

Versauerung der Waldböden

S. Hopf, L. C. de Witte, S. Braun | Infolge von Luftreinhaltemassnahmen ist der Eintrag von Schwefelverbindungen, d.h. der klassische «saure Regen», stark zurückgegangen. Nach wie vor hoch sind jedoch die Stickstoffeinträge aus Landwirtschaft, Verkehr und Industrie. Die Folgen für den Wald sind beträchtlich, da Stickstoffverbindungen im Boden ebenfalls versauernd wirken.

Vom Menschen verursachte Stickstoffemissionen werden mit dem Regen, als Aerosol oder gasförmig über die Luft in den Wald eingetragen. Ammonium zum Beispiel ist die Stickstoffform, die zum grössten Teil aus der Landwirtschaft stammt. Im Boden wird es meist sehr schnell unter Freisetzung von Säureionen in Nitrat umgewandelt. Zusammen mit dem Nitratstickstoff aus Industrie und Verkehr wird es aus dem Boden ausgewaschen, wenn es nicht von den Pflanzen aufgenommen wird. Dabei nimmt das Nitrat positiv geladene Teilchen mit, die sogenannten «basischen Kationen» Kalzium, Kalium, Magnesium und Natrium (Abbildung 2). Bei tiefen pH-Werten werden auch Mangan und Aluminium ausgewaschen. Dieser Prozess führt zu Bodenversauerung. Dabei nimmt die Basensättigung, d.h. der Anteil der basischen Kationen an den Nährstoffspeichern des Bodens, ab. Stark versauert sind die Böden vor allem in gewissen Teilen des Mittellandes und im Tessin (Abbildung 1).

Zur Überwachung der Versauerung eignet sich die Bodenlösung, die mit fest installierten Saugkerzen aus dem Boden gesammelt wird (Abbildung 3). Bei Versauerung sinkt das Verhältnis zwischen den basischen Kationen und Aluminium, das sogenannte BC/Al-Verhältnis, in der Bodenlösung. Im Rahmen des Interkantonalen Walddauerbeobachtungsprogramms wird auf 48 Flächen jeden Monat die Bodenlösung aus verschiedenen Tiefen gesammelt. Unsere Messungen zeigen ein deutliches Fortschreiten der Versauerung (Abbildung 4).

Gestörte Ernährung

Durch Stickstoffeinträge und -auswaschung gehen wichtige Pflanzennährstoffe verloren. Anhand der Nährstoffanalysen von Ästen aus dem oberen Kronenbereich wurde seit 1984 eine zum Teil markante Abnahme einzelner Nährstoffe in Laub und Nadeln festgestellt (Abbildung 5). Zum Beispiel hat die Phosphorkonzentration bei den Buchen

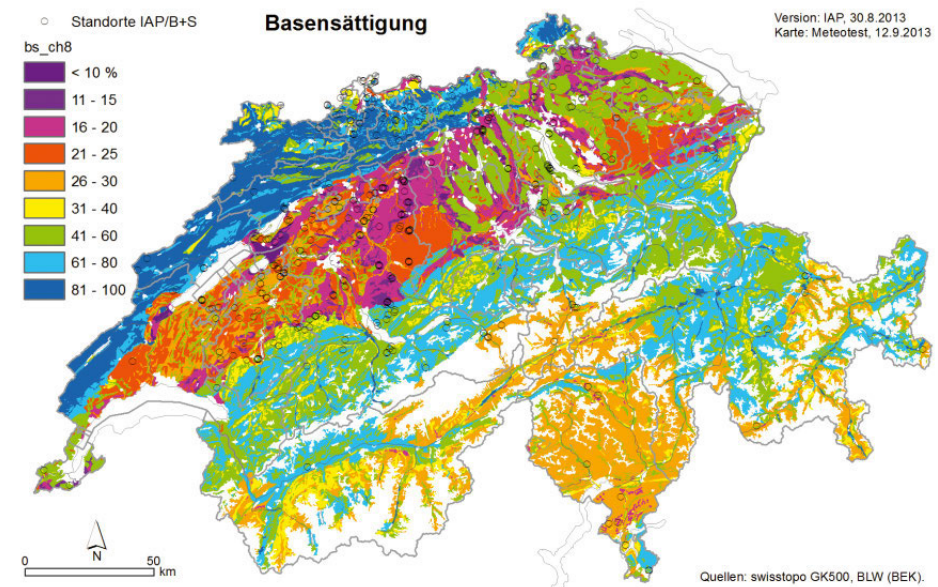


Abbildung 1: Basensättigungskarte der Schweiz. Je geringer die Basensättigung (rot), desto fortgeschrittener die Bodenversauerung.

