

# Zu viel Stickstoff im Wald

L. C. de Witte, S. Braun, S. Hopf | Zu viel Stickstoff aus Landwirtschaft, Industrie und Verkehr kann das Baumwachstum hemmen. Ausserdem verändert sich die Zusammensetzung der Krautschicht so, dass die Verjüngung beeinträchtigt wird. Das zeigen neue Daten des IAP.

Landwirtschaft, Industrie und Verkehr stossen jährlich riesige Mengen an reaktiven Stickstoffverbindungen aus. Diese Emissionen gelangen als Aerosol oder gasförmig über die Luft und durch den Regen wieder auf den Boden. Durch die grosse Oberflächenrauigkeit der Baumkronen funktionieren Wälder wie ein Luftfilter und sind dadurch eine besonders effiziente Senke für diese Stickstoffverbindungen.

Waldökosysteme sind gegenüber Einträgen von Stickstoff empfindlich. Dass erhöhte Stickstoffeinträge zu Problemen in Waldökosystemen führen können, wurde schon in den 1980er-Jahren erkannt (1, 2). Unter dem UNECE-Übereinkommen für weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen (LRTAP-Konvention) wurden Grenzwerte für Stickstoffeinträge (Critical Loads) in verschiedene Ökosysteme erarbeitet (3). Diese betragen für Laubwald in gemässigten Zonen 10–20 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr, für Nadelwald 5–15 kg. Diese Critical Loads werden auf über 95% der Schweizer Waldfläche überschritten (4). Doch was genau bewirkt diese Stickstoffdüngung im Wald?

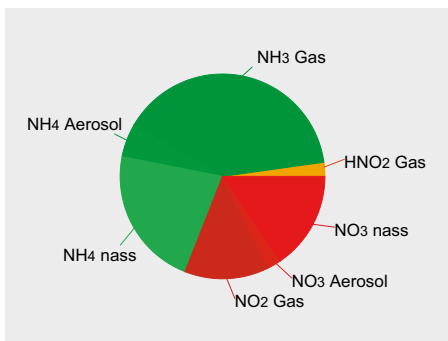


Abbildung 2: Herkunft der Stickstoffeinträge in den Schweizer Wald im Jahr 2010 (Rihm und Achermann 2016). Grün: Emissionen aus der Landwirtschaft, rot: Emissionen aus Industrie und Verkehr. Abbildung IAP

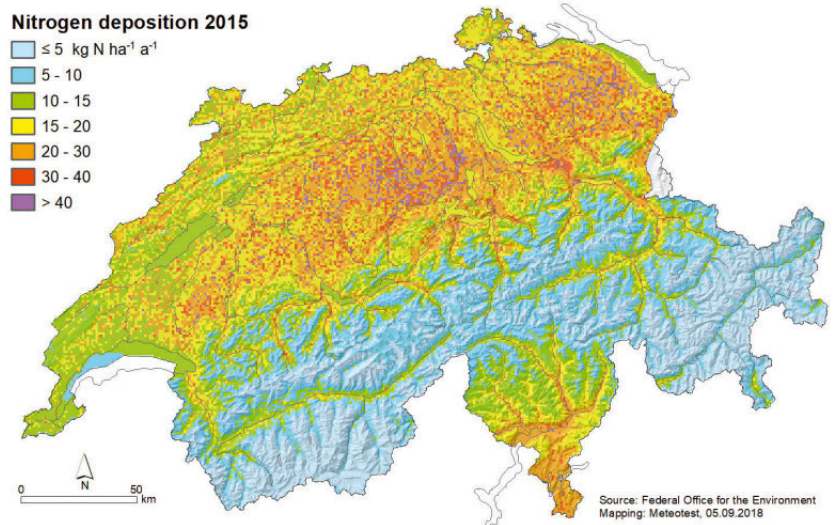


Abb. 1: Karte der N-Einträge in der Schweiz im Jahr 2015 in Kilogramm pro Hektare und Jahr. BAFU/Meteotest

### Woher kommt der Stickstoff?

Zwei Drittel der Stickstoffeinträge in den Schweizer Wald sind reduzierter Stickstoff (NH<sub>y</sub>) und stammen aus der Landwirtschaft, ein Drittel aus Industrie und Verkehr (oxidierter Stickstoff, Abbildung 2). Entsprechend der Bedeutung dieser Quellen sind die Stickstoffeinträge in Schweizer Waldökosysteme vor allem in Gebieten mit hoher landwirtschaftlicher Aktivität bzw. Viehdichte hoch (Abbildung 1). Im Schweizer Mittel liegen die Einträge bei 22,6 kg N pro Hektare und Jahr, sie können gebietsweise aber mehr als 50 kg erreichen (Abb. 1).

