

Wie geht es unserem Wald?

Sven-Eric Hopf, Sabine Braun,
Lucienne C. de Witte, IAP Witterswil (SO)

In den 1980er-Jahren diskutierte man das Waldsterben. Damals traten vermehrt massive Waldschäden auf, verursacht durch den <sauren Regen>. Der Wald ist nicht tot umgefallen. Doch wie geht es ihm?

Die Interkantonale Walddauerbeobachtung ist ein wertvolles Instrument, um schleichende Veränderungen in den Wäldern zu erkennen und zu dokumentieren. Das Institut für Angewandte Pflanzenbiologie IAP in Witterswil (SO) befasst sich seit 34 Jahren mit der Gesundheit des Ökosystems Wald. Zu Beginn des Walddauerbeobachtungsprogramms in den 1980er-Jahren lag der Fokus auf den Auswirkungen des schwefelhaltigen sauren Regens und den Ozonwirkungen. Später erlangten auch erhöhte Stickstoffeinträge und die Klimaveränderung Aufmerksamkeit. Gerade der Hitzesommer 2018 hat die Bedeutung des Klimawandels deutlich aufgezeigt. Die Folgen für den Wald lassen sich wohl erst im laufenden Jahr wirklich abschätzen.

Schweizweite Walddauerbeobachtung

Das heutige Programm umfasst 6398 Buchen, 5268 Fichten und 1862 Eichen auf 189 Beobachtungsflächen (Abb. 1 und 2). Dokumentiert werden die allgemeine Gesundheit, das Wachstum und die Nährstoffversorgung der Bäume sowie Analysen von

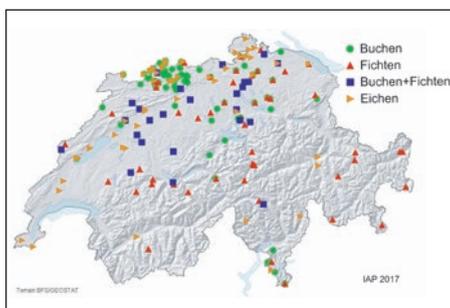


Abbildung 2: Beobachtungsflächen des IAP.

Bodenparametern, Bodenorganismen, die Zusammensetzung der Krautschicht und die Auswirkungen vielfältiger anthropogener Belastungsfaktoren wie erhöhte Stickstoffbelastung, Bodenversauerung, die hohe Ozonbelastung in den Sommermonaten und schliesslich der Einfluss extremer Witterung. Unterdessen liegt eine über 30-jährige Datenreihe vor. Sie zeigt zum Teil markante Veränderungen der Baumernährung, des Zuwachses und der Bodenchemie.

Diese lange Zeitreihe und die Beobachtung an vielen unterschiedlichen Standorten erlauben Auswertungen, die das Verständnis für Prozesse in den Waldökosystemen erweitern und vertiefen. Diese Auswertungen erfolgen mit tatkräftiger Unterstützung aus der medizinischen Epidemiologie durch PD Dr. Christian Schindler (Swiss TPH).

Kronenverlichtung und Mortalität

Bei der Baumeobachtung ist die Verlichtung der Krone der Gesundheitsindikator schlechthin. Sie ist allerdings ein unspezifischer Parameter, beeinflusst durch verschiedene Faktoren. Gemäss unseren Daten führten Trockenheit, Spätfrost, Fruchtbehang und Ozon zu stärker verlichteten Kronen. Dabei erwiesen sich die Eichen gegenüber Buchen und Fichten als weniger empfindlich gegenüber klimatischem Stress.

Trockenheit erhöhte die Mortalität bei allen drei untersuchten Baumarten. Die Auswirkungen von Trockenheitsereignissen können sich über mehrere Jahre aufsummieren. Die Fichten sterben vor allem durch den Befall mit Borkenkäfern, der sich bei Trockenheit, hohen Stickstoffeinträgen und Nährstoffmangel markant verstärkt.

