

# Salpeterdüngung von Grünland und Auswirkungen auf den Austrag von Nitrat- und Eisenverbindungen ins Grundwasser

G. SCHALITZ, A. BEHRENDT und A. HÖHN

## Zusammenfassung

Auf Grundwasserlysimetern mit Sandgley-Rosterde und einer Ansaat von Wiesenschweidel kamen 0, 120, 240 und 480 kg·ha<sup>-1</sup>N zum Einsatz, um den NO<sub>3</sub>-Austrag ins Grundwasser (60 cm) einschließlich Folgewirkungen zu studieren. Die Versuche in den Jahren 2000-2004 erlaubten die Erfassung des Abflusses ins Grundwasser und die jeweiligen Austräge an NO<sub>3</sub>, S und Fe als Fracht.

In der Folge der Nitratdüngung erhöhten sich die Frachten an Schwefel und Eisen beträchtlich. Im Grundwasser bzw. Grundwassersaum fand offenbar ein erheblicher Nitratabbau statt der mit dem Verbrauch an Schwefel-Eisenverbindungen und organischem Kohlenstoff einher ging. Im oxydierenden Milieu wurden Eisen-Ionen freigesetzt, die als rotbraune Verockerung deutlich in Erscheinung traten.

Auf Weideflächen ist das mit einer schnellen Verstopfung bzw. Zusetzung der Weidebrunnen verbunden.

Wenn der natürliche Gehalt an Schwefel-Eisenverbindungen und organischem Kohlenstoff aufgebraucht ist, kann es zu dramatischen Nitratdurchbrüchen ins Grundwasser kommen, wie im letzten Versuchsjahr festzustellen war.

## Abstract

Groundwater lysimeters filled with sandy gley were seeded with *Festulolium braunii* and fertilized with 0, 120, 240, and 480 kg N ha<sup>-1</sup>, in order to study the NO<sub>3</sub>-leaching into the groundwater (60 cm) and environmental consequences.

The experiments lasting from 2000-2004 were suitable to analyse the flow of NO<sub>3</sub>, S, and Fe into the groundwater and to compute the leaching load.

As a consequence of nitrate fertilization the loads of sulphur and iron increased significantly. In the transition zone between saturated and unsaturated conditions and in the groundwater microbial nitrate reduction took place in combination with pyrite dissolution and mineralization of organic carbon. Under oxic conditions the iron(II)-cations were precipitated as red brown ironhydroxides (ochre). On pasture areas this process leads to a relatively fast blocking of water supply systems for animals. When the soil reserves of sulphur, iron, and organic carbon are consumed, a breakthrough of nitrate into the groundwater will occur, as we found during the final year of the experiment.

## Einleitung und Problemstellung

Auf leichten Böden und Mooren wird vor allem im Frühjahr leichtlöslicher Salpeterdünger zur Ankurbelung des Wachstums eingesetzt. Dabei gelten diese Böden als besonders prädestiniert für die Nitrat auswaschung. Erstaunlicherweise sind die Nitratkonzentrationen im Grundwasser meist sehr gering (KÄDING, 1986). Es muss also Mechanismen bzw. chemische Umsetzungsprozesse in der ungesättigten Zone, dem Grundwassersaum und dem Grundwasserleiter selbst geben, die das Nitrat umbauen und andere Stoffe dafür reaktiv werden lassen. Kurzfristig starke Verockerungen von Weidebrunnen durch Eisenverbindungen

und Erhöhungen des Sulfatgehaltes im Grundwasser geben Hinweise auf ein „verkapptes“ Nitratproblem (WENDLAND et. al., 1996, DUYNISVELD et. al., 1996, SCHALITZ, 2005).

## Material und Methoden

Der Versuch zur Nitratdüngung von Grünland ist in den Jahren 2000-2004 in der Lysimeteranlage Paulinenaue auf einer Sandgley-Rosterde durchgeführt worden.

