

Vergleich der Eignung von Lysimetern unterschiedlicher Bauart zur Ermittlung der Sickerwassermenge und -beschaffenheit

J. SEEGER, R. MEISSNER und H. RUPP

Abstract

Selected results from standard lysimeters were compared with results gained with On-Line Lysimeters and Deep Drainage Meters (DDM) according to G.W.Gee in order to test the suitability of lysimeters of different design for special tasks. A comparison of the seepage water amount under grassland showed conformity despite of different construction. It can be concluded that for selected tasks, like the monitoring of water resources, the usage of standard lysimeters is sufficient to gain basic soil-hydrological parameters. The On-Line Lysimeter which enables us to quantify seepage formation at the bottom of the lysimeter vessel with high spatial resolution especially offers opportunities to describe pathways of water flux in the soil column quantitatively and qualitatively. Long term lysimeter results showed that only limited areas are involved in the seepage water formation during precipitation events with average intensity. The different participation of flow pathways can implicate on the one hand comparable amounts of seepage water. On the other hand clear differences concerning the loads are visible.

Einleitung

Seit Beginn der 80er Jahre werden auf der Lysimeterstation des Helmholtzzentrums für Umweltforschung GmbH - UFZ in Falkenberg Lysimeter unterschiedlicher Bauart für die Bearbeitung aktueller Aufgabenstellungen - von der Untersuchung des Bodenwasserhaushalts und der damit zusammenhängenden Transport- und Verlagerungsvorgänge gelöster und suspendierter Inhaltsstoffe bis zur Prozessforschung - eingesetzt. Dabei stellt sich immer wieder die Frage, ob die jeweils zur Anwendung kommenden Versuchsgefäße den Anforderungen gerecht werden.

Neben den seit 1995 sukzessive durchgeführten Verbesserungen der Bautechnik von Lysimetern:

- Erhöhung der nutzbaren Tiefe von 100 auf 200 cm
- Übergang von nicht monolithisch zu monolithisch gefüllten Versuchsgefäßen
- Übergang von nicht wägbaren zu wägbaren Lysimetern
- online-Erfassung von Sickerwassermengen
- Unterteilung von Lysimeterböden in Sektionen

ist nach wie vor die weitere Nutzung der seit 1982 vorhandenen Altanlagen (Kastenlysimeter) ein integraler Bestandteil der gegenwärtigen Arbeiten. Da großskalige Untersuchungen der Sickerwasserbewegung und des Stofftransportes in Lysimetern kosten- und personalaufwendig sind, wurde das Spektrum der Versuchsgefäße im Jahr 2004 durch eine kostengünstige Variante, das sog. Deep Drainage Meter (DDM) nach G.W.Gee (GEE et al., 2002) komplettiert.

Im Rahmen dieser Auswertung werden in unterschiedlichen Lysimetertypen (Kastenlysimeter, Lysimeter mit Unterteilung der Grundplatte in 8 Sektionen und online-Erfassung der Sickerwassermenge (Online-Lysimeter), sowie DDM) sowie unter differenzierten Standortbedingungen und Bewirtschaftungsintensitäten gewonnene Sickerwassermengen gegenübergestellt (i). Über den einfachen Vergleich von Sickerwassermengen in den verschiedenen Versuchsgefäßen hinaus, ist es bei den in hoher räumlicher Auflösung arbeitenden Online-Lysimetern möglich, die Beteiligung einzelner Fließbahnen innerhalb der Bodensäule eines Gefäßes an der Sickerwasserbildung zu quantifizieren (ii) und die auf der Basis

der Sickerwassermenge ausgetragenen Nährstoffe einer näheren quantitativen und qualitativen Betrachtung zu unterziehen (iii).

Material und Methoden

Die baulichen Unterschiede der drei in die Auswertung integrierten Lysimetertypen - Kastenlysimeter (MEISSNER et al., 2001, SEEGER et al., 2002), Online-Lysimeter (*Abbildung 1*) und DDM (*Abbildung 2*) - sind zusammen mit Bewirtschaftungskriterien in *Tabelle 1* dargestellt.

