

Sickerwasserqualität bei Stickstoffsättigung

Erkenntnisse aus den Experimenten und Langzeituntersuchungen im Höglwald

Christian Huber, Wendelin Weis und Axel Göttlein

Stickstoff ist das Element, dessen globale und regionale Elementkreisläufe der Mensch mit am stärksten verändert hat. Vor allem die Landwirtschaft und Verbrennungsprozesse generieren ständig neue reaktive Stickstoffverbindungen. Überhöhte Stickstoffeinträge aus der Luft akkumulieren sich in den Wäldern. Übersteigt das Stickstoffangebot den biologischen Bedarf, beeinträchtigt Nitrat – neben anderen negativen Wechselwirkungen – auch die Sickerwasserqualität. Der Höglwald bei München zeigt diese Problematik exemplarisch seit mehr als zwei Jahrzehnten auf. Die dort gewonnenen Forschungsergebnisse liefern Anhaltspunkte für ein nachhaltiges Nährstoffmanagement bei hoher Stickstoffbelastung.

Der Höglwald liegt etwa 50 Kilometer westlich von München im Oberbayerischen Tertiärhügelland auf 540 Meter Meereshöhe und weist hohe atmosphärische Stickstoffeinträge auf. Der wüchsige, im Jahre 1910 gepflanzte Fichtenbestand stockt auf einer im Oberboden stark versauerten Parabraunerde bzw. geschichteten Braunerde. Die Sickerwasserqualität des Fichtenaltbestandes wird seit 1984 untersucht. Verschiedene begleitende Experimente erforschten das Verhalten eines stickstoffbelasteten Waldökosystems bei forstlichen Maßnahmen und sich verändernden Umweltbedingungen (Kreutzer 1995; Kreutzer, Weiss 1998; Weis et al. 2007; Huber et al. 2004 a b). Wichtige Ergebnisse dieser Arbeiten werden hier beispielhaft skizziert.

Selbst der wüchsigste Fichtenbestand kann den eingetragenen Stickstoff nicht nutzen

Veränderte Umweltbedingungen, aber auch forstliche Maßnahmen können die Sickerwasserqualität erheblich beeinflussen. Ein Hauptkriterium für die Qualität des Sickerwassers ist die Nitratkonzentration. Insbesondere in naturnahen Ökosystemen soll sie möglichst niedrig sein. Dies gewährleistet einerseits höchsten Trinkwasserschutz, andererseits werden Bodenversauerung und Nährstoffverluste minimiert, da mit Nitrat auch Nährkationen ausgetragen werden.

Der Fichtenaltbestand im Höglwald zeigt seit Beginn der Forschungen im Jahr 1984 eine anhaltend hohe Nitratbelastung des Sickerwassers, die zumeist über dem Trinkwassergrenzwert von 50 Milligramm pro Liter liegt (Abbildung 1). Der inzwischen über 100 Jahre alte Bestand, kann – zumindest seit 1984 und trotz der hohen Holzzuwächse – das Stickstoffangebot im Boden nicht nutzen. Die Bäume nehmen den überschüssigen Stickstoff nicht auf. So weisen die Fichten im Höglwald selbst nach Stickstoffdüngung keine erhöhten Nadelspiegelwerte auf (Huber et al. 2006 b). Der überschüssige Stickstoff verläßt vor allem als Nitrat mit dem Sickerwasser den Hauptwurzelraum und ist damit eine potentielle Gefahr für die Trinkwasserqualität.

Stürme, N-Einträge und Kalkung erhöhen Nitratkonzentrationen

Für einige zwischenzeitliche Minima und Maxima der Nitratkonzentration sind teilweise meteorologische Ereignisse von Bedeutung (Abbildung 1). Beispielsweise fallen die niedrigeren Nitratkonzentrationen in den drei trockensten Jahren 1994, 1997 und 2003 auf (Weis 2004). Das Maß der Trockenheit wurde dabei berechnet aus der Differenz aus Niederschlag während der Vegetationsperiode und der potentiellen Gesamtverdunstung. Mehrere weniger ausgeprägte Trockenjahre hintereinander (1988 bis 1992) führten dagegen zu den bisherigen Nitratspitzenwerten. Zusätzlich trug der erhöhte Streufall während der Winterstürme des Jahres 1990 zu einem nochmalig erhöhten (leicht mineralisierbaren organischen) Stickstoffangebot bei.

