

# Nitrat im Trinkwasser aus einem bewaldeten Wassereinzugsgebiet

Stickstoff aus Luftverunreinigungen belasten die Wasserversorgung immer stärker

zusammengefasst von Alexandra Wauer und Michael Mößnang

**Obwohl das Wassereinzugsgebiet für ihre Trinkwasserversorgung zu drei Vierteln bewaldet ist, ermittelten die Stadtwerke Fürstenfeldbruck eine hohe Belastung ihres Grundwassers mit Nitrat. Die Wälder im gesamten Einzugsgebiet sind bereits mit Stickstoff gesättigt und können den Nährstoff nicht weiter aufnehmen. Auf Grund ihrer großen Oberfläche filtern Fichten besonders effektiv Stickstoff aus der Luft aus und geben ihn in das Grundwasser ab. Buchenbestände wirken sich hingegen wesentlich günstiger auf die Nitrat-Belastung aus. Daher ist ein rascher Waldumbau zu laubbaumreichen Bestockungen geboten.**

An den im Westen von Fürstenfeldbruck im Staatswald gelegenen Brunnen der städtischen Wasserversorgung stiegen die Nitrat-Werte von 1996 bis 1998 um bis zu 150 Prozent auf Werte über 30 Milligramm  $\text{NO}_3$  pro Liter (mg/l). Da das Einzugsgebiet der Brunnen zu etwa drei Vierteln bewaldet ist, standen die hohen Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser jedoch im Widerspruch zu den Erwartungen, die sich angesichts der für die Grundwasserreinhaltung als optimal angesehenen Landnutzungsform Wald ergeben. Nachdem in dem Einzugsgebiet der Wasserversorgung auf großer Fläche durchforstet worden war, wurde der Nitrat-Anstieg zunächst mit diesen Hiebmaßnahmen in Verbindung gebracht. Im Jahre 1999 ergaben Wasseranalysen in einem siebzijährigen Fichtenbestand eine hohe Belastung des waldbürtigen Sickerwassers von durchschnittlich 45 mg  $\text{NO}_3$ /l. Die außerordentlich hohen Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser warfen eine Reihe von Fragen auf, die die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft in weiteren Forschungsarbeiten klären sollte:

- Sind die hohen Nitrat-Austräge zeitlich begrenzt?
- Sind die Waldbestände im Untersuchungsgebiet mit Stickstoff gesättigt?
- Welchen Einfluss hat die Baumart?
- Wie groß ist die Belastung des Einzugsgebietes mit Stickstoff-Verbindungen aus Luftverunreinigungen?

Um diese Fragen zu beantworten, wurden die Untersuchungen räumlich und zeitlich ausgedehnt. Die räumliche Verteilung der Sättigungserscheinungen wurde 2003 mit Hilfe einer Bodeninventur im Einzugsgebiet erfasst. Gleichzeitig wurde eine zweite Messkampagne (2003/04) in dem siebzijährigen Fichtenbestand begonnen. Die Deposition von Stickstoff-Verbindungen aus Luftverunreinigungen wurde an fünf Standorten im gleichen Zeitraum bestimmt. Sowohl bei der Bodeninventur als auch bei der Depositionsmessung berücksichtigte man die im Gebiet vorkommenden Hauptbaumarten Fichte, Kiefer und Buche.

## Das Einzugsgebiet – Fichte auf Schotter

Das 1.000 Hektar große Einzugsgebiet ist zu drei Vierteln bewaldet. Der Wald ist größtenteils in Staatsbesitz. Mit 66 Prozent sind im Staatswald Fichtenbestände am häufigsten, gefolgt von Kiefern- (22 %) und Buchenbeständen (9 %). Bestände anderer Baumarten spielen eine untergeordnete Rolle.

Der geologische Untergrund besteht aus bis zu 40 Meter mächtigen Niederterrassenschottern, die einen sehr ergiebigen Grundwasserkörper bilden. Ein seitlicher Zustrom aus den angrenzenden Gebieten und die Exfiltration von Oberflächenwasser der Amper in den Grundwasserleiter bestimmen neben der Versickerung die Grundwasserbildung. Die sandigen Kiese sind sehr wasserdurchlässig. Das Grundwasser ist kaum gegen Verunreinigungen geschützt, eingedrungene Schadstoffe werden rasch im Grundwasserleiter verteilt.

