

# Formen der atmogenen N-Deposition und deren Bestimmung in Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung der <sup>15</sup>N-Isotopenverdünnungsmethode (ITNI)

*F. Böhme und R. Russow*

*UFZ Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung, Halle/Saale*

## 1. Problemstellung

Mit der Erfindung der Ammoniak-Synthese durch Haber und Bosch (1913) besteht die Möglichkeit der nahezu unbegrenzten Herstellung von synthetischem Stickstoffdünger. Das führte weltweit zu einer exponentiellen Zunahme der Anwendung dieser Dünger in der Landwirtschaft (1950: 7,5; 1990: 80 Mill. t N/a). Weiterhin werden durch den verstärkten Anbau von Leguminosen, insbesondere im Öko-Landbau, den Böden über das naturgegebene Maß hinaus fixierter Luftstickstoff zugeführt. Zusätzlich gelangen über Verbrennungsprozesse in Haushalt, Industrie und Verkehr erhebliche N-Mengen in Form von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) in die Atmosphäre. Diese Entwicklung hat insgesamt dazu geführt, dass heute global durch die anthropogene Zufuhr von ca. 140 Mill. t N/a gegenüber der natürlich fixierten Menge von 90-110 Mill. t N/a (nur terrestrisch) der Input an reaktivem Stickstoff<sup>1</sup> in den globalen N-Kreislauf mehr als verdoppelt wurde (GALLOWAY & COWLING 2002). Weiterhin kommt es in den entwickelten Ländern wie z.B. Deutschland durch den Import an eiweißreichen Futtermitteln aus Drittländern zu einer Verschärfung dieses „Stickstoffproblems“. So wies die Stickstoffbilanz der Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland noch in der ersten Hälfte der 90er Jahre einen Überschuss von teilweise mehr als 100 kg/ha Stickstoff pro Jahr auf, das sind ca. 2 Mill. t Stickstoff, die Grundwasser und Atmosphäre belasten (ISERMANN & ISERMANN 1995a; 1998; KÖRSCHENS 1993). Ein Teil dieses Überschusses wird in Form von Ammoniak (Tierhaltung) in die Atmosphäre emittiert sowie diffus als Nitrat und N-haltige Spurengase aus den Böden ausgetragen (ISERMANN & ISERMANN 1995a; ASMAN et al. 1998; ISERMANN 2002). Eine informative kurze Darstellung des globalen Stickstoffproblems findet man bei COWLING et al. (2001).

Der Stickstoff ist in Form von NO<sub>x</sub> und Ammoniak in der Atmosphäre und Nitrat in den Fließgewässern auch ein relativ mobiles Element, das sich so flächendeckend über alle

---

<sup>1</sup> biologisch, photochemisch und strahlungsaktive Stickstoffverbindungen

Ökosysteme ausbreiten kann. Das emittierte  $\text{NH}_3$  und  $\text{NO}_x$  wird überwiegend als atmosphärischer N-Eintrag wieder auf der Erdoberfläche deponiert (atmosphärische N-Deposition). Über die Höhe dieses atmosphärischen Stickstoff-Inputs (ohne biologische N-Fixierung) pro Flächeneinheit und dessen Verteilung herrscht noch große Unsicherheit.