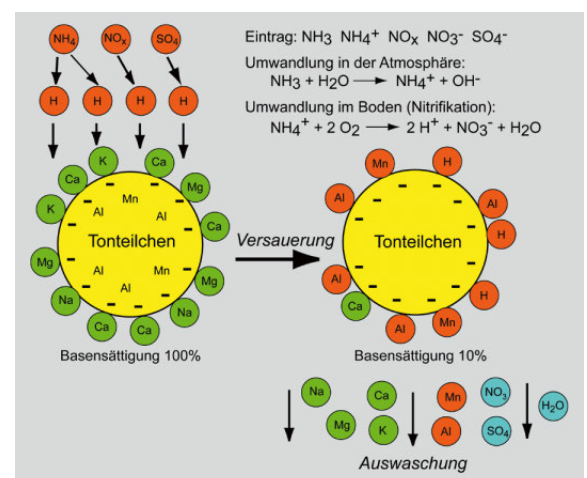


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Bodenversauerung und Nährstoffauswaschung.

Saure Teilchen sind rot, basische grün, Nitrat und Wasser blau.

Quelle: IAP

um 24,5% und bei den Fichten um 15,4% abgenommen. Die aktuellen Phosphorkonzentrationen liegen bei allen Baumarten

deutlich im Mangelbereich, bei Buchen und Fichten sogar extrem. Zudem beträgt die Abnahme der Kaliumkonzentration bei



Abbildung 3 (links): Lysimeter sind fest installierte Saugkerzen, über die Bodenwasser aus unterschiedlichen Bodentiefen abgepumpt werden kann.

IAP

Abbildung 4 (rechts): Entwicklung des Versauerungsindikators BC/Al-Verhältnis in der Bodenlösung von Waldflächen, in denen der Boden bereits unterschiedlich stark versauert ist. Daten aus dem Oberboden (0–30 cm). Basensättigung <15%: sehr stark versauert (rot), >15–40%: stark versauert (blau), >40%: basenreich (grün)

IAP

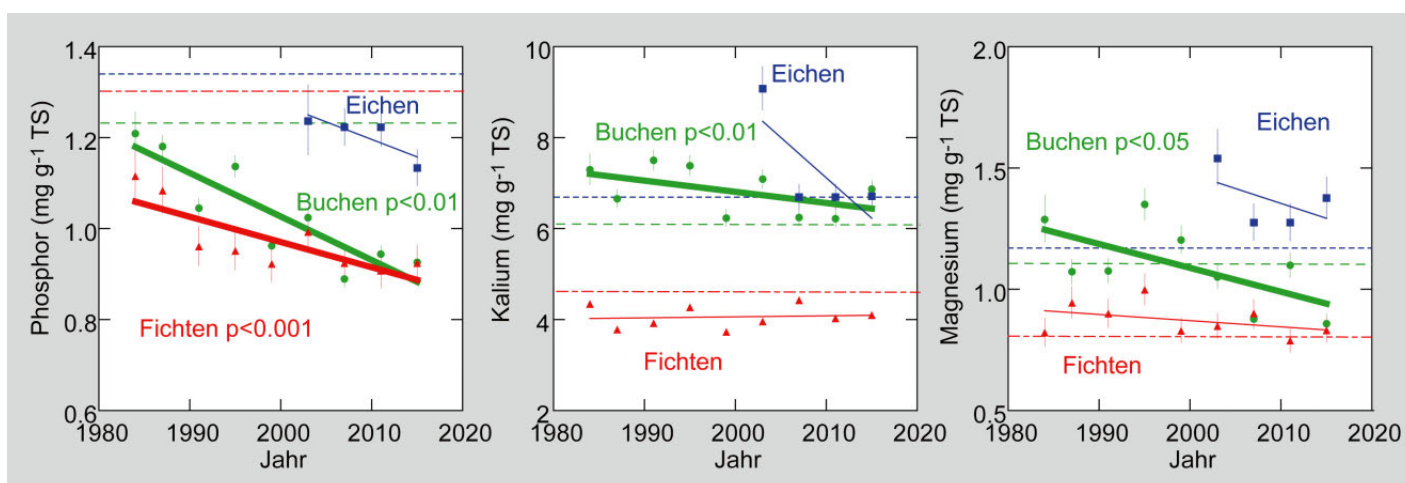
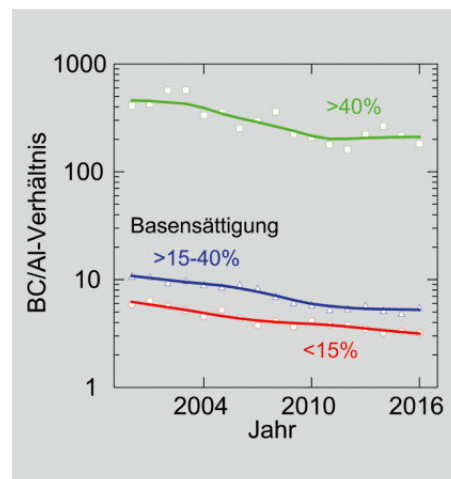


