

Einfluss von Standort und Nutzungsintensität auf den N-Haushalt von Ackerböden

U. FRANKO, J. SEEGER, T. SCHMIDT und J. DREYHAUPT

Abstract

Estimation of Nitrate leaching on a regional scale is an important issue. This paper presents results from different regions in Central Germany and with different methodical approaches from Lysimeter studies over model simulations with data on a plot level to solutions with highly aggregated data. It is very important to watch possible uncertainties due to aggregated input values and unknown initial values. Nitrogen import from the atmosphere is one of the most important parameters for a proper N-balance calculation. Carbon and nitrogen cycles are strongly connected. Independent from site characteristics an optimal carbon supply is necessary to avoid environmental pollution by nitrate in arable lands. Sensitivity of nitrate export into the hydrosphere on changes in farming intensity is dependent on groundwater production.

Zusammenfassung

Die Abschätzung der Nitratauswaschung auf regionaler Ebene ist ein wichtiges Arbeitsgebiet. Dieser Beitrag präsentiert Ergebnisse aus unterschiedlichen Regionen Mitteldeutschlands, in denen jeweils unterschiedliche methodische Ansätze von Lysimeterstudien über Modellsimulationen mit Daten auf Schlagebene bis hin zu Lösungen mit hoch aggregierten Daten verfolgt wurden. Dabei ist es sehr wichtig, mögliche Unsicherheiten im Auge zu behalten, die sowohl aus der Datenaggregation als auch aus der Unkenntnis genauer Anfangsbedingungen resultieren. Der N-Eintrag aus der Atmosphäre ist einer der wichtigsten Parameter für eine sachlich richtige Berechnung der N-Bilanz. C- und N-Zyklen sind eng miteinander verknüpft. Unabhängig vom Standort ist eine optimale Humusversorgung der Ackerböden die notwendige Voraussetzung für das Vermeiden von

unzulässigen N-Austrägen in die Umwelt. Die Sensitivität der N-Auswaschung auf Änderungen der Intensität landwirtschaftlicher Produktion hängt von der Grundwasserbildung ab.

Einleitung

Nach wie vor ist der Stickstoffaustrag aus Ackerböden ein relevantes Problem. Die Ursachen dafür liegen mit Sicherheit in einem sehr hohen N-Saldo sowohl der aktuellen Agrarproduktion als auch der N-Überschüsse aus vergangenen Jahren, deren Nachwirkungszeit weitgehend unbekannt ist. Die experimentelle Erfassung der N-Auswaschung kann für ein Pedon mit Hilfe von Lysimetern oder für ein (Einzugs-) Gebiet durch Bestimmung der Frachten im Fließgewässer experimentell bestimmt werden. Die Umsetzung der Messergebnisse in praktische Schlussfolgerungen sind jedoch für beide Methoden mit dem Problem der Regionalisierung verbunden. Mit Lysimeterexperimenten ist nur eine sehr eng begrenzte Abbildung eines Bewirtschaftungssystems möglich, so dass bei der Vielfalt der realen Fruchtfolgen, Düngestrategien und Bodenformen nur sehr grobe Richtlinien für die Verbesserungen des Entscheidungsverhaltens abgeleitet werden können. Auch der integrale Wert einer Stofffracht im Fließgewässer ermöglicht allein keine Schlussfolgerungen für eine gezielte Änderung des Managements hinsichtlich der Landnutzung, der Verteilung organischer Dünger und der Intensität der Produktion auf einzelnen Teilschlägen. Zum Schließen dieser Lücke sind Simulationsmodelle geeignet, mit deren Hilfe sowohl die Übertragung des aus Lysimetern gewonnenen Prozessverständnis als auch die Disaggregation regionaler Stoffflüsse im Sinne einer Schwachstellenanalyse möglich ist. Doch auch mit Modellen ist infolge der beschränkten Verfügbarkeit

wesentlicher Inputdaten nur eine ungenaue Aussage möglich.