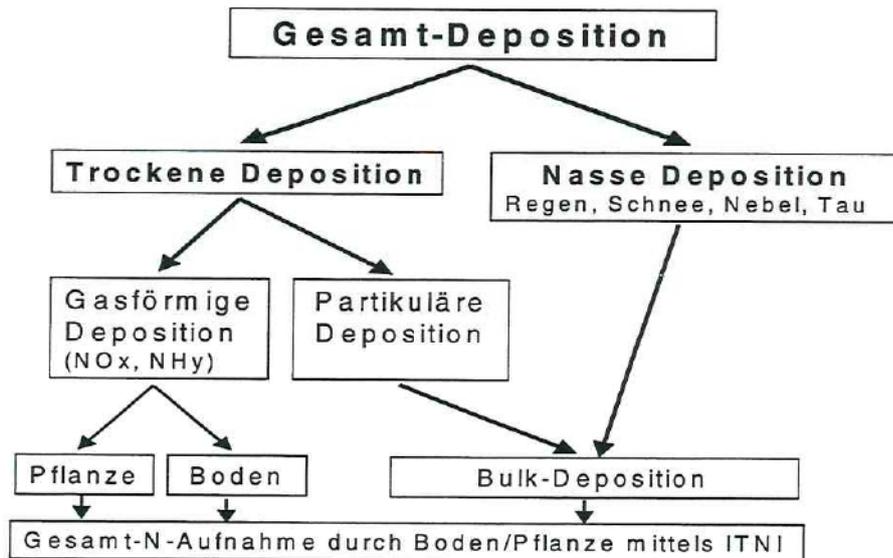
Eine einfache Abschätzung für Anfang der 90er Jahre führte aufgrund der damaligen gasförmigen N-Emissionen ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_y$ ) von ca. 2 Mill. t N/a und unter Berücksichtigung von Ex- und Import über die Atmosphäre zu einer durchschnittlichen N-Deposition für Deutschland von ca. 45 kg N/ha\*a (RUSSOW & WEIGEL 2000). Heute sind die gasförmigen N-Emissionen, insbesondere  $\text{NO}_x$ , deutlich zurückgegangen und betragen nur noch ca. 1,1 Mill. t N/a (UBA 2001; ISERMANN 2002), so dass sich eine ebenfalls verringerte durchschnittliche N-Deposition von 34 kg N/ha\*a ergeben würde.

Tatsächlich rechnete man für Deutschland in der Vergangenheit meistens mit einem durchschnittlichen Wert von 30 kg N/ha\*a (ISERMANN 1992; ISERMANN & ISERMANN 1995a; EICHHORN 1995). Diese Angabe leitet sich her aus Messungen des anorganischen Stickstoffs (Ammonium, Nitrat) in der nassen (Wet Only) oder Bulk-Deposition. N-Bilanzen von Dauerfeldversuchen ohne N-Düngung, z.B. der Statische Düngungsversuch am Standort Bad Lauchstädt, ergeben aber dauerhaft N-Entzüge von 40-60 kg N/ha\*a (WEIGEL et al. 2000) und weisen damit darauf hin, dass der wirkliche N-Eintrag in das System Boden/Pflanze deutlich höher sein muss. Umfangreiche Untersuchungen (DITTRICH et al. 1995; MEHLERT 1996) am Standort Leipzig und Bad Lauchstädt (Feldversuchsstation des UFZ, ca. 15 km südwestlich von Halle/Saale) zeigten jedoch, dass zusätzlich zu der mit der üblichen Wet Only- und Bulk-Methodik erfassten N-Menge erhebliche Mengen an organischen und gasförmigen N-Verbindungen eingetragen werden und die Pflanzen auch Stickstoff direkt über die oberirdischen Pflanzenorgane aktiv aufnehmen.

Diese unfreiwillige N-Düngung aus der Luft stellt für naturnahe Ökosysteme eine erhebliche Belastung dar. Für landwirtschaftlich genutzte Flächen ist sie eine Gratisdüngung, die es jedoch zur Minimierung von N-Überschüssen zu berücksichtigen gilt. Dazu muss ihr wirkliches Ausmaß bekannt sein.

## **2. Einteilung der atmosphärischen N-Deposition und deren Bestimmung**

Eine in der Fachliteratur übliche und in den folgenden Ausführungen benutzte Einteilung der atmosphärischen, besser atmosphärischen N-Deposition ist in Abb.1 dargestellt.



**Abb. 1:** Formen der atmosphären N-Deposition

Bei der Bestimmung der atmosphären N-Deposition unterscheidet man direkte (Messverfahren) und indirekte (Bilanzverfahren) Methoden. Im Folgenden soll auf die direkten Methoden näher eingegangen werden.