Der Füllboden der Standardlysimeter setzt sich bis in 30 cm Tiefe aus der Bodenart S14 und bis in 100 cm Tiefe aus S12 (nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA4, AG Boden, 1994) zusammen. Sowohl bei den Online-Lysimetern als auch bei den DDM handelt es sich um Füllböden der gleichen Bewirtschaftungsfläche - einem Grünland (GL)-Standort aus dem 15 km entfernt liegenden Kleineinzugsgebiet Schaugraben, dem Referenzgebiet für die Lysimeterstation (MÖLLER et al., 2003, RICHTER, 2003), der bis in 35 cm Tiefe aus St2 und bis in 200 cm Tiefe aus mSfs besteht. Das DDM 1 wurde direkt auf dem Entnahmestandort installiert.

Für das DDM 2 wurden der Füllboden und die 60 cm Oberbodenschicht (vgl. *Abbildung 2*) über dem eigentlichen Versuchsgefäß dem Originalstandort entnommen. Das Versuchsgefäß wurde auf der Lysimeteranlage in unmittelbarer Nähe der Kastenlysimeter 4 und 71 sowie der Online-Lysimeter 211 und 212 eingebaut. Die Auswertung erfolgte auf der Basis der in den Lysimetertypen ermittelten und zu Monatswerten verdichteten Sickerwassermengen im Zeitraum von Januar 2004 bis Juni 2006. Darüber hinaus wurden an ausgewählten

Autoren: Dipl.Chem. Juliane SEEGER, Prof. Dr. Ralph MEISSNER, Dr. Holger RUPP, Helmholtzzentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Bodenphysik, Lysimeterstation, Dorfstraße 55, D-39615 FALKENBERG, juliane.seeger@ufz.de

Tabelle 1: Zusammenstellung von Bauart und Bewirtschaftungskriterien der integrierten Lysimetertypen

Lysimetertyp/ Lysimeternr.	Bau- jahr	Größe	Art der Befüllung	Bewuchs/ Bewirtschaftung	Probengewinnung/ Beprobungsrhythmus	Analysen- kriterien
Kastenlysimeter - Lys. 4	1982	1 m ² Oberfläche (rechteckig), 1 m nutzbare Tiefe	nicht monolithisch	- GL-Normal- nutzung - int. GL-Nutzung	gravimetrisch/ monatlich	Sicker- wassermenge
Online- Lysimeter - Lys. 211, 212	2001	1 m ² Oberfläche (rund), 2 m nutzbare Tiefe	monolithisch	- GL-Normal- nutzung	gravimetrisch über Kippwaagen - 8 Seg- mente pro Lysimeter/ Online-Erfassung	Sicker- wassermenge An- und Kat- ionenfrachten
Deep Drainage Meter (DDT) - DDM 1	2004	0,03 m ² Oberfläche (rund), 2 m nutzbare Tiefe - Einbau Unterflur	monolithisch	- GL-Normal- nutzung	abpumpen/ wöchentlich	Sicker- wassermenge
- DDM 2			nicht monolithisch	- ext. GL-Nutzung		