Der folgende Beitrag soll das Vorgehen bei der Ermittlung des Zusammenhangs zwischen N-Austrag, Standortbedingungen und Produktionsintensität an verschiedenen Beispielen aufzeigen. Die im einzelnen abgehandelten Untersuchungsobjekte repräsentieren dabei jeweils unterschiedliche methodische Ansätze sowie unterschiedliche Datengrundlagen. Gleichzeitig wird auf verschiedene, bei der Regionalisierung auftretende Probleme hingewiesen.

Das Schaugrabengebiet

Das Untersuchungsobjekt „Schaugrab“ repräsentiert ein 2414 ha großes Einzugsgebiet mit einer Ackerbaufläche von 1483 ha (vgl. SEEGER, MEISSNER und FRANKO 2001), für das lagen für den Zeitraum von 1990 bis 1997 schlaggenaue Bewirtschaftungsdaten, sowie die erforderlichen Boden- und Wetterdaten vor. Die Bestimmung der N-Austräge erfolgte zum einen durch Hochrechnung von Lysimeterergebnissen und andererseits durch Simulation der Bewirtschaftung bei Standardannahmen zu den Anfangsbedingungen. Beide Methoden wurden völlig unabhängig voneinander angewendet, d.h. es gab keine Kalibrierung des Modells an den Lysimeterexperimenten. Daneben liegen auch Gebietsbilanzen für den Wasser- und Stickstoffhaushalt vor, die natürlich auch andere Bodennutzungen wie Wald, Grünland und Siedlungsgebiete mit einschließen. Für das Gesamtgebiet wurde für den Simulationszeitraum eine mittlere jährliche Sickerwasserbildung von 91 mm berechnet. Dieser Wert entspricht sehr gut der Hochrechnung aus Lysimeterdaten (94 mm) sowie dem experimentell ermittelten Gebietsabfluss für den Zeitraum 1993-1999 (95 mm), der jedoch auch Beiträge anderer Landnut-

Autoren: Dr. Uwe FRANKO, Dr. Juliane SEEGER, Thomas SCHMIDT und Dr. J. DREYHAUPT, UFZ Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenfor- schung, Theodor-Lieser-Straße 4, D-06120 HALLE/SAALE

zungsformen enthält. Die Einschätzung der N-Auswaschung unter Ackerland zeigt eher Differenzen zwischen beiden Methoden: 21 kg/ha nach Simulation und 31 kg/ha aus Lysimeterdaten. Der experimentell bestimmte Wert von 14 kg/ha steht nicht im Widerspruch zum Modellergebnis, wenn man berücksichtigt, dass die N-Frachten unter Grünland und Forsten tendenziell geringer sind als unter Ackerbau. Mit einer Abweichung von 10 kg/ha liegen die nach den beiden Methoden ermittelten Resultate in der gleichen Größenordnung. Dennoch wird es Gegenstand weiterer Arbeiten sein, die Ursachen aufzuklären und die daraus resultierenden Kenntnisse für die Verbesserung beider Methoden zu benutzen. Die Tatsache, dass die Simulationsergebnisse zur N-Auswaschung niedriger ausfallen als die Lysimeterergebnisse unterstützt die Richtigkeit der Annahmen zum diffusen N-Eintrag aus der Atmosphäre, der hier mit jährlichen 60 kg/ha deutlich höher in Rechnung gestellt wird, als von anderen Autoren (GAUGER, KÖBLE und ANSHELM 1999).

