# Langzeitlysimeteruntersuchungen zum Einfluß unterschiedlicher Düngung und Bewirtschaftung auf das Auswaschungsverhalten relevanter Kationen und Anionen

**Seeger, J.; Meißner, R. und Rupp, H.**
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung,
Lysimeterstation Falkenberg, Dorfstraße 55, 39615 Falkenberg

## Einleitung

Es ist davon auszugehen, dass die seit Beginn der 90er Jahre verstärkt auftretenden Änderungen der Nutzungsintensität landwirtschaftlicher Flächen zu unkontrollierbaren Stoffausträgen mit dem Sickerwasser führen und damit eine potentielle Belastungsquelle für Grund- und Oberflächenwässer darstellen. Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht eine Langzeituntersuchung von brachgelegten Lysimetern, die unter den vorherrschenden Versuchsbedindungen Aussagen über das Auswaschungsverhalten ausgewählter Kationen und Anionen sowie über potentiell eingetretene Veränderungen des pH-Wertes im Krumenboden aufgrund nicht durchgeführter Düngungsmaßnahmen (Kalkung) ermöglicht. Nach einer Wiedereingliederung von längerfristig brachgelegten Flächen in die Intensivbewirtschaftung lassen verschiedene Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt von Dauerbrachen erwarten, dass größere Mengen an mineralischem Stickstoff mobilisiert werden und auswaschungsgefährdet sind (JOHNSTON et al., 1994; PLATTE et al., 1995). Durch differenzierte Formen der Integration (Prüfung von 4 Wiedereingliederungsvarianten) von fünfjährigen Dauerbrachen in die Intensivbewirtschaftung wird versucht, das Gefährdungspotential und aus der Sicht des Gewässerschutzes Vorzugsvarianten für die Wiedereingliederung auszuweisen.

## Material und Methoden

Die Grundlage für die zweigeteilte Versuchsauswertung stellen Vollmantellysimeter mit einer Oberfläche von 1 $m^2$ und einer nutzbaren Tiefe von 1,25 m dar, die mit der Bodenart lS befüllt sind (MEISSNER et al., 1998).

*- Langzeituntersuchung von brachgelegten Lysimetern*

Einen Überblick über die Fruchtfolgegestaltung, die N-Düngung und die Zusatzbewässerung der jeweils 10 Versuchsgefäße (je 2 Versuchsgefäße als Parallelvariante) aus den Bewirtschaftungsregimen „Integrierter Landbau" (fünfgliedrige Fruchtfolge) und „Dauerbrache" gibt Tabelle 1. Die Brachlegungszeit der als Dauerbrache bewirtschafteten Versuchsgefäße betrug 5 Jahre - von 07/91 bis 08/96. Nach dieser Zeit wurden 8 der 10 Lysimeter in die Intensivbewirtschaftung zurückgeführt; 2 Versuchsgefäße werden weiterhin für unbegrenzte Zeit als Langzeitbrachen geführt. Als Analysenkriterien wurden die Jahressickerwassermenge sowie die jährlichen Stofffrachten der Kationen Calcium (Ca), Natrium (Na), Magnesium (Mg) und Kalium (K) und der Anionen Chlorid (Cl), Sulfat ($SO_4$) sowie Nitrat ($NO_3$) in die Auswertung einbezogen.

Tab. 1: Fruchtfolgegestaltung, N-Düngung und Zusatzbewässerung der Lysimeter aus den Teilversuchen Integrierter Landbau und Dauerbrache

| Bewirtschaftungs-regime | Fruchtfolgen 91/92 - 97/98 | N-Düngung (kg/ha)*) 91/92 - 97/98 | Bewässerung (mm)*) 91/92 | 92/93 | 93/94 | 94/95 | 95/96 | 96/97 | 97/98 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***- Integrierter Landbau*** | - Zuckerrübe<br>- W.Weizen+Zw.Fr.<br>- Kartoffeln<br>- W.Gerste+Zw.Fr.<br>- Mais | 142 | 110 | 205 | 45 | 97 | 147 | 108 | 95 |
| ***- Dauerbrache**** | nach<br>- So.Gerste<br>- Hafer+Untersaat | 105 | - | - | - | - | - | - | - |

*) Mittelwerte von 10 Lysimetern je Bewirtschaftungsregime
**) Ab 96/97 wurden im Bewirtschaftungsregime Dauerbrache nur noch 2 Lysimeter in die Auswertung integriert

*- Wiedereingliederung von Dauerbrachen in die Intensivbewirtschaftung*

Neben der Vergleichsvariante Integrierter Landbau (2 Lysimeter) sind in Tabelle 2 auch die verschiedenen Varianten der Wiedereingliederung der 10 fünfjährig brachgelegten Versuchsgefäße in die Intensivbewirtschaftung, einschließlich Fruchtfolgegestaltung, N-Düngung und Zusatzbewässerung aufgeführt. Als Analysenkriterien wurden die Sickerwassermenge sowie die mineralischen Stickstoffverbindungen als N-Fracht im ersten Jahr nach der Wiedereingliederung und die Trockensubstanz (TS)-Erträge aus zwei Anbaujahren in diese Arbeit einbezogen.