Buchen und Eichen sterben nach Trockenheit eher langsam ab. Meist geht eine mehrere Jahre dauernde Schwächung des Baumes mit verstärkter Kronenverlichtung voraus. Ein plötzlicher Tod durch Vertrocknen, d.h. ein akutes hydraulisches Versagen, wobei sich die Leitgefässe mit Luftblasen füllen, ist seltener, wurde 2018 aber mehrmals beobachtet.

Auswirkung erhöhter Stickstoffeinträge auf das Ökosystem Wald

Die Diskussionen um das Waldsterben lösten in den 1980er- und 1990er-Jahren zahlreiche Massnahmen zur Luftreinhaltung aus. Das entschärfte den klassischen sauren Regen massiv. Die Schwefelemissionen (SO_2) gingen um 86% zurück, die oxidierten Stickstoffverbindungen (NO_x) aus Industrie und Verkehr um 57%, während der reduzierte Stickstoff aus der Landwirtschaft (Ammonium NH_4) um 9.3% abnahm [1].

Die Emissionen von reaktiven Stickstoff-

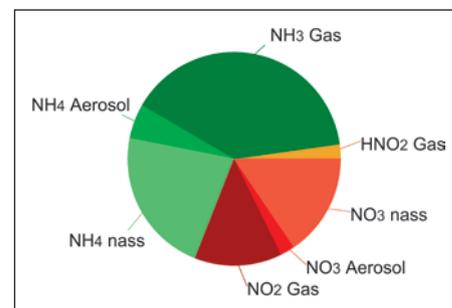


Abbildung 3: Herkunft der Stickstoffeinträge und Depositionsart in den Schweizer Wald im Jahr 2010 [3]. Grün: Emissionen aus der Landwirtschaft, rot/orange: Emissionen aus Industrie und Verkehr. Nass = in Regen gelöst, Gas = gasförmig, Aerosol = Schwebestäube.

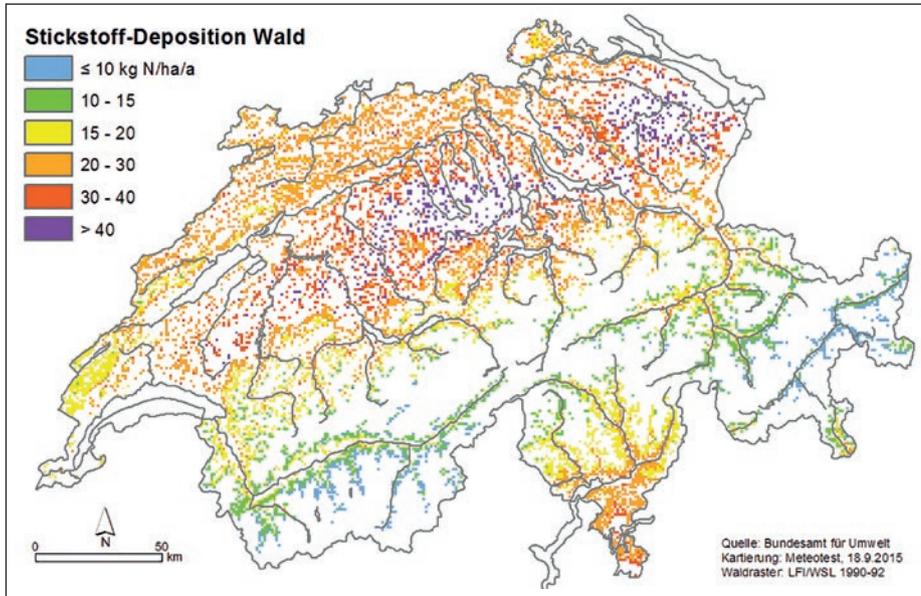


Abbildung 4: Stickstoff-Einträge in den Schweizer Wald für das Jahr 2010 in Kilogramm pro Hektare und Jahr. Quelle: BAFU/Meteotest.

verbindungen sind aber insgesamt immer noch viel zu hoch. Als Aerosol oder Gas gelangen sie mit dem Regen wieder auf den Boden. Durch die grosse Oberfläche der Baumkronen fangen Wälder besonders viel dieser Stickstoffemissionen ein. Heute stammen zwei Drittel der Einträge in den Schweizer Wald aus der Landwirtschaft, ein Drittel aus Industrie und Verkehr (Abb. 3).