Trotz atmosphärischer N-Einträge in dieser Höhe, die durch punktuelle Messungen an anderen Standorten belegt sind (KÖRSCHENS und MAHN 1995, RUS-SOW und WEIGEL 2000), bleibt der mittlere jährliche N-Austrag im Gebietsdurchschnitt mit 53 kg/ha deutlich darunter. Das bedeutet, dass durch das Agrarsystem ca. 10% dieser atmosphärischen Einträge genutzt werden. Der N-Haushalt ist eng an den Kohlenstoff (C)-Umsatz gekoppelt. Für Löss-Schwarzerde wurde bereits ein Optimalwert für die C-Versorgung abgeleitet, der durch eine jährliche Zufuhr an umsetzbarem Kohlenstoff in Höhe von 9 dt/ha entspricht. Die mittlere C-Versorgung im Gebiet entspricht genau diesem Optimum, so dass die im Schaugrabengebiet ermittelten Ergebnisse mit der relativ guten N-Ausnutzung die bisherigen Vorstellungen zur optimalen Humusversorgung weiter unterstützen. Dennoch bleiben Reserven für eine Verbesserung der Humuswirtschaft, da die Versorgung der einzelnen Schläge sehr inhomogen gestaltet ist, so dass einer Anzahl überversorgter Einheiten entsprechende Flächen mit zu niedriger Humusversorgung gegenüberstehen.

Tabelle 1: Gebietsmittelwerte wichtiger Kenngrößen des regionalen Stoffhaushalts (flächengewichtete Simulationsergebnisse). Szenario 1: aktuelle Nutzung, Szenario 2: aktuelle Nutzung im Gleichgewicht, Szenario 3: optimierte Humusversorgung

| Merkmal | Szenario 1 | Szenario 2 | Szenario 3 |
|---|------------|------------|------------|
| umsetzbarer Kohlenstoff in kg/ha | 21703 | 27287 | 23691 |
| jährliche N-Austräge total in kg/ha | 44 | 60 | 42 |
| NO ₃ -Konzentration im Sickerwasser in ppm | 51 | 110 | 52 |
| jährliche N-Nachlieferung in kg/ha | 52 | 72 | 51 |
| jährliche Wasserversickerung in mm | 44 | 51 | 51 |

Das Testgebiet „Querfurter Platte“

Auch für das zweite hier darzustellende Untersuchungsobjekt war eine sehr gute Datenbasis vorhanden. Die schlagbezogenen Bewirtschaftungsdaten waren von 1981 bis 1995 ebenso wie die erforderlichen Boden- und Klimadaten bekannt. Auch zur Vorgeschichte der Schläge lagen Informationen vor, die eine realistische Abschätzung der Humusversorgung ermöglichten (SCHENK und FRANKO 2000). Die Simulation dieses Realszenarios zeigt hinsichtlich des Stickstoffhaushalts optimistische Ergebnisse (Tabelle 1). Die teilweise Ausnutzung des aus der Atmosphäre diffus eingetragenen Stickstoffs deckte sich relativ gut mit den Ergebnissen der Lauchstädter Dauerversuche, die sich in räumlicher Nähe zum Untersuchungsgebiet befinden. Die Analyse der Humusversorgung zeigte jedoch tendenziell eindeutige C und N-Akkumulation vollzieht. Die Simulation eines zweiten Szenarios, in dem die aktuelle Bewirtschaftung für weitere

30 Jahre fortgeschrieben wurde, ergab ein völlig anderes Bild bei der Bewertung der Bodennutzung. Nach Absättigung des Immobilisationspotenzials im steady state traten nun deutlich höhere N-Verluste auf, die sich jedoch durch eine Optimierung der Humusversorgung in einem dritten Szenario wieder kompensieren ließen.

Diese Ergebnisse machen insbesondere die häufig vernachlässigte Wirkung der Anfangsbedingungen bzw. des Systemzustandes im Hinblick auf die Länge des untersuchten Szenarios deutlich. Es ist sehr von den Standortbedingungen abhängig, wieviel Zeit vergeht bis das Systemverhalten (hier: der N-Austrag) mehr von der untersuchten Bewirtschaftung als von den (meist nur geschätzten) Anfangsbedingungen geprägt wird. Beispielhaft demonstriert das in *Abbildung 1* dargestellte Simulationsexperiment diesen Effekt. Zwei Standorte werden bei sonst gleichen und zeitlich konstanten Bedingungen von einem Gleichgewichtszustand bei einem N-Saldo von 5 kg/ha auf ein neues Szenario mit ei-