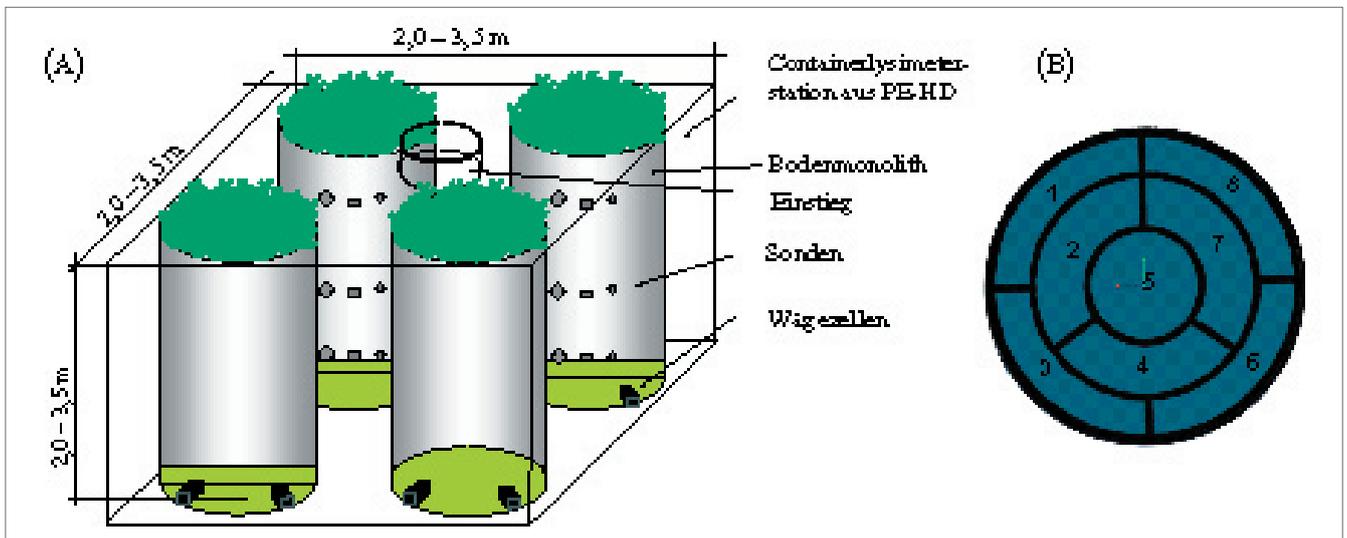


Abbildung 1: Prinzipskizze einer PE-Containerlysimeterstation (A) und Darstellung der Segmentierung einer Lysimeterbodenplatte (B)

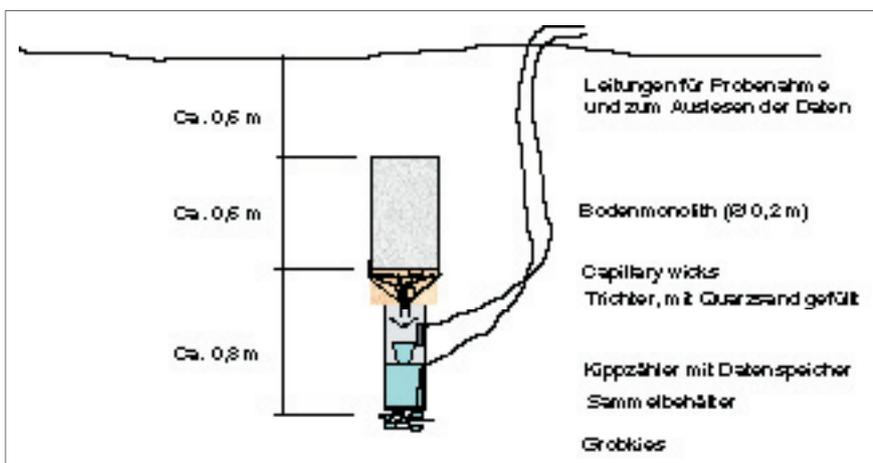


Abbildung 2: Schnittzeichnung eines Unterflur eingebauten DDM-Lysimeters

Mess-terminen in den Online-Lysimetern gemessene Sickerwassermengen, sowie Jahresfrachten (01/04 bis 12/04; 01/05 bis 12/05) der Anionen Nitrat (NO₃),

Chlorid (Cl), Sulfat (SO₄) und der Kationen Calcium (Ca), Natrium (Na), Kalium (K), Magnesium (Mg) einbezogen.

