

Sickerwassererfassung – Ein Vergleich von Geräten unterschiedlicher Bauart

A. PETERS, K. GERMER UND W. DURNER

Zusammenfassung

Zur Sickerwassererfassung in der ungesättigten Bodenzone gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Instrumente und Strategien. Bei der Wahl der Beprobungstechnik muss oft zwischen einer geringen Probenmenge und einer größeren Störung des Fließfeldes im Boden, und damit zwischen Repräsentativität und Praktikabilität entschieden werden. Im Sommer 2004 wurden in einen Feldversuch 8 Typen von Beprobungsinstrumenten in mehreren Einbau- und Beprobungsstrategien in jeweils 3 Parallelen untersucht und hinsichtlich der Bodenwassergewinnung verglichen. Als Geräte wurden Saugkerzen und Saugrohre, Saugplatten, Dochtlysimeter, sowie freidränende Lysimeter eingesetzt. Die gewonnenen Sickerwassermengen waren bei einem Unterdruck von -100 hPa, der etwa dem in situ vorherrschenden Matrixpotential entsprach, sehr gering und zwischen den Parallelen und Gerätetypen sehr variabel. Die Verwendung eines höheren Unterdrucks von -300 hPa ergab 7 bis 60-fach größere Wassermengen bei geringeren Variabilitäten. Die von den plattenförmigen Geräten aufgefangenen Wassermengen lagen für Dochtlysimeter bei 6% der Nettoinfiltration, für freidrainende, wandlose Lysimeter bei 13%, bei Saugplatten dagegen bei bis zu 1300%. Die Verwendung der Geräte zur Quantifizierung der natürlichen Sickerwasserflüsse war in keinem Fall möglich.

Abstract

Various instruments and strategies are used to collect leachate in the vadose zone. The selection of the collection technique is often a choice between a small collection volume and a greater disturbance of the flow field in the soil and thus between practicability and representativity. A field evaluation with different instruments and strategies for collecting soil water was conducted in summer 2004. The suction

devices collected only small amounts of water, when a suction of -100 hPa, was applied. Increasing the suction to -300 hPa lead to 7 to 60 times greater amounts of soil water less variability. Installation from the top into the disturbed soil compared with an undisturbed lateral installation also resulted in higher sampling efficiency and less variability. Zero tension plates and wick samplers had only poor efficiencies of 13% and 6%, respectively, whereas suction plates had collection efficiencies of up to 1300%.

Einleitung

Zur Bestimmung von Stofffrachten aus der ungesättigten Bodenzone ins Grundwasser ist es notwendig, sowohl die chemische Zusammensetzung als auch die Sickerrate des Bodenwassers abzuschätzen. Die in Hinblick auf Menge und Qualität repräsentative Beprobung von Sickerwasser in einem ungestörten Boden ist bis heute ein ungelöstes Problem, da jeder Einbau

von Erfassungsinstrumenten mit erheblichen Rückwirkungen auf den Zustand des Systems verbunden ist. Es gilt einen Mittelweg zu finden zwischen einer möglichst geringen Störung des Fließgeschehens im Boden, was idealerweise nur dann gewährleistet wäre, wenn dem System gar kein Wasser entzogen würde, und dem Anspruch möglichst viel Wasser zu gewinnen, um eine zeitlich hochaufgelöste Analyse von teilweise schwer nachzuweisenen Stoffen durchführen zu können.

Zur Beprobung des Sickerwassers kommen unterschiedliche Strategien zum Einsatz. Die direkte Bodenprobennahme lässt keine Aussagen über die Flüsse zu (Zhu et al., 2002), und aufgrund der Destruktivität ist eine wiederholte Beprobung desselben Bodenraumes nicht möglich (Brandi-Dohrn et al., 1996). Eine zweite Strategie ist der Einsatz freidrainender Systeme, wie Drainagerohre oder freidrainende Lysimeter. Bei Flächen, die mit einem Drainagesystem ausgestattet sind, kann die Beprobung des Drainage-



Abbildung 1: Ansicht der Grube mit eingebauten Geräten zur Sickerwasserbeprobung.