### Der Wald als Luftfilter und Stickstoffsенke

Wie gut der «Filter» Wald arbeitet, zeigt ein Vergleich von gemessenen Stickstoffwerten im Niederschlagswasser, das unter dem Kronendach aufgefangen wird (der Kronentraufe, Abbildung 3), und den Konzentrationen im Regenwasser in einer benachbarten Freifläche. Gegenüber dem



Abb. 3: Kronentraufesammler in der Fichtenfläche Sagno TI. Dieses Bild zeigt auch Folgen sehr hoher Stickstoffeinträge in einen Waldbestand: Windwurf, erhöhte Mortalität, schräg stehende Bäume. IAP

Stickstoff im Regenwasser («Freiland») enthält die Kronentraufe auch die an den Blattoberflächen abgelagerten Aerosole und einen Teil reaktiver Gase (Abbildung 4), jedoch ist diese Fracht um den Teil, der direkt durch die Baumkronen aufgenommen wurde, reduziert.

**Trotz Dünger kein besseres Wachstum**

Stickstoff ist ein essenzieller Pflanzennährstoff, der das Wachstum oft steigert. Seit den 1980er-Jahren wird über ein erhöhtes Waldwachstum berichtet (4), das dem Stickstoff zugeschrieben wurde. Eine Wachstumssteigerung ist allerdings nur möglich, solange auch die anderen für Bäume lebenswichtigen Nährstoffe wie Phosphor, Kalium und Magnesium genügend vorhanden sind. Darum ist diese Wachstumsstimulation begrenzt und abhängig von den Nährstoffvorräten im Waldboden sowie der Fähigkeit der Bäume zur Nährstoffaufnahme. Dies kommt in unseren Daten der Walddauerbeobachtung zum Ausdruck: Bei Eintragungswerten von weniger als 25 kg N pro Hektare und Jahr wird eine leichte Steigerung des Wachstums gefunden. Liegen die Eintragungswerte höher, zeigen Fichten eine leichte und Buchen eine massive Wachstumsabnahme (Abbildung 5). Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen in den Bäumen und Interaktionen zwischen dem Stickstoffeintrag und Klimafaktoren spielen dabei eine entscheidende Rolle. Negative Klimaeinwirkungen werden durch erhöhte Stickstoffeinträge verstärkt: Hohe Stickstoffeinträge und damit verbundene Nährstoffungleichgewichte steigern die wachstumshemmende Wirkung von Trockenheit und führen auch dazu, dass durch warme Winter der Stammzuwachs von Buchen gehemmt wird. Diese Wechselwirkungen sind wahrscheinlich zu einem grossen Teil verantwortlich für die in den letzten 33 Jahren von uns beobachteten Wachstumsabnahme bei den Buchen (Abbildung 6).

**Eine gefährdete Lebensgemeinschaft**

Die meisten Waldbäume leben in Symbiose mit Mykorrhizapilzen. Diese Pilze helfen den Bäumen mit ihrem Myzel (Pilzfäden) den Boden zu erschliessen und leisten so einen wichtigen Beitrag für eine ausreichende Wasser- und Nährstoffversorgung (5). Im Gegenzug erhalten sie vom Baum das Fotosyntheseprodukt Zucker. Dass eine erhöhte Stickstoffdeposition einen negativen Einfluss auf die Diversität und Biomasse dieser Pilze haben kann, wurde bereits in den 1980er-Jahren des letzten Jahrhunderts

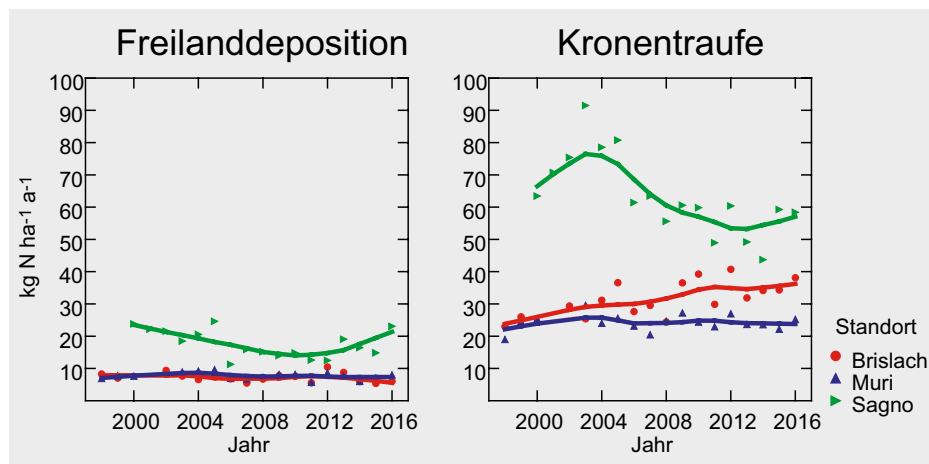


Abb. 4: Gemessene N-Fracht in der Freilanddeposition (links) und in der Kronentraufe (rechts) der Fichtenflächen Brislach, Muri und Sagno. IAP