Tab. 2: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen zur differenzierten Wiedereingliederung von 5jährig brachgelegten Lysimetern (b – f) im Vergleich zu Lysimetern aus dem Integrierten Landbau (a)

| Variante*) | Umbruch | Fruchtfolge | | N-Düngung (kg/ha)**) | | Zusatzwassermenge (mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1997 | 1998 | 1997 | 1998 | 1997 | 1998 |
| ***Integrierter Landbau*** | | | | | | | |
| a | | W.Weizen+Zw.Fr. | Kartoffeln | 145 | 120 | 60 | 60 |
| ***Dauerbrache*** | | | | | | | |
| b | | Weiterführung der Dauerbrache | | - | - | - | - |
| c | 1.10.96 | W.Weizen+Zw.Fr. | Kartoffeln | - | - | - | - |
| d | 1.10.96 | W.Weizen+Zw.Fr. | Kartoffeln | 145 | 120 | 60 | 60 |
| e | 27.07.96 | So.Futterraps-W.Weizen+Zw.Fr. | Kartoffeln | 145 | 120 | 60 | 60 |
| f | 6.02.97 | So.Weizen+Zw.Fr. | Kartoffeln | 145 | 120 | 40 | 60 |

*) Pro Variante sind jeweils 2 Lysimeter in die Auswertung integriert
**) Zu Kartoffeln werden jeweils 300 dt/ha Stallmist appliziert

## Ergebnisse

*- Langzeituntersuchung von brachgelegten Lysimetern*

Ein Vergleich der Sickerwassermengenbildung der brachgelegten Versuchsgefäße mit dem Integrierten Landbau zeigte einen insgesamt erhöhten Sickerwasseranfall unter den Dauerbrachen (Tab. 3). Unter beiden Bewirtschaftungsregimen konnte ein sehr enger statistischen Zusammenhang zwischen dem natürlichen Niederschlagsaufkommen und der Sickerwassermenge ermittelt werden.

Tab. 3: Natürliches Niederschlagsaufkommen und Vergleich der Sickerwassermengen zwischen Lysimetern aus dem Integrierten Landbau und unter Dauerbrachen

| Versuchsjahr | Niederschlagsmenge (mm) | Sickerwassermenge (mm) Integrierter Landbau | Dauerbrache |
|---|---|---|---|
| 1991/92 | 532 | 54,0 | 67,9 |
| 1992/93 | 486 | 66,7 | 56,3 |
| 1993/94 | 851 | 275,3 | 323,2 |
| 1994/95 | 680 | 116,4 | 122,9 |
| 1995/96 | 344 | 12,5 | 1,1 |
| 1996/97 | 475 | 14,7 | 0,5 |
| 1997/98 | 550 | 40,4 | 20,2 |

Der an den Sickerwasserstrom gebundene Verlauf der Kationen- und Anionenausträge gestaltete sich, sowohl untereinander als auch beeinflußt durch das Bewirtschaftungsregime, differenziert (Tab. 4). Die Kationenausträge waren in beiden Bewirtschaftungsregimen signifikant an die Höhe der Sickerwassermenge bzw. des Niederschlagsdargebotes gebunden. Dieses Ergebnis ist ein Indiz für den guten Versorgungszustand der Lysimeterböden, auch noch 5 Jahre nach der Nutzungsumstellung. Das hohe Nachlieferungspotential aus dem Bodenpool führte bei den Dauerbrachen während des 5jährigen Versuchszeitraumes zu Kationenausträgen zwischen 67 und 115 %, gemessen am Integrierten Landbau. Dabei fallen besonders die signifikant höheren Na-Austräge, begünstigt durch die hohe Na-Sättigung des Bodens infolge der Beregnung vor der Brachlegung auf.

Dagegen kam es durch das nur begrenzte Nachlieferungsvermögen der durch unspezifische Adsorption im Boden gebundenen Anionen im Integrierten Landbau bei Cl und bei den

Dauerbrachen für alle 3 Kriterien nur zu mäßigem bis gar keinem statistischen Zusammenhang zwischen der Sickerwasser- und der Stoffaustragsmenge. Aus dem schnell ausgeschöpften Nachlieferungsreservoir des Bodens resultierten bei den brachgelegten Lysimetern Austräge von lediglich 44 bzw. 58 % bei den Kriterien Cl und $SO_4$. Auch der N-Austrag in Höhe von 76 % im Vergleich zum Integrierten Landbau erscheint moderat. Jedoch ist hierbei zu beachten, dass besonders zu Beginn einer Brachlegung erhöhte Auswaschungen zu verzeichnen sind (MEISSNER et al., 1993).

Tab. 4: Korrelation zwischen Sickerwassermenge und Stoffaustrag sowie Höhe der Kationen- und Anionenausträge bei differenzierter Intensität der Landbewirtschaftung im Untersuchungszeitraum 1991 – 1996

| Kriterium | Integrierter Landbau | | Dauerbrache | |
|---|---|---|---|---|
| | Korr.koeff. r | Stoffaustrag (kg/ha) | Korr.koeff. r | Stoffaustrag (kg/ha) |
| Ca | 0,806 | 1010 | 0,721 | 674 |
| Na | 0,944 | 297 | 0,542 | 342 |
| Mg | 0,940 | 40 | 0,872 | 31 |
| K | 0,961 | 27 | 0,969 | 21 |
| Cl | 0,428 | 710 | 0,012 | 313 |
| $SO_4$ | 0,724 | 1032 | 0,442 | 602 |
| $NO_3$-N | 0,890 | 129 | 0,339 | 98 |

Durch die Weiterführung der Brachlegung von 2 Lysimetern über die zuvor betrachteten 5 Jahre hinaus soll geprüft werden, inwieweit das bereits nachgewiesene veränderte Stoffaustragsverhalten der Anionen und das ebenfalls erwartete Nachlassen der Kationennachlieferung (d.h. Verringerung der Wasserstoffbindung durch verminderten Kationenaustausch und mögliche Verschiebung des pH-Wertes in den sauren Bereich) zu Zustandsänderungen im Boden führt. Ein Vergleich der Boden-pH-Werte läßt die Tendenz einer Abnahme bei den Dauerbrachen bereits erkennen (Tab. 5). Obgleich ein bewirtschaftungsbedingtes Absinken der pH-Werte noch nicht statistisch abgesichert werden konnte, wurde der Richtwert für die Bodenart lS mit pH 6,0 (SCHEFFER und SCHACHT-SCHABEL, 1989) in den letzten Versuchsjahren bereits zweimal unterschritten.

Tab. 5: pH-Werte in Krumenböden bei intensiv genutzten und mehrjährig brachgelegten Lysimetern

| | 1990*) | 1992 | 1993 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Integrierter Landbau | 5,75 | 6,37 | 6,63 | 6,41 | 6,00 | 6,04 | 6,11 |
| Dauerbrache | 5,73 | 6,17 | 6,59 | 6,43 | 5,90 | 6,14 | 5,84 |

*) im Herbst 1990 erfolgte auf allen Lysimetern eine einheitliche Ca-Düngung von 500 kg/ha

- *Wiedereingliederung von Dauerbrachen in die Intensivbewirtschaftung*

Anhand des relevanten Parameters N (mineralische Formen) wird untersucht, inwieweit die bei der Integration länger brachgelegter Flächen akkumulierten Nährstoffmengen mobilisiert werden. Dazu zeigte ein erster Vergleich von Sickerwassermengen, N-Austrägen und TS-Erträgen der Langzeitbrachlegungvariante b mit den Wiedereingliederungsvarianten c bis f sowie den analog bewirtschafteten Lysimetern aus dem Integrierten Landbau in Tabelle 6 zunächst, dass die größte Sickerwassermenge und damit verbunden auch der höchste N-Austrag unter den Dauerbrachelysimetern (Variante b) gemessen wurde. Auch bei einer Gegenüberstellung der N-Austräge aller mit Weizen bestellten Lysimeter wurde festgestellt, dass in der Regel (bis auf Variante d) keine erhöhten N-Auswaschungen im Vergleich zum Integrierten Landbau zu verzeichnen waren. Eine varianzanalytische Verrechnung der ausgetragenen N-Mengen ergab jedoch statistisch gesicherte Abhängigkeiten von der Art der Wiedereingliederung in die Intensivnutzung. Signifikant geringere N-Austräge konnten für die Varianten c und f gegenüber a und d ermittelt werden.