Die 1 m<sup>2</sup> großen und 1,5 m tiefen Lysimeter wurden 1974 in Ferchels bei Schollene an der unteren Havel monolithisch entnommen. Der Standort spiegelt die häufig in Niederungsgebieten vorkommenden Sandrücken bzw. Sandanwehungen wider, die von der Bodenform als Sand-Braunpodsol oder Sand-Rosterde über Gley anzusprechen sind. Von der Körnung her handelt es sich um anlehmigen Sand, die Trockenrohddichte liegt zwischen 1,58 und 1,74 g·cm<sup>-3</sup> in einer Schicht von 0-120 cm. Der Gehalt an organischer Substanz lag im Oberboden bei 1,72 %, sank darunter aber stark ab.

Der Grundwasserstand war in allen 4 Lysimetern auf einheitlich 60 cm eingestellt. Vor Versuchsbeginn fand eine Neuanfaat (Vorfrucht Extensivgrasland) von Wiesenschweidel, Sorte „Paulita“ statt. Damit war ein leistungsstarker Bestand etabliert, der die Aussicht hatte hohe Nitratdüngermengen zu verwerten.

In Abhängigkeit vom Aufwuchs wurden

## Düngung

kg·ha <sup>-1</sup> und Jahr	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
N*	120	0	240	480
P	40	40	40	40
K	120	120	120	120

\*als NaNO<sub>3</sub> oder KNO<sub>3</sub> verabreicht, in 4 Teilgaben

**Autoren:** Prof. Dr. sc. Gisbert SCHALITZ, Dr. Axel BEHRENDT, Forschungsstation des ZALF Müncheberg, Gutshof 7, D-14641 PAULINENAUE, fspaul@zalf.de, Dr. Axel HÖHN, Institut für Bodenlandschaftsforschung der ZALF Müncheberg, Eberswalder Straße 84, D-15374 MÜNCHEBERG

2...4 Schnitte genommen.

Die vorliegende Arbeit behandelt in erster Linie die Problematik des Austrags von  $\text{NO}_3^-$ , S und Fe ins Grundwasser und eine Analyse der zeitlichen Verläufe.

Die Wasserproben wurden nach folgenden Methoden untersucht:

S IC Dionex Ionenchromatographie

Fe ICP-Bestimmung

$\text{NO}_3^-$  Hydrazin-Methode mit AT 200 „Olympus“

Die nachlassenden Erträge insbesondere in den letzten Jahren lassen erkennen, dass bei den hohen N-Gaben keine volle Verwertung gegeben sein konnte.

## Ergebnisse und Diskussion

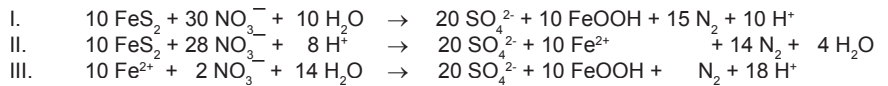
### Sulfataustrag

Finden hohe Nitrateinträge ins Grundwasser statt, kann es zu einem starken Anstieg der Sulfatkonzentration im Grundwasser kommen. DUYNISVELD et al. (1996) stellten nach Grünlandumbruch mit Nitratauswaschung einen erheblichen Anstieg der Sulfatkonzentration im Rohwasser fest.

Der Grenzwert der  $\text{SO}_4$ -Konzentration im Rohwasser beträgt lt. Trinkwasserverordnung 240 mg/l, er wurde in unseren Untersuchungen mit 150-600 mg S/l z.T. beträchtlich übertroffen, wobei aber nicht die höchsten N-Mengen auch höchste S-Gehalte im Abflusswasser bewirken. Biochemische Reaktionen sind in der Regel äußerst kompliziert. Die unterschiedlichen Einflussfaktoren der Abbauprozesse von Schwefel-Eisenverbindungen sind für den konkreten Fall in der Regel nicht vollständig nachvollziehbar und können deshalb auch nur schwer in ihrer Summe abgeschätzt werden. In unseren Untersuchungen lagen die Jahresfrachten aller Varianten an S im Durchflusswasser in den ersten 3 Versuchsjahren mit 50-150  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  Schwefel relativ niedrig und eng beieinander. Erst im hydrologischen Jahr 2003/2004 gab es größere Differenzierungen dergestalt, dass die Variante 240  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  N nahezu 300 kg S und die Variante 120  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  N sogar über 350 kg S als Fracht erreichte. Die Variante 480  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  N blieb mit ca. 150 kg S erstaunlich niedrig.

Nach WICHMANN et. al. (2003) wäre eine mögliche Erklärung dafür, dass in letzterer Variante  $\text{NO}_3^-$  zur Oxydation von Eisen herangezogen worden ist:

Teilreaktionen der autotrophen Denitrifikation



Die Staffelung Eisenfrachten entsprechend der N-Gaben spricht dafür (siehe *Abbildung 2*).

### Eisenverbindungen im Grundwasser

Im Grundwasser bzw. Grundwassersaum fand offensichtlich ein erheblicher Nitratabbau mit Eisenfreisetzung statt.

Bei gleichzeitigem Vorliegen von Pyrit, der in kiesigen Sanden grundwasserbeeinflusster Standorte allgemein vorkommt und organischer Substanz wird die autotrophe Denitrifikation kinetisch begünstigt (WICHMANN et.al., 2003).

In unseren Untersuchungen war mit Zunahme der  $\text{NO}_3^-$ -Düngung ganz eindeutig auch ein Ansteigen der Fe-Frachten im Durchflusswasser (oberflächennahen Grundwasser) zu verzeichnen (*Abbildung 1, 2*). Die Fe-Freisetzung scheint bei sehr hohen N-Gaben Priorität vor der  $\text{SO}_4$ -Freisetzung zu besitzen, wobei

möglicherweise auch die Immobilisierung von Schwefel eine Rolle gespielt haben könnte. Auf flachgründigen Niedermoorböden war diese Erscheinung ganz offensichtlich. Die Prozesse können hier sehr vielschichtig sein, sie bleiben nicht vollständig aufklärbar, wenn das Lysimeter erhalten bleiben soll.

Die Betrachtung aller Korrelationen zeigt zunächst, dass mit steigender N-Düngergabe die Koeffizienten Abfluss: N-Fracht tendenziell ansteigen. Ausgeprägter ist das noch bei den Korrelationen Abfluss: S-Fracht und Abfluss: Fe-Fracht (*Tabelle 1*).

Auch die Frachten untereinander zeigten deutliche Korrelationen wie z.B. N:S Fracht, was die Ergebnisse der zitierten Literatur unterstreicht. Bei den Korrelationen N: Fe-Fracht ist deutlich, dass ohne N-Düngung keine Beziehung besteht. Mit steigender  $\text{NO}_3^-$ -Auswaschung steigt der Korrelationskoeffizient tendenziell

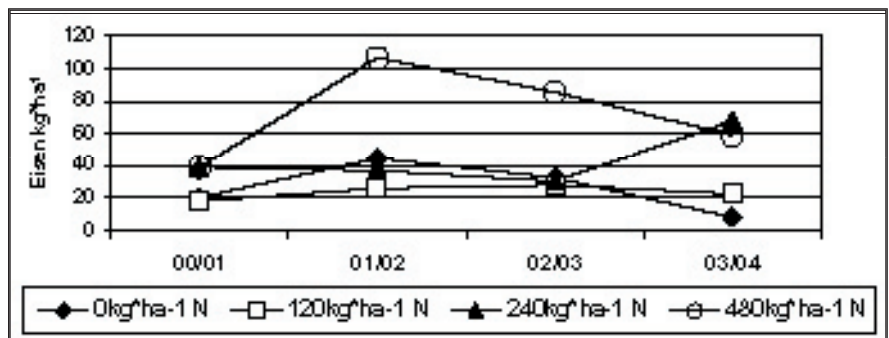


Abbildung 1: Aufkommen von Fe-Frachten (0 - 480 kg/ha) (Summen der Jahreswerte)