Die Böden im Nordteil des Einzugsgebietes sind Parabraunerden geringer bis mittlerer Entwicklungstiefe, im Süden sind sie etwas tiefer entwickelt. Die eigentlichen sandig-lehmigen Bodenhorizonte sind meist nur 40 bis 60 Zentimeter mächtig. Wegen der Flachgründigkeit, der geringen Durchwurzelungstiefe, der sehr hohen Durchlässigkeit und dem geringen Sorptionsvermögen verändert sich die Sickerwasserbeschaffenheit im Bereich des kiesigen  $C_v$ -Horizontes nur noch wenig. Die hier gemessene Wasserqualität ist der Beschaffenheit des in den Grundwasserkörper eindringenden Wassers sehr ähnlich. Unter diesen Bedingungen und wegen der hohen Sauerstoffsättigung des Grundwassers findet im Grundwasserleiter kein nennenswerter Nitratabbau mehr statt.

## Sickerwasseranalysen und Bodeninventur

Die Sickerwasseranalysen zeigten, dass sich nach zweijähriger Unterbrechung die Nitrat-Konzentrationen nahezu verdoppelten und die mittleren Konzentrationen knapp über 100 mg/l lagen (Abbildung 1). Die Maximumwerte übersteigen sogar den Wert von 200 mg/l. Für die Steigerung der Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser gibt es keine äußerlich, z. B. an der Bestandsstruktur, erkennbare Ursache. Bis auf ein-

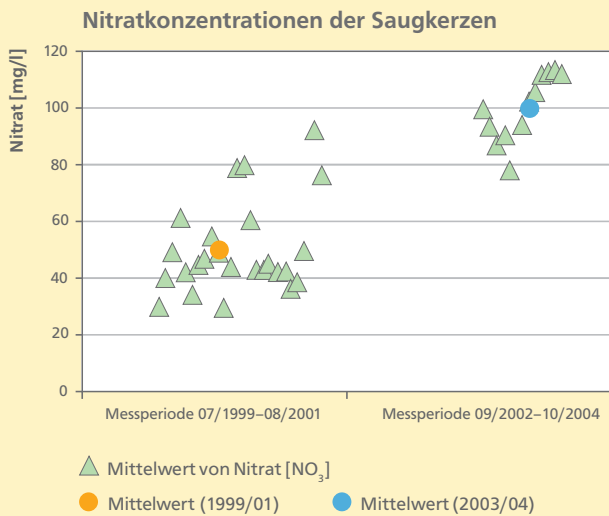


Abbildung 1: Mittlere Nitrat-Konzentrationen der Saugkerzen im Sickerwasser eines siebzigjährigen Fichtenbestandes und Periodenmittel (Messtiefe: C<sub>v</sub>-Horizont)

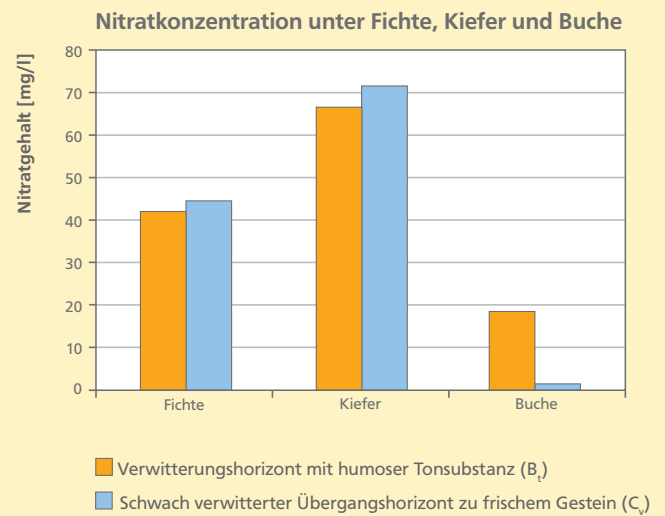


Abbildung 2: Nitrat-Konzentrationen im Bodenextrakt unterhalb des Hauptwurzelsraums (B<sub>c</sub>- und C<sub>v</sub>-Horizont)

zelle Anrisse auf Grund von Windwurf und Käferbefall ist der Bestand größtenteils geschlossen und macht einen vitalen Eindruck.

An 158 Stichprobenpunkten des Einzugsgebietes wurden im Jahr 2003 Bodenproben entnommen. Die Inventurpunkte liegen schwerpunktmäßig in Fichtenbeständen. Die aus den Bodenextrakten bestimmten Nitrat-Konzentrationen in dem untersuchten siebzigjährigen Fichtenbestand stimmen sehr gut mit den mit Hilfe von Saugkerzen gewonnen Sickerwasserproben überein. Die bei der Bodeninventur bestimmten Nitrat-Konzentrationen bilden die Konzentrationsverhältnisse im Einzugsgebiet zum Zeitpunkt der Probenahme also realistisch ab.

