

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 44 (2003)
Heft: 1

Artikel: Wie gesund ist der Baselbieter Wald heute?
Autor: Flückiger, Walter / Braun, Sabine
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088395>

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: 15.04.2026

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

Wie gesund ist der Baselbieter Wald heute?

Walter Flückiger und Sabine Braun

Zusammenfassung

*In 23 Walddauerbeobachtungsflächen im Kanton Basel-Landschaft werden seit 1984 baum- und standortsbezogene Untersuchungen durchgeführt. Mit einem Stickstoffeintrag aus der Luft von 20–30 kg N ha⁻¹ a⁻¹ wird der Critical Load für N gemäss UN/ECE von 10–20 kg N ha⁻¹ a⁻¹ in den Baselbieter Wäldern deutlich überschritten. Auch die Ozonbelastung lag mit Ausnahme von 1993 immer wieder über dem Critical Level von 10 ppm*h >40 ppb (AOT40) für den Wald, allerdings war die Überschreitung in den neunziger Jahren deutlich geringer als in den achtziger Jahren. Die Kronenverlichtung, ein Indikator für den Stresszustand, schwankt zwar von Jahr zu Jahr; ein Trend von Zu- oder Abnahme ist jedoch nicht festzustellen. Im Mittel über alle Jahre sind rund 16 %, im Jahre 2002 13 %, der Buchen mehr als 25 % verlichtet. Mit zunehmender N-Deposition nimmt der Stamm- und Höhenzuwachs zu, ausgenommen auf P-limitierten Standorten. Zwischen 1984 und 1999 weisen die Buchen ein zunehmendes Nährstoffungleichgewicht auf, d.h. zunehmende N/P und N/K-Verhältnisse im Laub, was vornehmlich auf abnehmende P-(-26 %) und K-(-31 %) Gehalte zurückzuführen ist. Teilweise haben auch die Mg-Werte abgenommen. Bäume mit erhöhten N/P- und N/K-Verhältnissen zeigen einen deutlich erhöhten Befall mit Parasiten wie *Apiognomonina errabunda* oder *Phyllaphis fagi*. Die Nährstoffreserven im Boden sind im Kanton Basel-Landschaft im allgemeinen ausreichend, mit Ausnahme von drei Flächen, die eine kritische Basensättigung von ≤15 % bzw. ein kritisches BC/Al-Verhältnis von 1–2 und eine entsprechend geringe Regenwurmpopulation aufweisen. Allerdings zeigen epidemiologische Untersuchungen in den Beobachtungsflächen, dass bereits bei einer Basensättigung von ≤40 % das Windwurfrisiko bei der Buche 4.8mal und bei der Fichte 3.6mal erhöht ist.*

Adresse der Autoren: Prof. Walter Flückiger, Dr. Sabine Braun, Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, Sandgrubenstrasse 25, CH-4124 Schönenbuch

1 Einleitung

Im Rahmen des interkantonalen Walddauerbeobachtungsprogrammes der Kantone AG, BE, BL, BS, SO, ZG und ZH sowie des BUWAL wird der Waldzustand im Kanton Basel-Landschaft seit 1984 auf 23 Walddauerbeobachtungsflächen mit einer Fläche von 0.2–0.5 ha mit ca. 60–70 ausgewachsenen Buchen, Eichen, Fichten und Tannen überwacht (Abb. 1). Dabei werden bei allen Buchen und Fichten jeweils Kronenverlichtung, Kronenverfärbung, Fruktifikation, Stamm- und Triebzuwachs und Parasitenbefall erfasst, einige Parameter jährlich, andere alle vier Jahre. Die Nährstoffversorgung der Bäume, Wurzeluntersuchungen, Bodenphysik, Bodenchemie und Bodenbiologie sind ebenso Gegenstand der Untersuchungen. In ausgewählten Flächen wird die Chemie des Sickerwassers und der Stoffeinträge 2- bis 4-wöchentlich analysiert, das Wasserpotenzial im Boden sowie Meteodaten und Ozon kontinuierlich erfasst. Die nun bald 20jährige Zeitreihe lässt bereits erste Rückschlüsse auf die Entwicklung und Dynamik der verschiedenen erfassten Grössen zu. Im Folgenden sei eine Auswahl von Ergebnissen dargestellt. Da in den Flächen des Kantons Basellandschaft Fichten und Tannen von untergeordneter Bedeutung sind, werden hier nur die Resultate von Buchen und Eichen präsentiert.

