

Stoff- und Partikelaustrag aus den Lysimetern der GSF-Anlage Neuherberg

D. KLOTZ

Abstract

Es wird über den Austrag von (Haupt-) Ionen und wassergetragenen Partikeln (Huminstoffe und Mischoxide des Al, Fe und Mn) mit dem Sickerwasser aus vier verschiedenen Böden, die in 16 Lysimeter der GSF-Anlage Neuherberg eingebaut sind, über einen Zeitraum von ca. vier Jahren berichtet. Für diese Böden besteht ein unterschiedlicher Austrag von Ionen und Partikeln, liegt für Ionen in derselben Größenordnung wie der Eintrag mit dem Niederschlag und ist nicht mit der angebauten Frucht zu korrelieren.

Einleitung

Nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlasten-Verordnung (BBodSchV, 1999) werden unter anderem einheitliche Anforderungen an die Untersuchungsmethoden und die Bewertung von altlastenverdächtigen Flächen sowie Prüfwerte zur Beurteilung des Sickerwassers festgelegt. Die Migration von Schadstoffen in Böden ist neben den Bodeneigenschaften von der Qualität und der Quantität des Sickerwassers abhängig:

- Größere Sickerwassermengen, die zur Grundwasser-Neubildung führen, fallen hauptsächlich in den Winterhalbjahren an (KLOTZ und SEILER, 2000), sie sind bodenspezifisch und stark abhängig von der angebauten Frucht.
- Die Mineralisation des Sickerwassers, bestimmt durch die Anteile an den Hauptionen K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- und SO_4^{2-} , sowie die Spurenelementkonzentrationen (BIELERT et al. 2000) haben primär Einfluß auf Sorptions- und Desorptionsvorgänge von kationischen Schadstoffen (KLOTZ, 2000). Der Gehalt des Sickerwassers an organischen (Huminstoffe) und anorganischen Kolloiden (Mischoxide) kann Voraussetzung für einen partikelgetragenen Transport von Pestiziden und Schwermetallen

sein, der i. a. ohne Retardierung erfolgt (KLOTZ, 1995).

Im folgenden wird über den Stoff- und Partikelaustrag aus unterschiedlichen Böden, die in der GSF-Lysimeteranlage eingebaut sind, berichtet. Durch die verwendeten Baumaterialien der Lysimeter

- Edelstahl V4A für die Lysimetersäulen, Auslauffilter, Auslauffbehälter und Fittings,
- Quarzsande für den Auslauf-Volumenfilter und
- PVC für kurze Schlauchverbindungen

werden die Sickerwässer nicht maßgeblich in der Konzentration der Hauptionen, der DOC- und Mischoxid-Gehalte und in den Spurenelementkonzentrationen (BIELERT et al., 1997) beeinflusst.

Eingesetzte Lysimeter

Derr Stoff- und Partikelaustrag wurde an 16 Lysimetern der GSF-Anlage Neuherberg (KLOTZ und SEILER, 1999) untersucht, in die vier verschiedene Böden/Sedimente aus Bayern eingebaut sind:

- Boden 1 (Standort Scheyern): pseudo-vergleite Braunerde/Schluffe,
- Boden 2 (Standort Kelheim): Braunerde/Sande,
- Boden 3 (Standort Hohenwart): Kolluvium über Braunerde/kiesige Sande,
- Boden 4 (Standort Feldkirchen): Rendzina/sandige Kiese.

Die Böden der Standorte Scheyern, Kelheim und Hohenwart wurden im Frühjahr 1995 als Bodenmonolithe (ungestört im Gefüge und der Lagerung) ausgestochen, im Sommer 1996 wurde der Boden des Standortes Feldkirchen in vier Lysimetersäulen gestört und versuchs-technisch dicht eingebaut. Nach Einbau der 16 Lysimetersäulen in die GSF-Anlage Neuherberg wurden die Lysimeter im Herbst 1995 (Böden 1, 2 und 3) bzw. im Sommer 1996 (Boden 4) in Betrieb genommen. Ab Januar 1997 wurden

monatliche Sickerwasserproben gesammelt, die auf Gehalte an Hauptionen und Gehalte an DOC (stellvertretend für Huminkolloide) und Gehalte an Al (stellvertretend für anorganische Kolloide der Mischoxide) analysiert wurden.

Auf den Lysimetern, die im Zentrum eines 100 m x 100 m großen, landbewirtschafteten Arealen eingebaut sind, und dem umgebenden Acker wurde eine dreigliedrige Fruchtfolge angebaut:

1996/97: Winter-Weizen,

1997/98: Winter-Gerste,

1998/99: Senf, Brache und Mais,

1999/00: Winter-Weizen.