Ergebnisse und Diskussion

(i) Vergleich von Sickerwassermengen aus unterschiedlichen Lysimetertypen

Zum Vergleich der aus den unterschiedlichen Lysimetern gewonnenen Sickerwassermengen, wurden über den entsprechenden Versuchszeitraum in *Abbildung 3* die Monatswerte gemeinsam mit dem monatlichen Niederschlagsangebot kumulativ aufgetragen. Dabei waren nur geringfügige Unterschiede im Verlauf der Kurven zu ermitteln. Zwischen den DDM 1 und DDM 2 sowie dem Online-Lysimeter 211, die mit Böden vom gleichen Standort des Schaugrabeneinzugsgebietes befüllt sind, betrug die Mengendifferenzen lediglich 2,8 mm

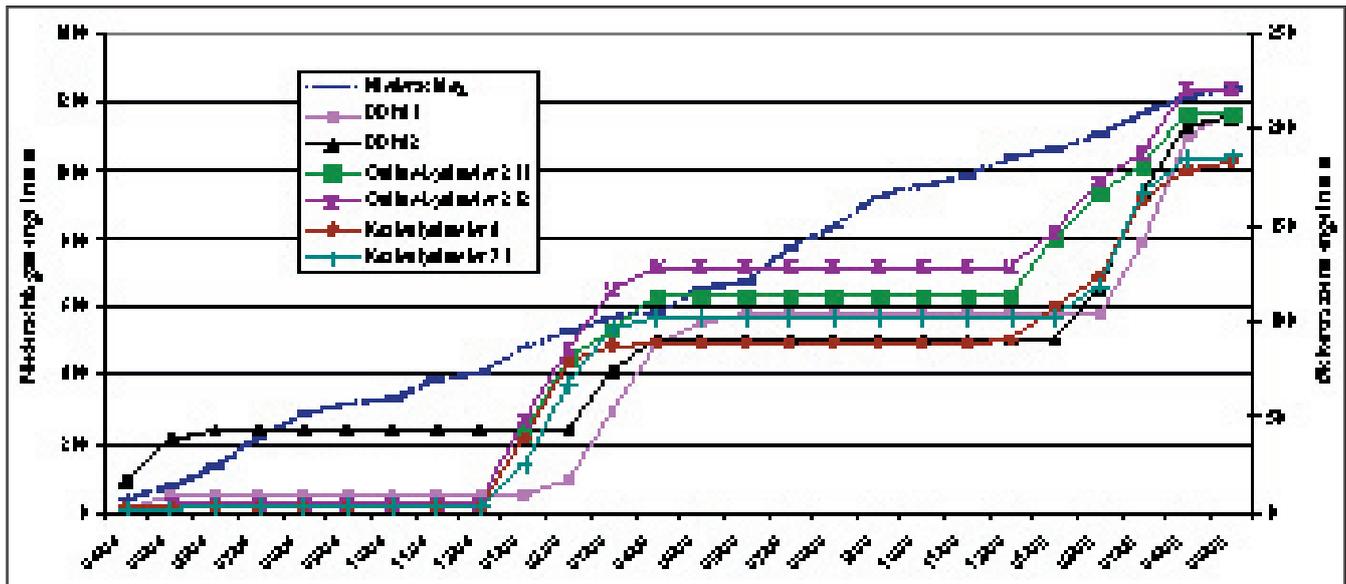


Abbildung 3: Vergleich von kumulativ aufgetragenen Niederschlags- und Sickerwassermengen aus unterschiedlichen Lysimetertypen mit Grünlandbewuchs im Versuchszeitraum April 2004 bis Juni 2006

(DDM 1: 209,3 mm - DDM 2: 206,5 mm) bzw. 1 mm (DDM 1 - Online 211: 208,3 mm). Auch der 6 %ige Mehraustrag unter Online-Lysimeter 212 (221,4 mm) gegenüber dem Parallellysimeter 211 ist als gering zu bewerten und lässt den Schluss zu, dass weder die Bauart, die unterschiedliche Art der Befüllung noch die differenzierten Aufstellungsbedingungen bzw. die Bewirtschaftung zu nennenswerten Mengenunterschieden führten.

Deutlicher fielen die Differenzen im Vergleich zu den Kastenlysimetern aus. So wurde im Lysimeter 4 (183,4 mm) eine um 25,9 mm und im Lysimeter 71 (185,8 mm) eine um 23,5 mm geringere Sickerwassermenge als im DDM 1 gemessen. Als maßgebliche Ursache wird hierfür die geringfügig abweichende Bodenart angesehen. Unterschiede aufgrund der Bewirtschaftungsintensität sind nicht auszumachen.