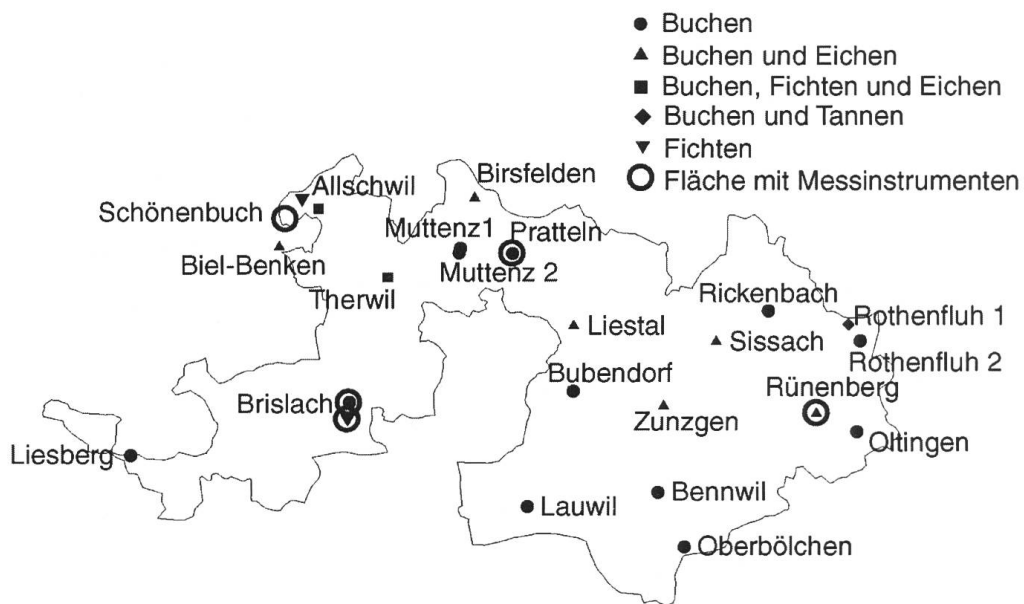


Abb. 1 Lage der Beobachtungsflächen im Kanton Basel-Landschaft.

2 Stickstoff- und Ozonbelastung

Stickstoffdeposition

Stickstoff, als wichtiges Nährelement, kann nach wie vor in Wäldern wachstumslimitierend sein (Tamm 1991). In den letzten fünfzig Jahren wird jedoch als Folge der enormen Zunahme des Motorfahrzeugverkehrs einerseits und einer Intensivierung der Landwirtschaft andererseits ein erheblicher Anstieg von Emissionen und damit auch der Deposition von potenziell pflanzenverfügbaren Stickstoffverbindungen festgestellt. Während die Schweizer Wälder in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts im Mittel 11 bis 13 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr über die Luft als NH_y oder NO_x erhielten, stieg die Deposition bis Mitte der achtziger Jahre auf über $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ an (Abb. 2). (Braun et al. 1996). Seit Mitte der achtziger Jahre kann wieder eine leichte Abnahme der aus den Emissionen berechneten N-Deposition festgestellt werden. Bei Depositionen von $>10\text{--}20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ('Critical Load') muss mit negativen Auswirkungen auf den Wald gerechnet werden (UN/ECE 2002). Dieser Wert wird im Schweizer Mittel seit über 40 Jahren erheblich überschritten, nach Schätzungen von Kurz und Rihm (1997) in rund 90 % des Schweizer Waldes. Im Mittel- und Oberbaselbiet, im Leimen- und Laufental wird mit einer mittleren N-Deposition von $20\text{--}30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ gerechnet (Theis 1999), was ebenfalls über dem Critical Load liegt.

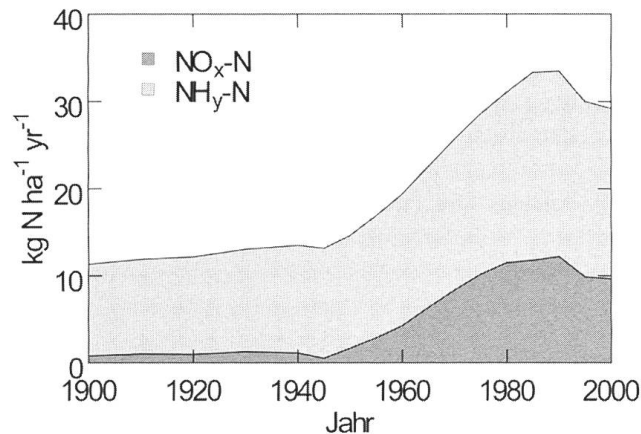


Abb. 2 Historische Entwicklung des Stickstoffeintrags in den Wald im Schweizer Mittel. Berechnet aufgrund von Angaben über historische Emissionen (BUWAL 1995), Import-Export-Matrices nach EMEP (Barrett et al. 1995) und skaliert für den Wald nach Rihm (1994).

Ozonbelastung

Auch die Ozonbelastung liegt in der Schweiz an den meisten Orten in einem für die Bäume belastenden Bereich. Von der UN/ECE (1996) wurde für den Wald ein Critical Level von $10 \text{ ppm} \cdot \text{h} > 40 \text{ ppb}$ festgelegt (AOT40; Summe aller 40 ppb übersteigenden Stundenmittel während des Tages). Übersteigt die jährliche Belastung diesen Wert, muss mit negativen Auswirkungen wie z. B. Wachstumsreduktionen gerechnet werden. Seit 1985 werden die Ozonkonzentrationen am Standort Schönenbuch gemessen (Abb. 3). Dabei lässt sich feststellen, dass im Vergleich zu den achtziger Jahren die Ozonbelastung in den neunziger Jahren deutlich abgenommen hat. Allerdings wird der Critical Level immer noch deutlich überschritten.