Zur Charakterisierung der atmosphären N-Deposition wird, da einfach bestimmbar, meistens die nasse oder Bulk-Deposition herangezogen. Dabei erfasst man nur den anorganischen Stickstoff, obwohl, wie entsprechende Untersuchungen zeigen (MEHLERT 1996; CAPA 2001), der ebenfalls deponierte organische Stickstoff mit erfasst werden muss, da auch dieser letztendlich als reaktiver Stickstoff wirkt.

Die gasförmige N-Deposition ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_y$ ), die sich aus einer passiv durch den Boden und einer aktiv durch oberirdische Pflanzenteile aufgenommenen Komponente zusammensetzt, ist schwieriger zu bestimmen. Zur direkten Messung werden mikrometeorologische Methoden eingesetzt (SIEVERING 1987; WYERS et al. 1992; FIEDLER 1993). Da diese Methoden einen sehr hohen messtechnischen Aufwand erfordern und nur bei Standorten ausreichender horizontaler Homogenität anwendbar sind, wird die gasförmige Deposition häufig aus der Immissionskonzentration und Depositionsgeschwindigkeit der betreffenden Gaskomponente berechnet (SEHMEL 1980; SIEVERING 1987; SIEVERING et al 2000; PETERS & EIDEN 1992). Für die Immissionskonzentration von  $\text{NO}_x$  und  $\text{NH}_3$  gibt es erprobte Standardmethoden. Die Depositionsgeschwindigkeit ist aber messtechnisch nur über mikrometeorologische Verfahren mit den oben erwähnten Nachteilen zugänglich und wird daher meistens nach dem Widerstandsmodell (FOWLER 1978; BALDOCCHI et al. 1987; WESELY 1989) berechnet. Aufgrund der hohen Variabilität der einzelnen Teilwiderstände, insbesondere des

Übergangswiderstandes von der Grenzschicht über der Blattoberfläche in das Blatt sind die in der Literatur genannten Gesamtdositionsgeschwindigkeiten mit sehr großen Unsicherheiten behaftet.

Die Gesamtdosition, wie sie z.B. in flächendeckenden Dositionskatastern (GAUGER et al. 2000) dargestellt sind, werden aus punktuellen Bulk-Dositionsmessungen und der modellierten gasförmigen Dosition errechnet. Diese Werte enthalten nicht den deponierten organischen Stickstoff, die nasse Dosition über Tau und Nebel sowie nur unvollständig die aktive N-Aufnahme durch oberirdische Pflanzenteile. Diese Methodik führt neben der geringen Präzision zu einer Unterbestimmung des tatsächlichen Eintrages in das System Boden/Pflanze.

Zur experimentellen Bestimmung des gesamten atmogenen N-Eintrages in das System Boden/Pflanze, also inklusive der Aufnahme gasförmiger N-Verbindungen und der direkten N-Aufnahme durch oberirdische Pflanzenorgane sowie des organischen Stickstoffs, wurde am UFZ das ITNI-System (Integral Total Nitrogen Input) auf der Basis der  $^{15}\text{N}$ -Isotopenverdünnungsmethode entwickelt und in die Routine der Feldversuchs- und Messtechnik des UFZ am Standort Bad Lauchstädt eingeführt (MEHLERT 1996; RUSSOW & WEIGEL 2000; RUSSOW et al. 2001). Nachfolgend wird das ITNI-System an Hand neuer Ergebnisse für verschiedene Standorte in Sachsen-Anhalt (BÖHME et al. 2002) näher beschrieben.

