

## Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Modellierung und Simulation des N-Haushalts von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung der organischen Düngung

Friedrich Hoffmann

### Synopsis

Modelling and simulation of the nitrogen turnover of agro-ecosystems with special consideration of organic manuring.

As a basis for simulations on the slurry application problem the CERES-Maize model was completed by a model for organic fertilization considering infiltration, ammonia volatilization, incorporation, and mineralization. The model sufficiently reflected growth and N uptake. The agreement with soil data was not so good, some reasons therefore are discussed. Simulations with weather data of 25 or 35 years showed that for avoiding groundwater contamination slurry should be fertilized immediately before planting of the following crop and that especially on light soils slurry doses should not be too high.

*maize model, nitrogen model, simulation, slurry fertilization, nitrate leaching*

### 1. Einleitung

Der Stickstoffhaushalt von Ökosystemen gliedert sich in die mikrobiologischen, chemischen und physikalischen Umsetzungen im Boden, den N-Transport im Boden, die N-Aufnahme durch die Pflanzen und die N-Umsetzungen in den Pflanzen. Dabei müssen der Wasser- und Wärmehaushalt des Bodens berücksichtigt werden. In Agrarökosystemen hat man es in der Regel mit nur einer Pflanzenart zu tun. Das ermöglicht vereinfachte Modelle.

### 2. Modell- und Testrechnungen

Die zahlreichen den N-Haushalt ausmachenden Prozesse können nicht alle und nicht in beliebigem Detailliertheitsgrad in einem Modell dargestellt werden. Sie sind teilweise, insbesondere in ihrer Wechselwirkung, noch nicht ausreichend erforscht und weisen eine erhebliche räumliche Varianz auf. Diese Unschärfe führt u. a. dazu, daß sich verschiedene Modellformulierungen etwa gleich gut auf vorhandene Daten anwenden lassen. So zeigte sich, daß Mineralisierungsversuchsergebnisse von SCHRAUTZER und Mitarbeitern durch den Ansatz aus den CERES-Modellen (JONES & al. 1986) mit einem Bestimmtheitsmaß von  $B = 0.59$  und durch eine von FREYTAG (1985) vorgeschlagene Formulierung mit  $B = 0.572$  angepaßt werden konnten. Die Regressionen lauten

$$y = -0.17 + 0.0053 \cdot N_T \cdot (0.000977 \cdot T^2) \cdot (\Theta - \Theta_{PWP}) / (\Theta_{FK} - \Theta_{PWP}); B = 0.59$$

und

$$y = -0.38 + 0.155 \cdot N_{pot} \cdot 2^{0.1 \cdot (T-35)} \cdot 4 \cdot \Theta \cdot (PV - \Theta) / PV^2; B = 0.572$$

In den Gleichungen bedeuten:  $y$  die pro Tag mineralisierte N-Menge in kg/ha,  $N_T$  die Gesamt-N-Menge in kg/ha,  $N_{pot}$  die potentiell mineralisierbare N-Menge in kg/ha (vgl. STANFORD 1972),

T die Temperatur,  $\Theta_{PWP}$  den permanenten Welkepunkt,  $\Theta_{FK}$  die Feldkapazität, PV das Porenvolumen jeweils in  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ .

In unseren Untersuchungen erwiesen sich die CERES-Modelle als vielseitig verwendbar und für viele Zwecke ausreichend detailliert. Da in ihnen die organische Düngung nicht berücksichtigt ist, wurde mit Hilfe von Literaturdaten und experimentellen Meßergebnissen von BLESS (1990) zur Ammoniumverdunstung ein Güllemodell ergänzt (HOFFMANN 1989). Für die Verdunstung von Ammoniak aus Schweinegülle wurde die folgende Formulierung erhalten:

$$y = 0.00198 \cdot \text{GNH}^{1.38} \cdot T^{1.38}; B = 0.956$$

Darin bedeuten: y die verdunstete Ammoniak-N-Menge in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ , GNH die zum Beginn des jeweiligen Tages vorhandene verdunstbare Ammoniak-N-Menge in  $\text{kg}/\text{ha}$  und T die Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$ . Das Güllemodell berücksichtigt folgende Prozesse: die Infiltration von Ammonium- und von organisch gebundenem N in den Boden bei der Ausbringung, die Ammoniakverdunstung, die Einwaschung und Mineralisation vor der Einarbeitung, die Einarbeitung in den Boden und die Mineralisation und Verlagerung im Boden. Weiterhin wurden Formulierungen für die Interzeption, für den Anstau von Grund- bzw. Stauwasser und für den negativen Einfluß hohen Wasserspiegels auf das Wachstum von Mais eingefügt, über die an anderer Stelle berichtet werden soll.

Das CERES-Mais-Modell wurde auf die Ertragsbildung und die im Boden gemessenen Daten von zwei Maisfeldern im Untersuchungsgebiet angewandt. In Abb. 1 ist die Ertragsentwicklung auf einem mit Gülle gedüngten Maisschlag wiedergegeben. Das Modell (durchgezogene Linie) bringt zu Beginn des Wachstums etwas geringere Werte als die gemessenen Daten. In der zweiten Hälfte der Vegetation ist die Anpassung jedoch recht gut.

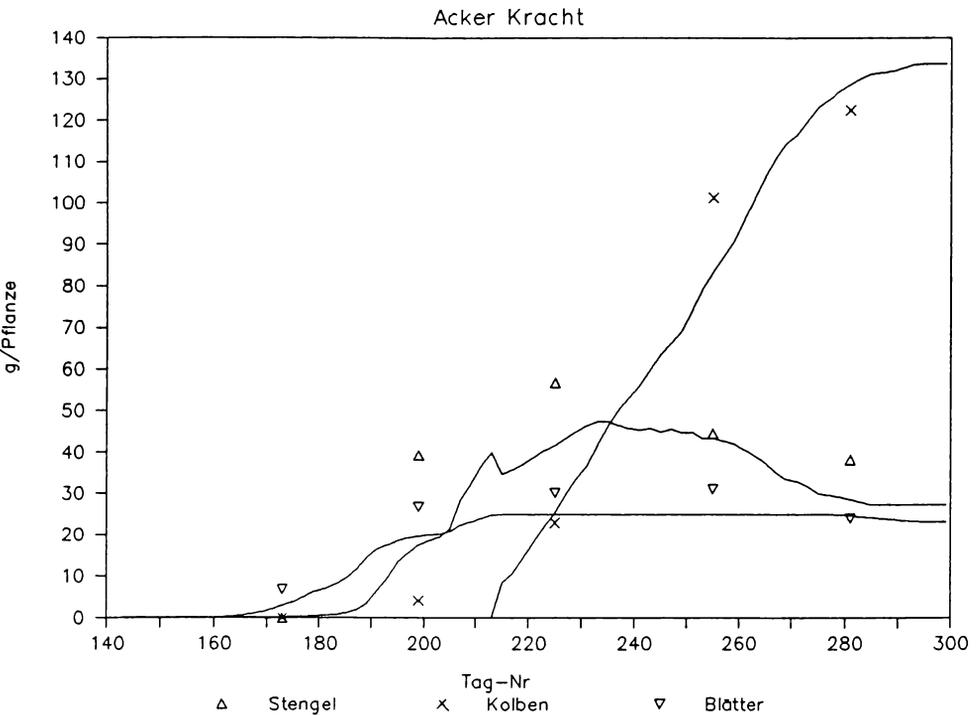


Abb. 1: Maisertragsbildung 1989

Ebenso gut war auch die Anpassung zwischen gemessener und simulierter N-Aufnahme (hier nicht dargestellt). Die Entwicklung der  $\text{NH}_4\text{-N}$ - und  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte in den obersten 40 cm des Bodens ist in Abb. 2 wiedergegeben, die simulierten Werte werden hier mit Daten aus Bohrstockproben verglichen. Die Daten sind Meßwerte, die an aus etwa 20 Einstichen erhaltenen Mischproben bestimmt wurden, eine exakte Aussage über die jedenfalls nicht geringe Streuung der Meßwerte ist daher nicht möglich.

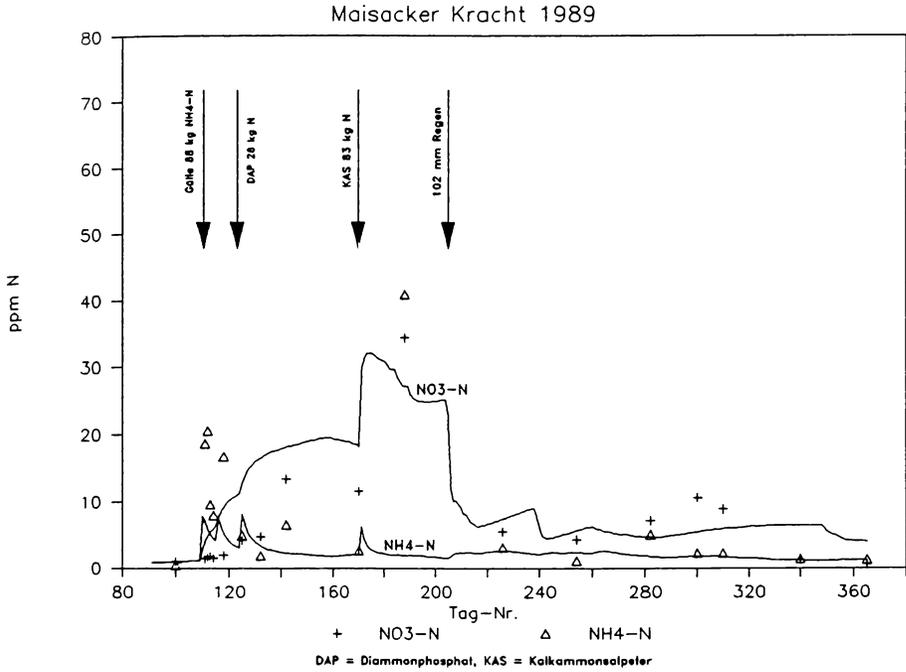


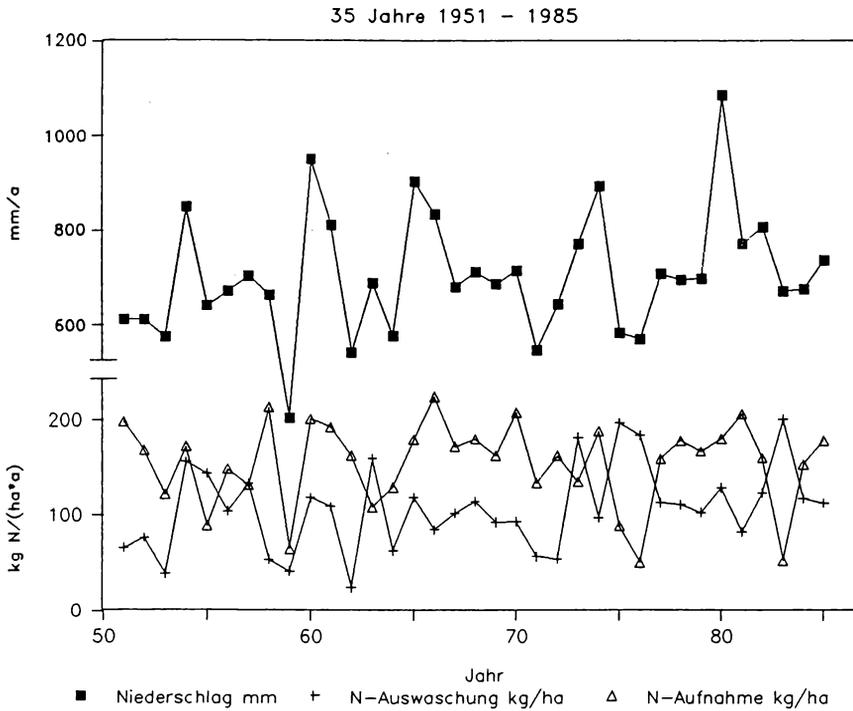
Abb. 2:  $\text{NO}_3\text{-N}$ - und  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt in 0-40 cm Tiefe

Nach der Gülledüngung verlief die Nitrifikation langsamer als das Modell voraussagte. Es kann auch eine gewisse Festlegung von  $\text{NH}_4\text{-N}$  stattgefunden haben. Am Tag 171 wurden 82,5 kg N als Kalkammonsalpeter gedüngt. Der gemessene hohe  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt am Tag 188 wird u. a. als Folge eines durch diese N-Düngung verursachten Priming-Effektes anzusehen sein (vgl. SCHMITT & AHRENS 1989). Nach eigenen Erfahrungen aus früheren Untersuchungen ist dieser Priming-Effekt bei der Verwendung von Düngern mit Ammoniumnitrat besonders hoch. Ursache für den Abfall der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werte am Tag 205 ist ein Starkregen (102 mm). Nach der Ernte am Tag 282 erfolgte noch einmal ein Anstieg der Nitrat-N-Werte, den das Modell nicht mitmachte und der mit der Zersetzung der Wurzeln in Beziehung stehen wird. Die genannten Abweichungen von den Modellsimulationen sind zum Teil darauf zurückzuführen, daß das Modell bestimmte Prozesse (N-Festlegung durch Mikroorganismen, Priming-Effekte nach N-Düngung) noch nicht bzw. nicht ausreichend erfaßt. Zu beachten ist aber auch, daß Bohrstockmessungen des  $\text{NO}_3\text{-N}$ - sowie  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalts mit großen Fehlerstreuungen behaftet sind (GROTH 1987), deren Ursachen vorwiegend in der starken räumlichen Varianz der N-Umsetzungsprozesse zu suchen ist.

Bei einem zweiten Maisschlag, der mit Stallmist gedüngt worden war, wurde für die Ertragsbildung und die N-Aufnahme eine gute Anpassung der Modelle an die experimentellen Ergebnisse erhalten. Die  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte im Boden lagen jedoch durchweg deutlich tiefer als die gemessenen Werte. Der Modellteil für die organische Düngung muß also in bezug auf Stallmist noch weiter ausgearbeitet werden.

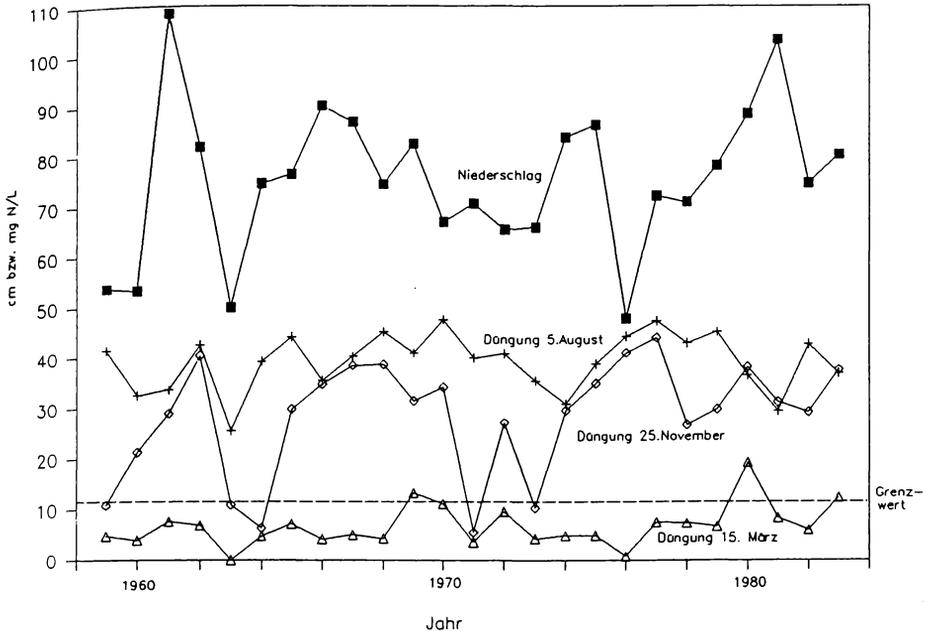
### 3. Simulationen

Mit dem um die organische Düngung ergänzten Modell wurden Simulationsrechnungen zur Abschätzung der Wirkung verschiedener Gülldüngungsvarianten durchgeführt. Wenn auch ihr Aussagewert durch die noch bestehenden Unschärfen relativiert wird, so sind sie doch bei der Schwierigkeit experimenteller Untersuchungen als ein nicht verzichtbares Hilfsmittel anzusehen. Bei den Simulationen zum Sandstandort Belau wurde mit den gleichen Düngungs- und Bewirtschaftungsinputs wie im Jahre 1989 gerechnet, wobei die Witterungsabläufe der Jahre 1951 bis 1985 jeweils vom 16. April bis zum 15. April des Folgejahres verwandt wurden. Abb. 3 zeigt, daß bei hohen Niederschlägen mit starken Auswaschungsverlusten zu rechnen ist. Niedrige Entzüge wie in den Jahren 1975, 1976 und 1983 steigern die Verluste weiter. Die Auswaschung korrelierte mit Niederschlag und Aufnahme mit einem multiplen Bestimmtheitsmaß von  $B = 0.58$ . Die Simulationen zeigten ferner, daß dieser leichte Sandboden mit seiner geringen Wasserspeicherkapazität den mineralisierten N nur kurze Zeit zurückzuhalten vermag, in acht der 35 Jahre wurde der gesamte auswaschbare  $\text{NO}_3\text{-N}$  schon bis zum Jahresende ausgewaschen. In diesen Jahren fiel im Winter nur wenig Niederschlag. In Jahren mit weniger als 600 mm Niederschlag zwischen 16. April und 31. Dezember wurde dagegen ein großer Teil des N erst im Winter ausgewaschen.

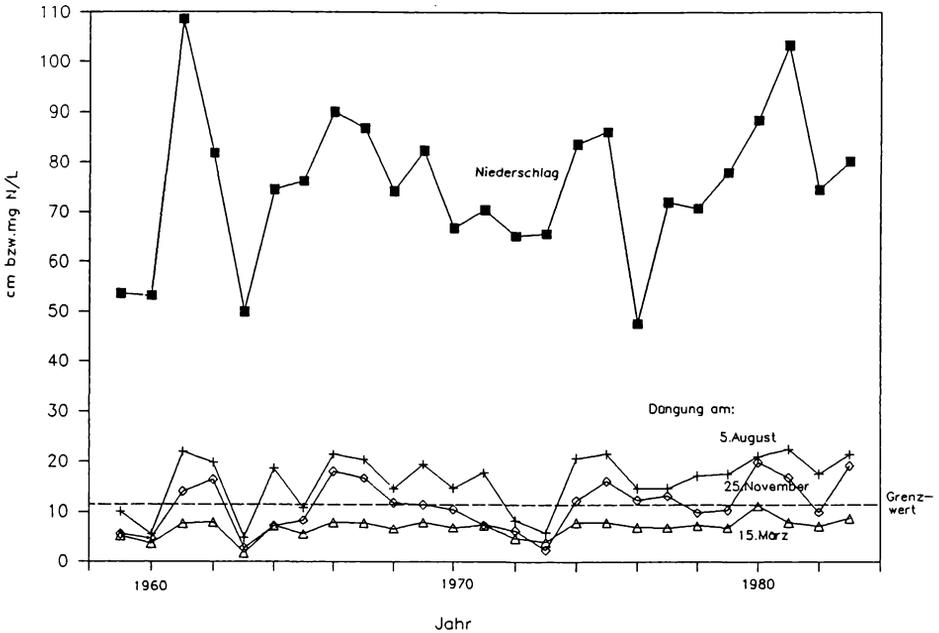


**Abb. 3:** Simulation Maisacker Belau

In Simulationen über 25 Jahre mit einem Sandstandort (Geest) und einem Lößlehm wurde die Frage der Bedeutung des Ausbringungstermines einer Güllage von 200 kg Gesamt-N/ha zu Mais auf die N-Auswaschung untersucht. Diese Gabe liegt um 40 kg/ha höher als die Güllerverordnung in Schleswig-Holstein gestattet. Abb. 4 und 5 zeigen, daß zur Vermeidung einer Grundwasserkontamination eine Nachwinterausbringung mit Abstand am günstigsten ist.



**Abb. 4:** Niederschlag und NO<sub>3</sub>-N-Konzentration im Sickerwasser bei unterschiedlichem Gölledüngstermin (Sandboden)



**Abb. 5:** Niederschlag und NO<sub>3</sub>-N-Konzentration im Sickerwasser bei unterschiedlichem Gölledüngstermin (Lößlehm)

Sie führte bei Lößlehm in keinem Fall zu einer Überschreitung des hygienischen Grenzwertes für Trinkwasser von 11 mg NO<sub>3</sub>-N/l, bei Sand traten nur in drei Jahren Werte auf, die etwas höher la-

gen. Besonders ungünstig ist die Düngung im August ohne nachfolgende Zwischenfrucht. Dann liegen die Werte bei Sand durchweg erheblich über dem Grenzwert, aber auch bei Lößlehm wurde der Grenzwert in den meisten Jahren überschritten. Bei Düngung im November wird auf Sand nur in wenigen Fällen, bei Lößlehm nur in der Hälfte der Jahre der Grenzwert eingehalten. Zu erwähnen ist, daß bei den Simulationen als Anfangswerte relativ geringe Gehalte an löslichem N verwandt wurden. Bei ständiger Gülledüngung erhöhen sich diese Nachwinterwerte und die Situation gestaltet sich noch ungünstiger als in den Simulationsergebnissen.

Die Simulationsergebnisse weisen deutlich darauf hin, daß eine Gülledüngung möglichst kurz vor dem Anbau einer den Gülle-N verbrauchenden Kultur und besonders auf Sand nicht in zu hohen Gaben erfolgen soll. Bei Spätsommerausbringung ist unbedingt ein nachfolgender Zwischenfruchtanbau erforderlich (vgl. HOFFMANN 1988). Damit werden die Festlegungen der Güllerverordnung in Schleswig-Holstein weitgehend unterstützt.

### **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geforderten Projekts "Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette" angefertigt.

Von folgenden Kolleginnen und Kollegen wurden mir dankenswerterweise Daten für die Rechnungen zur Verfügung gestellt:

von Dr. Schrautzer und Mitarbeitern Ergebnisse von Mineralisierungsversuchen,  
von A. Branding Bodenwasser-,  $\text{NH}_4$ - und  $\text{NO}_3$ -Werte der Maisfelder,  
von U. Lillienfein und M. Linnenbrink Maisertragsdaten,  
von H. Matlock N-Gehaltswerte der Maisorgane und  
von Dr. R. Beinhauer und C. Kraus Witterungsdaten.

### **Literatur**

BLESS, H. G., 1990: Ammoniak-Emissionen nach der Ausbringung von Flüssigmist. Studie im Auftrag des Ministers für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei und der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.

FREYTAG, H. E. & M. LÜTTICH, 1985: Zum Einfluß der Bodenfeuchte auf die Bodenatmung unter Einbeziehung der Trockenraumdichte. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. 29: 483-490.

GROTH, R., 1987: Zur Genauigkeit der Bodenfeuchte- und  $\text{N}_{\text{an}}$ -Bestimmungen unter Feldbedingungen auf Tiefliefmährerde. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. 31, H. 7: 445-452.

HOFFMANN, F., 1988: Ergebnisse von Simulationsrechnungen mit einem Bodenstickstoffmodell zur Düngung und zum Zwischenfruchtanbau in Trinkwasserschutzgebieten. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 151: 281-287.

HOFFMANN, F., 1989: Ein Modell für die Umsetzung der Gülle in und auf dem Boden. Poster auf der Ökosystemtagung in Kiel.

JONES, C. A. & J. R. KINIRY, 1986: CERES-Maize. A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Press, College Station.

STANFORD, G. & S. J. SMITH, 1972: Nitrogen mineralisation potentials of soils. Soil Sci. Soc. America Proc. 36: 465-472.

GÜLLEVERORDNUNG vom 1.8.1989 des Landes Schleswig-Holstein.

### **Adresse**

Dr. habil. Friedrich Hoffmann  
Projektzentrum Ökosystemforschung  
der Christian-Albrecht-Universität  
Schauenburger Str. 112

W - 2300 Kiel 1

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://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: [20\\_1\\_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Hoffmann Friedrich

Artikel/Article: [Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Modellierung und Simulation des N-Haushalts von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung der organischen Düngung 217-222](#)