Abbildung 5: Entwicklung der Konzentration an Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalzium und Mangan bei Buchen, Fichten und Eichen. Gestrichelte Linien: Unterer Grenzwert für Normalversorgung nach Göttlein et al. (2011)

IAP

den Buchen im gleichen Zeitraum 10,5% und diejenige der Mg-Konzentration 23,7%. Die heute gültigen Grenzwerte nach Göttlein et al. (2011) für eine ausreichende Ernährung sind in Abbildung 5 als gestrichelte Linien dargestellt.

Eine statistische Auswertung der Daten zeigt zudem, dass die Nährstoffkonzentrationen in Laub und Nadeln vor allem durch die Stickstoffdeposition (N-Einträge) beeinflusst werden. So sinken beispielsweise die Phosphorkonzentrationen im Buchen- und Eichenlaub mit zunehmenden Stickstoffeinträgen und liegen bei hohen N-Einträgen deutlich unter dem Wert für eine ausgewogene Ernährung (Abbildung 6). Die Kaliumkonzentrationen im Laub aller Baumarten sind bei hohen Stickstoffeinträgen geringer. Eine mögliche Interpretation ist, dass die Nährstoffaufnahme bei hohen Stickstoffeinträgen wegen Veränderungen in den Mykorrhizagesellschaften

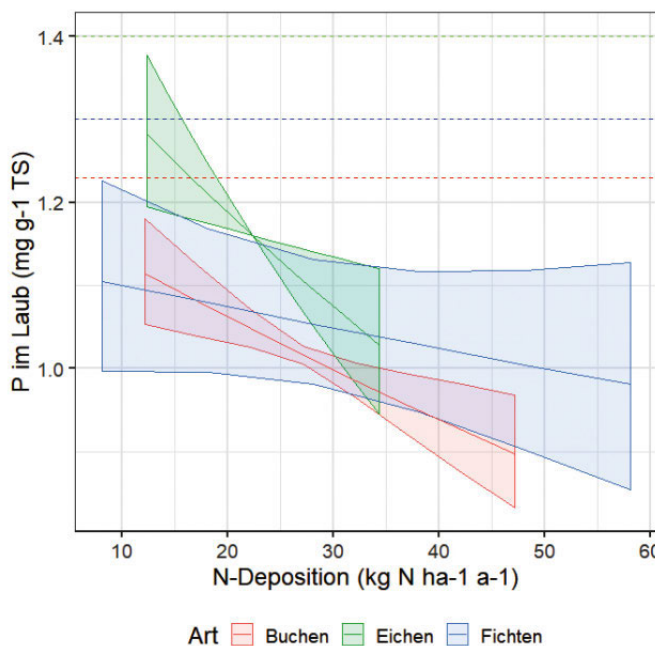


Abbildung 6: Beziehung zwischen Stickstoffdeposition und der Phosphorkonzentration. Horizontale Linien: untere Grenze des Normalversorgungsbereichs nach Mellert und Göttlein (2012)

IAP

(de Witte et al. 2017, siehe auch WuH 11/18) gestört ist.

Die Regenwürmer wandern ab

Regenwürmer spielen eine wichtige Rolle bei der Streuumsetzung und der Bildung stabiler Bodenstrukturen. Gemäss ihrer ökologischen Funktion werden drei Gruppen unterschieden: Streubewohner, Horizontalbohrer und Vertikalbohrer (Edwards und Bohlen 1996, Glasstetter 1991). Die beiden Letzteren sind wichtig für die Durchlüftung und Durchmischung des Bodens. Unsere Daten zeigen, dass die Anzahl Regenwürmer bereits ab einem pH-Wert von <4,5 deutlich abnimmt und sie unterhalb von pH 3,5 vollständig verschwinden (Abbildung 7). Es zeigt sich mit sinkendem pH-Wert eine deutliche Abnahme bei der Anzahl und der Biomasse.