### **3. Das ITNI-System - am Beispiel von Untersuchungen an vier Standorten in Sachsen-Anhalt\***

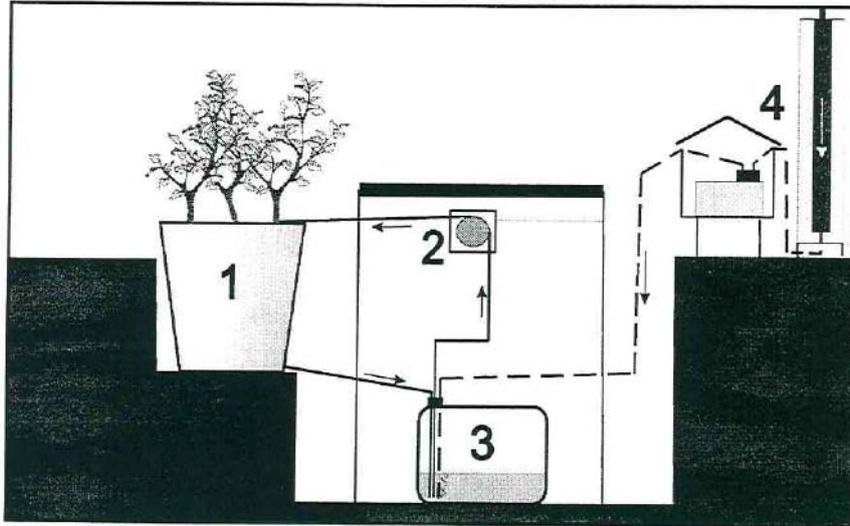
#### **3.1 Material und Methoden**

Das ITNI-System (Integral Total Nitrogen Input) erfasst auf der Basis der  $^{15}\text{N}$ -Isotopenverdünnungsmethode integral über eine bestimmte Vegetationsperiode den Eintrag an Gesamtstickstoff aus der Atmosphäre (Bulk-N-Dosition, gasförmiger N-Eintrag, direkt von der Pflanze aufgenommener Stickstoff) in ein Boden/Pflanzen-System. Da in situ eine  $^{15}\text{N}$ -Markierung der N-Immissionen aus der Atmosphäre praktisch nicht möglich ist, wird analog zur Verfahrensweise bei der Bestimmung der biologischen Stickstofffixierung bei Leguminosen (MCAULIFFE 1958) der Empfängerpool, d.h. das System Boden/Pflanze markiert (vgl. Schema in Abb. 2).

---

\* gefördert durch: Kultusministerium Sachsen-Anhalt; FKZ 2853A/0028G





**Abb. 3**

Prinzipskizze des ITNI-Meßsystems:

1 – Vegetationsgefäß, 2 – Schlauchpumpe, 3 – Nährlösungspuffer-Behälter,

4 – Belüftungssystem mit Pumpe und Aktivkohlefilter

— Nährlösungskreislauf; - - - Belüftung

Für die hier beschriebenen Untersuchungen und Ergebnisse wurden als Monitorpflanzen die Nutzpflanzen Mais und Winterroggen gewählt (zum Einfluss von Monitorpflanze und Biomassebildung siehe MEHLERT 1995 und RUSSOW & BÖHME 2002). Die Vegetationszeit von Mais im ITNI-Meßsystem betrug 4 Monate (05/1999 bis 08/1999) und von Winterroggen 8 Monate (09/1999 bis 04/2000), so dass der atmosphärische N-Gesamteintrag eines kompletten Kalenderjahres erfasst werden konnte.

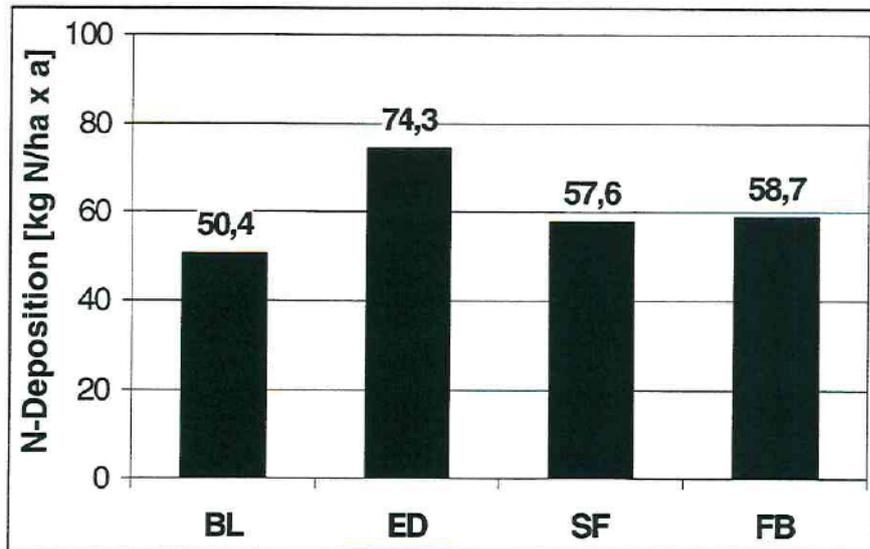
Die in vierfacher Wiederholung angelegten Experimente wurden nach Ablauf der oben genannten Vegetationszeiten geerntet. Anschließend erfolgte die Analyse des  $N_t$ - und  $^{15}N$ -Gehaltes in der Sand-, Nährlösungs- und Pflanzenfraktion, auf deren Basis die eingetragene Stickstoffgesamtmenge berechnet wurde.

Das ITNI-Meßsystem wurde an vier Standorten in Sachsen-Anhalt aufgestellt. Die Standorte Bad Lauchstädt und Etdorf lagen auf der Querfurter Platte innerhalb des Mitteldeutschen Trockengebietes. Weitere Standorte waren das Dorf Siptenfelde im Harz und der Ort Falkenberg bei Seehausen in der Altmark.

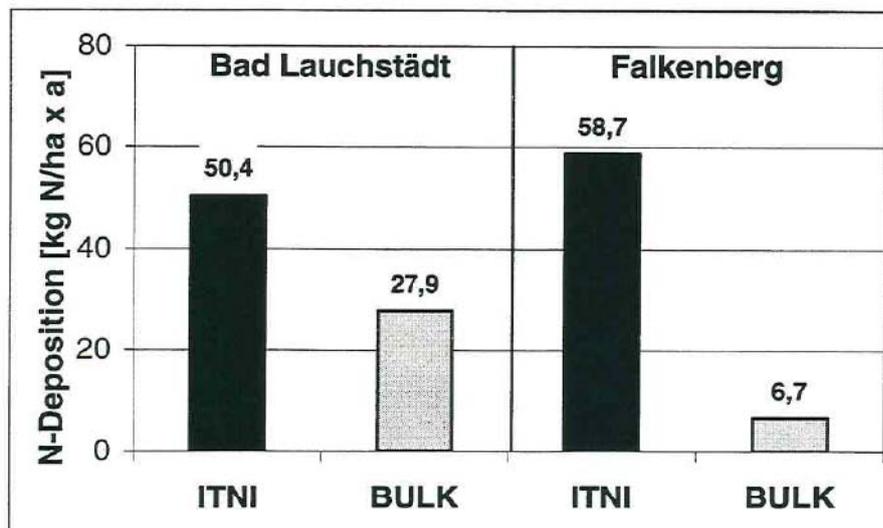
### 3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Meßperiode Mai 1999 bis April 2000 sind in Abbildung 4 dargestellt. Ergänzend dazu zeigt Abbildung 5 den Vergleich zwischen der mit dem ITNI-System

gemessenen Deposition und der Bulk-N-Deposition an den Standorten Bad Lauchstädt und Falkenberg.



**Abb. 4:** Atmosphärische Stickstoffdeposition an den Standorten Bad Lauchstädt (BL), Etzdorf (ED), Siptenfelde (SF) und Falkenberg (FB) im Zeitraum Mai 1999 – April 2000



**Abb. 5:** Vergleich der gemessenen atmosphärischen N-Deposition und der Bulk-N-Deposition an den Standorten Bad Lauchstädt und Falkenberg (FB) für den Zeitraum Mai 1999 – April 2000

Ersichtlich ist, dass die mittels ITNI-System gemessenen atmosphärischen Stickstoffeinträge an allen vier Standorten wesentlich über den für Mitteldeutschland angenommenen N-Depositionswerten von 30-35 kg N/ha x a lagen. Aus dem Vergleich der Standorte Bad

Lauchstädt und Falkenberg wird der Unterschied zwischen beiden Sammlern deutlich. Die mittels ITNI System gemessenen N-Einträge waren teilweise um ein vielfaches höher als die Bulk-N-Werte.

Dass es sich bei den in Abbildung 4 dargestellten Stickstoffeinträgen um repräsentative Werte handelt, zeigen die in Tabelle 1 zusammengefassten Depositionswerte für den Zeitraum 1994 bis 1999 vom Standort Bad Lauchstädt (RUSSOW et al 2001).

Auch hier lagen die durch das ITNI-Meßsystem ermittelten N-Einträge über der bisher für den Mitteldeutschen Raum angenommenen N-Deposition.

Für den Standort Bad Lauchstädt ergibt sich somit von 1994 bis zum Jahr 2000 ein atmogener Stickstoffeintrag von  $63 \pm 12$  kg N/ha×a.

**Tabelle 1**

Stickstoffdeposition von 1994 bis 1999 am Standort Bad Lauchstädt

Jahr	Stickstoffdeposition [kg N/ha × a]	SD
1994	62	8,0
1995	65	5,0
1996	73	14,0
1997*	80	21,0
1998	65	9,0
1999	45,6	6,0

\* kein geschlossener Datensatz

Dass die durch das ITNI-System gemessenen Stickstoffdepositionswerte deutlich über den durchschnittlichen Werten von Wet Only- und Bulk-Sammlern liegen ist darin begründet, dass letztere nur Ammonium und Nitrat messen. Organisches N, die gasförmige Stickstoffdeposition und die direkte N-Aufnahme werden nicht miterfasst.

Neben der direkten Quantifizierung des atmosphärischen Stickstoffgesamteintrages mittels des ITNI-Meßsystems konnten auch indirekt durch N-Bilanzen von Dauerfeldversuchen die ermittelten Größen der N-Depositionen bestätigt werden (z.B. Standort Bad Lauchstädt: 50-60 kg N/ha×a; WEIGEL et al. 2000).

Der Wert des atmogenen Stickstoffeintrages ist einerseits standortbedingt (z.B. Niederschlagsmenge, anthropogene Einflüsse), andererseits zeigte sich auch in ersten Untersuchungen, dass die Art der Pflanze (Blattfläche) und deren Entwicklung die Höhe der gemessenen Stickstoffdeposition beeinflusst. Um konkrete Aussagen hierzu treffen zu können, sind jedoch noch weitere Untersuchungen notwendig.

#### 4. Schlussfolgerung

Der atmogene N-Eintrag wurde für Deutschland, basierend auf klassischen Wet Only- oder Bulk-Sammlern, bisher durchschnittlich mit 30-35 kg/ha angegeben. Diese Werte enthalten aufgrund der genannten Methodik nicht die gasförmige Deposition, die direkte aktive N-Aufnahme durch oberirdische Pflanzenteile und den atmosphärischen Eintrag an organischem Stickstoff.

Das neu entwickelte ITNI-Meßsystem, mit dem über eine bestimmte Vegetationsperiode der Gesamteintrag an atmogenen Stickstoff in ein Boden/Pflanzen-System bestimmt werden kann, führt für Sachsen-Anhalt zu wesentlich höheren Werten von 46-74 kg/ha. Diese Ergebnisse und die indirekt aus N-Bilanzen von Dauerversuchen erhaltenen Werte belegen, dass der atmogene N-Eintrag in der Vergangenheit unterschätzt wurde.

Die bisher nur für den Mitteldeutschen Raum vorliegenden Ergebnisse sollten in der Zukunft durch deutschlandweite Messungen validiert werden. Weiterhin bedarf der Einfluss der Monitorpflanze und die Höhe der <sup>15</sup>N-Düngergabe auf das Ergebnis weiterer Untersuchungen. Die nachgewiesenen hohen N-Einträge stellen für naturnahe Ökosysteme eine hohe Belastung und Gefährdung dar, da sie die Critical Loads für alle naturnahen Ökosysteme deutlich überschreiten. Für Agrarökosysteme, deren Kulturen auf eine hohe N-Verwertung gezüchtet sind, stellen diese atmogenen N-Mengen keine Belastung, sondern eine Gratis-N-Düngung dar, die jedoch bei der Bemessung der N-Düngergaben unbedingt zu berücksichtigen ist. Da der Landwirt diese Gratisdüngung jedoch nicht steuern kann, schränkt sie seinen Spielraum bei der bedarfs- und termingerechten N-Düngung ein – ist also letztendlich auch nachteilig für das agronomische Management.

#### 5. Literatur

- ASMAN, W.A.H., SUTTON, M.A. & SCHJOERRING, J.K. (1998): Ammonium: emission, atmospheric transport and deposition. *New Phytol.* 139, 27-48.
- BALDOCCHI, D.D., HICKS, B.B. & CAMARA, P. (1987): A canopy resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment* 21, 91-101.
- BÖHME, F., RUSSOW, R. & NEUE, H.-U. (2002): Airborne Nitrogen Input at Four Locations in the German State of Saxony-Anhalt – Measurements Using the <sup>15</sup>N-Based ITNI-System. *Isotopes Environ. Health Stud.* 38, im Druck.

- CAPA, J.N., KIRIKA, A., ROWLAND, A.P., WILSON, D.R., JICKELLS, T.D. & CORNELL, S. (2001): Organic nitrogen in precipitation. Real problem or sampling artefact. *The Scientific World* 1, ISSN 1532-2246.
- COWLING, E. et al. (2001): Optimizing nitrogen management in food and energy production and environmental protection: summery statement from the 2<sup>nd</sup> International Nitrogen Conference, Potomac, Maryland USA, 14.10. – 18.10.2001, 6-15.
- DITTRICH, P., MEHLERT, S. & RUSSOW, R. (1995): Depositionsmessungen von atmogenem Ammoniak und NO<sub>x</sub> auf agrarisch genutzten Standorten mittels der <sup>15</sup>N-Isotopenverdünnungsanalyse. *Isotopes Environ. Health Stud.* 31, 391.
- EICHHORN, J. (1995): Stickstoffsättigung und ihre Auswirkung auf Buchenwaldökosysteme der Fallstudie Zierenberg. *Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme Göttingen, Reihe A*, 124, S. 175.
- FAUST, H., BORNHAK, H., HIRSCHBERG, K., JUNG, K., JUNGHANS, P. & KRUMBIEGEL, P. (1981): <sup>15</sup>N-Anwendung in der Biochemie, Landwirtschaft und Medizin. In: *Schriftenreihe Anwendung von Isotopen und Kernstrahlung in Wissenschaft und Technik*, Nr. 5, Isocommerz Berlin.
- FIEDLER, F. (1993): Development of meteorological computer models. *Interdisciplinary sciences reviews* 18/3, 192-198.
- FOWLER, D. (1978): Dry deposition on agricultural crops. *Atmos. Environ.* 12, 369-373.
- GAUGER, TH., KÖBEL, R. & ANSHELM, F. (2000): Kritische Luftschadstoff-Konzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald und Agraökosysteme sowie naturnahe walsfreie Ökosysteme, Teil 1: Depositions Loads 1987-98 und 1993-95. Institut für Navigation der Universität Stuttgart im Auftrag des UBA, 83-121.
- GALLOWAY, J.N. & COWLING, E.B. (2002): Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. *Ambio* 31, 64-71.
- ISERMANN, K. & ISERMANN, R. (1995): Tolerierbare Emissionen des Stickstoffes einer nachhaltigen Landwirtschaft, ausgerichtet an den kritischen Eintragsraten der naturnahen Ökosysteme, *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 76, 547-550.
- ISERMANN, K. & ISERMANN, R. (1998): Food production and consumption in Germany: N-flows and N-emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52, 289-301.