Der im Versuchszeitraum gemessene mittlere jährliche Niederschlag von 505 mm lag mit 6 % nur geringfügig unter dem langjährigen Mittel von 536 mm (gemessen zwischen 1986 und 2001 auf der Lysimeterstation in Falkenberg). Die erzielte gute Übereinstimmung untereinander und der Erhalt plausibler Werte bei allen Versuchsgefäßen - die in dieser Zeit ermittelten jährlichen Sickerwasserhöhen lagen mit Werten zwischen 92 und 111 mm im Schwankungsbereich von Angaben aus der Literatur (WENDLAND et

al., 1993) sowie eigener Untersuchungen (MEISSNER et al., 2000; CHAMBERS et al., 2006) über mittlere jährliche Abflüsse im Schaugrabeneinzugsgebiet - lässt die Schlussfolgerung zu, dass es für Fragestellungen wie z.B. ein Gebietswassermonitoring durchaus ausreichend ist, bodenhydrologische Kenndaten mit relativ einfach konstruierten Lysimetern zu ermitteln. Es ist jedoch weder mit den Kastenlysimetern („black boxes“) noch mit den DDM möglich, detaillierte Aussagen über das Abflussverhalten im Rahmen von Prozessforschungen zu machen.

(ii) Quantifizierung von Sickerwassermengen unterschiedlicher Fließbahnen in Online-Lysimetern

Die in 8 Sektionen geteilte Abflussplatte der Online-Lysimeter macht eine separate Betrachtung einzelner Fließbahnen einer Bodensäule und deren quantitative und qualitative Auswertung möglich. Auf der Basis eines vergleichbaren Niederschlagsniveaus in den hierfür betrachteten Versuchsjahren 2004 und 2005 konnten für die Online-Lysimeter 211 und 212 auch annähernd gleiche Sickerwassermengen gemessen werden (Lysimeter 211: 2004 - 113,5 mm bzw. 2005 - 115,4 mm; Lysimeter 212: 2004 - 122,0 bzw. 2005 - 126,9 mm). Die Sickerwasserbildung erfolgte jeweils im Zeitraum zwischen Januar und April. Wie in *Abbildung 4 (a) und (b)*

dargestellt, war in Lysimeter 211 die Beteiligung der einzelnen Fließbahnen an der Sickerwasserbildung jedoch sehr unterschiedlich.

In beiden Versuchsjahren nahmen lediglich 4 der 8 Sektionen an diesem Prozess teil. Den größten Anteil an der ermittelten Gesamtsickerwassermenge hatte die Fließbahn 2, wobei die gemessene Menge im Jahr 2004 mit 79 % der Gesamtmenge gut das Doppelte im Vergleich zu 2005 betrug. Bei der Fließbahn der Sektion 1 war die gemessene Sickerwassermenge dagegen im Jahr 2004 nur sehr gering, im Jahr 2005 mit einem Anteil von 30 % an der Gesamtmenge allerdings um das 10fache höher.

Für die Fließbahnen 4 und 5 konnte 2005 jeweils etwa das Doppelte an Sickerwasser ermittelt werden als im Versuchsjahr 2004.

Ein noch differenzierteres Bild ergab das Abflussverhalten von Lysimeter 212 (*Abbildung 5*). Hier waren 5 Sektionen an der Sickerwasserbildung gar nicht bzw. nur geringfügig beteiligt. Sektion 1 lieferte lediglich im Jahr 2004 Sickerwasser in einer Größenordnung von 63 % an der Gesamtmenge. Die Fließbahn der Sektion 4 hatte dagegen in beiden Jahren einen etwa gleichen aber nur geringen Anteil an der Abflussbildung. Den Hauptanteil an der Sickerwasserbildung 2005 hatte mit 92 % Sektion 8.