Die in den einzelnen Tiefenstufen gemessenen Nitrat-Konzentrationen gehen beim Übergang vom A- zum B-Horizont deutlich zurück. Die Baumwurzeln nehmen Nitrat auf und vermindern die sehr hohen Konzentrationen des Oberbodens von über 70 mg NO<sub>3</sub>/l. Deshalb weisen die tieferen Bodenhorizonte weitaus niedrigere Konzentrationen (unter 35 mg NO<sub>3</sub>/l) auf. Die unterhalb des Hauptwurzelsraumes vorhandenen Nitrat-Mengen werden mit dem Sickerwasserstrom an das Grundwasser weitergegeben. Weil auf der weiteren Fließstrecke kaum noch Nitrat durch Baumwurzeln oder biologische Prozesse entzogen wird, entspricht die unterhalb des Hauptwurzelsraumes bestimmte Nitrat-Konzentration weitgehend derjenigen der Grundwasserneubildung. Aus allen 120 Proben des C<sub>v</sub>-Horizontes (Fichtenbestände) wurde ein Mittelwert von 35 mg NO<sub>3</sub>/l bestimmt. Damit ist eine hohe Flächenbelastung des Waldsickerwassers mit Nitrat auf der gesamten Fläche nachgewiesen.

Die Buchenbestände weisen die signifikant niedrigsten Nitrat-Gehalte auf (Abbildung 2), obwohl die Mehrzahl der untersuchten Buchenbestände besonders nah an den Emissionsquellen der landwirtschaftlichen Bodennutzung liegen. Re-

gelmäßig wird festgestellt, dass unter Buchenbeständen das Nitrat besser zurückgehalten wird als unter Fichte. Hauptursachen sind die geringere Stickstoff-Deposition in Laubholzbeständen, die höhere Stickstoff-Aufnahme der Laubholzbestände, eine höhere Speicherung im Humus sowie Unterschiede in der Denitrifikation.

### Deposition von Stickstoffverbindungen

Um die Quellen für die großflächige Nitratbelastung zu identifizieren, wurde von September 2003 bis Oktober 2004 an fünf Messstellen die Deposition von Ammonium (NH<sub>4</sub>) und Nitrat (NO<sub>3</sub>) im Bestandesniederschlag bestimmt (Abbildung 3).

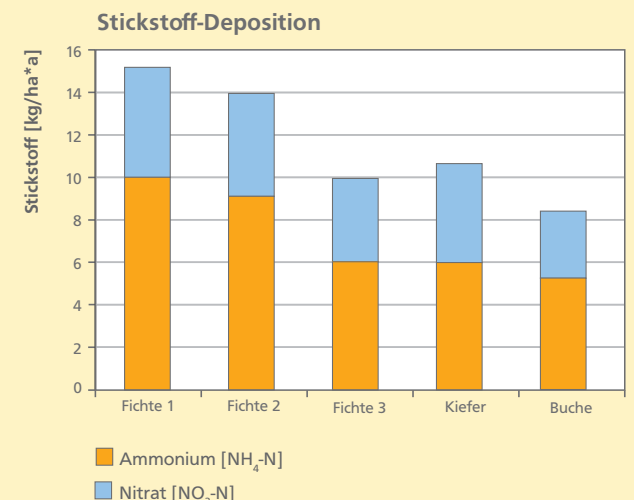


Abbildung 3: Ammonium und Nitrat-Deposition mit dem Bestandesniederschlag an den fünf Messstellen 2003/2004

Die höchsten Jahreseinträge mit über 15 Kilogramm Stickstoff pro Hektar verzeichnet die Messfläche Fichte 1 in dem siebzehnjährigen Fichtenbestand. Diese Fläche wies auch überraschend hohe Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser auf. Mit abnehmendem Alter sinken die Stickstoff-Frachten in den Fichtenbeständen auf 14 bzw. 10 Kilogramm pro Hektar ab. Auch die Entfernung zu landwirtschaftlich genutzten Flächen scheint die Höhe der Deposition zu beeinflussen. Die Messstelle Fichte 3 liegt nicht nur im jüngsten der drei untersuchten Fichtenbestände, sondern auch am weitesten von den Emissionsquellen entfernt mitten im Waldgebiet. Mit 8,5 Kilogramm pro Hektar und Jahr weist der Niederschlag im Buchenbestand die niedrigste Befrachtung mit Stickstoff-Verbindungen auf. Ammonium-Anteile von über 60 Prozent weisen zudem deutlich auf einen beträchtlichen Anteil Emissionen aus landwirtschaftlichen Quellen hin.