Autoren: Andre PETERS, Kai GERMER, und Prof. Dr. Wolfgang DURNER, Abt. Bodenphysik, Institut für Geoökologie, TU Braunschweig, Langer Kamp 19c, D-38106 BRAUNSCHWEIG

Tab. 1: Übersicht über alle untersuchten Instrumente und Strategien

Nr.	Art	Bez.	Geometrie	Länge	Radius	Fläche	Material	Potenzial	Hersteller
				[cm]	[cm]	[cm ²]		[hPa]	
1	Saugkerze	SK-K	Kerze	5	2	34	Mullit-Keramik	-100/-300	UMS
2	Saugkerze	SK-PE	Zylinder	6	2	38	PA/PE ⁸⁾	-100/-300	UMS
3a	Saugkerze	SK-Ku(ob) ¹⁾	Zylinder	6	3.2	60	PA/PE	-100/-300	ecoTech
3b	Saugkerze	SK-Ku(s) ²⁾	Zylinder	6	3.2	60	PA/PE	-100/-300	ecoTech
4	Saugkerze	SK-SiC	Kerze	50	4	628	Siliziumkarbid	-100/ - ⁹⁾	UMS
5a	Saugrohr	SR(dir) ³⁾	Zylinder	100	3.9	1210	PE/PA	-100/-300	ecoTech
5b	Saugrohr	SR(Q) ⁴⁾	Zylinder	100	3.9	1210	PE/PA	-100/-300	ecoTech
6a	Saugplatte	SP(ob)	Quadrat	20	X ⁵⁾	400	PA/PE	-100/-300	ecoTech
6b	Saugplatte	SP(s)	Quadrat	20	X	400	PA/PE	-100/-300	ecoTech
7	Dochtlysimeter	DL	Quadrat	30	X	900	Glasfaser	-50	Dr. M. Kücke ⁶⁾
8	Rillenlysimeter	RL	Quadrat	125	X	15625	Edelstahl	0	Eigenbau ⁷⁾

¹⁾ ob: Einbau von oben über die Oberfläche

²⁾ s: Einbau seitlich über die Grube

³⁾ dir: Einbau direkt, ohne Einschlammung

⁴⁾ Q: Einbau mit Einschlammung (Quarzschluff)

⁵⁾ Radien können nur für die zylindrischen Geräte angegeben werden

⁶⁾ Dochtlysimeter von Dr. M. Kücke, Institut f. Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig

⁷⁾ Rillenlysimeter: freidrainender, wandloser Lysimeter nach Peters et al. (2003)

⁸⁾ Stützkörper Polyethylen (PE), poröse Membran Polyamid (PA)

⁹⁾ Wegen geringem Lufteintrittspunkt der porösen Membran in der zweiten Phase nicht betrieben

gewässers Aufschluss über die Stoffflüsse im Sickerwasser geben. Allerdings können Teile des Drainagesystems umflossen und das Drainagewasser vom Grundwasser gespeist werden (Kladivko et al., 1991), wodurch Stoffkonzentrationen und Mengen falsch eingeschätzt werden. Mit freidrainenden Lysimetern wird Wasser aufgefangen, wenn das Matrixpotenzial oberhalb der Auffangfläche gleich oder größer als Null ist (Zhu et al., 2002). Wandlose frei eingebaute Auffangflächen (»Lysimeter«) können dabei durch ungesättigten Wassertransport umflossen werden (Durner und Buczko, 2003; Peters et al., 2003). Als dritte Strategie kann dem Boden das Wasser aktiv mit definierter Saugspannung entzogen werden. Hierbei kommen Unterdruckgeräte mit porösen Oberflächen oder Dochtsysteme zum Einsatz. Eine der am weitesten verbreiteten und auch ältesten Techniken zur Bodenwasserbeprobung ist der Einsatz von Saugkerzen (Briggs und McCall, 1904, Kosugi und Katsuyama, 2004). Die angelegten Saugspannungen können unter Umständen zu einer erheblichen Beeinflussung des natürlichen Fließfeldes führen.