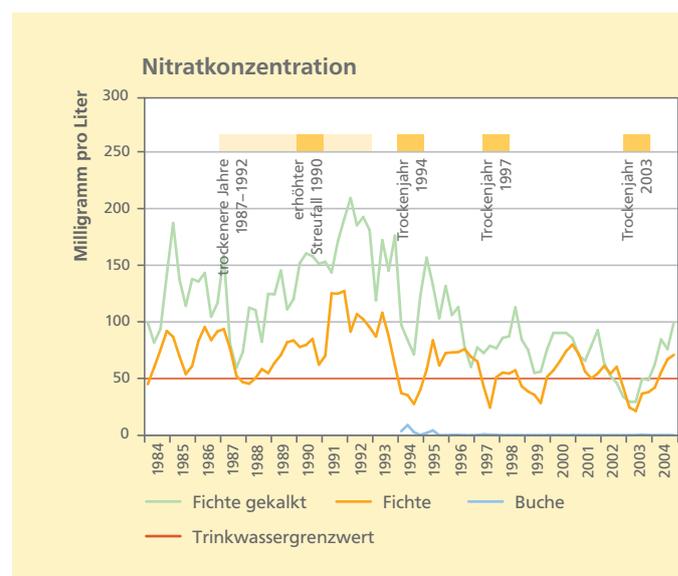


Abbildung 1: Nitratkonzentration unterhalb des Hauptwurzelraumes (40 cm) bei Fichte, Fichte gekalkt und Buche von 1984 bis 2004

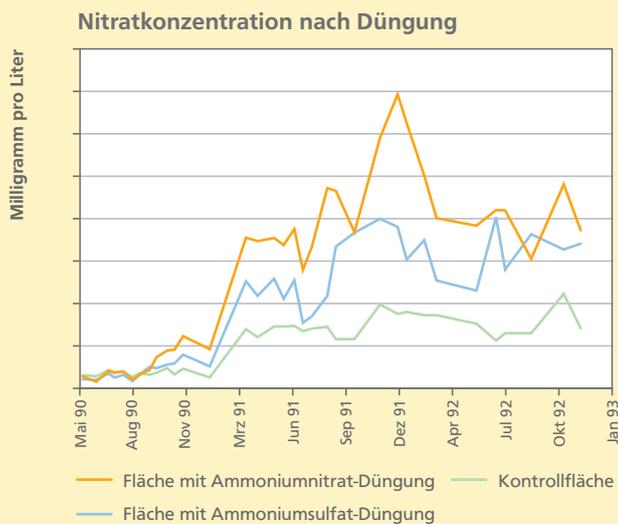


Abbildung 2: Nitratkonzentration in 20 cm Bodentiefe bei experimentell erhöhtem Stickstoffeintrag in einem Fichtenaltbestand im Höglwald

Verschiedene Düngungsexperimente dienten dazu, die Wirkung noch höherer Stickstoffeinträge zu simulieren. In den Jahren 1991 und 1992 wurden, verteilt auf jeweils zehn Einzelgaben pro Jahr, 73 kg Ammoniumsulfatstickstoff bzw. 74 kg Ammoniumnitratstickstoff je Hektar ausgebracht (Vergleich: im Höglwald werden unter Fichte im langjährigen Durchschnitt jährlich 27 Kilogramm Stickstoff je Hektar mit dem Bestandesniederschlag eingetragen). Die Düngungsmaßnahmen führten rasch zu deutlich erhöhten Nitratkonzentrationen (Abbildung 2). Der aufgebrachte Stickstoff wurde nahezu vollständig mit dem Sickerwasser wieder ausgewaschen.

Eine Kalkung mit vier Tonnen Dolomit pro Hektar im Jahre 1984 ließ die Nitratwerte weiter steigen. Auf Grund der Kalkung wurden erhebliche Mengen organischen Stickstoffs aus der Humusaufgabe mineralisiert und damit das Angebot an mineralischem Stickstoff auf der Fläche erhöht. Dies führte zu einem zusätzlichen Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser über einen Zeitraum von circa 15 Jahren (Abbildung 1). Die Menge des nach der Kalkung mineralisierten Stickstoffs im Boden entsprach in etwa dem gegenüber der Kontrolle erhöhten Nitrataustrag mit dem Sickerwasser (Huber et al. 2006 a). Diese Reaktion ist einer der Gründe, weshalb von Kalkungen auf stickstoffbelasteten Standorten abgeraten wird (Kreutzer 1995).

