

**BESTIMMUNG VON VERTIKALEN STOFFFLÜSSEN IN DER BODENNAHEN
ATMOSPHERE MIT HILFE DES GRADIENTEN-MODELLS**

Ulrich Dämmgen, Ludger Grünhage und Hans-Jürgen Jäger

ABSTRACT

One of the continuously operating methods for the determination of vertical fluxes of air-borne matter is the gradient method. The theoretical background for both the gradient and the eddy correlation methods is Schmidt's exchange-coefficient hypothesis. The calculation of fluxes by the gradient method requires the determination of the friction velocity u_* and of the differential dc/du , where c is the concentration of the compound under consideration and u is the mean horizontal wind velocity. Direct calculations of u_* make use of ultrasonic anemometers. The differential has to be determined from simultaneous measurements of the respective wind velocities and concentrations at at least 4 heights. Values obtained from these measurements meet the requirements of element balancing in ecosystems. Because ultrasonic anemometers are not generally available, u_* , as a rule, is estimated in an indirect way. This requires a simplifying of assumptions. The fluxes calculated in this way are more or less reliable estimates. However, these measurements still show that emissions from agroecosystems may be a major source of atmospheric ammonia.

keywords: *vertical fluxes, air-borne matter, gradient method, Schmidt's exchange-coefficient hypothesis*

Die Bilanzierung von Stoffflüssen in terrestrischen Ökosystemen zeigt, daß bei einer Reihe von Elementen die Stoffeinträge aus der Luft wesentlich aus der Gasphase bzw. dem Schwebstaub erfolgen. Die Verfahren zur Bestimmung der vertikalen Stoffflüsse lassen sich in direkte (Lysimeter- und Tracerexperimente) und indirekte Methoden (Widerstandsmethode, Eddy-Korrelation und die beiden Gradientenverfahren (indirekte bzw. direkte Bestimmung der Schubspannungsgeschwindigkeit)) unterteilen (vgl. DÄMMGEN et al. 1989a). Nur die indirekten Verfahren sind für kontinuierliche Messungen im Ökosystem geeignet. Sie alle gehen von der Annahme aus, daß die sog. Austauschkoefizientenhypothese nach Schmidt anwendbar ist, derzufolge der mittlere Fluß F_E einer übertragbaren konservativen Größe E durch eine Ebene parallel zu einer Oberfläche mit folgender Gleichung beschrieben werden kann:

$$F_E = \text{const} \cdot \frac{dE}{dz} - P_E \cdot \overline{E' \cdot w'} - E \cdot \overline{P_E' \cdot w'} - \overline{E' \cdot P_E' \cdot w'} \quad (1)$$

- P_E Dichte der übertragbaren Größe E bei gegebenem Druck
- $\overline{E' \cdot w'}$ zeitliches Mittel der Produkte der Fluktuationen der austauschbaren konservativen Größe E und der vertikalen Windgeschwindigkeit w
- $\overline{P_E' \cdot w'}$ zeitliches Mittel der Produkte der Fluktuationen der Dichte von E und der vertikalen Windgeschwindigkeit w
- $\overline{E' \cdot P_E' \cdot w'}$ zeitliches Mittel der Produkte der Fluktuationen von E , P_E und w
- z Höhe über Grund

Unter der Annahme, daß die beiden Terme ($\overline{E P_E' w'}$) und ($\overline{E' P_E' w'}$) vernachlässigbar klein sind, da P_E' klein ist, vereinfacht sich Gleichung 1 zu:

$$F_E = \text{const} \frac{dE}{dz} - P_E \cdot \overline{E' \cdot w'} \quad (2)$$

Für Stoffflüsse ist die übertragbare Größe eine Stoffkonzentration x bzw. die Massenkonzentration c . Für alle Verbindungen, deren Analyse zeitliche Auflösungen in der Skala der Fluktuationen der Windgeschwindigkeiten nicht zuläßt, sind weitere Annahmen erforderlich: Der Stofftransport läßt sich wie der Impulstransport behandeln; er ist mit einer einfachen Differentialgleichung zu beschreiben. Danach läßt sich der Stofffluß F_t in der turbulenten Atmosphäre mit Hilfe der Gleichung 3 berechnen:

$$F_t = -\overline{u' \cdot w'} \cdot \frac{dc}{du} \quad (3)$$

u mittlere horizontale Windgeschwindigkeit

$\overline{u' \cdot w'}$ zeitliches Mittel der Produkte der Fluktuationen der horizontalen Windgeschwindigkeit u und der vertikalen Windgeschwindigkeit w

Die Quadratwurzel des ersten Terms wird in der Regel als Schubspannungsgeschwindigkeit u^* definiert. Die direkte Bestimmung von u^* erfordert den Einsatz trägheitsfreier Anemometer. Das Differential muß aus simultanen Messungen von Windgeschwindigkeiten und Stoffkonzentrationen in mindestens 4 Höhen z bestimmt werden.

