Versauerung, und zwar mit einer stark abnehmenden Vitalität. Bei starker Versauerung kann es zu einem kritischen Verhältnis von basischen Kationen zu Aluminium (BC/Al) kleiner oder gleich eins kommen, was wiederum zu einer starken Wachstumshemmung oder gar zum Absterben der Wurzeln im mineralischen Unterboden führen kann (Sverdrup und Warfvinge 1993; Puhe 1994). Der Baum wurzelt in der Folge nur noch im humus- und basenreichen Oberboden. Dadurch verliert er an Stabilität und wird anfälliger gegenüber Trockenheit und Windwurf.

In den Beobachtungsflächen des Kantons Aargau wird im Unterboden das kritische BC/Al-Verhältnis von eins in Muri, Habsburg, Olsberg und Möhlin Unterforst nahezu erreicht. In den Flächen Muri, Habsburg, Zofingen und Möhlin Unterforst ist zudem auch die Basensättigung als sehr niedrig zu bezeichnen, d.h. zwischen sechs und zwölf Prozent (Bewertung nach Kilian 1992). Für ein optimales Gedeihen ist bei Buchen und Fichten eine Basensättigung von grösser als 30 bis 50 Prozent erforderlich (Ulrich 1994). Bei einer Basensättigung von fünf Prozent oder kleiner wird die Elastizität des Bodens gering, die Pufferfähigkeit ist weitgehend erschöpft. Mineralisierungsschübe, wie sie z.B. bei starker Durchforstung stattfinden, führen zu Säurestress bzw. zu irreversibler Versauerung des Bodens (Ulrich 1987).

Die Ozonbelastung hat in den neunziger Jahren im Vergleich zu den achtziger Jahren deutlich abgenommen (Abb. 6). Sichtbare Ozonschäden sind nicht erkennbar. Eine Ausnahme bildet

der Kanton Tessin, wo bei deutlich höherer Ozonbelastung empfindliche Baumarten wie zum Beispiel die Spätblühende Traubekirsche geschädigt werden (WSL 1998). Dennoch reagieren die Hauptbaumarten wie Fichte

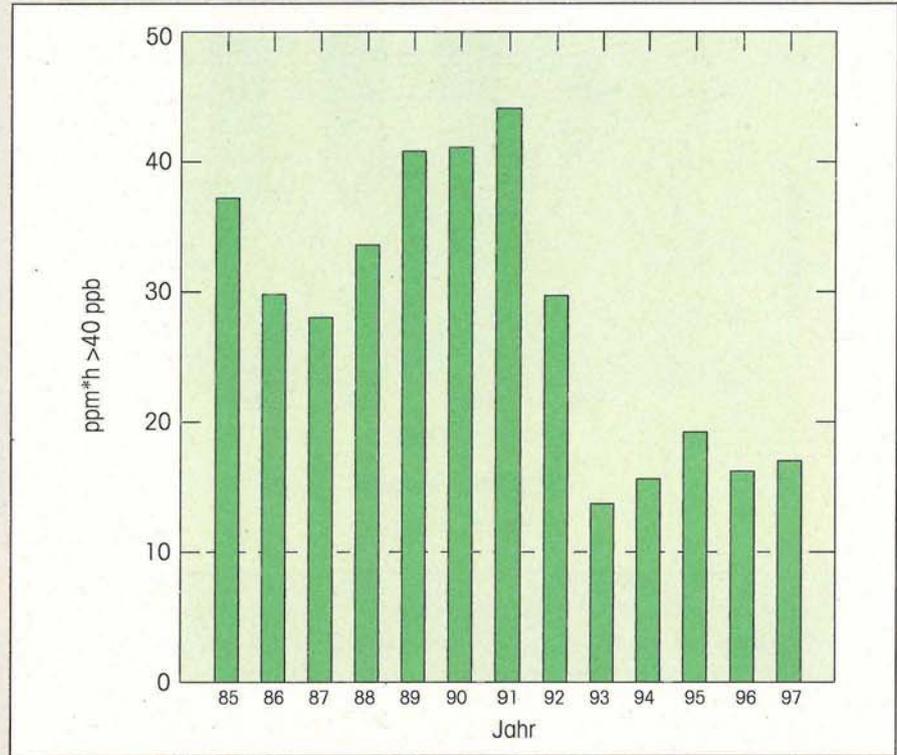


Abbildung 6: Entwicklung der Ozondosis in Schönenbuch. Die gestrichelte Linie bei 10 ppm*h stellt den Critical Level für Ozon nach UN/ECE (1993) dar.