- ISERMANN, K. (2002): Die Stickstoff-Flüsse im Ernährungsbereich von Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der Landwirtschaft. KTBL-Symposium „Emissionen der Tierhaltung und beste verfügbare Techniken zur Emissionsminderung.“, Kloster Banz, 03.-05.12.2001, KTBL-Schrift 406, 1-20.
- MCAULIFFE, C., CHAMBLEE, D.S., URIBE-ARANGO, H. & WOODHOUSE, W.W. (1958): Influence of inorganic nitrogen on nitrogen fixation by legumes as revealed by  $^{15}\text{N}$ . *Agronomy J.*, 50, 334-337.
- MEHLERT, S., RUSSOW, R., SCHMIDT, G. & FAUST, H. (1995): Measuring of the integral airborne nitrogen-input into a soil-plant system by the  $^{15}\text{N}$  isotope dilution method. *Isotopes Environ. Health Stud.*, 31, 377 - 383.
- MEHLERT, S. (1996): Untersuchungen zur atmogenen Stickstoffdeposition und zur Nitratverlagerung. Dissertation Universität Hamburg, UFZ-Bericht, 22/1996.
- PETERS, K. & EIDEN, R. (1992): Modelling the dry deposition velocity of aerosol particles to a spruce forest. *Atmospheric Environment* 22, 1155-1162.
- RUSSOW, R. & WEIGEL, A. (2000): Atmogener N-Eintrag in Boden und Pflanzen am Standort Bad Lauchstädt: Ergebnisse aus  $^{15}\text{N}$ -gestützten Direktmessungen (ITNI-System) im Vergleich zur indirekten Quantifizierung aus N-Bilanzen des Statischen Dauerdüngungsversuches. *Arch. Acker- Pfl. Boden* 45, 399-416.
- RUSSOW, R.W.B., BÖHME, F. & NEUE, H.-U. (2001): A New Approach to Determine the Total Airborne N Input into the Soil/Plant System Using  $^{15}\text{N}$  Isotope Dilution (ITNI): Results for Agricultural Areas in Central Germany, *The ScientificWorld*, 1, 255-260.
- RUSSOW, R. & BÖHME, F. (2002): Quantifizierung des atmosphärischen Stickstoff-Gesamteintrages in ein Boden-Pflanzen-System in Abhängigkeit vom Standort in Sachsen-Anhalt. Abschlussbericht zu einem vom Kultusministerium Sachsen-Anhalt geförderten Projekt, FKZ 2853A/0028B.
- SIEVERING, H. (1987): Small-particle dry deposition under high wind speed conditions: eddy flux measurements at the Boulder Atmospheric Observatory. *Atmospheric Environment* 21, 2179-2185.
- SIEVERING, H., FERNANDEZ, I., LEE, J., HOM, J. & RUSTAD, L. (2000): Forest canopy uptake of atmospheric deposition at eastern U.S. conifer sites: Carbon storage implications? *Global Biogeochemical Cycles* 14 (4), 1153-1159.
- SEHMEL, G.A. (1980): Particle and gas dry deposition: a review. *Atmospheric Environment* 14, 983-1011.
- UBA (2001): Umweltbundesamt, Daten zur Umwelt, Erich Schmidt Verlag, 7. Ausgabe.

- WEIGEL, A., RUSSOW, R. & KÖRSCHENS, M. (2000): Quantification of airborne N-input in Long-Term Field Experiments and its validation through measurements using  $^{15}\text{N}$  isotope dilution. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163, 261-265.
- WESELEY, M.L (1989): Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. *Atmospheric Environment* 23, 1293-1304.
- WYERS, G.P., VERMEULEN, A.T. & SLANINA, J. (1992): Measurement of dry deposition of ammonia on a forest. *Environmental Pollution* 75, 25-28.



# UFZ-Bericht

UFZ-UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE GMBH

Nr. 16/2002

---

## **Stickstoff – ein Nährstoff aus dem Gleichgewicht**

Ergebnisse aus dem Workshop "N-Deposition in Agrarökosystemen" vom 2. bis 3. Mai 2002

---

Uwe Franko (Hrsg.)

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Sektion Bodenforschung

ISSN 0948-9452