Laubbaumbestände in stickstoffbelasteten Gebieten günstiger

Unter Buche hingegen finden sich während des gesamten Untersuchungszeitraumes sehr niedrige Nitratkonzentrationen (Abbildung 1). Zumeist lässt sich Nitrat nicht einmal nachweisen. Buche wirkt sich damit nicht nur positiv auf die Sickerwasserqualität aus, auch die Protonenproduktion bei der Nitratbildung ist weitaus geringer (Rothe et al. 2002). Damit ist auch die Tiefenversauerung des Bodens unter Buche weniger stark ausgeprägt. Mehrere Gründe sind für die Unterschiede zwischen Buche und Fichte verantwortlich. Zum einen sind die Stickstoffeinträge bei Buche geringer, auch weil sie im Winter unbelaubt ist. Zum anderen gestalten sich die mikrobiologischen Verhältnisse unter Buche anders. Dort wird ein weitestgehend größerer Anteil des reaktiven mineralischen Stickstoffs (Ammonium, Nitrat) zu elementarem Stickstoff (N_2) umgewandelt und damit entgiftet (Butterbach-Bahl et al. 2002). Bei diesem Prozess werden allerdings auch in nennenswertem Umfang NO und N_2O gebildet. Letzteres trägt als klimarelevantes Spurengas zum Treibhauseffekt bei.

Fichtenbestände frühzeitig verjüngen

Aus Sicht der Nährstoffnachhaltigkeit ist es günstiger, derartig stickstoffbelastete Fichtenbestände früher zu verjüngen, um die langanhaltenden Nitratausträge zu vermeiden. Laubholzbestände sind generell als nachfolgende Baumart zu bevorzugen, aber auch die nachwachsenden Fichtenjungbestände weisen nach Rothe und Mellert (2004) zumindest in den ersten 40 Jahren kaum Nitrat auf.

Ein zügiges Verjüngungsverfahren (unfreiwillig auf Windwurfflächen bzw. geplant als Kahlschlag) kann auf einem stickstoffbelasteten Standort eine probate, wenn auch unkonventionelle Methode sein, um die Sickerwasserqualität rasch zu verbessern und Nährstoffverluste zu minimieren. Zumindest auf den Teilflächen, die wieder auf Fichte verjüngt werden sollen, könnte der Kahlschlag zum Zuge kommen. Die bisherigen Kahlhiebe im Höglwald führten zwar zunächst zu sehr hohen Spitzenkonzentrationen von Nitrat im Sickerwasser (Weis et al. in diesem Heft; Huber et al. 2004 b), aber bereits nach zwei Jahren war die Sickerwasserqualität auf den Kahlfeldern deutlich besser als in dem hundertjährigen Altbestand. Die zunächst wegen der größeren Wasserspende deutlich höheren Nitratflüsse der Kahlfeldern relativieren sich innerhalb von zehn Jahren. Nach dieser Periode übersteigen die kumulativen Nitratflüsse im Altbestand und auf der Femelfläche diese am Kahlschlag.

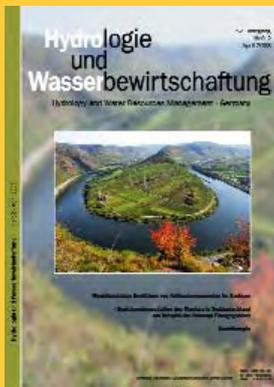
Femelhiebe sind natürlich das allgemein schonendere Verfahren, müssten aber an stickstoffbelasteten Standorten deutlich frühzeitiger eingeleitet werden, am besten schon, bevor im Altbestand verstärkt Nitrat ausgetragen wird. Eine wüchsige Verjüngung unter Schirm beschattet nach der Räumung des Altbestandes den Boden, nimmt Nährstoffe auf und reduziert damit den Nährstoffaustrag erheblich (Weis et al. in diesem Heft).

Die Forstwirtschaft kann, wenn auch begrenzt, mit gezielten Maßnahmen auf das Problem der Stickstoffsättigung der Wälder reagieren. Bisher ist es allerdings kaum möglich, stickstoffbelastete Waldgebiete anhand leicht zugänglicher Indikatoren zu erkennen. Mit Hilfe geeigneter Modelle lassen sich aber Problemregionen zumindest umreißen (erste Ansätze in Mellert et al. 2007). Auf Bestandesebene sind jedoch stichprobenartige Boden- bzw. Sickerwasseruntersuchungen nötig, um die Bestände zu identifizieren, bei denen eine kürzere Umtriebszeit die Nitratausträge reduzieren und die Nährstoffverluste minimieren könnte. Langfristig muss allerdings auf eine deutliche Verringerung der Stickstoff-Emissionen hingearbeitet werden, um das Stickstoff-Speicherpotential naturnaher Ökosysteme aufrechtzuerhalten.