Entsprechend hoch sind die Stickstoff-einträge in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft bzw. hoher Viehdichte (Abb. 4). Im Schweizer Mittel liegen die Einträge bei 22.6 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr (kg N/ha/a). Sie können gebietsweise aber über 50 kg N/ha/a erreichen. Im Rahmen der LRTAP-Konvention¹ wurden Grenzwerte für Stickstoffeinträge (Critical Loads) in verschiedenen Ökosysteme erarbeitet [2]. Sie tragen für Laubwald in gemässigten Zonen

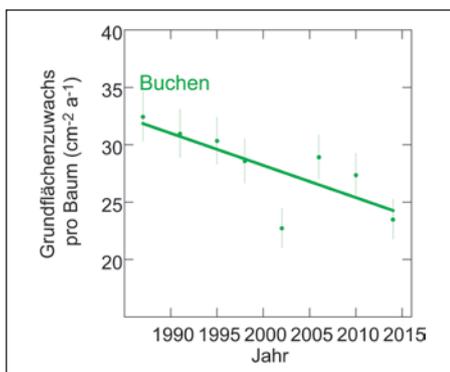


Abbildung 5: Abnahme des Grundflächenzuwachses bei Buchen unter erhöhtem Stickstoffeintrag.

10–20 kg N/ha/a, für Nadelwald 5–15 kg N/ha/a. Diese Critical Loads werden auf über 95% der Schweizer Waldfläche überschritten [3].

Trotz Dünger kein besseres Wachstum

Stickstoff ist ein essentieller Pflanzennährstoff, der das Wachstum steigern kann. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass auch die anderen für Bäume lebenswichtigen Nährstoffe wie Phosphor, Kalium und Magnesium ausreichend vorhanden sind. Unsere Daten zeigen, dass bei Einträgen bis max. 25 kg N/ha/a eine leichte Wachstumssteigerung resultiert. Sind die Eintragswerte höher, zeigen Fichten eine leichte und Buchen eine deutliche Wachstumsabnahme. Negative Klimaeffekte wie etwa die wachstumshemmende Trockenheit werden durch erhöhte Stickstoffeinträge verstärkt. Diese Wechselwirkungen sind wahrscheinlich verantwortlich für die beobachtete langjährige Wachstumsabnahme bei den Buchen (Abb. 5).

Versauerung der Waldböden

Der reduzierte Stickstoff aus der Landwirtschaft wird im Boden meist sehr schnell unter Freisetzung von Säureionen zu Nitrat oxidiert. Dieses wird zusammen mit dem oxidierten Stickstoff aus Industrie und Verkehr 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. Bei tiefen pH-Werten werden auch Mangan und Aluminium ausgewaschen. Dabei nimmt die Basensättigung im Boden ab, er versauert.

Zur Überwachung der Bodenversauerung wird mit fest installierten Saugkerzen auf 48 Flächen monatlich die Bodenlösung aus verschiedenen Tiefen gesammelt. Je tiefer das Verhältnis zwischen den basischen Kationen und Aluminium – das sogenannte BC/Al-Verhältnis – ist, umso saurer ist der Boden. Unsere Messungen zeigen bei vielen der untersuchten Waldflächen ein deutliches Fortschreiten der Versauerung (Abb. 6).

Gestörte Ernährung

Die Nährstoffanalysen von Ästen aus dem oberen Kronenbereich zeigen seit 1984 eine zum Teil markante Abnahme einzelner Nährstoffe in Laub und Nadeln (Abb. 7). Die Phosphorkonzentrationen haben bei allen Baumarten abgenommen und liegen deutlich im Mangelbereich, bei Buchen und Fichten sogar extrem. Die Nährstoffkonzentrationen in Laub und Nadeln werden vor