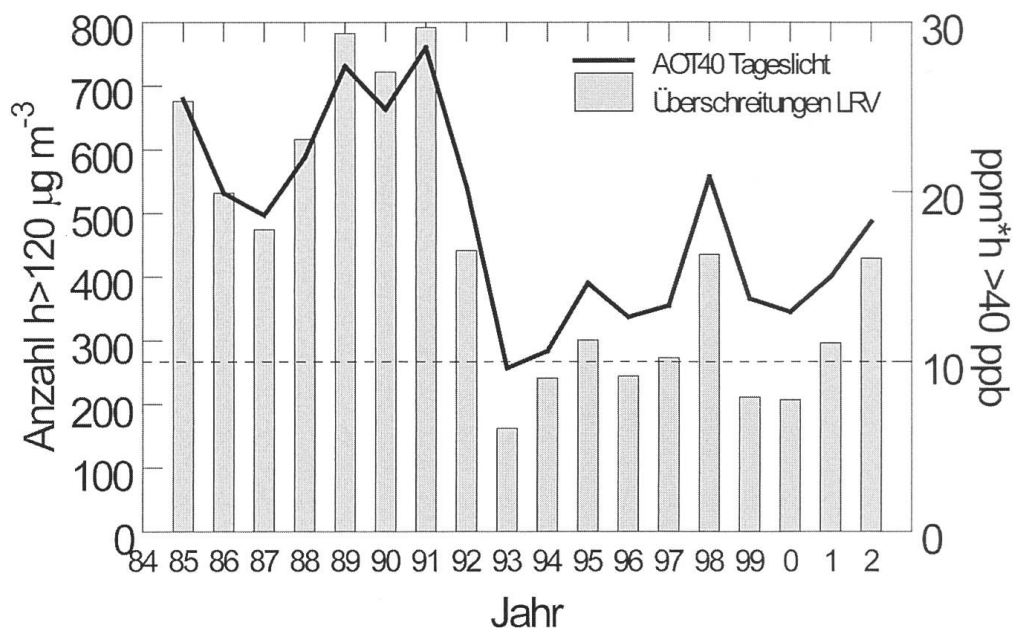


Abb. 3 Entwicklung der Ozonbelastung an der Messstation Schönenbuch. Die gestrichelte Linie entspricht dem Critical Level für den Wald und bezieht sich auf die schwarze Linie (AOT40 Tageslicht, d. h. die Summe aller Stundenmittelwerte >40 ppb während der Tageslichtstunden). Die Säulen stellen die Anzahl Stunden mit Ozonkonzentrationen >120 µg/m³ dar (Grenzwert der Luftreinhalteverordnung).

3 Entwicklung der Kronenverlichtung bei Buchen und Eichen

Eine erhöhte Kronenverlichtung kann als Ausdruck von Stress betrachtet werden. Gemäss UN/ECE-Konvention (UN/ECE 1992) gilt ein Baum mit einer Kronenverlichtung >25 % als "geschädigt". In den Walddauerbeobachtungsflächen des Kantons Basel-Landschaft weisen im Mittel über die letzten 19 Jahre rund 16 % der Buchen eine Kronenverlichtung >25 % auf. Vor allem in den achtziger Jahren konnte eine erhöhte Kronenverlichtung bei dieser Baumart festgestellt werden. Eine wesentlich höhere Kronenverlichtung zeigen die Eichen (Stiel- und Traubeneichen). Über die letzten zwei Dekaden wiesen im Mittel 38 % der Eichen eine Kronenverlichtung von mehr als 25 % auf. Das Ausmass der Kronenverlichtung im Kanton Basel-Landschaft ist vergleichbar mit demjenigen der übrigen IAP-Beobachtungsflächen in anderen Regionen der Schweiz. Bei beiden Baumarten lässt sich über die ganze Beobachtungszeit kein Trend der Zu- oder Abnahme der Kronenverlichtung feststellen.

4 Wachstum

In den Beobachtungsflächen werden alle vier Jahre Triebernten bei den jeweils gleichen acht Buchen durchgeführt. Am gerenteten Astmaterial wird u. a. der Triebzuwachs gemessen. Wie aus Abb. 4 hervorgeht, wird der Sollwert für den Triebzuwachs bei der Buche (Schober 1987) in den BL-Flächen Ende der siebziger Jahre, Anfang der achtziger Jahre und Ende der neunziger Jahre erreicht. Von 1983 bis 1993 weisen die Buchen

eine deutliche Wachstumsdepression auf. Wie aus epidemiologischen Untersuchungen hervorgeht, scheinen die Sprossorgane noch positiv auf die Stickstoffeinträge zu reagieren. Sowohl das Triebwachstum als auch der Stammzuwachs sind umso höher, je höher die modellierten N-Einträge sind (Abb. 5), wobei die Korrelation beim Stammzuwachs auf Flächen mit Phosphorlimitierung deutlich schwächer ist. Nach Untersuchungen von Braun et al. (1999) ist der Stammzuwachs auf den Flächen mit einer Basensättigung des Bodens von $\leq 40\%$ signifikant geringer (Abb. 6).

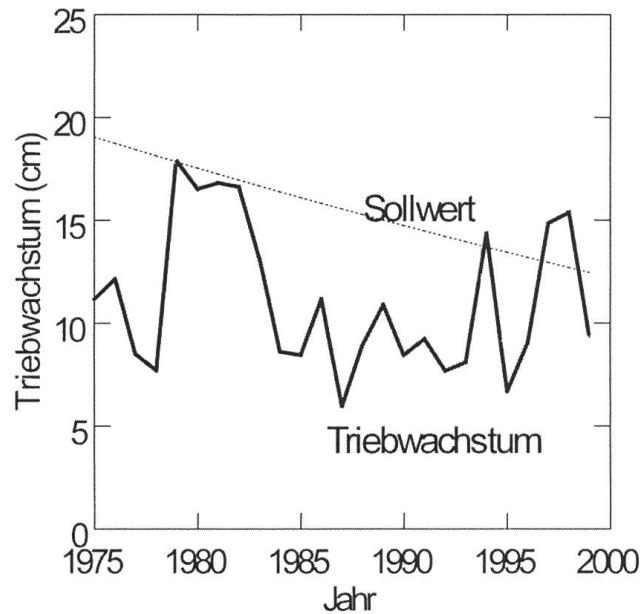


Abb. 4 Triebwachstum von Buchen in den Dauerbeobachtungsflächen des Kantons Basellandschaft (durchgezogene Linie) im Vergleich zu einem aus Alter und Standortbonität abgeleiteten Erwartungswert.