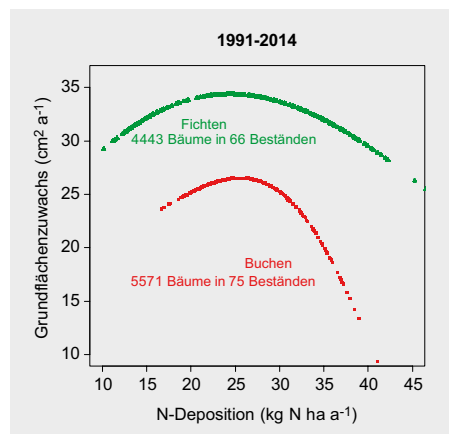


Abb. 5: Beziehung zwischen dem Stammzuwachs von Buchen (rot) und Fichten (grün) und der Stickstoffdeposition. Auswertung aller Stammzuwachsdaten zwischen 1987 und 2014. IAP

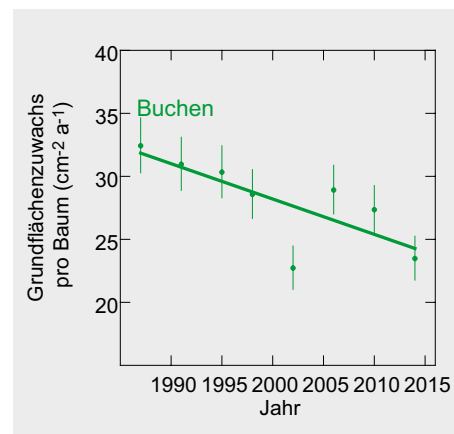


Abbildung 6: Abnahme des Grundflächenzuwachses bei Buchen. IAP

anhand der in den Wäldern beobachteten Fruchtkörperbildung und später in Düng-Experimenten entdeckt (6, 7). In einer IAP-Studie (8) wurden die Veränderungen der Ektomykorrhiza-Gesellschaften im Oberboden von Schweizer Buchenwäldern auf einem Stickstoffdepositionsgradienten von 16 bis 33 kg pro Hektare und Jahr untersucht. Diese Studie zeigt eindeutig, dass mit zunehmender Stickstoffbelastung die Diversität der Mykorrhizapilze an Buchenwurzeln (Abbildung 7) und sowohl der Anteil an pilzbesetzten Wurzelspitzen als auch die Dichte des Pilzmyzels abnehmen.

Weiter wurde eine Artenverschiebung sichtbar: stickstoffempfindliche Arten nehmen ab, stickstoffliebende zu. Als Folge wird nachweislich auch die Versorgung

mit anderen Nährstoffen wie Phosphor verändert. Dies könnte eine der möglichen Ursachen sein für die vor Kurzem erkannte Phosphorunterversorgung zentraleuropäischer Buchenwälder (9). Andererseits wird wahrscheinlich auch die Trockenheitsempfindlichkeit erhöht, da trockenheitstolerante und für die Wasseraufnahme wichtige Ektomykorrhizapilze wie Cenococcum geophilum bei hohen Stickstoffeintragungswerten abnehmen.

**Verjüngung in Gefahr**

Die Stickstoffbelastung führt im Waldökosystem auch zu Veränderungen in der Krautschicht. Pflanzenarten, die nicht stickstoffliebend, oft aber gefährdet sind, nehmen ab, stickstoffliebende Arten wie Brennnessel

oder Holunder dagegen zu. Dazu gehört auch die Brombeere, deren Deckungsgrad bei Stickstoffeinträgen von >20–25 kg pro Hektare und Jahr exponentiell ansteigt (Abbildung 9, Quelle 10) und das Aufkommen der Verjüngung beeinträchtigt. ■

**Autoren**

Lucienne de Witte, Sabine Braun, Sven Hopf  
 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.