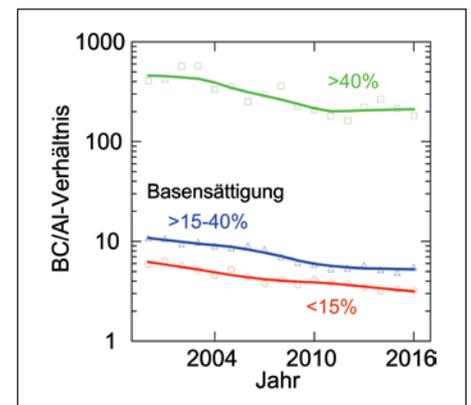


Abbildung 6: Entwicklung des Versauerungsindikators BC/Al-Verhältnis in der Bodenlösung von Waldflächen, in denen der Boden bereits unterschiedlich stark versauert ist: Basensättigung <15% = sehr stark versauert (rot), >15–40% = stark versauert (blau), >40% = basenreich (grün). Daten aus dem Oberboden (0–30 cm).

Abbildung 1: Einblick in eine von 189 Walddauerbeobachtungsflächen.

© IAP

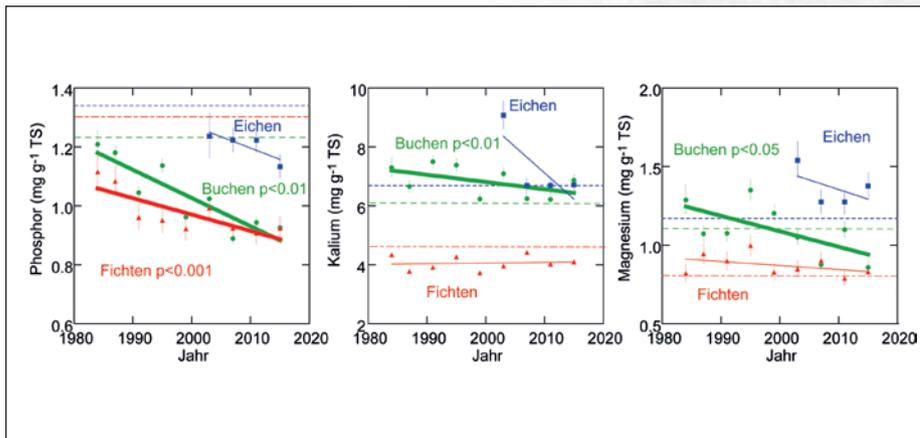


Abbildung 7: Entwicklung der Phosphor-, Kalium- und Magnesiumkonzentrationen bei Buchen, Fichten und Eichen. Gestrichelte Linien: Unterer Grenzwert für Normalversorgung (nach [4]).

Referenzen

- [1] Augustin, S. und Achermann, B. (2012). Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz: Entwicklung, aktueller Stand und Bewertung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 163, 323–330.
- [2] Bobbink, R. und Hettelingh, J.-P. (2011). Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23–25 June 2010. RIVM report 680359002, Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- [3] Rihm, B. und Achermann, B. (2016). Critical Loads of nitrogen and their exceedances, Swiss contribution to the effects-oriented work programme under the Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (UNECE). 78 S., Berne, Federal Office for the Environment (FOEN).
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Mills, G., Pleijel, H., Braun, S., Büker, P., Bermejo, V., Calvo, E., Danielsson, H., Emberson, L. D., González-Fernández, I., Grünhage, L., Harmens, H., Hayes, F., Karlsson, P. E. und Simpson, D. (2011). New stomatal flux-based critical levels for ozone effects on vegetation. Atmospheric Environment 45, 5064–5068.
- [9] Braun, S., Schindler, C. und Rihm, B. (2014). Growth losses in Swiss forests caused by ozone: epidemiological data analysis of stem increment data of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* Karst. Environmental Pollution 192, 129–138.