Obwohl in einer einfachen Gegenüberstellung zunächst etwa vergleichbare

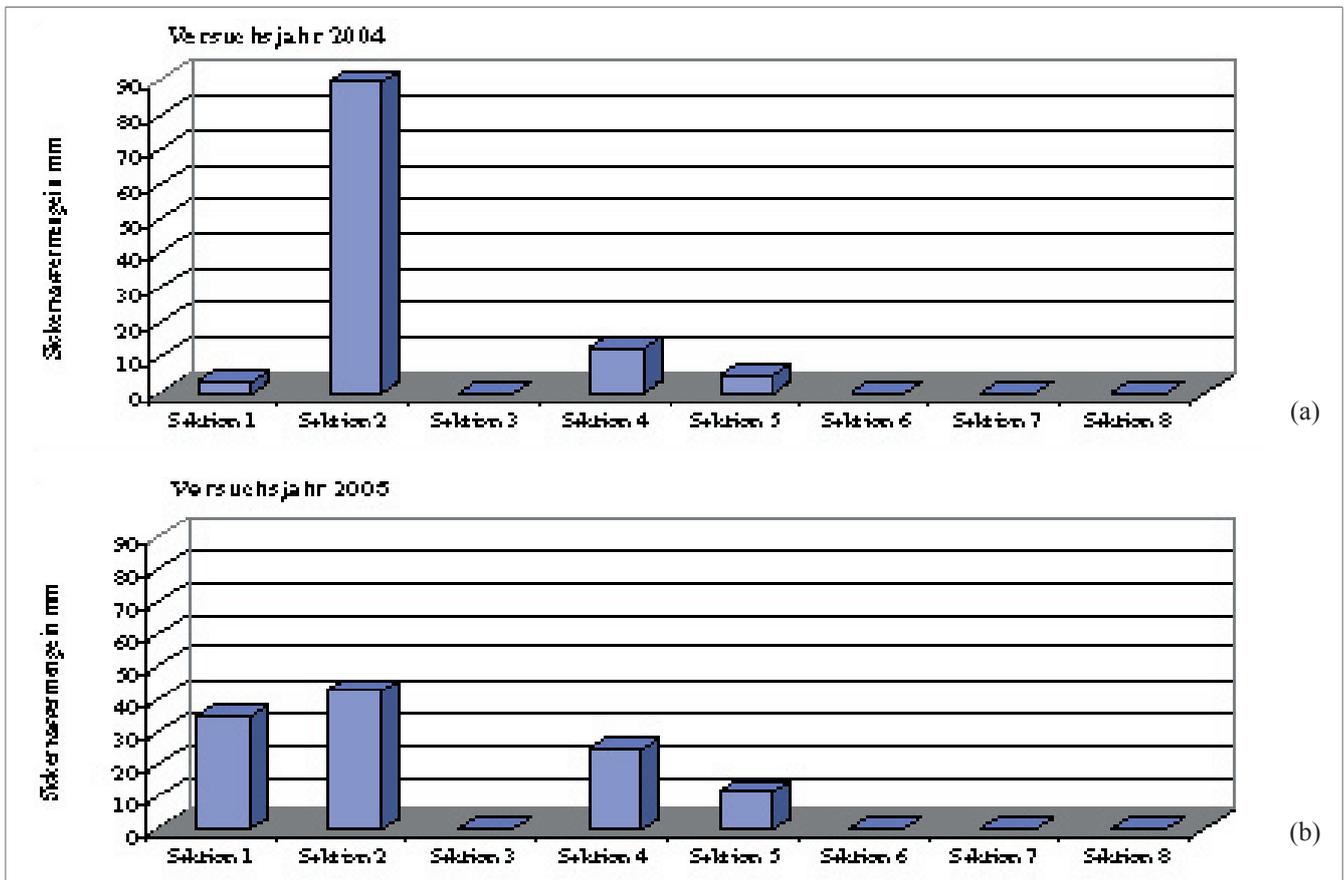


Abbildung 4: Vergleich der Sickerwassermenge in unterschiedlichen Fließbahnen des Online-Lysimeters 211 im Versuchszeitraum 2004 (a) bis 2005 (b)