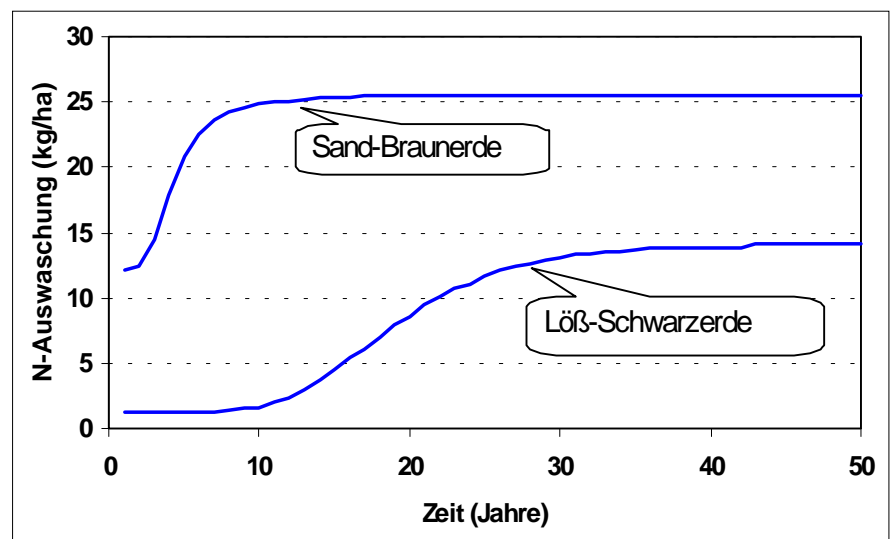


Abbildung 1: Zeitverhalten verschiedener Standorte beim Übergang auf einen neuen Gleichgewichtszustand (Simulationsergebnisse mit CANDY)

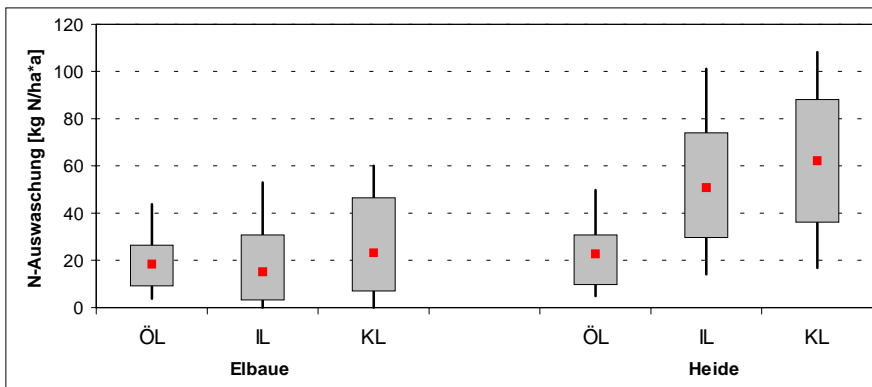


Abbildung 2: Größe und Variabilität der N-Auswaschung für verschiedene Intensitäten der Agrarproduktion auf zwei Standortklassen

nem N-Saldo von 35 kg/ha umgestellt. Die Reaktionszeit beider Standorte entspricht dem Austauschfaktor (Sand-Braunerde: 0,47, Schwarzerde: 0,09), der die Relation zwischen Sickerwasseranfall (Sand-Braunerde: 112 mm/a, Schwarzerde: 57 mm/a) und Feldkapazität angibt.