**Weitere Infos**

www.iap.ch

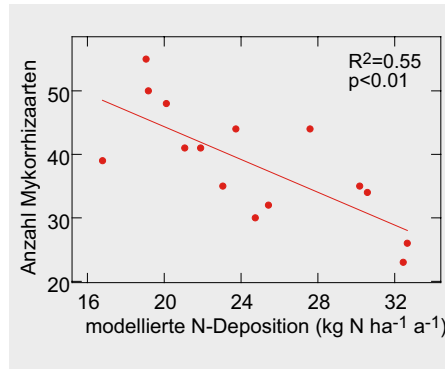


Abb. 7: Die Anzahl Mykorrhizen nimmt auf dem untersuchten Gradienten der Stickstoffdeposition um ca. 50% ab. IAP



Abb. 8: Buchenwurzel von Hochwald (SO) unter dem Mikroskop mit *Cenococcum geophilum* (schwarz) und *Trichophaea woolhopeia* (braun). IAP



Abbildung 10: Brombeerdecke (Frienisberg BE). IAP

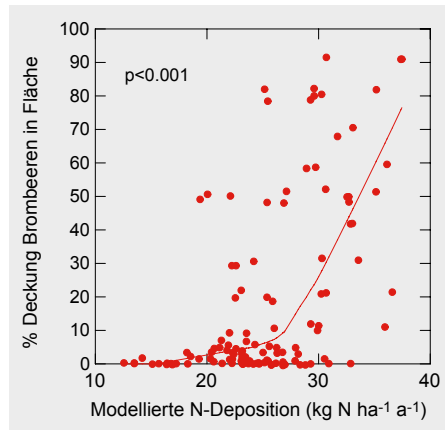


Abb. 9: Deckungsgrad von Brombeeren in lichten Stellen der Waldbeobachtungsflächen in Beziehung zur modellierten Stickstoffdeposition. IAP

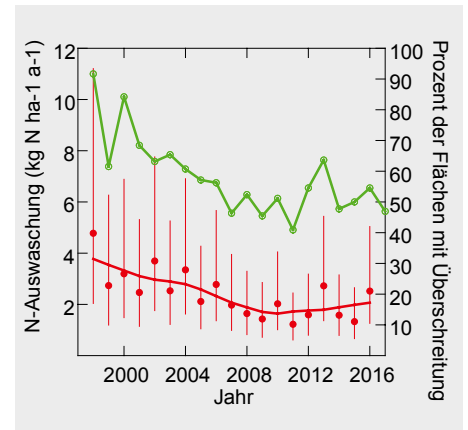


Abb. 11: Entwicklung der N-Auswaschung seit Beginn der Messungen. Balken=95%-Vertrauensbereich. Reihe korrigiert für unterschiedliche Beobachtungsdauer (rot). Prozentanteil der Flächen mit Überschreitung der kritischen Werte für Auswaschung (grün). IAP

**AUSBLICK**

Die Stickstoffauswaschung hat zwischen 1998 und 2011 abgenommen. Das wird sowohl im Trend der jährlichen Auswaschungsraten als auch in der Überschreitungshäufigkeit der kritischen Werte für N-Auswaschung ersichtlich (Abbildung 11). Wichtigster Grund dafür ist die Abnahme der N-Deposition in dieser Zeit aufgrund von Luftreinhaltmassnahmen vor allem beim Verkehr mit der Einführung des Katalysators, der Industrie (Rauchgaswaschanlagen) und etwas weniger in der Landwirtschaft.

Allerdings ist die Tendenz seit 2011 wieder leicht steigend. Für den Schutz der Waldökosysteme bedarf es also noch grosserer Bemühungen, um die Stickstoffemissionen zu reduzieren. Am effizientesten sind Massnahmen in der Landwirtschaft wie das Abdecken von Güllelöchern, das Ausbringen der Gülle mit Schleppläusen und bauliche Massnahmen bei Stallungen.

**LITERATUR**

1. Nihlgård, B. [1985]. Ambio 14, 1-8.
2. Aber, J. D., Nadelhoffer, K. J., Steudler, P., und Melillo, J. M. [1989]. BioScience 39, 378-386.
3. Bobbink, R., und Hettelingh, J.-P. [2011]. RIVM report 680359002, Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment [RIVM].
4. Rihm, B., und Achermann, B. [2016]. 78 pp., Berne, Federal Office for the Environment [FOEN].
5. Smith, S. E., und Read, D. J. [2010]. Mycorrhizal symbiosis. Academic press,
6. Arnolds, E. [1991]. Agric.Ecosys.Environ. 35, 209-244.
7. Nilsson, L. O., und Wallander, H. [2003]. New Phytologist 158, 409-418.
8. de Witte, L. C., Rosenstock, N. P., van der Linde, S., und Braun, S. [2017]. Science of the Total Environment 605-606, 1083-1096.
9. Lang, F., Bauhus, J., Frossard, E., George, E., Kaiser, K., Kaupenjohann, M., Krüger, J., Matzner, E., Polle, A., Prietzel, J., Rennenberg, H., und Wellbrock, N. [2016]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science n/a.
10. Braun, S., und Flückiger, W. [2004]. Bulletin BGS 27, 59-62.