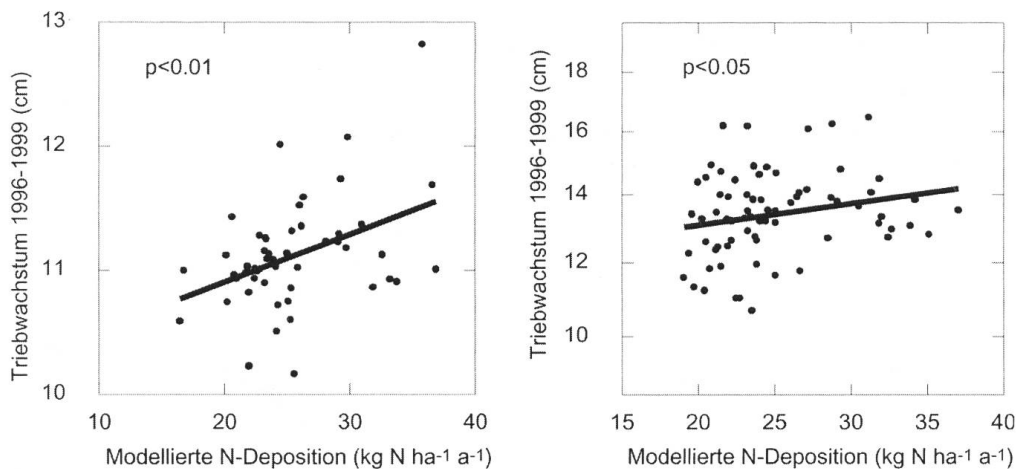


Abb. 5 Triebwachstum von Fichten (links) und Buchen (rechts) in Abhängigkeit von der modellierten N-Deposition.

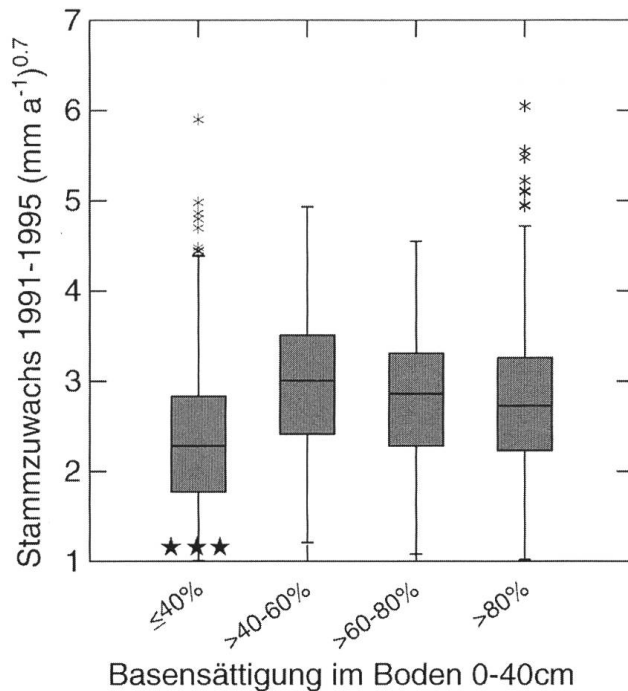


Abb. 6 Stammzuwachs von Buchen (Durchmesserzuwachs) in Abhängigkeit von der Basensättigung im Boden (Mittel 0–40cm).

Gleichzeitig konnte bei der Buche eine signifikante Zuwachshemmung mit zunehmender Ozonbelastung gefunden werden. Mehrjährige Negativbegasungsversuche – Umgebungsluft-Filterluft-Bedingungen – zeigen zudem, dass vor allem das Wurzelwachstum bei den Buchen mit zunehmender Ozondosis gehemmt wird (*Flückiger & Braun* 1999).

5 Nährstoffversorgung

Die einseitige Düngung der Wälder mit Stickstoff aus der Luft führt zu zunehmenden Nährstoffungleichgewichten, wie Experimente (*Flückiger & Braun* 1998, 1999) und Analysen aus den Beobachtungsflächen zeigen. Das Stickstoff-Phosphorverhältnis nahm von 1984 bis 1999 um 40 % und dasjenige von Stickstoff zu Kalium um 43 % zu, was einerseits auf die Zunahme von N im Laub, aber vor allem auf eine Abnahme von Phosphor (um 26 %) und Kalium (um 31 %) zurückzuführen ist (Abb. 7). Das Verhältnis Stickstoff/Magnesium ist seit 1991 wieder etwas ausgeglichener, dennoch besteht noch eine Zunahme von 11 %. Augenfällig ist die Zunahme der Mangankonzentration im Buchenlaub um 66 %, von 350 mg/kg auf 580 mg/kg TS, was auf eine zunehmende Bodenversauerung hinweist (*Ulrich* 1995). Solche Veränderungen in den Nährstoffspiegelwerten von Waldbäumen sind in den letzten Jahren mehrfach beschrieben worden. So nahm bei Buchen in Wäldern Nordostfrankreichs zwischen 1969/71 und 1996/97 das Verhältnis von N/P um 42 %, von N/K um 19 % und von N/Mg um 77 % zu (*Duquesnay et al.* 2000). Für den Baum können solche Nährstoffungleichgewichte eine Schwächung bedeuten, was sich u. a. in einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Parasiten ausdrücken kann. Epidemiologische und experimentelle Untersuchungen ergaben eine