Ziel dieser Arbeit ist die Beurteilung unterschiedlicher Strategien zur Sickerwassererfassung im Feld. Verschiedene Geräte und Einbaumethoden sollen hinsichtlich ihrer Praktikabilität, Reproduzierbarkeit und Repräsentativität verglichen werden. Hierzu wurde ein Feldversuch durchgeführt, bei dem insgesamt 32 Sickerwassererfassungssysteme in einem lehmigen Sand in 30 cm Tiefe eingebaut wurden. Zum Einsatz kamen Saugkerzen (SK) unterschiedlicher Größe und Materialart, Saugplatten (SP), Dochtlysimeter (DL) und freidrainende wandlose Lysimeter (Rillenlysimeter, RL).

Material und Methoden

Die Untersuchung wurde im Sommer 2004 auf dem Gelände der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig durchgeführt. Von einer Grube mit ca. 12 x 2 m Kantenlänge und 1.5 m Tiefe ausgehend wurden 8 Typen von Erfassungsgeräten (Tab. 1) in je dreifacher Wiederholung (Rillenlysimeter in zweifacher Wiederholung) in einer Tiefe von 30 cm seitlich in den ungestörten Boden eingesetzt. Die Gerätetypen 3 und 6 wurden zusätzlich in dreifacher Wie-

derholung von der Bodenoberfläche aus in den Boden eingebaut. Der Typ 5 wurde dreifach mit Quarzschluff und dreifach ohne Einschlammung seitlich in den Boden eingesetzt. Jedes Sauggerät war durch einen Kunststoffschlauch mit einer Glasflasche verbunden, die von einer zentral betriebenen Vakuumpumpe evakuiert wurde (Abb. 1). In den Tiefen 15 cm, 30 cm und 65 cm unter der Bodenoberfläche wurden insgesamt 7 Tensiometer an unterschiedlichen Stellen im Profil installiert. Bei dem Boden handelte es sich um eine Bänderparabraunerde aus Lösssand, die Bodenart der obersten 30 cm war lehmiger Sand. Der Grundwasserstand lag ca. 7 Meter unter der Geländeoberkante. Die Messungen wurden in zwei zeitlichen Phasen durchgeführt, in denen unterschiedliche Unterdrücke an die Sauggeräte angelegt wurden. In der ersten Phase wurden sie mit einem konstanten Druck von -100 hPa betrieben. Die Bodenoberfläche wurde in dieser Phase künstlich beregnet, Verdunstung durch eine Folienabdeckung verhindert. In der zweiten Phase wurde mit -300 hPa Bodenwasser entzogen. In dieser Phase erfolgte keine Bodenabdeckung, so dass neben der künstlichen Beregnung natürlicher Regen und Verdunstung auftraten.

Tab. 2: Aufgefangene Wassermengen

Nr.	Bez.	Phase 1					Phase 2				
		Q ¹⁾ [ml]	σ ²⁾ [ml]	CV ³⁾ [-]	Q/A ⁴⁾	Q/I ⁵⁾ [ml/ml]	Q ¹⁾ [ml]	σ ²⁾ [ml]	CV ³⁾ [-]	Q/A ⁴⁾	Q/I [ml/ml]
1	SK-K	713	803	113%	21.0	-	10024	1785	18%	294.8	-
2	SK-PE	200	159	80%	5.3	-	3553	1098	31%	93.5	-
3a	SK-Ku(ob)	2065	1681	81%	34.4	-	22158	345	2%	369.3	-
3b	SK-Ku(s)	349	164	47%	5.8	-	9433	2317	25%	157.2	-
4	SK-SiC	2079	1657	80%	3.3	-	X	X	X	X	-
5a	SR(dir)	2805	3743	133%	2.3	-	71319	49689	70%	58.9	-
5b	SR(Q)	2557	1617	63%	2.1	-	151087	49843	33%	124.9	-
6a	SP(ob)	10148	3087	30%	25.4	1.73	67643	8895	13%	169.1	13.01
6b	SP(s)	4722	4035	85%	11.8	0.81	35051	14106	40%	87.6	6.74
7	DL	211	151	72%	0.2	0.02	701	666	95%	0.8	0.06
8	RL	7294	1387	19%	0.5	0.03	26461	4256	16%	1.7	0.13
					73%						34%

¹ Absolute aufgefangene Wassermengen (Mittelwerte)

² Standardabweichung

³ Variationskoeffizient

⁴ Wassermenge bezogen auf Geräteoberfläche

⁵ Sammeleffizienz (siehe Text)