Der „Torgauer Raum“

Bei der Untersuchung der Nitrat-Auswaschung im Torgauer Raum ging es in erster Linie um eine Bewertung verschiedener Typen der Agrarproduktion unter verschiedenen Standortbedingungen. Dabei sollte unter anderem untersucht werden, welche Ergebnisse durch verschiedene Maßnahmen zur Reduktion der Produktionsintensität erzielt werden können. Als Datenbasis wurde hier auf statistisches Material zu Anbauverhältnissen, Fruchtfolgen und Viehbesatz zurückgegriffen. Die Mineraldüngung wurde nach dem in Sachsen verbreitet angewandten Beratungssystem BEFU bestimmt. Dabei wurden verschiedene Klassen von Betriebstypen gebildet, die jeweils eine unterschiedliche Produktionsintensität symbolisieren sollen: „Ökologischer Landbau“ (ÖL), „Integrierter Landbau“ (IL) und „Konventioneller Landbau“ (KL). Diese Klassifikation ist zunächst noch subjektiv, d.h. es gibt keinen Indikator, der den Zugehörigkeitsgrad eines Betriebes zu einer speziellen Klasse beschreibt. Das hat zur Folge, dass Szenarien der gleichen Intensitätsklasse in den betrachteten Naturräumen „Elbaue“ und „Heide“ den dort dominierenden Standortverhältnissen angepasst sind also nicht die gleichen Maßnahmefolgen repräsentieren.

Die einzelnen Bewirtschaftungsszenarien wurden mit den dazugehörigen Bodenformen und dem regional bestimmenden Wetterablauf kombiniert (s.a. FRANKO, SCHMIDT und VOLK 2001). Um tatsächlich Systemaussagen ableiten zu können, wurde jeweils der *steady state* untersucht. Die Ergebnisse machen deutlich, dass eine enge Wechselwirkung zwischen Naturraum und Bewertung der Intensitätsklasse im Hinblick auf die N-Auswaschung besteht (vgl. Abbildung 2). Die Böden der Elbaue weisen naturgemäß mit 105 mm/a eine deutlich geringere Sickerwasserbildung auf als die leichteren Böden der Heideregion (156 mm/a), die jedoch hinsichtlich der N-Auswaschung deutlich sensibler auf die unterschiedlichen Intensitätsklassen reagieren als es im Bereich der Elbaue zu beobachten ist.

Die Schwankungsbreite der den einzelnen Intensitätsklassen zugehörigen N-Auswaschungen beruhen auf der möglichen Vielfalt der in den aggregierten statistischen Daten repräsentierten Betriebstypen (vgl. SCHMIDT, FRANKO und VOLK 2001). Für eine endgültige Bewertung der Ergebnisse muss zusätzlich zu dieser hier als Aggregationsunsicherheit bezeichneten Schwankungsbreite noch die Unsicherheit der Eingangsdaten (Bodenparameter, Klimadaten, Ertragszahlen usw.) berücksichtigt werden. Allein diese Datenunsicherheit führt zu einer Unschärfe der Aussagen von +50% bis -25% in Bezug auf den wahrscheinlichsten Wert zum N-Austrag unter Ackerland. Aggregiert man über alle Landnutzungsarten und berücksichtigt zusätzlich die Unsicherheiten bei der Ermittlung der Grundwasserbildung so reicht das Fehlerintervall für die Nitratkonzentration von -78% bis -59%.

Die Lößregion (Ansatz im Mesoscale)

Mit Blick auf die relativ große Unsicherheit mit der die Ergebnisse von Simulationsmodellen beim Einsatz stark aggregierter Daten behaftet sind, erscheint der Einsatz von stark vereinfachten Verfahren durchaus plausibel. Wenn es gelingt, sensitive Indikatoren abzuleiten, die sich aus den aggregierten Daten einfach berechnen lassen und das regionale Systemverhalten hinsichtlich Trend und Variationsbreite ähnlich gut beschreiben wie ein prozessorientiertes Simulationsmodell, so sind einfache Bewertungsmodelle realisierbar, die sowohl den Datenbedarf als auch den Rechenaufwand drastisch reduzieren. Dazu werden mehrere mit dem Modell REPRO (DUBSKY, HÜLSBERGEN und DIEPENBROCK 1997) abgebildete „virtuelle“ Betriebe, welche die Bewirtschaftung bestimmter Intensitätsklassen repräsentieren, auf einer der jeweiligen Region entsprechenden Spannweite von Bodenformen und Niederschlagsintensität abgebildet. Im Ergebnis dieser Untersuchungen kann man den Einfluss sensibler Parameter auf die Zielgröße des regionalen Stoffhaushaltes quantifizieren und erhält damit ein Werkzeug zur Regionalisierung, dass die Spannweite der Modellaussagen deutlich werden lässt. Erste Ergebnisse liegen bisher für die Schwarzerderegion im Mitteldeutschen Trockengebiet vor. Nach diesen Daten (DREYHAUPT und FRANKO 2001) besitzen Niederschlag (NIED), Bedeckungsgrad (BG) und nutzbare Feldkapazität (NFK) eine Indikatorfunktion für die Regionalisierung der Grundwasserneubildung. Die N-Auswaschung lässt sich durch die Indikatoren N-Saldo (NSALDO) und biologische Aktivität (hier: wirksame Mineralisierungszeit WMZ) darstellen, die beide nahezu die gleiche Sensitivität (jedoch mit unterschiedlichem Vorzeichen) aufweisen (vgl. Abbildung 3).