Geschwächte Verankerung

Durch die zunehmende Bodenversauerung werden Baumwurzeln geschädigt und die Durchwurzelungstiefe vermindert (Abbildung 8, Braun et al. 2005). Somit steigt auch das Windwurfisiko, und Bäume mit geschwächtem Wurzelwerk werden bei einem Sturmereignis mitsamt dem Wurzelteller umgeworfen (Abbildung 9, Braun et al. 2003). Bei den Buchen besteht zudem eine Verbindung von vermehrtem Windwurf und erhöhter Stickstoffkonzentration im Laub (Braun et al. 2003).

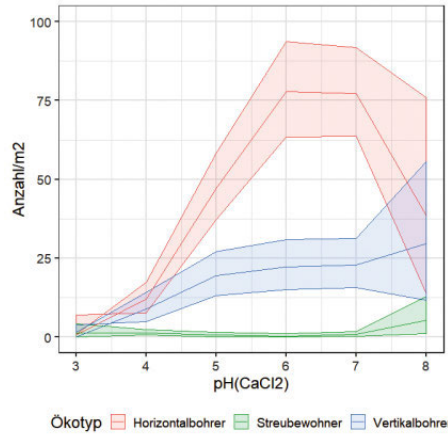


Abbildung 7: Beziehung des Boden-pH-Wertes und der Anzahl Regenwürmer pro m², gruppiert nach Ökotypen

IAP

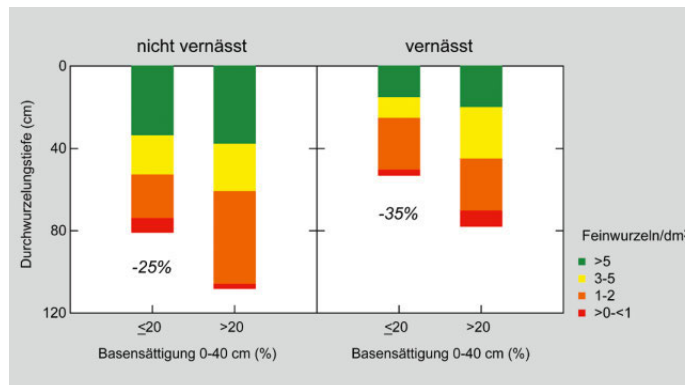


Abbildung 8: Durchwurzelungstiefe in den Bodenprofilen der Beobachtungsflächen, gruppiert nach der Basensättigung im Oberboden und der Vernässung.

IAP



Abbildung 9: Sturmschäden auf der Beobachtungsfläche Giswil (OW)

IAP

Autoren

Sven Hopf, Lucienne de Witte, Sabine Braun
Institut für Angewandte Pflanzenbiologie IAP
Benkenstrasse 254a, 4108 Witterswil
061 485 50 74, sven.hopf@iap.ch

Verdankung

Die Beobachtungen werden im Auftrag der Kantone AG, BE, BL, BS, GR, SO, TG, ZH und ZG sowie der Zentralschweizer Umweltfachstellen durchgeführt.

Informationen

www.iap.ch

LITERATUR

Braun, S., Schindler, C., Volz, R., und Flückiger, W. [2003]. Forest damage by the storm «Lothar» in permanent observation plots in Switzerland: the significance of soil acidification and nitrogen deposition. *Water Air and Soil Pollution* 142, 327–340.
Braun, S., Cantaluppi, L., und Flückiger, W. [2005]. Fine roots in stands of *Fagus sylvatica* and *Picea*

abies along a gradient of soil acidification. *Environmental Pollution* 137, 574–579.

de Witte, L. C., Rosenstock, N. P., van der Linde, S., und Braun, S. [2017]. Nitrogen deposition changes ectomycorrhizal communities in Swiss beech forests and thereby hampers nutrient uptake. *Science of the Total Environment* 605–606, 1083–1096.

Edwards, C. A., und Bohlen, P. J. [1996]. *Biology and ecology of Earthworms*. Chapman & Hall, New York, ISBN 0-412-56160-3.

Glasstetter, M. [1991]. Die Bodenfauna und ihre Beziehungen zum Nährstoffhaushalt in Geosystemen des Tafel- und Faltenjuras [Nordwestschweiz]. *Physiogeographica* 15, 1–224.

Göttlein, A., Baier, R., und Mellert, K. H. [2011]. Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in Mitteleuropa – Eine statistische Herleitung aus van den Burg's Literaturzusammenstellung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 182, 173–186.

Mellert, K. H., und Göttlein, A. [2012]. Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research* 131, 1461–1472.