Nährstoffverhältnisse im Buchenlaub Kanton BL

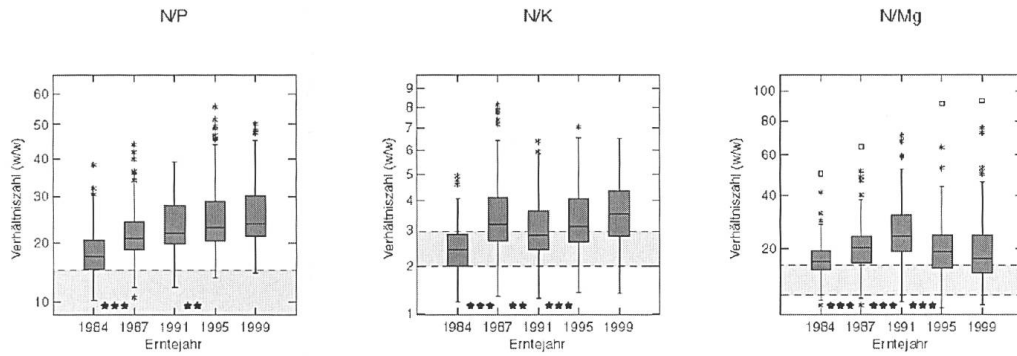


Abb. 7 Entwicklung der Verhältnisse zwischen Stickstoff einerseits und Phosphor (links), Kalium (Mitte) und Magnesium (rechts) im Laub von Buchen aus den Dauerbeobachtungsflächen des Kantons Basel-Landschaft. Grauer Bereich: Bereich harmonischer Ernährung. Unterschiede zum Vorjahr statistisch signifikant mit *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$.

signifikante Zunahme des Befalls von Bucheckern mit dem Haselnusswickler (*Cydia amplana*) mit zunehmendem N/P-Verhältnis im Laub. Gleiches konnte mit der Buchenblattbaumlaus *Phyllaphis fagi* und dem Zweig- und Astdürrepilz *Apiognomonium errabunda* festgestellt werden (Abb. 8).

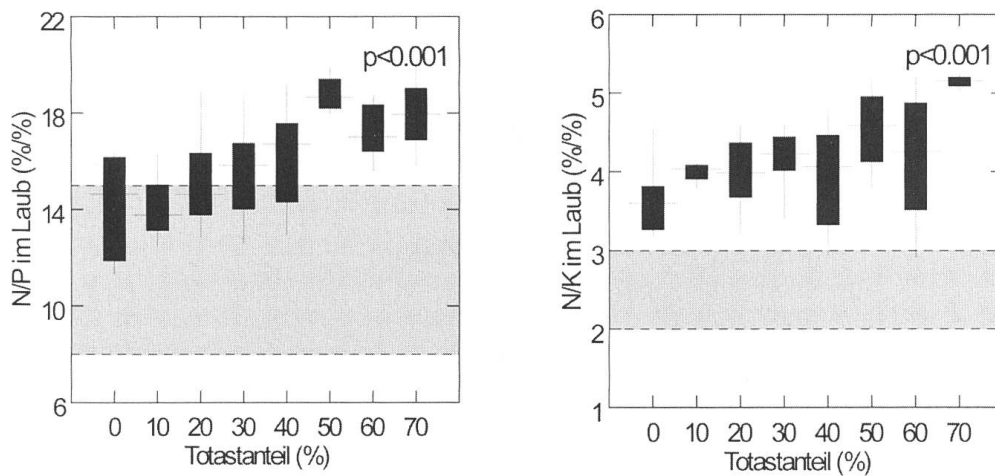


Abb. 8 Totastanteil bei jungen Buchen infolge Befalls mit dem Pilz *Apiognomonium errabunda* in Abhängigkeit von den Nährstoffverhältnissen im Laub. Grauer Bereich: Bereich harmonischer Ernährung.

6 Bodenuntersuchungen

Stickstoffkonzentration im Bodenwasser

Bei der Sättigung eines Ökosystems mit Stickstoff verlässt der überschüssige Stickstoff den Boden wieder mit dem Sickerwasser. Untersuchungen in ausgewählten Beobachtungsflächen zeigen erhebliche Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auch unterhalb des Wurzelraums teils bis in die Nähe des Schweizer Toleranzwerts für Nitrat im Trinkwasser ($40 \text{ mg NO}_3^-/\text{l} = 9 \text{ mg N/l}$) (Abb. 9). Durch die Stickstoffbelastung wird die Funktion des Waldes als Trinkwasserreservoir beeinträchtigt. Deutsche Untersuchungen haben ergeben, dass die Feinwurzelbiomasse von Fichten bei Nitratkonzentrationen von $>2 \text{ mg N/l}$ erheblich reduziert ist (Matzner & Murach 1995). Diese Konzentration entspricht einer N-Fracht in der Kronentraufe von $25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (De Vries et al. 2001). Der für den Austrag von der UN/ECE (1992) festgelegte Grenzwert für Stickstoffaustrag von 1 (Gebirge) bzw. $4\text{--}5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für Tallagen wird in den Untersuchungsflächen um bis zu 500 % überschritten.