Schlussfolgerungen

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass regionale Aussagen zum N-Austrag eine sehr hohe Qualität der Inputdaten erfordern - vor allem, wenn neben quantitativen Ergebnissen auch Aussagen zum zeitlichen Verlauf erwartet werden.

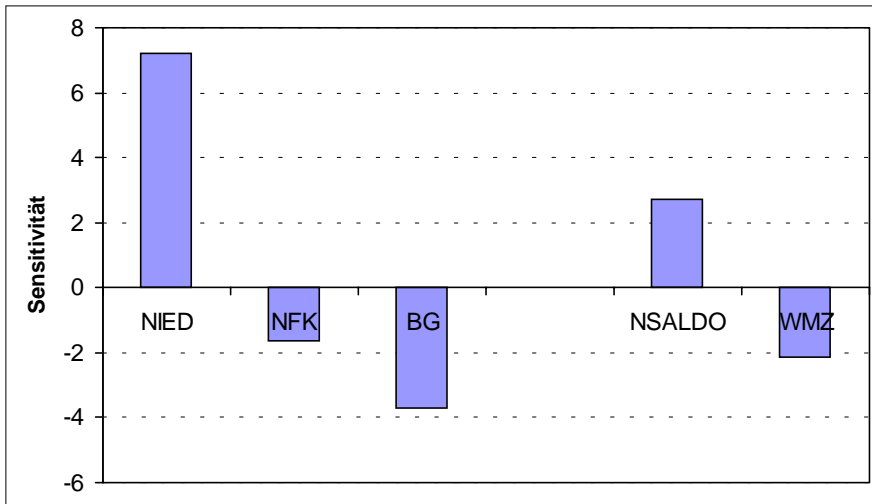


Abbildung 3: Sensitivität potentieller Indikatoren für Grundwasserbildung und N-Auswaschung

Neben den Boden, Klima und Landnutzung charakterisierenden Parametern, die selbstverständlich alle ihren Fehler aufweisen, der häufig aus Aggregation bzw. Disaggregation resultiert, auf das Ergebnis übertragen, gibt es zwangsläufig große Unsicherheiten bei der Festlegung der Anfangsbedingungen und bei der Abschätzung der N-Einträge aus der Atmosphäre. Neben den Ableitungen dieser Größe aus den N-Bilanzen bei Dauerversuchen (KÖRSCHENS und MAHN 1995) und den Messungen nach der Isotopenverdünnungsmethode (RUSSOW und WEIGEL 2000), die auf einen jährlichen Wert von ca. 60 kg N/ha hinweisen, gibt es eine Reihe von Autoren, die nur Einträge in der Größenordnung von 20-30 kg/ha unterstellen. Gemessen an einer dadurch bedingten Verschiebung der N-Salden um 30 bis 40 kg/ha fallen weitere Unsicherheiten nur noch gering ins Gewicht. Deutlich wird allerdings, dass wenig sickerwasserbestimmte Teilgebiete eine höhere Produktionsintensität (gemessen am Zieldertrag) vertragen als stärker grundwasserbildende Standorte, da die Austräge in die Atmosphäre eher begrenzt sind als die Aus-

waschung in den Boden unterhalb des Wurzelraumes. Erste Indizien deuten ferner darauf hin, dass ohne eine Begrenzung des Humusniveaus im Boden keine optimale Steuerung des N-Haushaltes möglich sein wird.