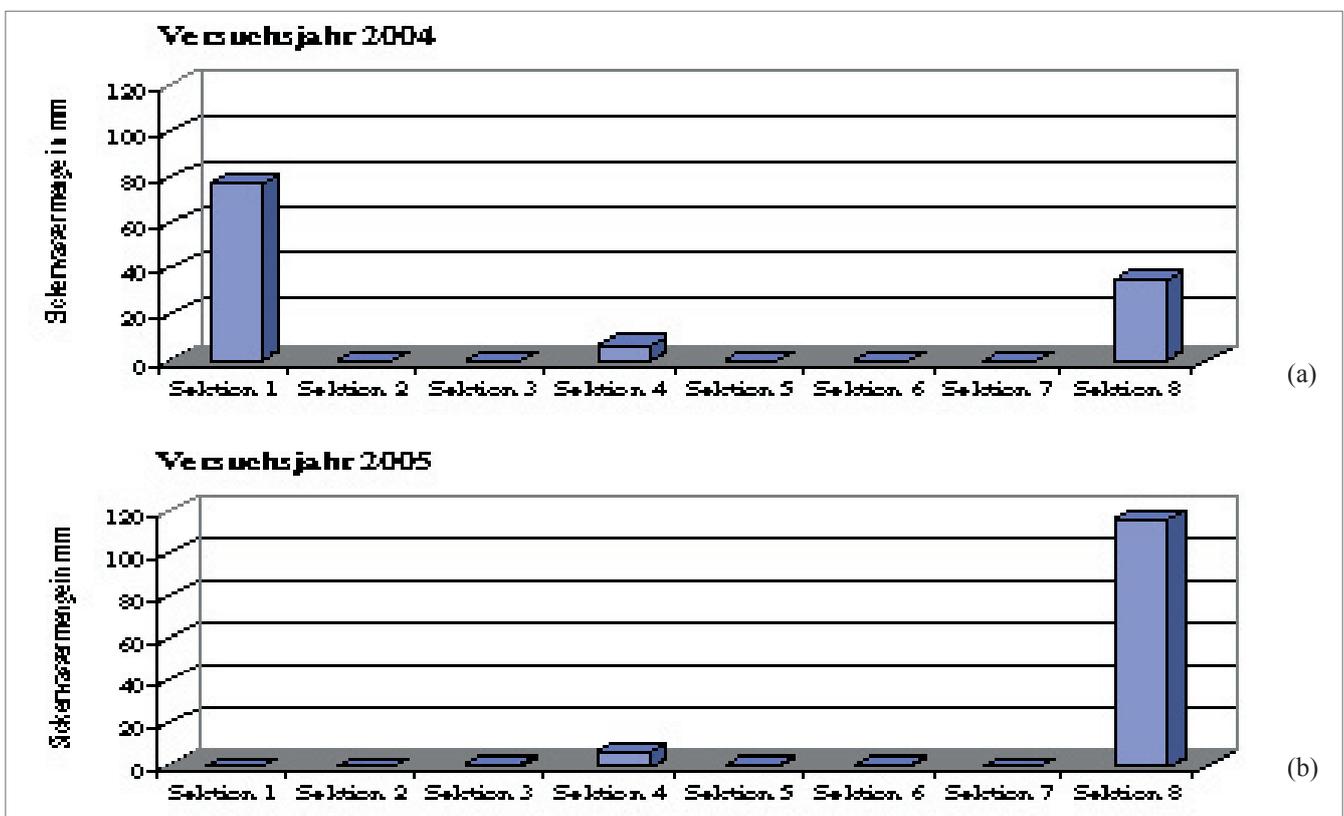


Abbildung 5: Vergleich der Sickerwassermenge in unterschiedlichen Fließbahnen des Online-Lysimeters 212 im Versuchszeitraum 2004 (a) bis 2005 (b)

Tabelle 2: Zusammenstellung der Stofffrachten (kg/ha) in den verschiedenen Fließbahnen von Online-Lysimeter 211 im Versuchszeitraum 2004 - 2005