Jedes Nitration, das den Boden verlässt, muss aus Gründen der Elektroneutralität von einem Kation begleitet werden. Dies hat eine Nährstoffverarmung und damit eine Versauerung der Böden zur Folge. Zudem werden bei der mikrobiellen Umwandlung von Ammonium in Nitrat (Nitrifikation) Protonen freigesetzt. In der Schweiz tragen die Stickstoffverbindungen NH_3 , NH_4^+ , HNO_3 und NO_3^- 80 % zur Säuredeposition bei (BUWAL 1994).

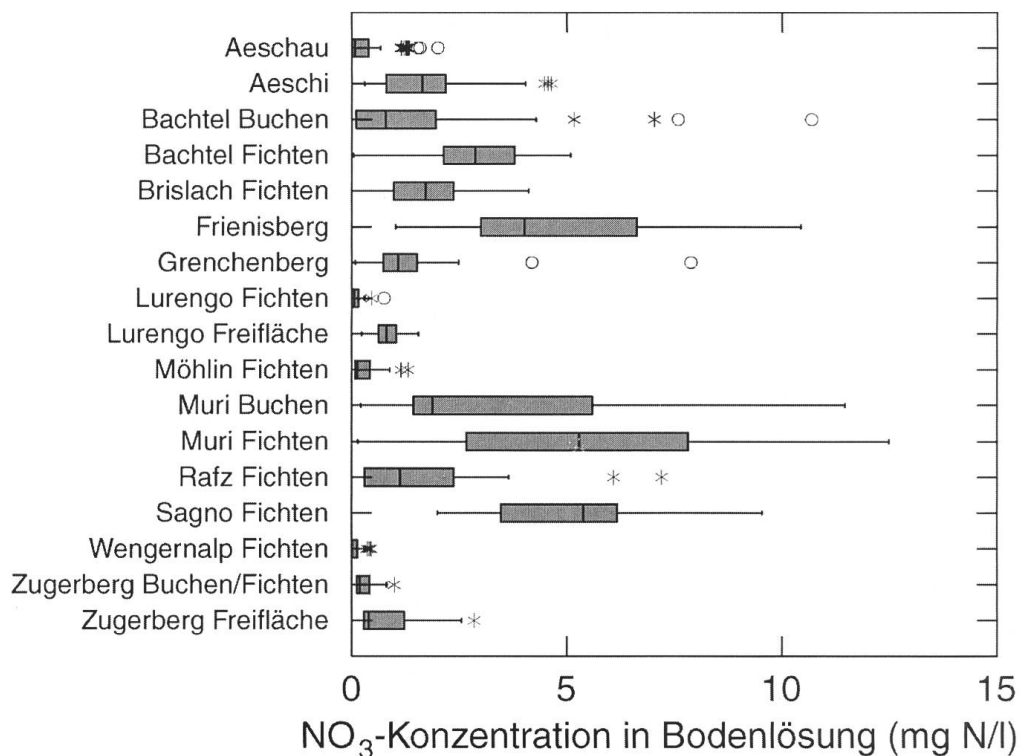


Abb. 9 Nitratkonzentration im Sickerwasser (tiefste gemessene Bodentiefe, meist 80–100cm) in verschiedenen Waldflächen.

Nährstoffverhältnisse im Boden und Verhältnis basischer Kationen zu Aluminium

Die Nährstoffverhältnisse bzw. die Sättigung mit basischen Kationen wie Kalzium, Kalium und Magnesium in den Walddauerbeobachtungsflächen des Kantons Basel-Landschaft zeichnet sich durch ein weites Spektrum von reich bis sehr tief aus (Abb. 10). Als kritisch gelten Böden, die eine Basensättigung von $\leq 15\%$ aufweisen (Ulrich 1989). Dies ist lediglich in drei Flächen der Fall. Buchen und Fichten reagieren aber bereits auf eine Basensättigung von $\leq 40\%$, wie epidemiologische Untersuchungen ergaben. Dies betrifft noch weitere zwei Flächen. Buchen und Fichten zeigten auf Flächen mit einer Basensättigung von $\leq 40\%$ ein 4.8 mal bzw. 3.6 mal erhöhtes Windwurfrisiko (Abb. 11). Bei der Buche war zudem ein erhöhtes Windwurfrisiko mit erhöhten N-Blattspiegelwerten korreliert (Braun et al. 2003). Insgesamt kann die Basensättigung in 18 von 23 Baselbieter Waldflächen als ausreichend bezeichnet werden. Einen wichtigen Bodenparameter für die Waldbäume stellt auch das Verhältnis von basischen Kationen zu Aluminium in der Bodenlösung dar. Mit zunehmender Bodenversauerung nimmt die Pflanzenverfügbarkeit von Aluminium im Boden zu. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass bei einem Verhältnis von basischen Kationen zu Aluminium (BC/Al) von eins das Risiko von Wachstumshemmungen oder gar Schädigungen insbesondere der Wurzeln stark ansteigt (Sverdrup & Warfvinge 1993). Auch hier müssen zwei Flächen als kritisch bezeichnet werden und weitere sieben als mittel- bis längerfristig gefährdet. Im Sickerwasser zeigt sich in den letzten Jahren eine deutliche Abnahme des BC/Al-Verhältnisses. In der Fichtenfläche Brislach, wo seit 1997 permanent Messungen durchgeführt werden, verminderte sich das BC/Al-Verhältnis in den obersten 40 cm von einst 8–10 auf im Mittel 2–4 im Jahre 2002, mit Perioden von deutlich unter eins. Als Folge der Versauerung bzw. Verarmung an basischen Kationen im mineralischen Unterboden und der erhöhten Freisetzung von toxischem Aluminium verlagert sich die Wurzelbildung in den Oberboden (Jentschke et al. 2001), was zu erhöhter Trockenstressanfälligkeit und Windwurfgefährdung führt.