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt für die erste (links) und die zweite Phase (rechts) von oben nach unten die Infiltrationsmengen, die gemessenen Tensionen im Boden, und für zwei Gerätetypen exemplarisch die angefallenen Sickerwassermengen. Es ist erkennbar, dass in der ersten Phase innerhalb eines Zeitraumes von 51 Tagen insgesamt ca. 145 mm Wasser infiltrierten, davon die Hauptmenge in drei Beregungskampagnen zwischen 20. und 30. Juli. In der zweiten Phase betrug die Bruttoinfiltration im selben Zeitraum knapp 250 mm, wobei natürliche Niederschläge in den ersten 3 Wochen sowie vom 23. bis 27. September die Infiltration dominierten. Durch Verdunstung wurde in dieser Phase ca. 125 mm entzogen, so dass eine Nettoinfiltrationsrate von weniger als 125 mm resultiert.

Die Tensiometeraufzeichnungen (Abb. 2B) zeigen, dass während der Infiltrationsereignisse in den Tiefen 30 und 65 cm im untersuchten Boden die höchsten Potentiale mit Werten > -50 hPa auftraten. In der ersten Phase trat insbesondere am 18.7. und am 29.7. in der

Tiefe 30 cm kurzfristig fast Sättigung auf. Zwischen den Beregnungen, während das Profil mit einer Folie abgedeckt war, fiel das Matrixpotenzial in der Beprobungstiefe (30 cm) kaum unter -70 hPa. In der zweiten Phase treten längerfristig hohe Matrixpotential auf (in den ersten zwei Wochen durch Datenausfall nicht dokumentiert). Während der Verdunstungsphasen fiel das Matrixpotenzial in 30 cm Tiefe bis -160 hPa ab.

Die Dynamik der aufgefängenen Wassermengen wird in den Teilen C und D von Abb. 2 für zwei Gerätetypen exemplarisch aufgezeigt. Die Saugkerzen und Saugplatten zeigen grundsätzlich eine sehr ähnliche Auffangdynamik. In der ersten Phase erfolgt die Wasseraufnahme stets in unmittelbarer Folge von Beregnungen, und kommt in den Stagnationsphasen danach sehr schnell zum Stillstand. In der zweiten Phase dagegen erfolgt die Wasseraufnahme wesentlich gleichmäßiger, wobei innerhalb der Schlechtwetterphase in den ersten Wochen ein fast kontinuierlicher Zustrom zu den Geräten erfolgt, der selbst während der Austrocknungsphasen in der Mitte des Beprobungszeitraums – im Gegensatz zur ersten Phase

– nicht zum Stillstand kommt. In beiden Phasen fangen die gestört von oben eingebauten Geräte wesentlich mehr Wasser auf. Die Variabilität zwischen den einzelnen Geräten ist in der ersten Phase erheblich, in der zweiten Phase deutlich reduziert. Das hier für einen Saugkerzentyp und die Saugplatten dargestellte Verhalten ist typisch für alle eingebauten Sauggeräte.

Die insgesamt aufgefängenen Wassermengen aller Geräte- und Einbauvarianten sind in Tab. 2 gelistet und in Abb. 3 dargestellt. Die Mengen variierten in der ersten Phase zwischen 0.2 Liter für die Saugkerzen aus Polyethylen (Typ 2) und 10 Litern für die von oben eingebauten Saugplatten (6a). In zweiten Phase, bei 300 hPa Unterdruck, waren die aufgefängenen Wassermengen um das 7- bis 60fache höher. Auch die Docht- und Rillenlysimeter nahmen in der zweiten Phase, bei vergleichbarer Nettoinfiltration, ca. dreimal soviel Wasser auf. Die Variabilität zwischen den Parallelen lag in der ersten Phase im Mittel bei 73%, und halbierte sich in der zweiten Phase (Tab. 2).