Messergebnisse

Die Böden 1 bis 3 (Standorte Scheyern, Kelheim, Hohenwart) wurden meist am Rande landbewirtschafteter Flächen entnommen. Über die Vorgeschichte der Bewirtschaftung der Böden (Fruchtanbau, Düngungsart und -menge) ist nichts bekannt. Der Boden 4 (Standort Feldkirchen) wurde aufgebaut im C-Horizont mit Kies, entnommen aus einer Kiesgrube in 10 m Tiefe, und im A-Horizont mit Oberboden aus einer zusammengescho-benen, darüber abgelagerten Halde. Der Boden wurde mindestens drei Jahre nicht landwirtschaftlich genutzt. Seit der Inbetriebnahme 1995 bzw. 1996 wurden die Lysimeter nicht gedüngt.

Tabelle 1: Input der Hauptionen [g] mit dem Niederschlag auf die 16 Lysimeter der vier Standorte für die Jahre 1997 bis 2000; 2000*: bis 30.10.2000, N = Niederschlagsmenge

Ion/Jahr	1997	1998	1999	2000*
N [mm]	725	834	900	950
K^+	0,86	2,52	0,85	2,25
Na^+	1,31	0,99	0,85	1,24
Ca^{2+}	3,47	3,03	3,25	3,10
Mg^{2+}	0,72	0,69	0,72	0,72
Cl^-	0,78	1,00	0,84	2,01
NO_3^-	8,93	7,15	7,52	9,44
SO_4^{2-}	3,17	5,17	2,21	2,72

Autor: Dipl.-Phys. Dietmar KLOTZ, GSF - Institut für Hydrologie, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 NEUHERBERG

Tabelle 2: Austrag der Hauptionen [g] aus den Lysimetern der Standorte Scheyern, Kelheim, Hohenwart und Feldkirchen für die Jahre 1997 bis 2000; 2000*: bis 30.10.2000, A = Grundwasser-Neubildung

Ion	1997	1998	1999	2000*
Standort Scheyern				
A [mm]	233 ± 14	209 ± 15	379 ± 33	468 ± 39
K ⁺	0,38 ± 0,06	0,24 ± 0,09	0,30 ± 0,13	0,25 ± 0,04
Na ⁺	1,66 ± 0,29	1,22 ± 0,19	2,1 ± 0,5	2,2 ± 0,3
Ca ²⁺	18,9 ± 2,7	10,8 ± 2,7	21,4 ± 2,8	19,5 ± 3,3
Mg ²⁺	6,7 ± 2,0	4,0 ± 1,2	8,0 ± 2,4	7,3 ± 1,6
Cl ⁻	3,2 ± 1,9	1,52 ± 0,66	2,2 ± 1,2	1,62 ± 0,65
NO ₃ ⁻	22,1 ± 8,2	5,3 ± 1,9	13,2 ± 2,8	10,4 ± 1,8
SO ₄ ²⁻	6,5 ± 0,3	3,8 ± 0,3	7,3 ± 1,3	7,4 ± 1,1
Standort Kelheim				
A [mm]	282 ± 38	313 ± 45	438 ± 52	636 ± 53
K ⁺	0,64 ± 0,16	0,35 ± 0,14	0,25 ± 0,03	0,31 ± 0,08
Na ⁺	2,5 ± 1,3	2,5 ± 1,3	3,1 ± 1,1	5,3 ± 2,9
Ca ²⁺	24,6 ± 4,7	23,1 ± 4,7	23,3 ± 5,6	25,1 ± 8,6
Mg ²⁺	5,4 ± 1,2	5,3 ± 1,5	5,8 ± 1,6	7,5 ± 3,2
Cl ⁻	8,2 ± 4,7	3,8 ± 2,3	1,46 ± 0,57	1,54 ± 1,18
NO ₃ ⁻	35,1 ± 8,2	14,6 ± 5,6	22,6 ± 17,4	17,7 ± 8,9
SO ₄ ²⁻	19,3 ± 3,8	14,4 ± 4,3	12,5 ± 1,8	10,6 ± 3,3
Standort Hohenwart				
A [mm]	261 ± 7	304 ± 28	393 ± 37	498 ± 54
K ⁺	0,39 ± 0,05	0,27 ± 0,04	0,20 ± 0,03	0,22 ± 0,03
Na ⁺	2,1 ± 0,1	2,4 ± 0,6	3,6 ± 2,6	4,4 ± 2,4
Ca ²⁺	40,9 ± 3,6	29,5 ± 4,9	23,5 ± 8,6	17,7 ± 7,4
Mg ²⁺	7,1 ± 3,1	4,8 ± 1,9	3,7 ± 1,0	2,9 ± 0,7
Cl ⁻	12,2 ± 5,0	2,6 ± 1,3	1,44 ± 0,61	0,75 ± 0,16
NO ₃ ⁻	60,6 ± 25,3	23,4 ± 16,7	34,6 ± 25,9	28,3 ± 25,6
SO ₄ ²⁻	41,7 ± 11,0	36,0 ± 11,5	26,6 ± 2,8	19,3 ± 2,6
Standort Feldkirchen				
A [mm]	264 ± 23	261 ± 37	440 ± 21	602 ± 118
K ⁺	0,33 ± 0,05	0,20 ± 0,02	0,27 ± 0,05	0,35 ± 0,10
Na ⁺	0,83 ± 0,12	0,71 ± 0,04	1,18 ± 0,11	0,35 ± 0,10
Ca ²⁺	31,9 ± 3,4	18,1 ± 3,5	24,1 ± 2,6	29,1 ± 7,4
Mg ²⁺	5,9 ± 0,9	3,2 ± 0,2	4,7 ± 0,5	6,2 ± 1,4
Cl ⁻	1,21 ± 0,30	0,31 ± 0,10	0,72 ± 0,11	0,73 ± 0,20
NO ₃ ⁻	55,2 ± 9,5	24,0 ± 5,0	35,1 ± 6,9	52,2 ± 13,0
SO ₄ ²⁻	11,6 ± 1,5	6,0 ± 0,4	7,7 ± 0,7	8,9 ± 2,6