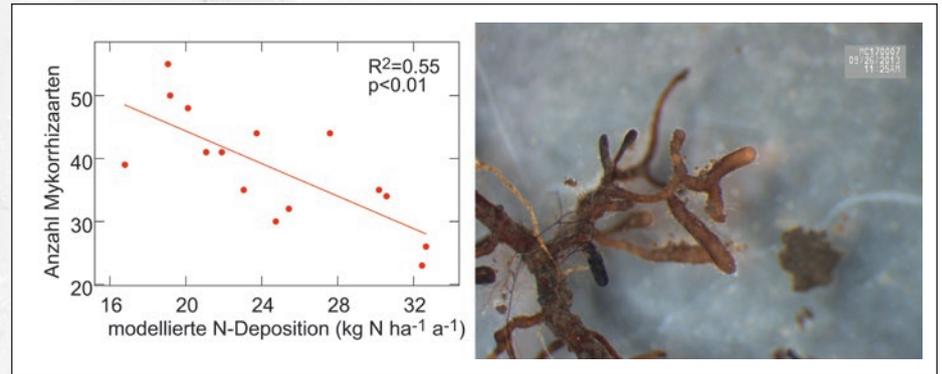


Abbildung 8: Die Anzahl Mykorrhizenarten nimmt auf dem untersuchten Gradienten der Stickstoffdeposition um ca. 50% ab (links). Buchenwurzel unter dem Binokular (rechts) mit den Mykorrhizen *Cenococcum geophilum* (schwarz) und *Trichophaea woolhopeia* (braun). © IAP

allein durch die Stickstoffeinträge beeinflusst.

Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass hohe Stickstoffeinträge die Mykorrhizagesellschaften verändern und deshalb die Nährstoffaufnahme der Bäume gestört ist. Die meisten Waldbäume leben in Symbiose mit Mykorrhizapilzen, die ihnen mit ihrem Myzel (Pilzfäden) das Wasser- und Nährstoffangebot im Boden erschliessen. Mit zunehmender Stickstoffbelastung nehmen die Diversität der Mykorrhizapilze an Buchenwurzeln (Abb. 8), der Anteil an pilzbesetzten Wurzelspitzen und die Dichte des Pilzmyzels ab [5]. Als Folge verändert sich nachweislich auch die Versorgung mit anderen Nährstoffen wie zum Beispiel Phosphor.

Weitere Auswirkungen von Stickstoffeinträgen und Bodenversauerung

Erhöhte Stickstoffeinträge verändern auch die Krautschicht in Waldökosystemen. Stickstoffliebende Arten wie Brennnessel, Holunder oder Brombeeren nehmen zu und verdrängen stickstoffempfindliche (oft gefährdete) Arten. Ein übermässiger Brombeerwuchs kann das Aufkommen junger Bäume verhindern.

Regenwürmer sind wichtig für die Streuumsatzung, bilden stabile Bodenstrukturen, durchlüften und durchmischen den Boden. Unsere Daten zeigen, dass die Anzahl Regenwürmer bereits ab einem pH-Wert von unter 4.5 deutlich abnimmt. Unterhalb eines

pH 3.5 verschwinden sie vollständig.

Die zunehmende Bodenversauerung schädigt Baumwurzeln und vermindert die Durchwurzelungstiefe [6]. Damit steigt auch das Risiko für Windwurf. Bäume mit geschwächtem Wurzelwerk werden bei einem Sturmereignis mit samt dem Wurzelsteller umgeworfen [7].

Dauerbrenner Ozon

Hohe Ozonkonzentrationen sind nicht nur für die menschliche Gesundheit ein Problem. Sie führen bei Pflanzen zu sichtbaren Schäden am Laub und zu Wachstumsreduktionen. Mithilfe von Begasungsversuchen hat die UNECE¹ eine Dosis-Wirkungskurve erstellt [8]. Wird diese auf die Schweiz angewendet, resultiert in unserem Wald eine geschätzte Wachstumsreduktion von 11% [9].

Fazit

Die Dauerbeobachtung hat einige Veränderungen im Wald aufgezeigt, die auf Belastungen durch den Menschen zurückzuführen sind. Effekte des Klimawandels werden zum Teil durch hohe Stickstoffeinträge verstärkt. ■

Sven-Eric Hopf, Dr. Sabine Braun und Dr. Lucienne C. de Witte, Institut für Angewandte Pflanzenbiologie AG (IAP), Witterswil (SO). Der aktuelle Bericht und weitere Informationen zum Interkantonalen Walddauerbeobachtungsprogramm finden sich unter: www.iap.ch sven.hopf@iap.ch

¹ UNECE-Übereinkommen für weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen.