

Jahrestagung der DBG, Kom. IV  
 Titel der Tagung: Böden - eine endliche  
 Ressource  
 Veranstalter: DBG, September 2009, Bonn  
 Berichte der DBG (nicht begutachtete online  
 Publikation) <http://www.dbges.de>

## **<sup>15</sup>N-Fraktionierung in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> während der Passage von Wasser durch einen Bergregenwald in Ecuador**

Martin T. Schwarz, Yvonne Oelmann,  
 Wolfgang Wilcke

### **Zusammenfassung**

Natürliche Stickstoffisotopenfraktionierungen können Einblicke in N-Umsetzungsprozesse geben. Wir untersuchten die Veränderung von  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> während des gelösten Transports durch einen tropischen Bergregenwald, um N-Transformationen zu bestimmen. Abnehmende  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und zunehmende NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Konzentrationen bei der Wasserpassage des Kronenraums und der organischen Auflage belegten Nitrifikation in diesen Kompartimenten. Abnehmende Konzentrationen und <sup>15</sup>N-Anreicherung in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> während der Auswaschung durch den Mineralboden ließen sich als Rayleigh-Fraktionierung beschreiben und belegten somit Denitrifikation. Während Nitrifikation in der organischen Auflage und Denitrifikation im Mineralboden ganzjährig auftraten, wurde die Nitrifikation im Kronenraum kurzzeitig durch NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Aufnahme unterbrochen, die wahrscheinlich durch die Deposition co-limitierender Spurenelemente induziert war. Somit ließen sich anhand von N-Isotopenfraktionierungen in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Transformationen und gasförmige Emissionen von N nachweisen. Unsere Ergebnisse widersprechen der Annahme, dass tropische Bergregenwälder durch einen geschlossenen Kreislauf von N charakterisiert sind.

**Schlüsselworte:** natürliche <sup>15</sup>N-Häufigkeit, Denitrifikation, Nitrifikation

---

Forschungszentrum für Erdsystemwissenschaften,  
 Professur für Bodenkunde/Bodengeographie, Johannes Gutenberg-Universität, 55099 Mainz,  
 e-mail: [M.Schwarz@geo.uni-mainz.de](mailto:M.Schwarz@geo.uni-mainz.de)

## **1. Einleitung**

Für die Tropen werden erhöhte N-Einträge prognostiziert (Galloway et al. 2004). Daher ist eine Identifikation gegenwärtiger Steuerprozesse des N-Kreislaufs in tropischen Bergregenwäldern, die als N-limitiert angesehen werden (Tanner et al. 1998), wichtig, um die Reaktion des Ökosystems auf erhöhte Einträge abschätzen zu können.

Stickstoff wird hauptsächlich in gelöster Form durch das Ökosystem transportiert. Dabei kommt es zu Transformationen zwischen verschiedenen N-Spezies. Diese Transformationen werden biologisch gesteuert und können als Reaktionen aufgefasst werden, die mit Isotopenfraktionierungen verbunden sind. Nitrat stellt ein Bindeglied zwischen gelösten und gasförmigen N-Spezies dar. Daher versuchen wir, die Veränderung des natürlichen  $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> während des Transports durch einen Bergregenwald als Tracer für N-Transformationen zu verwenden. Unsere Hypothesen waren: (i) N-Isotopenfraktionierungen in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> während der Passage durch einen Bergregenwald zeigen N-Transformationen an und (ii) durch unterschiedliche Fraktionierung reflektierte N-Transformationen variieren saisonal.

## **2. Standort und Methoden**

Das Untersuchungsgebiet war ein Transekt auf etwa 2000 m ü. NN unter ungestörtem tropischen Bergregenwald in steilem Gelände in Südecuador, das in Richtung Amazonasbecken exponiert ist. Die Böden waren lehmige, skelettreiche Braunerden mit mächtigen organischen Auflagen (14-25 cm), in denen die allermeisten Nährstoffe und Wurzeln lokalisiert sind.

Zwischen Juli 2006 und Juni 2007 wurden wöchentlich Proben von Freilandniederschlag (RF), Bestandesniederschlag (TF), dem Perkolat der organischen Auflage (LL), Bodenlösung aus 15 cm (SS15) und 30 cm (SS30) und dem Bachwasser (SW) genommen und zu typspezifischen volumengewichteten Monatsmischproben vereinigt.

In den Wasserproben wurden Konzentrationen von NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N und NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N bestimmt (CFA) und NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nach einer Methode von Silva et al. (2000) in AgNO<sub>3</sub> überführt. Silbernitrat-

salze wurden zu Quartalsmischproben vereinigt, um die für die  $\delta^{15}\text{N}$ -Bestimmung mittels IRMS (GV-Instruments, Manchester, England) benötigte Menge N zu erhalten. Die Quartale beziehen sich auf Niederschlagsverhältnisse im Untersuchungsgebiet: „INT1“ und „INT2“ waren durch durchschnittliche, „DRY“ durch unterdurchschnittliche und „WET“ durch überdurchschnittliche Niederschläge gekennzeichnet.

Für RF und TF wurden die jeweiligen N-Flüsse durch Multiplikation mit den Freiland- bzw. Bestandesniederschlagsvolumina berechnet. Nitratfreisetzung aus der Krone wurde näherungsweise als Differenz der  $\text{NO}_3^-$ -N-Flüsse von TF und RF bestimmt. Denitrifikation während der Auswaschung im Mineralboden bis zum Bach wurde durch Beschreibung als Rayleigh-Fraktionierung untersucht (d.h. es existierte eine exponentielle Korrelation zwischen abnehmenden  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen und ansteigenden  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten in  $\text{NO}_3^-$ , Mariotti et al. 1981). Um den Eintrag brandbürtiger Immissionen nachzuweisen, wurden NOAA12 Satellitendaten verwendet, die vom Nationalen Institut für Weltraumforschung Brasiliens (INPE) zur Verfügung gestellt wurden.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Zunehmende  $\text{NO}_3^-$ -N-Konzentrationen zwischen RF und TF bzw. zwischen TF und LL wiesen die Kompartimente Kronenraum und organische Auflage als  $\text{NO}_3^-$ -Quellen aus (Abb. 1). Stark absinkende  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen zwischen LL, SS15, SS30 und SW deuteten auf effektive  $\text{NO}_3^-$ -Senken im Mineralboden hin.

Entlang des Transportpfades nahmen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in  $\text{NO}_3^-$  von RF über TF bis LL ab und stiegen von LL über SS15 und SS30 bis zu SW an (Abb. 2).

Nitratfreisetzung in der Krone und Diskriminierung gegen  $^{15}\text{N}$  in  $\text{NO}_3^-$  bei der Kronenraumpassage resultierte aus Nitrifikation, die durch bodenartige organische Akkumulationen im Kronenraum begünstigt ist. Ein weiteres Indiz dafür war die Rückhaltung von  $\text{NH}_4^+$  in der Krone (Daten nicht dargestellt). Die intensive  $^{15}\text{N}$ -Abreicherung von  $\text{NO}_3^-$  in LL und die hohe  $\text{NO}_3^-$ -Freisetzung in der organischen Auflage war ebenfalls durch Nitrifikation verursacht. Zwischen den loga-

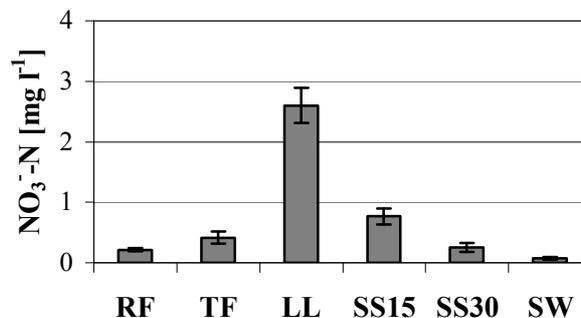


Abb. 1: Mittlere  $\text{NO}_3^-$ -N Konzentration  $\pm$  Standardfehler in Ökosystemlösungen.

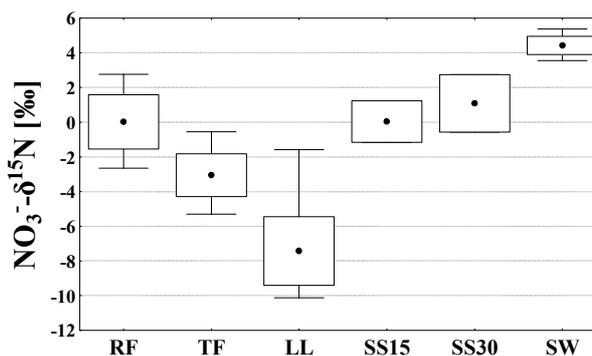
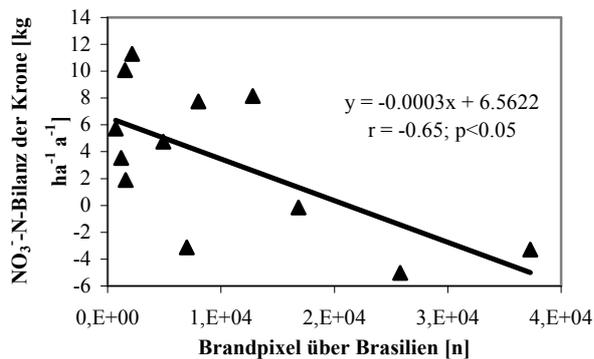


Abb. 2: Mittlerer  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert  $\pm$  Standardfehler und Spannweite in  $\text{NO}_3^-$  in den Ökosystemlösungen.

rithmierten abnehmenden  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen und zunehmenden  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten in  $\text{NO}_3^-$  während der Auswaschung im Mineralboden bis zum Bach bestand ein Zusammenhang ( $r=-0,90$ ;  $p<0,001$ ), was Denitrifikation belegt (Mariotti et al. 1981). Aufgrund hoher  $\text{NO}_3^-$ - und C-Gehalte trat die intensivste  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung durch Denitrifikation im mineralischen Oberboden auf. Im Unterboden und der Uferzone des Baches kam es zu einer geringeren  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung vermutlich aufgrund weniger ausgeprägter Denitrifikation.

Die Freisetzung von  $\text{NO}_3^-$  in der Krone wurde im Quartal INT1 von Rückhaltung unterbrochen. Dies fiel zusammen mit einer  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung von  $\text{NO}_3^-$  bei der Kronenraumpassage. Wir vermuten daher, dass es in dieser Zeit zur Aufnahme von  $\text{NO}_3^-$  durch Mikroorganismen und Pflanzen kam. Nitrataufnahme im Kronenraum des Untersuchungsgebiet steht im Zusammenhang mit brandbürtigen Immissionen aus dem Amazonasbecken (Boy et al. 2008). Obwohl diese mit erhöhter N-Deposition verbunden sind, nehmen wir an, dass die Deposition co-limitierender Nährstoffe (z.B. Mn) während solcher Ereignisse die N-Aufnahme stimulierte (Boy et al. 2008). Der Zusam-

menhang zwischen Waldbrandhäufigkeit in Brasilien und Nitratfreisetzung in der Krone bestand auch für den hier untersuchten Zeitraum (Abb. 3).



**Abb. 3:** Waldbrandhäufigkeit ausgedrückt als Zahl der Brandpixel über Brasilien und NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-Freisetzung aus der Krone.

Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte von NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in LL waren zwischen INT1, DRY und INT2 konstant (-9,4±0,8‰), aber in WET deutlich höher (-1,6‰). Dies fiel zusammen mit signifikant niedrigeren NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N-Konzentrationen (0,05±0,02mg l<sup>-1</sup>) gegenüber anderen Quartalen (0,63±0,14mg l<sup>-1</sup>), sodass eine höhere relative Ausbeute des Nitrifikationspools, resultierend aus verringerter Ammonifikation, zu einer geringeren Fraktionierung bei der Nitrifikation in WET führte.

Denitrifikation war nicht auf regenreiche Phasen beschränkt. Im Gegensatz zu INT1, DRY und INT2, trat in WET die stärkste <sup>15</sup>N Anreicherung in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> im mineralischen Unterboden auf. Dies kann durch eine rasche vertikale NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Auswaschung durch den Oberboden in den regenreichen Monaten begründet sein.

#### 4. Schlussfolgerungen

Die Veränderungen des  $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes in NO<sub>3</sub><sup>-</sup> während des Transports durch einen tropischen Bergregenwald ermöglichten die Identifikation von Nitrifikation im Kronenraum und der organischen Auflage und Denitrifikation im Mineralboden. Ebenso ließ sich eine Unterbrechung der Netto-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Freisetzung aus der Krone durch Netto-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Aufnahme belegen. Die Ammonifikation in der organischen Auflage war im feuchtesten Quartal herabgesetzt, sodass die <sup>15</sup>N-Fraktionierung durch Nitrifikation geringer war. Wir folgern, dass der untersuchte Bergregenwald einen offenen N-Kreislauf hat, in

dem bedeutende gasförmige N-Emissionen auftreten. Die prognostizierten erhöhten N-Einträge werden die gasförmigen N-Verluste vermutlich verstärken.

#### 5. Danksagung

Wir bedanken uns bei Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) und Instituto Forestal de Areas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN). Außerdem danken wir dem Zentrum für Erdsystemwissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Diese Studie wurde von der DFG (DFG-FOR 816, Wi1601/8-1) finanziert.

#### 6. Literatur

- Boy, J., R. Rollenbeck, C. Valarezo, and W. Wilcke. 2008. Amazonian biomass burning-derived acid and nutrient deposition in the north Andean montane forest of Ecuador. *Global Biogeochemical Cycles* 22 GB4011. doi:10.1029/2007GB003158.
- Galloway, J.N., F.J. Dentener, D.G. Capone, E.W. Boyer, R.W. Howarth, S.P. Seitzinger, G.P. Asner, C.C. Cleveland, P.A. Green, E.A. Holland, D.M. Karl, A.F. Michaels, J.H. Porter, A.R. Townsend, and C.J. Vorosmarty. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry* 70:153-226.
- Mariotti, A., J.C. Germon, P. Hubert, P. Kaiser, R. Letolle, A. Tardieux, and P. Tardieux. 1981. Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation - some principles - illustration for the denitrification and nitrification processes. *Plant and Soil* 62:413-430.
- Silva, S.R., C. Kendall, D.H. Wilkison, A.C. Ziegler, C.C.Y. Chang, and R.J. Avanzino. 2000. A new method for collection of nitrate from fresh water and the analysis of nitrogen and oxygen isotope ratios. *Journal of Hydrology* 228:22-36.
- Tanner, E.V.J., Vitousek, P.M., and E. Cuevas. 1998. Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth on wet tropical mountains. *Ecology* 79:10-22.