Eine zukunftsfähige Bodennutzung muss viel stärker auf ökologische Belange ausgerichtet werden als das in der Gegenwart erfolgt. Nur durch adäquate Berücksichtigung aller N-Quellen bei der operativen Bemessung der Düngung kann der Agrarsektor schrittweise in eine N-Senke umgewandelt werden, die Quellen aus anderen Wirtschaftszweigen ausgleicht. Auch umgekehrt darf die Quellenstärke der Industrie natürlich nur so groß sein, wie es der potentiellen Senkenfunktion der Agrarsysteme entspricht. Die Lösung der daraus resultierenden Aufgaben erfordert ein Umdenken von gegenseitigen Schuldzuweisungen zur Kooperation zwischen Agrarproduzenten, Industrie und Verbrauchern, die bereit sein müssen, daraus resultierende Kosten jetzt zu übernehmen und nicht an spätere Generationen zu delegieren.

Literatur

- DREYHAUPT, J. und U. FRANKO, 2001: Bedeutung der Variabilität von Boden und Klima bei der Regionalisierung von N-Austrägen. BAL Bericht über die 9. Lysimetertagung (aktueller Band).
- DUBSKY, G., K.-J. HÜLSBERGEN und W. DIEPENBROCK, 1997: REPRO - Stoff- und Energiebilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe. In: Keller, H.B., Grütznert, R., Sonnenschein, M. (Hrsg.): 7. Treffen des Arbeitskreises Werkzeuge der Simulation und Modellbildung in Umweltanwendungen der Gesellschaft für Informatik. Wissenschaftliche Berichte FZKA, Forschungszentrum Karlsruhe
- FRANKO, U., T. SCHMIDT und M. VOLK, 2001: Modellierung des Einflusses von Landnutzungsänderungen auf die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser. In: Horsch, H., Ring, I., Herzog, F.: Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung - Methoden und Instrumente der Entscheidungsfindung und Umsetzung (in Vorbereitung).
- KÖRSCHENS, M. und E.-G. MAHN, 1995: Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. Teubner-Verlag Stuttgart. Leipzig, 568 S.
- RUSSOW, R. und A. WEIGEL, 2000: Atmosphärischer N-Eintrag in Boden und Pflanze am Standort Bad Lauchstädt: Ergebnisse aus ¹⁵N-gestützten Direktmessungen (ITNI-System) im Vergleich zur indirekten Quantifizierung aus N-Bilanzen des Statischen Dauerdüngungsversuches. Arch. Acker-Pfl. Boden., Vol 45, 399-416.
- SCHENK, S. und U. FRANKO, 2000: Einfluss der Bewirtschaftung auf den C-N-Kreislauf im Boden und den N-Austrag in die Umwelt. UFZ-Bericht 28/2000.
- SCHMIDT, T., U. FRANKO und M. VOLK, 2001: Einfluss der Landnutzung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser. BAL Bericht über die 9. Lysimetertagung (aktueller Band).
- SEEGER, J., R. MEISSNER und U. FRANKO, 2001: Wasser- und Stickstoffhaushalt im Schaugrabengebiet. BAL Bericht über die 9. Lysimetertagung (aktueller Band).
- GAUGER, TH., R. KÖBLE und F. ANSHELM, 1999: Kritische Luftschadstoff-Konzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald- und Agrarökosysteme sowie naturnahe waldfreie Ökosysteme. Endbericht zum Forschungsvorhaben FKZ 108 03 079, im Auftrag des Umweltbundesamtes. Mapping Critical Loads and Levels in Germany.