Ein Input auf die Lysimeter

- an Hauptionen geschah nur mit dem Niederschlag (Tabelle 1). Der Input an DOC und Mischoxiden mit dem Niederschlag lag unter den Bestimmungsgrenzen der Nachweisverfahren (DOC: ca. 0,1 mg/l, Al, Fe, Mn: ca. 5 µg/l).
- Zusätzlich wurde pro Lysimeter Kalium (1996/97: 9,5 g) bei der Markierung mit KBr zur Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeit (MÜLLER et al., 2000) aufgegeben.

In Tabelle 2 sind die aus vier Lysimetern je Standort gemittelten jährlichen Austragswerte für die Hauptionen K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, NO₃⁻ und SO₄²⁻ in Tabelle 3 für DOC und für Al (stellvertretend für die Mischoxide) mit dem Sickerwasser für

die Jahre 1997 mit 2000 zusammengestellt. Sie wurden bilanziert aus den bestimmten monatlichen Stoffkonzentrationen und der Sickerwassermenge.

Wertung der Ergebnisse

Aus den monatlichen und den daraus bestimmten jährlichen Eintragungsergebnissen mit dem Niederschlag (Tabelle 1) und den Austragsresultaten mit dem Sickerwasser (Tabelle 2 und Tabelle 3) folgt:

- Der Stoff- und Partikelaustrag mit dem Sickerwasser ist bodenspezifisch.
- Die jährlichen Austragsmengen für die vier Lysimeter eines Standortes schwanken in einem größeren Bereich (i. a. bis ca. ± 50%).

- Der Austrag der Hauptionen der vier Böden liegt in derselben Größenordnung wie der Eintrag dieser Ionen mit dem Niederschlag.
- Die Austragsmenge der Ionen und Partikel ist eng mit der Sickerwasserquantität verknüpft: Sie ist wegen der größeren Grundwasser-Neubildungsrate im Winterhalbjahr (KLOTZ und SEILER, 2000) größer als im Sommerhalbjahr.
- Bypaß-Flüsse nach größeren Niederschlagsereignissen (KLOTZ, 2001) bewirken i. a. einen Konzentrationsanstieg der ausgetragenen Ionen und Partikel.
- Sowohl für die Lysimeter-Böden 1 bis 3 (Zeitraum zwischen monolithischer Entnahme und Inbetriebnahme: ca. 1/2 Jahr) als auch für den Lysimeter-Boden 4 (sofortige Inbetriebnahme nach "gestörter" Lysimeterbefüllung) nehmen für das erste Jahr der Austragsregistrierung (1997) i. a. die Stoffaussträge Maximalwerte an. Das kann zurückzuführen sein auf unbekannte Düngung der Böden an den Standorten vor dem Ausstechen der Lysimeter und einem möglichen, erhöhten mikrobiellen Abbau während der Standzeiten (1/2 Jahr ohne Klimatisierung auf Bodentemperatur) der Lysimeter der Standorte Scheyern, Kelheim und Hohenwart.