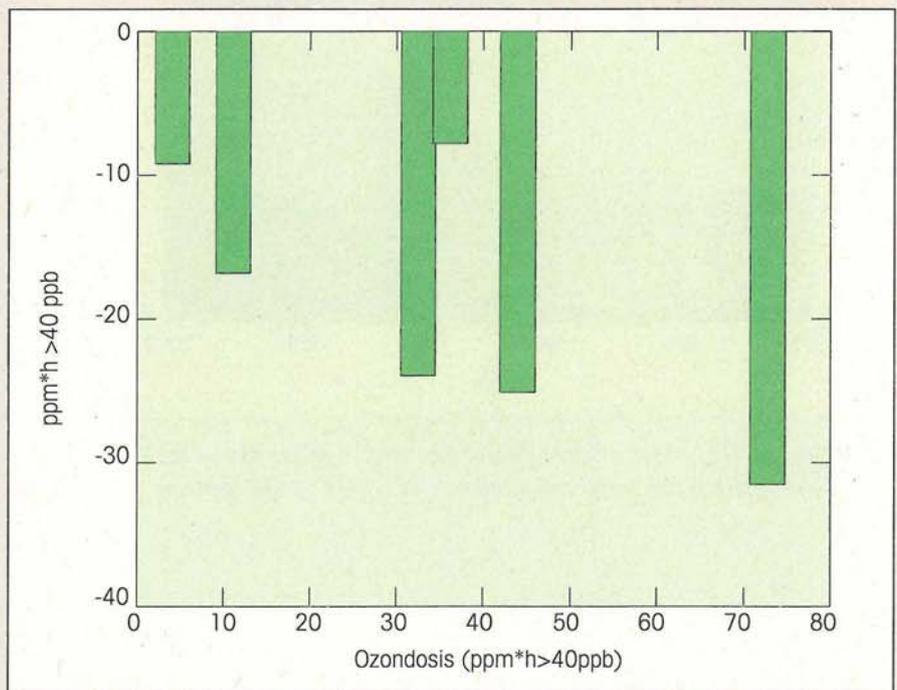


Abbildung 7: Veränderung der Feinwurzelbiomasse von Buchenkeimlingen in Umgebungsluft gegenüber Filterluft in Abhängigkeit von der Ozondosis während des Experimentes. Daten von sieben verschiedenen Versuchen. Man beachte die abnehmende Feinwurzelmasse mit zunehmender Ozondosis bzw. Exposition in den Umgebungsluftkammern.

und Buche, die als weniger ozonempfindlich gelten, deutlich auf die auch nördlich der Alpen vorhandene Ozonbelastung. In sogenannten Negativbe-gasungsversuchen – Kammern mit Filterluft und Umgebungsluftbedingungen – konnte gezeigt werden, dass die aktuelle Ozonbelastung ausreicht, um erhebliche physiologische Veränderungen in den Bäumen hervorzurufen. Jungpflanzen von Fichte und Buche zeigten in den Umgebungsluftkammern einen deutlich gehemmten Transport von Zuckern von den Blättern/Nadeln in die Wurzeln. Das wirkte sich in einer geringeren Einlagerung von Reservestärke in den Wurzeln im Herbst und letztlich in einer verminderten Bildung von Feinstwurzeln sowie einer verminderten Vitalität der Mykorrhizapilze aus (Abb. 7) (Braun und Flückiger 1995; Lux et al. 1997). Auch konnte beobachtet werden, dass Buchen und Fichten in den Umgebungsluftkammern stärker von saugenden Insekten wie Blattläusen, Trieb- und Gallenläusen befallen werden (Braun und Flückiger 1989; Holopainen et al. 1994). Epidemiologische Untersuchungen ergaben zudem, dass die Buche mit zunehmender Ozondosis eine signifikante Abnahme im Stamm-dickenwachstum aufweist.