Zeitschrift Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Die Zeitschrift *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* (HyWa) ist eine deutschsprachige Fachzeitschrift, die Themen der Hydrologie und Wasserwirtschaft unter qualitativen, quantitativen, sozioökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten umfassend behandelt. Sie bietet eine Plattform zur Veröffentlichung aktueller Entwicklungen aus Wissenschaft und operationeller Anwendung. Das Spektrum der Fachbeiträge setzt sich aus den Themenbereichen Hydrologie, Bewirtschaftung der Wasservorkommen, Wasser- und Stoffflüsse, Gewässerschutz, Binnen- und Küstengewässer sowie Grundwasser zusammen. Zur Veröffentlichung werden nur fachlich fundierte, originäre Artikel zu aktuellen Themen zugelassen.

red



Die Fachzeitschrift erscheint alle zwei Monate und kostet im Abonnement 28,- Euro pro Jahr. Sie kann bestellt werden bei:
Bundesanstalt für Gewässerkunde
 Postfach 200253
 D-56002 Koblenz
huecking@bafg.de
 ISSN 1439-1783

Literatur

Butterbach-Bahl, K.; Gasche, R.; Willibald, G.; Papen, H. (2002): *Exchange of N-gases at the Höglwald Forest - A summary*. Plant and Soil 240, S. 117–123

Kreutzer, K. (1995): *Effects of forest liming on soil processes*. Plant and Soil 168–169, S. 447–470

Kreutzer, K.; Weiss, T. (1998): *The Höglwald field experiments – Aims, concept and basic data*. Plant and Soil 199, S. 1–10

Huber, C.; Kreutzer, K.; Röhle, H.; Rothe, A. (2004 a): *Response of artificial acid irrigation, liming, and N-fertilization on elemental concentrations in needles, litter fluxes, volume increment, and crown transparency of a N saturated Norway spruce stand*. Forest Ecology and Management 200, S. 3–21

Huber, C.; Weis, W.; Baumgarten, M.; Göttlein, A. (2004 b): *Spatial and temporal variation of seepage water chemistry after felling and small scale clear-cutting in a N-saturated Norway spruce stand*. Plant and Soil 267, S. 23–40

Huber, C.; Baier, R.; Göttlein, A.; Weis, W. (2006 a): *Changes in soil, seepage water and needle chemistry between 1984 to 2004 after liming an N-saturated Norway spruce stand at the Höglwald, Germany*. Forest Ecology and Management 233, S. 11–20

Huber, C.; Weis, W.; Göttlein, A. (2006 b): *Tree nutrition of Norway spruce as modified by liming and experimental acidification at the Höglwald site, Germany, from 1982 to 2004*. Annals of Forest Science 63, S. 861–869

Mellert, K.H.; Gensior, A.; Göttlein, A.; Kölling, C. (2007): *Prädiktoren des Nitrataustrags aus Wäldern – Ergebnisse der bayerischen Nitratinventur im mitteleuropäischen Vergleich*. Forstarchiv 78, S. 139–149

Rothe, A.; Huber, C.; Kreutzer, K.; Weis, W. (2002): *Deposition and soil leaching in stands of Norway spruce and European beech: Results from the Höglwald in comparison with other European case studies*. Plant and Soil 240, S. 33–45

Rothe, A.; Mellert, K.H. (2004): *Effects of forest management on nitrate concentrations in seepage water of forests in southern Bavaria, Germany*. Water Air Soil Pollution 156, S. 337–355

Weis, W. (2004): *Messergebnisse aus dem Höglwald: Trockenjahre beeinflussen Sickerwasserchemie und Bodenversauerung*. LWF aktuell 43, S. 19–20

Weis, W.; Baier, R.; Huber, C.; Göttlein, A. (2007): *Long term effects of acid irrigation at the Höglwald on seepage water chemistry and nutrient cycling*. Water, Air, and Soil Pollution, Focus 7, S. 211–223

Weis, W.; Huber, C.; Göttlein, A. (2008): *Waldverjüngung und Wasserqualität*. LWF aktuell 66, S. 9–12

Dr. Christian Huber und Dr. Wendelin Weis sind Mitarbeiter im Fachgebiet für »Waldernährung und Wasserhaushalt« der TU München. christian.huber@tum.de, weisw@forst.tu-muenchen.de
 Prof. Dr. Dr. Göttlein ist Leiter des Fachgebiets »Waldernährung und Wasserhaushalt«. goettlein@forst.tu-muenchen.de