### Luftverschmutzung für Nitratbelastung verantwortlich

Die zu Beginn dieser Studie gestellten Fragen lassen sich nun beantworten:

- Die Nitrat-Austräge dauern über einen mehr als fünfjährigen Zeitraum an.
- Bei dem untersuchten Bestand handelt es sich um keinen Einzelfall, die Sättigungserscheinungen sind im gesamten Einzugsgebiet verbreitet.
- Zwischen Fichte und Buche besteht ein deutlicher Unterschied bei den Nitrat-Konzentrationen im Boden.
- Das Einzugsgebiet ist durchschnittlich mit Stickstoff-Verbindungen aus Luftverunreinigungen belastet. Die Stickstoff-Frachten ins Grundwasser sind am höchsten in waldrandnaher Position und in alten Fichtenbeständen. Die geringste Befrachtung wies der untersuchte Buchenbestand auf.

Die beobachteten Sättigungserscheinungen sind das Ergebnis einer über Jahrzehnte hinweg dauernden Belastung des Waldgebietes mit Stickstoff. Die große Kronenoberfläche der Fichtenbestände stellt eine besonders wirkungsvolle Falle für Luftverunreinigungen dar. Zusätzlich haben die meist über vierzigjährigen Bestände ihre Hauptwachstumsphase bereits hinter sich, ihr Stickstoffbedarf sinkt in diesem Alter deutlich ab. Der reichlich vorhandene Stickstoff kann nicht mehr aufgenommen werden und sickert durch den durchlässigen Boden rasch in Richtung Grundwasser.

### Sanierungsmöglichkeiten

Die Hauptursache für die hohen Nitrat-Konzentrationen liegt in der Belastung des Gebietes mit Luftschadstoffen. Der Anteil des nahtransportierten Ammoniums ließe sich mit emissionsmindernden Maßnahmen in den landwirtschaftlichen Betrieben senken. Der Anteil des Nitrates ist bei vorherrschendem Ferntransport der Vorläufersubstanzen (Stickoxide) nur mit Hilfe grenzüberschreitender Maßnahmen der Emissionsreduktion im Verkehr und in der Industrie zu senken. Die Besserung der Immissionsituation dürfte allerdings kaum so rasch und nachhaltig erfolgen, dass damit das Problem der Nitrat-Belastung des Grundwassers im Einzugsgebiet in absehbarer Zeit zu lösen wäre. Nach der jahrzehntelangen Befrachtung des Gebietes sind hohe Mengen an Stickstoff im System (Pflanzen, Böden, Sickerwasserleiter, Grundwasserleiter) gespeichert.

Im Rahmen waldbaulicher Umbaumaßnahmen sollte der Laubbaumanteil des Gebiets forciert auf über 50 Prozent gesteigert werden. Dabei sollte auf Kahlhiebs grundsätzlich verzichtet werden. Der Übergang in die nächste Waldgeneration ist vielmehr unter Schirm möglichst nahtlos zu vollziehen. Der frühzeitige Umbau der mittelalten Fichtenbestände verringert auch das mit dem Alter zunehmende Risiko des großflächigen Zusammenbruchs auf Grund von Windwurf oder Borkenkäferbefall.

Die Fallstudie Fürstenfeldbruck offenbart in eindrücklicher Weise die Folgen der Stickstoff-Sättigung von Waldbeständen als Resultat der andauernden Belastung mit Luftschadstoffen. Im Gegensatz zu vielen anderen Studien wurde in Fürstenfeldbruck ein direkter und plausibler Zusammenhang zur Grundwasserbeschaffenheit und zur Trinkwasserversorgung hergestellt. In Anbetracht der nur langfristig zu erzielenden Sanierungserfolge erscheint rasches Handeln bei der Emissionsreduktion und beim Waldumbau dringend geboten. Der bevorstehende Klimawandel dürfte sich auch mittelbar (Vitalitätseinbußen vor allem der Fichte) und unmittelbar (Steigerung der Nitrat-Freisetzung) auf den Stickstoff-Haushalt der Wälder auswirken.

---

Dr. Alexandra Wauer und Michael Mößnang sind Mitarbeiter im Sachgebiet »Wissenstransfer und Waldpädagogik« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. [awa@lwf.uni-muenchen.de](mailto:awa@lwf.uni-muenchen.de), [mng@lwf.uni-muenchen.de](mailto:mng@lwf.uni-muenchen.de)

---

Dieser Beitrag basiert auf einem Forschungsprojekt der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, dessen Ergebnisse im Jahre 2006 veröffentlicht wurden: Karl-Heinz Mellert, Christian Kölling (2006): Nitratbelastung des Sickerwassers in einem bewaldeten Wassereinzugsgebiet der Trinkwasserversorgung Fürstenfeldbruck. Wasser und Abfall, Heft 1/2, S. 48–54