Eine Abhängigkeit von der Art der Wiedereingliederung konnte für das erste Versuchsjahr nach der Brachlegung auch für die Höhe des TS-Ertrages statistisch abgesichert werden. Zeigten sich hier

1997 die signifikant höchsten Erträge auf den Lysimetern des Integrierten Landbaues, so waren die Pflanzenbestände der Wiedereingliederungsvarianten im Versuchsjahr 1998 aufgrund der herrschenden hydrologischen Bedingungen (durch Tracerversuche ermittelte Verlagerungsgeschwindigkeit von 4,5 bis 5 mm/l Sickerwasser (SEEGER et al., 1999)) in der Lage, den durch die Integration mobilisierten N so auszunutzen, dass auf fasst allen Lysimetern (mit Ausnahme der düngungslosen Variante c) höhere Erträge als auf den Vergleichslysimetern des Integrierten Landbaues erzielt werden konnten. Die Ergebnisse über die Höhe der N-Austräge der zweiten winterlichen Sickerungsperiode 1998/99 stehen noch aus.
Nach dem bisher vorliegenden Erkenntnisstand wird die aus Untersuchungen von HESS und FRANKEN (1988) sowie KERSEBAUM et al. (1993) beschriebene günstige Wirkung der Wiedereingliederung von Dauerbrachen nach wüchsigen So.Zwischenfrüchten - Variante e - sowie ein später Umbruch - Variante f - für eine nachhaltige Bewirtschaftung im Hinblick auf den N-Austrag bestätigt.

Tab. 6: Vergleich von Sickerwassermenge, N-Austrag und TS-Ertrag zwischen dem Integrierten Landbau (a) und verschiedenen Brachlegungsvarianten (b – f) nach der Wiedereingliederung in die intensive Landbewirtschaftung

| Nutzungsvariante | Sickerwassermenge (mm) | N-Austrag (kg/ha) | TS-Ertrag (dt/ha) | |
|---|---|---|---|---|
| | 1997/98 | 1997/98 | 1997 | 1998 |
| a | 8,0 | 3,0 | 163,3 | 118,7 |
| b | 20,2 | 5,0 | - | - |
| c | 6,6 | 1,3 | 74,0 | 87,4 |
| d | 13,1 | 3,4 | 149,9 | 120,2 |
| e | 14,5 | 1,7 | 114,5 | 127,6 |
| f | 0,5 | 0,2 | 109,4 | 150,9 |

## Zusammenfassung

*Langzeituntersuchung von brachgelegten Lysimetern*

- Es bestehen deutliche Unterschiede im Auswaschungsverhalten der Kationen und Anionen bei bewirtschafteten und brachgelegten Ackerböden.
- Unabhängig von der Art der Landbewirtschaftung ist das Auswaschungsverhalten der Kationen eng mit der Sickerwassermengenbildung verbunden. Demgegenüber bestehen aufgrund des begrenzten Nachlieferungsvermögens aus dem Bodenpool bei den Anionen keine oder nur mäßige signifikante Beziehungen.
- Nach siebenjähriger Brachlegungszeit besteht die Tendenz einer Verringerung des pH-Wertes im Krumenbereich.

*Wiedereingliederung von Dauerbrachen in die Intensivbewirtschaftung*

- Es wurde keine erhöhte Auswaschungsgefährdung von N nach fünfjähriger Brachlegung ehemals intensiv genutzter Ackerflächen im ersten Jahr nach der Wiedereingliederung festgestellt.
- Die während der Brachlegungszeit im Oberboden akkumulierten N-Mengen wurden durch den bei der Wiedereingliederung in die Intensivbewirtschaftung etablierten Weizenbestand genutzt und in Biomasse umgewandelt. Auch im zweiten Nutzungsjahr (Kartoffelanbau) kam es, verursacht durch günstige hydrologische Bedingungen (wenig Niederschlag – geringe N-Verlagerung), in der Regel sogar zu höheren Erträgen im Vergleich zum Integrierten Landbau.
- Sowohl die Höhe des N-Austrages als auch des Ertrages ist von der Art der Wiedereingliederung abhängig. Besonders vorteilhaft erwies sich der Bracheumbruch im Frühjahr mit anschließender Einsaat von So.Weizen (Variante f).

## Literatur

Eine Zusammenstellung der angegebenen Literatur ist bei den Verfassern erhältlich.

INTERNATIONALES SYMPOSIUM

# Dauerdüngungsversuche als Grundlage für nachhaltige Landnutzung und Quantifizierung von Stoffkreisläufen

Vom 3. bis 5. Juni 1999 in Halle/Saale

120 Jahre „Ewiger Roggenbau"
50 Jahre Hallenser Dauerdüngungsversuche

**Veranstalter:**
Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung
International Society for Sustainable Agriculture & Ressource Management, Hisar (Indien)
Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

**Schirmherr:**
Der Minister für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt,
Herr **Johann Konrad Keller**

**Sponsoren:**
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) Bonn
- Stadt Halle, Amt für Wirtschaftsförderung
- Gesellschaft der Freunde der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität
- Kali und Salz GmbH Kassel
- Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt
- Stiftungsfonds der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Hrsg.: Wolfgang Merbach und Martin Körschens**