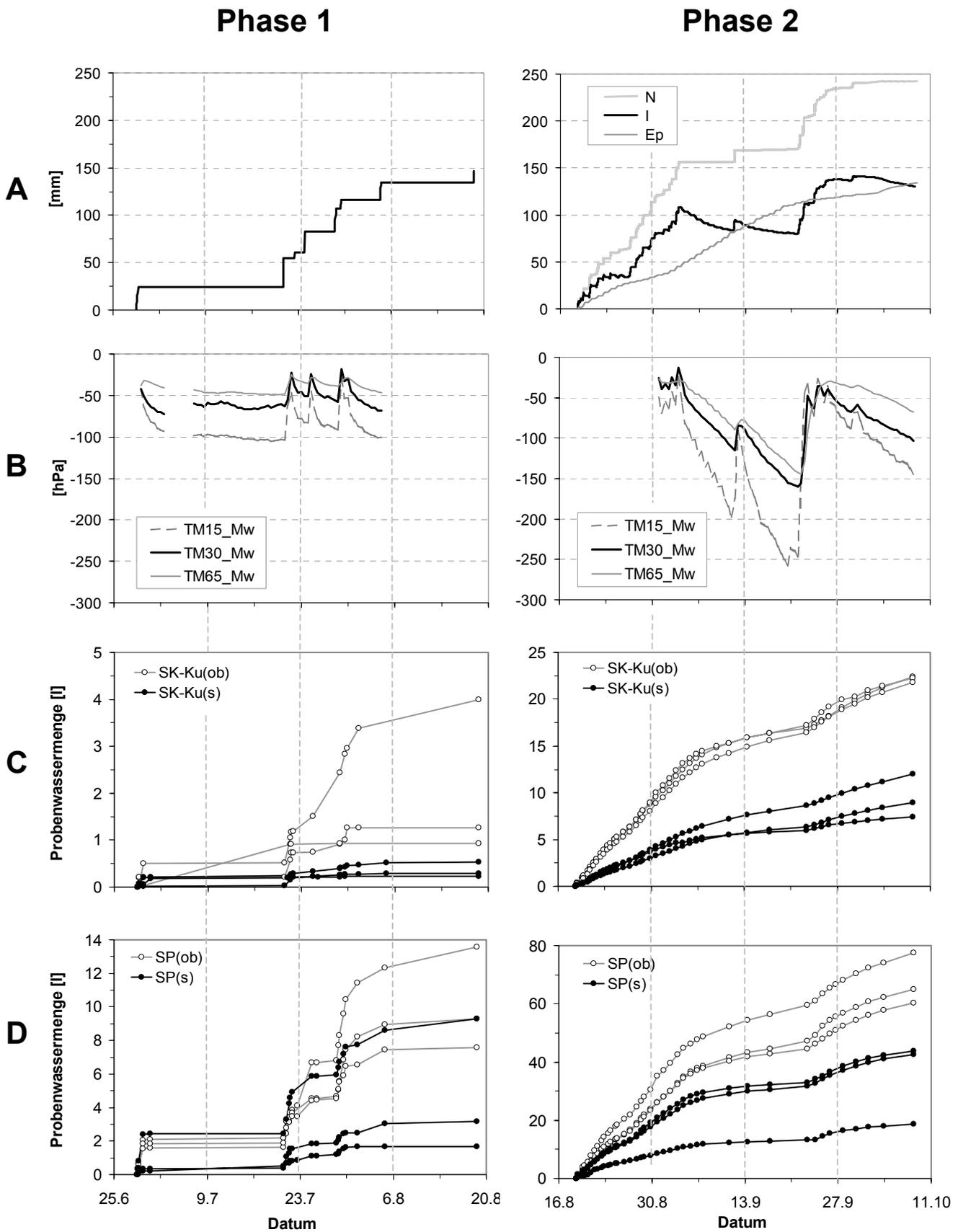


Abbildung 2: Infiltrationsmengen, Matrixpotenziale im Boden, und Wassergewinn durch Sauggeräte für Phase 1 (links) und Phase 2 (rechts). A) Nettoinfiltrationsrate B) Mittelwerte der Potenzialverläufe in den Bodentiefen 15cm, 30cm und 65 cm (TM15, TM30, TM65); C) Zeitlicher Verlauf des Wassergewinnes für Saugkerzen aus Polyethylen (Typ 3) für Einbauvarianten von oben (ob) und seitlich (s); D) dto. für Saugplatten (Typ 6).