- Eine Korrelation der Austragsmengen mit den angebauten Getreidearten und mit den mit dem Niederschlag eingetragenen Stoffmengen ist bisher nicht erkennbar, da die Migrationseigenschaften (Transportgeschwindigkeiten) der Ionen in den Systemen "Boden/Sediment – Sickerwasser" unbekannt sind.

Literatur

- BBodSchV, 1999: Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV), Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 36, 1554, Bonn.
- BIELERT, U., K.W. BECKER und H. HEINRICHS, 1997: Einfluß von Baumaterialien auf den Gehalt von Spurenmetallen in Lysimeterabläufen. – BAL-Bericht: 7. Lysimetertagung "Lysimeter und nachhaltige Landnutzung", Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein, 23 – 26.
- BIELERT, U., D. KLOTZ und H. HEINRICHS, 2000: Variabilität von Spurenelement-Konzentrationen im Sickerwasser der GSF-Lysimeter Neuherberg. – In: Sickerwassermodellierung

Tabelle 3: Austrag wassergetragener Partikel [g] aus den Lysimetern der vier Standorte für die Jahre 1997 bis 2000. Stellvertretend für Mischoxide wurden die Gehalte an Al, für Huminstoffe der DOC-Gehalt registriert. 2000*: bis 30.10.2000, A = Grundwasser-Neubildung

Partikel	1997	1998	1999	2000*
Standort Scheyern				
A [mm]	233 ± 14	209 ± 15	379 ± 33	468 ± 39
Al	26,5 ± 3,7	34,9 ± 7,0	52,7 ± 15,3	55,0 ± 24,9
DOC	0,78 ± 0,05	0,84 ± 0,08	1,10 ± 0,08	1,46 ± 0,12
Standort Kelheim				
A [mm]	282 ± 38	313 ± 45	438 ± 52	636 ± 53
Al	38,9 ± 2,4	36,9 ± 10,2	29,3 ± 6,4	14,2 ± 3,4
DOC	0,56 ± 0,09	0,56 ± 0,13	0,76 ± 0,20	0,80 ± 0,22
Standort Hohenwart				
A [mm]	261 ± 7	304 ± 28	393 ± 37	498 ± 54
Al	60,1 ± 37,7	38,6 ± 21,7	36,3 ± 27,2	16,6 ± 4,8
DOC	0,76 ± 0,14	0,76 ± 0,20	0,89 ± 0,4	0,93 ± 0,51
Standort Feldkirchen				
A [mm]	264 ± 23	261 ± 37	440 ± 21	602 ± 118
Al	38,3 ± 6,2	12,5 ± 7,6	50,9 ± 18,7	11,5 ± 5,6
DOC	0,95 ± 0,25	1,02 ± 0,17	1,27 ± 0,08	1,45 ± 0,39

(Hrsg.: K.-P. Seiler, D. Klotz), GSF-Bericht, im Druck.

KLOTZ, D., 1995: Transport von ¹⁵²Eu-Kolloiden in einem System Feinsand/huminstoffhaltiges Wasser. – GSF-Bericht 29/94, 85 S.

KLOTZ, D., 2000: Migrationsuntersuchungen mit Radionukliden der Elemente C, Ca, Cl, Cs, Eu, I, Rb, Sn und Sr in Sedimenten aus der Gegend von Gorleben. – In: Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranbergbaus (Hrsg.: Freistaat Sachsen, Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft), 81 – 101.

KLOTZ, D., 2001: Untersuchungen zu Bypass-Flüssen an den GSF-Intensiv-Lysimetern. – Im gleichen Band.

KLOTZ, D. und K.-P. SEILER, 1999: Einführung in die Lysimeteranlage Neuherberg. – In: Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeit in Lysimetern (Hrsg.: D. Klotz, K.-P. Seiler), GSF-Bericht 01/99, 73 – 77.

KLOTZ, D. und K.-P. SEILER, 2000: Grundwasser-Neubildung unter vier unterschiedlichen landwirtschaftlich genutzten Böden. – In: Sickerwassermodellierung (Hrsg.: K.-P. Seiler, D. Klotz), GSF-Bericht, im Druck.

MÜLLER, J., D. KLOTZ, P. MALOSZEWSKI und W. STICHLER, 2000: Marklierungsergebnisse auf der Großlysimeteranlage Neuherberg. In: Sickerwassermodellierung (Hrsg.: K.-P. Seiler, D. Klotz), GSF-Bericht, im Druck.