Die mangelnde Verfügbarkeit von Ultraschallanemometern ließ bisher direkte und kontinuierliche Bestimmungen von u^* nicht zu. Dies erforderte weitere simplifizierende Annahmen:

- I. Die Schubspannungsgeschwindigkeit u^* ist höhenunabhängig und nur eine Funktion der Bestandesoberflächenbeschaffenheit.
- II. u^* kann durch eine Differentialgleichung beschrieben werden, die als einzige Variable eine Mischungslänge l analog der freien Weglänge bei der Diffusion enthält.
- III. Diese Mischungslänge l ist proportional der Höhe über dem Bestand. Der Proportionalitätsfaktor k wird als konstant angesehen (Karman-Konstante).

Messungen zeigen, daß diese Annahmen im Widerspruch zur Wirklichkeit stehen und z.T. physikalisch falsch sind, aber die mikrometeorologischen Verhältnisse meist hinreichend genau beschreiben (vgl. SUTTON 1977).

Unter Verwendung dieser Annahmen erhält man für Stoffflüsse in einer neutralen Atmosphäre folgende Beziehung:

$$F_t = -k^2 \frac{u(z) \cdot (z - d)}{\ln \frac{z}{z_0}} \cdot \frac{dc}{dz} \quad (4)$$

Die Nullebenenverschiebung d und die Rauigkeitslänge z_0 erhält man durch Messungen des Windgeschwindigkeitshöhenprofils:

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \ln \frac{z - d}{z_0} \quad (5)$$

Für mäßig stabile bis instabile Bedingungen werden temperaturkorrigierte Formeln angegeben (vgl. DÄMMGEN et al. 1989a).

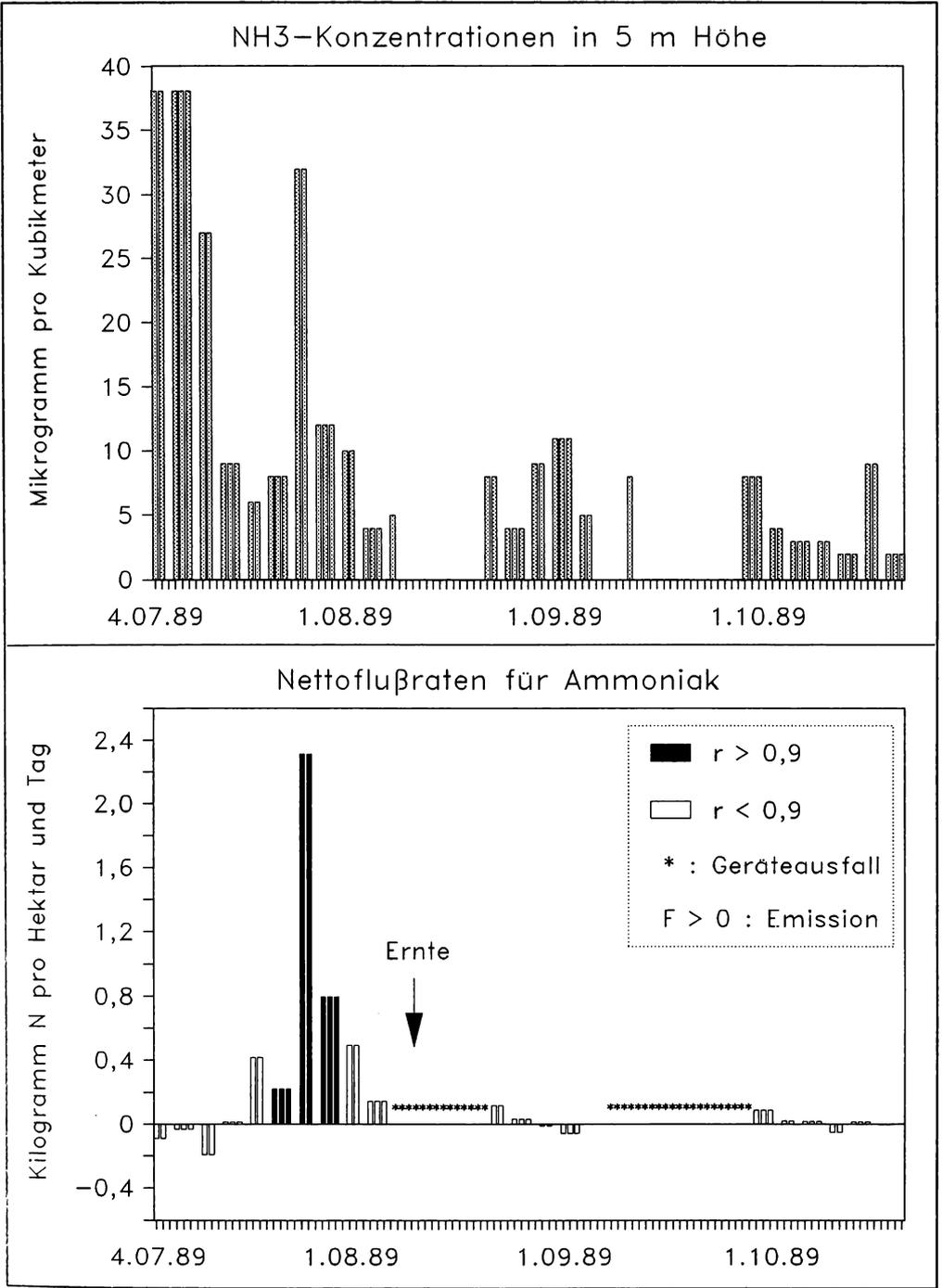


Abb. 1: Ammoniakkonzentrationen und -flüsse über einem Weizenfeld.
 r: Korrelationskoeffizient für $c = a + b \cdot \ln(z)$ bei 10 Wertepaaren für c und z;
 F: vertikaler Stofffluß.

Die Vielzahl der Annahmen und Vereinfachungen bringt es mit sich, daß diese Berechnung der Stoffflüsse nur den Wert einer Abschätzung oder eines Relativmaßes hat. Für Stoffbilanzierungen im Ökosystem ist das Gradientenverfahren nur dann geeignet, wenn die Schubspannungsgeschwindigkeit u. direkt bestimmt wird und die Analyse der Stoffkonzentrationen mit einer ausreichend großen zeitlichen Auflösung durchgeführt wird. Bei Anwendung des indirekten Verfahrens lassen sich Flußrichtungen und Zusammenhänge zwischen physikalischem Klima und Flüssen erkennen sowie ökotoxikologische Fragen beantworten (vgl. JÄGER und GRÜNHAGE 1990; JÄGER et al. 1990).

Das in Abb. 1 dargestellte Beispiel ist mit dem indirekten Verfahren unter der Annahme neutraler Schichtung berechnet. Die Meßanordnung ist bei DÄMMGEN et al. (1989b) beschrieben. Sie befindet sich im Bestand auf dem sog. Intensivstandort Lehm des SFB 179 in Neuenkirchen in der Nähe von Schladen (vgl. OTHMER und BORK 1989a). Der Boden ist eine Haftenäpseudogley-Parabraunerde (weitere Angaben vgl. OTHMER und BORK 1989b). Am 22.9.1988 wurde der Schlag gepflügt und am 30.9.1988 mit Winterweizen der Sorte "Kanzler" mit einer Saatstärke von 205 kg/ha eingesät. Stickstoff wurde in 5 Gaben in Form von Ammonitrat-Harnstoff-Lösung appliziert (11.3.89: 67 kg N/ha; 11.4.89: 47 kg N/ha; 2.5.89: 31 kg N/ha; 23.5.89: 46 kg N/ha; 12.6.89: 36 kg N/ha; Summe = 227 kg N/ha). Geerntet wurden am 11.8.1989 66 dt Korn/ha. Die Messungen wurden zeitlich integrierend über 48 bzw. 72 Stunden, d.h. an 5 Tagen pro Woche, vorgenommen. Für den Meßzeitraum vom 4.7.1989 bis zur Ernte errechnet sich ein Netto-N-Fluß aus Ammoniak von ca. 14 kg/ha.

LITERATUR

- DÄMMGEN U., GRÜNHAGE L., HARTWIG-HANITZ B., JÄGER H.-J., 1989a: Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Vegetation und Boden von Grünlandökosystemen. III. Die Ermittlung vertikaler Flüsse von Gasen und Schwebstäuben in der bodennahen Atmosphäre mit Hilfe von Gradientenmodellen. - Landbauforschung Völkenrode 39: 202-216..
- DÄMMGEN U., KÜSTERS A., MAX W., GRÜNHAGE L., JÄGER H.-J., 1989b: Measurements of components of the chemical climate at Neuenkirchen (Lower Saxony). - Landschaftsgenese und Landschaftsökologie 16: 113-122.
- JÄGER H.-J., GRÜNHAGE L., 1990: Bewertung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Agrarökosysteme. - VDI-Ber. 837, in Vorbereitung.
- JÄGER H.-J., GRÜNHAGE L., DÄMMGEN U., RICHTER O., KRUPA S.V., 1990: Future research directions and data requirements for developing ambient ozone guidelines or standards for agroecosystems. - Proc. Intern. Specialty Conf. on Tropospheric Ozone and the Environment, Los Angeles, March 19-22, 1990 (im Druck).
- OTHMER H., BORK H.-R., 1989a: Soil hydraulic investigations at the clay and loam sites of the Krummbach Research catchment. - Landschaftsgenese und Landschaftsökologie 16: 93-100.
- OTHMER H., BORK H.-R., 1989b: Characterization of the soils at the investigation sites. - Landschaftsgenese und Landschaftsökologie 16: 73-86.
- SUTTON O.G., 1977: Micrometeorology. - Krieger Publishing Co, Huntington, New York.

ADRESSE

Dr. U. Dämmgen
Dr. L. Grünhage
Prof. Dr. H.-J. Jäger
SFB 179 "Wasser- und Stoffdynamik
in Agrar-Ökosystemen"
Langer Kamp 19c
D-W-3300 Braunschweig

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [19_3_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Dämmgen Ulrich, Grünhage Ludger, Jäger Hans-Jürgen

Artikel/Article: [Bestimmung von vertikalen Stoffflüssen in der bodennahen Atmosphäre mit Hilfe des Gradienten-Modells 393-396](#)