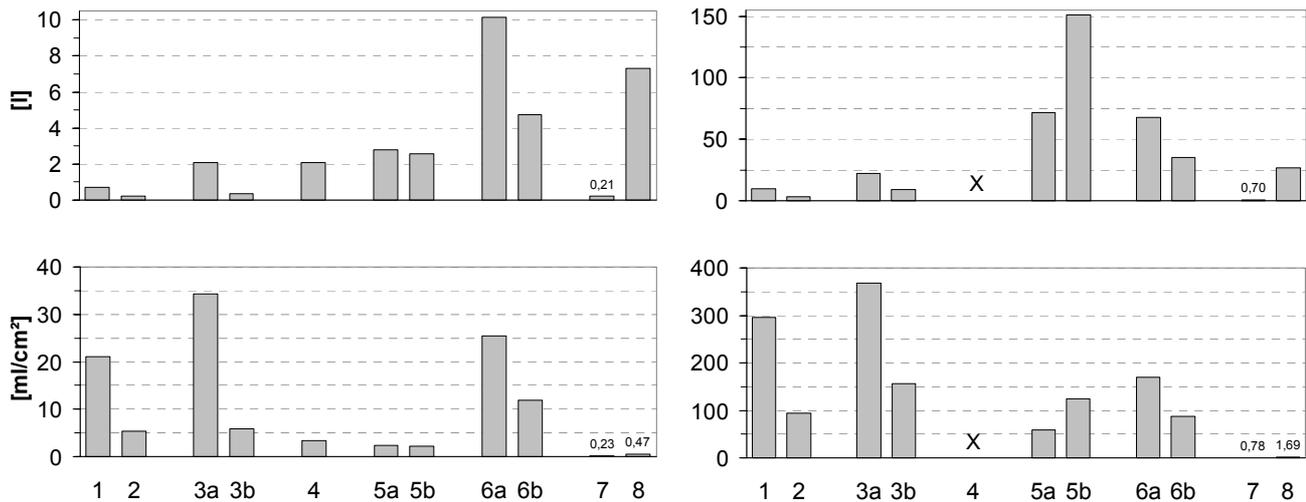


Abbildung 3: Aufgefangene Wassermengen der beiden Phasen. Oben: Absolute aufgefangene Wassermengen der einzelnen Gerätetypen für beide Phasen; Unten: Relativ zur Geräteoberfläche aufgefangene Wassermengen der einzelnen Gerätetypen für beide Phasen.

Die aufgefangenen Wassermengen der Sauggeräte (Typ 1 bis 6) waren in Phase 1 nur schwach mit der Geräteoberfläche korreliert. Besonders die Saugrohre (Typ 5) lieferten trotz großer Oberfläche mit weniger als 3 Liter nur wenig Wasser. In der zweiten Phase wird die Korrelation zwischen Gerätegröße und Auffangmenge besser. Wird die gewonnene Wassermenge auf die wirksame Geräteoberfläche bezogen (Abb. 3 unten), so zeigt sich, dass vor allem die kleinen Saugkerzen sehr viel Wasser pro cm^2 aufnahmen. Die ohne Unterdruck betriebenen Rillen- und Dochtlysimeter lieferten dagegen am wenigsten Wasser pro Flächeneinheit, wobei die Rillenlysimeter – bei einer gut 17-fachen Oberfläche – ca. doppelt so effektiv waren wie die Dochtlysimeter. Die Variabilität nahm, abgesehen von den Saugrohren, tendenziell mit zunehmender Geräteoberfläche ab, wobei der Effekt in der ersten Phase stärker ausgeprägt war (Tab. 2).

Beim Vergleich der Einbauweisen zeigt sich, dass die von oben eingebauten Geräte (Typ 3a und 6a) mehr Wasser aufgefangen haben als die seitlich eingebauten (Typ 3b und 6b). Die eingeschlammten Saugrohre (Typ 5b) konnten in der zweiten Phase mehr Wasser gewinnen, als die nicht eingeschlammten (Typ 5a), in der ersten Phase waren die Mengen praktisch gleich. Die von oben eingebauten Geräte zeigten tendenziell eine geringere Variabilität als die seitlich eingebauten.

Gleiches gilt für eingeschlammte versus uneingeschlammte Saugrohre.