Sektionen 2004	NO ₃ kg/ha	Cl kg/ha	SO ₄ kg/ha	Ca kg/ha	Mg kg/ha	Na kg/ha	K kg/ha
1	1,0	0,3	1,2	0,3	0,0	0,1	0,4
2	34,1	48,2	69,3	37,1	4,3	6,6	28,5
4	4,9	5,1	7,5	2,2	0,3	0,7	3,1
5	0,6	0,4	0,9	0,4	0,0	0,2	0,6
Σ	40,6	54,0	78,9	40,0	4,6	7,6	32,6
2005							
1	5,8	10,6	34,5	13,0	1,8	3,4	10,3
2	6,6	24,3	71,0	31,5	3,6	6,9	16,3
4	5,1	17,9	52,2	21,4	2,4	4,2	9,4
5	3,6	6,3	18,7	4,9	0,5	1,2	3,7
Σ	21,1	59,1	176,4	70,8	8,3	15,7	39,7

Sickerwassermengen sowohl innerhalb der beiden Versuchsjahre als auch innerhalb der Parallellysimeter festgestellt werden konnten, zeigt die detaillierte Betrachtung für beide Fälle ein sehr differenziertes Abflussverhalten der jeweils 8 Fließbahnen. Die eingebaute Messtechnik macht es neben der Quantifizierung des Sickerwassers möglich, auch eine hochfrequente Auswertung der daraus resultierenden Auswirkung auf den sickerwassergebundenen Stoffaustrag durchzuführen.

(iii) Quantifizierung des Stoffaustrages unterschiedlicher Fließbahnen eines Online-Lysimeters

Ausgangspunkt für die beispielhafte qualitative Betrachtung des Stoffaustrages in den Fließbahnen des Online-Lysimeters 211 sind die in *Tabelle 2* für den

Versuchszeitraum zusammengestellten Stofffrachten ausgewählter An- und Kationen. Wie beim Sickerwasser sind zwischen den 4 am Austragsgeschehen beteiligten Fließbahnen z.T. erhebliche Unterschiede zu verzeichnen. Erwartungsgemäß war entsprechend dem hohen Sickerwasseranteil von Sektion 2 im Versuchsjahr 2004 (79 %) auch der Anteil am Stoffaustrage bei allen Kriterien deutlich höher (im Mittel 89 % vom Gesamtaustrag) als in den Sektionen 1, 4 und 5.

Im Gegensatz zur Sickerwasserbildung kam es allerdings beim Stoffaustrag innerhalb der beiden Versuchsjahre z.T. zu beträchtlichen Unterschieden. Mit Ausnahme der Austragsmengen von Cl und K war 2005 im Vergleich zu 2004 eine Halbierung der NO₃-Auswaschung

und eine Verdoppelung der übrigen Stofffrachten zu verzeichnen.

Schlussfolgerungen

- Mit Hilfe von relativ einfach konstruierten Lysimetertypen ist es möglich, Wasserhaushaltsgrößen im Rahmen eines Gebietsmonitorings zu ermitteln
- Untersuchungen in Online-Lysimetern mit segmentierter Unterteilung zeigen, dass bei den geprüften Böden (nahezu mittleres jährliches Niederschlagsaufkommen) nicht alle Bereiche einer Bodensäule an der Abflussbildung beteiligt sind.
- Sowohl in Versuchsjahren mit etwa gleichem Niederschlagsangebot als auch zwischen Versuchsgefäßen mit ähnlicher Sickerwassermengenbildung sind deutliche Unterschiede im sickerwassergebundenen Stoffaustrag zu verzeichnen.
- In zukünftigen Aufgabenstellungen sollte untersucht werden, ob und wie die akkumulierten Stoffe in den nicht an der Sickerwasserbildung beteiligten Bereichen bei erhöhtem Niederschlagsaufkommen auswaschungswirksam werden.

Literatur

Die Literatur kann bei den Verfassern angefordert werden.