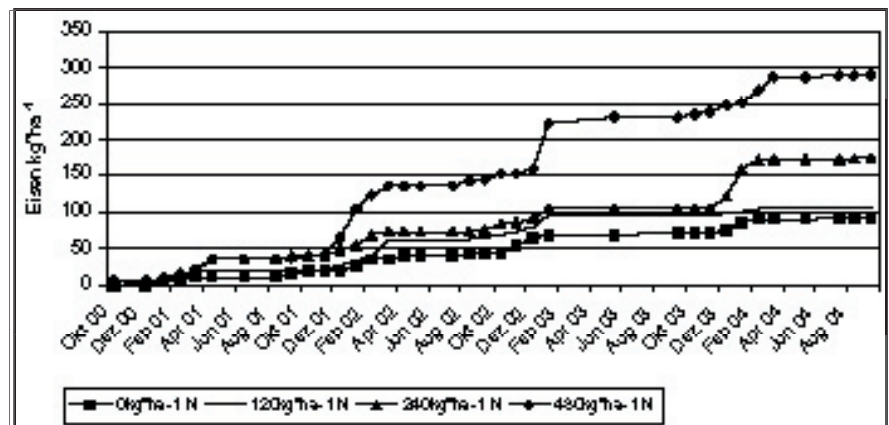


Abbildung 2: Summenkurve der Fe-Frachten nach Varianten (Gesamtsummiierung)

**Tabelle 1: Auswertung von Korrelationen der Datenreihen der Versuchsjahre 2000-2004**

Lysimeter	kg N	r	r	r	r	r	r
		Abfluss: N-Fracht	Abfluss: S-Fracht	Abfluss: Fe-Fracht	N: S-Fracht	N: Fe-Fracht	S: Fe-Fracht
91	0	0,21	0,56 ++	0,49 ++	0,57 ++	-0,06	0,36
89	120	0,67 ++	0,58 ++	0,59 ++	0,44 ++	0,45 ++	0,25
93	240	0,43 ++	0,73 ++	0,49 ++	0,88 ++	0,11	0,24
95	480	0,64 ++	0,74 ++	0,66 ++	0,57 ++	0,78 ++	0,43 ++

++ die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

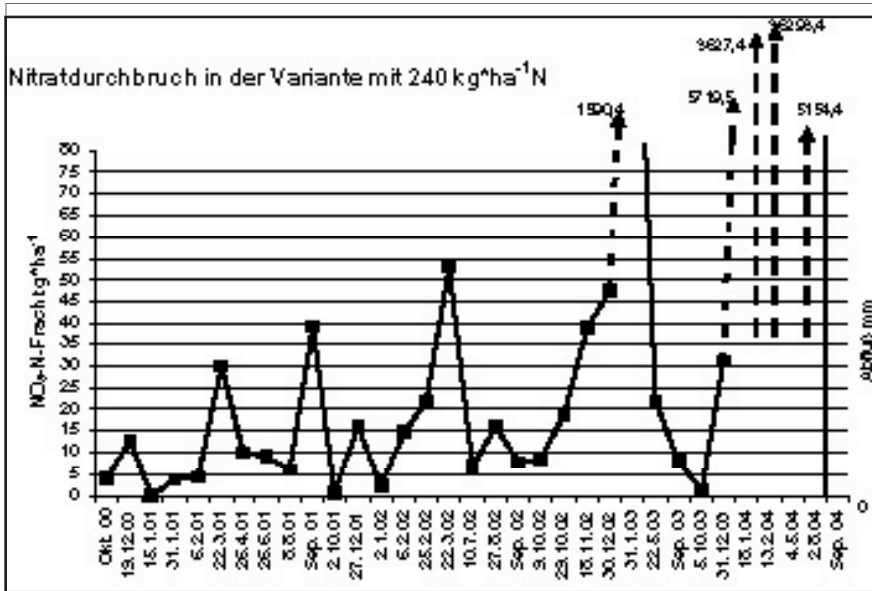


Abbildung 3: Nitratdurchbruch in der Variante mit 240 kg\*ha<sup>-1</sup>N

an und erreicht mit 0,78 einen hochgesicherten Wert.

Die Korrelation S: Fe-Fracht ist nur in der höchsten N-Stufe gesichert.