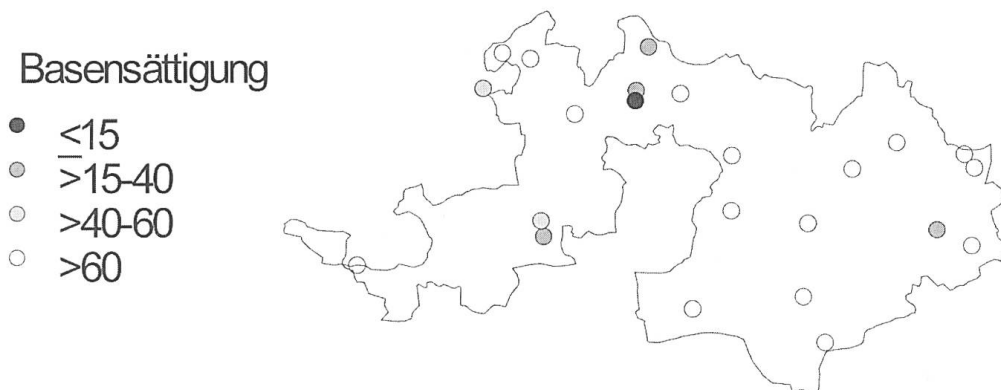


Abb. 10 Basensättigung des Bodens (Mittel aus 0–40cm Tiefe) in den Dauerbeobachtungsflächen des Kantons Basel-Landschaft.

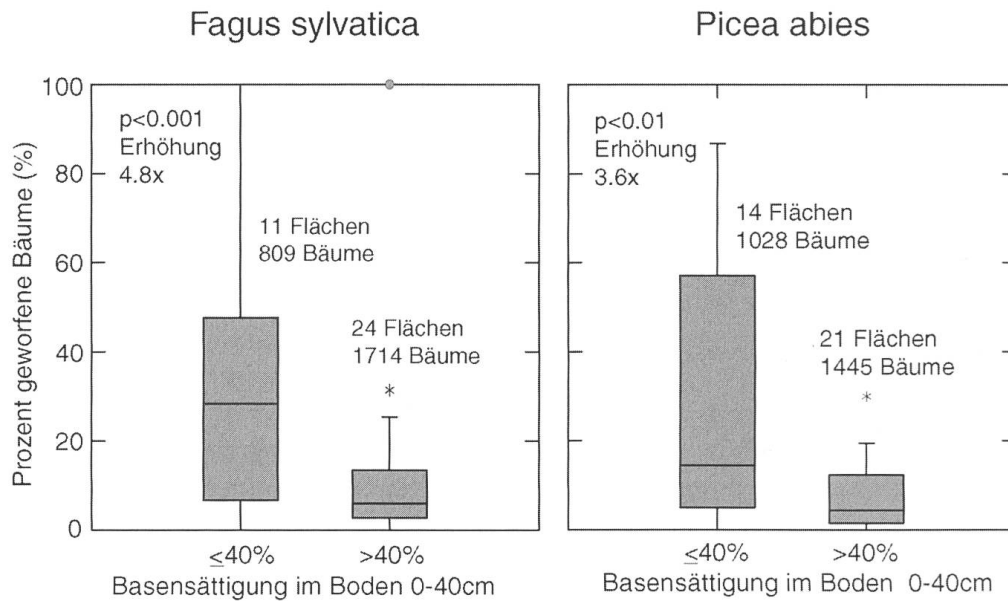


Abb. 11 Windwurf von Buchen (links) und Fichten (rechts) in Dauerbeobachtungsflächen in Abhängigkeit von der Basensättigung im Boden (Mittel 0–40cm).

Biomasse und Anzahl Regenwürmer

Regenwürmer haben u. a. für den Streuabbau und die Bodendurchmischung eine grosse Bedeutung. Bei der Humusform Mull werden pro Hektar und Jahr bis zu 3–5 Tonnen Streu durch die Regenwürmer in den mineralischen Unterboden gebracht (Makeschin 1994; 1997), was zu einer Anreicherung mit basischen Kationen im Unterboden führt. Dies ist insbesondere auf basenarmen Standorten von grosser Bedeutung. In den Waldbeobachtungsflächen des Kantons Basel-Landschaft wurden auch Anzahl und Biomasse der Regenwürmer bestimmt, eingeteilt in Ökogruppen nach Glasstetter (1991). Ein Grossteil der Flächen weist erwartungsgemäss eine ausreichende Anzahl von 80–150 Regenwürmern pro Quadratmeter auf mit Ausnahme von drei Flächen (Abb. 12). Diese Flächen zeichnen sich durch eine geringe Basensättigung und hohe Acidität aus. Bei $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ -Werten von ≤ 4 waren nur noch vereinzelte Individuen zu finden. In einem Stickstoffdüngungsexperiment mit jährlichen Gaben von $0\text{--}160 \text{ kg N ha}^{-1}$ auf saurem Boden bewirkte erhöhte Stickstoffbelastung auch eine Dezimierung der Regenwurmpopulation. Nach sieben Jahren Behandlung verringerte sich die Regenwurmpopulation bereits bei einer N-Gabe von $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ – zusätzlich zur atmosphärischen N-Deposition von $12 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ – um 66 %, wobei der pH-Wert gleichzeitig um 0.2 Einheiten sank.