Schlussfolgerung

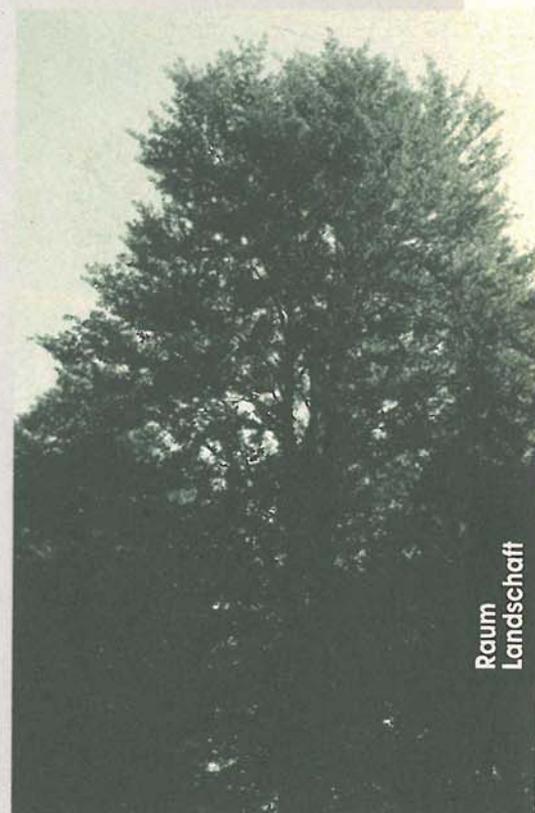
Die seit über 15 Jahren in Walddauerbeobachtungsflächen durchgeführten Untersuchungen zeigen schleichende Veränderungen, die aufgrund von Ergebnissen aus Stickstoffdüngungsversuchen vornehmlich dem hohen Stickstoffeintrag, der deutlich über dem kritischen Eintragsbereich für den Wald von 10 bis 20 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr liegt, zuzuschreiben sind. Die zunehmende Stickstoffversorgung der Waldbäume einerseits und abnehmende Phosphorversorgung andererseits lassen immer mehr ein Nährstoffungleichgewicht entstehen. Dieses Ungleichgewicht kann sich negativ auf die Vitalität und Resistenz der Bäume auswirken. Die hohen Stickstoffeinträge beschleunigen zudem die Bodenversauerung und damit auch die Verarmung an den für die Ernährung wichtigen basischen Kationen. Diesem Vorgang muss auf sensiblen Standorten eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden: Mit entsprechender Baumartenwahl bei Neuaufforstungen sowie mit Belassen von möglichst vielen Holzernterückständen kann ihm entgegengewirkt werden. Auch wenn die Ozonbelastung in den letzten Jahren abgenommen hat, so wird die kritische Ozondosis für Waldbäume

gemäss UN/ECE (1993) immer noch deutlich überschritten. Ein besonderes Problem stellt die Tatsache dar, dass die bei uns vermutlich wichtigsten Belastungsgrößen Stickstoff, Bodenversauerung und Ozon sich hauptsächlich auf die Wurzeln auswirken, was zu einem schleichenden Stabilitätsverlust des Waldes führen kann. ■**

Dieser Artikel entstand im Auftrag von:

Dr. Heinz Kasper
Abteilung Wald
062 835 28 20

Das umfangreiche Literaturverzeichnis zu diesem Text kann bezogen werden bei der
Abteilung Wald
Bleichenmattstrasse 1
5000 Aarau
Tel. 062 835 28 20.



Unverlichtete Buchenkrone
Alle Fotos: Institut für angewandte
Pflanzenbiologie, Schönenbuch

Verlichtete Buchenkrone

Sammler für Regenwasser, das durch die Krone auf den Waldboden gelangt (Kronentraufe).



Fichtenbeobachtungsfläche im Unterforst von Möhlin mit nummerierten Bäumen und Sammlern für Kronentraufe- und Bodenwasser.