**NO<sub>3</sub>-Austrag**

In den hydrologischen Jahren 2000/2001 und 2001/2002 waren die NO<sub>3</sub>-Gehalte im Abflusswasser (Durchflusswasser durch die 1,50 tiefe Bodensäule) ausgesprochen gering. Die Jahresfrachten lagen unter 150 g\*ha<sup>-1</sup> an NO<sub>3</sub>-N. In den letzten beiden Jahren entwickelte sich in der Variante 240 kg\*ha<sup>-1</sup> N ein Nitratdurchbruch, da offenbar die vorhandenen Schwefel-Eisenverbindungen im Grundwasserbereich aufgebraucht waren (WENDLAND et.al., 2003). An organischer Substanz stehen ab 60 cm Grundwasserstand auch nur noch 0,58

% (65-80 cm Tiefe) bis 0,17 % (80-120 cm Tiefe) zur Verfügung, so dass kaum weitere Bindungsmöglichkeiten bestanden (Abbildung 3).

Erstaunlicherweise kam ein Nitratdurchbruch bei der Variante 480 kg\*ha<sup>-1</sup> N noch nicht zustande, wenngleich sich die NO<sub>3</sub>-N-Frachten in den letzten beiden hydrologischen Jahren sichtlich erhöhten. Bei zufällig ausgewählten Bodensäulen mit einem Durchmesser von 1 m ist eine erhebliche Streuung in den Gehalten an Pyrit und Markasit durchaus wahrscheinlich (SCHMALZ et.al., 2003).

Der Nitratdurchbruch ist Hinweis darauf, dass die Nitratdüngermenge für den Pflanzenbestand offensichtlich zu hoch war. Es sollte deshalb in der Praxis unter vergleichbaren Bodenbedingungen streng entzugsorientiert gedüngt werden.

Besser noch wäre der Verzicht auf Saatgrasbau und eine extensive Landnutzung mit stark reduziertem Nitratdüngereinsatz.

**Literatur**

DYNISVELD, W., O. STREBEL und J. BÖTTCHER, 1996: Stoffeintrag in das Grundwasser und Stoffumsetzungen in einem Sand Aquifer: Geländemessungen und Modellrechnungen. Von den Ressourcen zum Recycling, Hrsg. Alfred-Wegener-Stiftung, Ernst und Sohn Berlin, S. 47-59.

KÄDING, H., 1986: Modellversuche mit verschiedenen Böden in Kleinstlysimetern zum Austrag von Nitrat, Chlorid und Ammonium. Arch. Acker-Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin 30 2, S. 103-108.

NESTLER, W., J. HERLITZIUS, W. MACHELEIT, M. WILLMS und K. KNÖLLER, / R. TRETTIN, V. SCHMALZ und G. RICHTER, 2003: Fallbeispiel Mockritz. Handbuch Wasserversorgung und Sulfatbelastung des Grundwassers unter land- und forstwirtschaftlichen Flächen. Hrsg. W. Nestler und T. Grischek, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), S. 178-243.

SCHALITZ, G., 2005: Versuchsführer der Forschungsstation Paulinenaue des Zentrums für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg e.V., 70 S.

SCHMALZ, V., T. GRISCHEK und E. WORCH, 2003: Eigenschaften, Umsetzungs- und Transportprozesse von Schwefelverbindungen. Handbuch Wasserversorgung und Sulfatbelastung des Grundwassers unter land- und forstwirtschaftlichen Flächen. Hrsg. W. Nestler und T. Grischek, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), S. 18-27.

WENDLAND, F. und R. KÜNKEL, 1996: GIS-gestützte Modellierung des Nitratstromes im Boden und im Grundwasser der Bundesrepublik Deutschland. Von den Ressourcen zum Recycling, Hrsg. Alfred-Wegener-Stiftung, Ernst und Sohn Berlin, S. 295-310.

WICHMANN, K., W. SCHÄFER, T. NUBER und J. KIEKBUSCH, 2003: Simulation des Stofftransports in der gesättigten Zone. Handbuch Wasserversorgung und Sulfatbelastung des Grundwassers unter land- und forstwirtschaftlichen Flächen. Hrsg. W. Nestler und T. Grischek, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), S. 117-129.