Literatur

- Barrett K., Seland Ø., Foss A., Mylona S., Sandnes H., Styve H. & Tarrasón L. 1995. European Transboundary Acidifying Air Pollution. *EMEP/MSC-W Report 1*.
- Braun S., Flückiger W. & Leonardi S. 1996. Belastungen des Gebirgswaldes. Ansätze einer Risikobeurteilung. *BUWAL Umweltmaterialien 59*: 1–237.
- Braun S., Rihm B., Schindler C. & Flückiger W. 1999. Growth of mature beech in relation to ozone and nitrogen deposition: an epidemiological approach. *Water, Air and Soil Pollution 116*: 357–364.
- Braun S., Schindler C., Volz R. & Flückiger W. 2003. Forest damages by the storm “Lothar” in permanent observation plots in Switzerland: the significance of soil acidification and nitrogen deposition. *Water, Air and Soil Pollut.* 142, 327–340.
- BUWAL 1994. Critical loads of acidity for forest soils and alpine lakes. Steady state mass balance method. *Environmental Series 234*: 1–68, Bern.
- BUWAL 1995. Vom Menschen verursachte Schadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900–2010. *Schriftenreihe Umwelt 256*: 1–121, Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- De Vries W., Reinds G. J., van der Salm C., Draaijers G. P. J., Bleeker A., Erisman J. W., Auée J., Gundersen P., Kristensen H. L., van Dobben H. F., de Zwart D., Derome J., Voogd J. C. H. & Vel E. M. 2001. *Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe*. EC-UN/ECE, Brussels, Geneva, 1–177.
- Duquesnay A., Dupouey J. L., Clement A., Ulrich E. & Le Tacon F. 2000. Spatial and temporal variability of foliar mineral concentration in Beech (*Fagus sylvatica*) stands in northeastern France. *Tree Physiology 20*: 13–22.
- Flückiger W. & Braun S. 1998. Nitrogen deposition in Swiss forests and its possible relevance for leaf nutrient status, parasite attacks and soil acidification. *Environmental Pollution 102*: 69–76.
- Flückiger W. & Braun S. 1999. Nitrogen and its effects on growth, nutrient status and parasite attacks in beech and Norway Spruce. *Water, Air and Soil Pollution 116*: 99–110.
- Glasstetter M. 1991. *Die Bodenfauna und ihre Beziehungen zum Nährstoffhaushalt in Geosystemen des Tafel- und Faltenjura (Nordwestschweiz)*. *Physiogeographica 15*, 1–224.
- Jentschke G., Drexhage M., Fritz H.-W., Fritz E., Schella B., Lee D.-H., Gruber F., Heimann J., Kuhr M., Schmidt J., Schmidt S., Zimmermann R. & Godbold D. L. 2001. Does soil acidity reduce subsoil rooting in Norway spruce (*Picea abies*)? *Plant and Soil 237*: 91–108.
- Kurz D. & Rihm B. 1997. Modellierung von Säure- und Stickstoffeinträgen: Werden kritische Werte überschritten? *Forum für Wissen 1997*: 1–36, Birmensdorf, Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.

- Makeschin F. 1994. *Experimentelle Untersuchungen zur Besiedelung anthropogen devastierter, saurer Waldböden mit leistungsfähigen Lumbriciden*. Akademischer Verlag, München, 1–197.
- Makeschin F. 1997. Earthworm (Lumbricidae: Oligochaeta): Important promoters of soil development and soil fertility. In: Benkizer G. (Eds.) *Fauna in Soil Ecosystems*: 173–223, Marcel Dekker, New York.
- Matzner E. & Murach D. 1995. Soil changes induced by air pollutant deposition and their implication for forests in Central Europe. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 63–76.
- Rihm B. et al. 1994. *Critical Loads of Acidity for Forest Soils+Alpine Lakes*. Dokumentationsdienst BUWAL, Bern.
- Schober R. 1987. *Ertragstafeln wichtiger Baumarten*. 3. neubearbeitete Auflage. Sauerländer, Frankfurt, 1–166.
- Sverdrup H. & Warfvinge P. 1993. The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the (Ca+Mg+K)/Al ratio. *Lund University, Department of Chemical Engineering II., Reports in ecology and environmental engineering* 2:1–108.
- Tamm C. O. 1991. *Nitrogen in Terrestrial Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, 1–115.
- Theis G. 1999. *Deposition von Stickstoffverbindungen in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft*. Lufthygieneamt beider Basel, Liestal, 1–42.
- Ulrich B. 1989. Waldökosystemforschung, Konzepte am Wege. *Mitt.d.Deutsch. Verb.f.Wasserwirtsch.u.Kulturbau*: 7–23.
- Ulrich B. 1995. The history and possible causes of forest decline in central Europe, with particular attention to the German situation. *Environ.Rev.* 3: 262–276.
- UN/ECE 1992. *Critical Loads for Nitrogen. UN/ECE workshop report Lökeberg, Sweden, 6–10 April 1992* (Grennfeldt P., Thörnelöf E. eds.) Nord, 1–41.
- UN/ECE 1992. *Forest condition in Europe. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests*. CEC-UN/ECE, Brussels, Geneva, 1–117.
- UN/ECE 1996. *Critical levels for ozone in Europe: testing and finalizing the concepts. UN ECE Workshop Report* (Lauri Kärenlampi, Lena Skärb eds.) University of Kuopio, 1–363.
- UN/ECE 2002. Expert Workshop on Empirical Critical Loads for Nitrogen on (Semi-)natural Ecosystems – Berne Switzerland, 11–13 November 2002, held under the UN/ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