Für die flächigen Geräte (Typen 6 bis 8) können »Sammleffizienzen« ermittelt werden. Die Sammeleffizienz wird definiert als die aufgefangene Wassermenge, bezogen auf die auf der selben Oberfläche netto infiltrierte Wassermenge. Die Sammeleffizienzen der Docht- und Rillenlysimeter liegen bei maximal 6% bzw. 13% (Tab. 2). Diejenigen der Saugplatten liegen in der ersten Phase für die von oben eingebauten Geräte bei 170%, bei den seitlich eingebauten bei 80%. In der zweiten Phase erhöhen sich die Werte auf 1300%, bzw. 670%.

Diskussion

In der ersten Phase, als der Druck an den Geräten -100 hPa betrug, fiel das Matrixpotenzial im Boden in Gerätetiefe nicht unter -75 hPa. Obwohl es also immer einen hydraulischen Gradienten zum Gerät gab, wurde mit den meisten Geräten eine unzureichende Wassermenge aufgefangen. Dies führt in der Praxis zu Problemen, wenn nicht genügend Probenflüssigkeit für die Stoffanalyse gewonnen werden kann. Das Ergebnis ist in Hinblick auf die Strategie interessant, die Sauggeräte mit den in derselben Tiefe herrschenden Tensionen zu betreiben (z.B. Barzegar et al., 2004). Mit dieser Strategie würde noch weniger Wasser aufgefangen. Die große Steigerung des Wassergewinns

in der zweiten Phase ist in erster Linie mit dem größeren Potenzialgradienten zu erklären. Überlagert wurde dieser Einfluss von den unterschiedlichen Randbedingungen, die in den beiden Phasen geherrscht haben (häufiger hohe Infiltrationsraten in der zweiten Phase). Dies wird durch die größeren Auffangmengen bei den Docht- und Rillenlysimetern in der zweiten Phase bestätigt.

Höhere Sickerwassergewinnung bedeutet, dass ein größerer Bodenraum beprobt wird. Die geringere Streuung der erfassten Wassermengen in der zweiten Phase weist darauf hin, dass durch den größeren Beprobungsraum ein Ausgleich lokaler Heterogenitäten erfolgte. Dadurch könnte auch der Einfluss der Gerätegröße auf die Variabilität, die in der ersten Phase noch zu erkennen ist, überprägt worden sein. Die größeren Wassermengen und die geringeren Variabilitäten bei den von oben eingesetzten Sauggeräten erklären wir uns mit der beim Einbau stattfindenden Lockerung und Homogenisierung des Bodens oberhalb der Geräte. Die sehr geringen und variablen Wassermengen der nicht eingeschlammten Saugrohre (5a) sind vermutlich durch Kontaktprobleme mit dem umliegenden Boden hervorgerufen.

Der Versuch, mit den plattenförmigen Geräten (Typen 6 bis 8) eine Quantifizierung der Sickerwassermengen durchführen zu können, hat sich als nicht machbar herausgestellt. Die

freidrainenden Rillensysimeter und Dochtlysimeter konnten nur an einigen wenigen Ereignissen mit hohen Infiltrationsraten Wasser aufnehmen. Die Sammeleffizienz der Dochtlysimeter waren wesentlich geringer als bei Boll et al. (1991), die 98 % bis 108 % angeben, oder bei Zhu et al. (2002), die 47% bis 206 % ermittelten. Auch für die freidrainenden Rillensysimeter finden sich in der Literatur höhere Werte. Zhu et al. (2002) berichten z.B. über Effizienzen von 40 %, Jemison und Fox (1992) von 13 % bis 92%. Bei den Saugplatten hingegen waren die Wiederfindungsraten besonders in der zweiten Phase unerwartet hoch, mit einem Einzugsgebiet für die Saugplatten, das bis zu 13 mal größer als die Platte ist. Demnach ist die Geometrie des Fließfeldes ein sich nach unten verjüngender Kegel. Aus einfachen Überlegungen der Massenerhaltung ergibt sich daraus ein nach unten beschleunigter Fluss. Dies konnte mit numerischen Simulationen bestätigt werden. Damit wird auch eine Interpretation möglicher zeitlicher Stoffdynamiken fehlerhaft. Alle Geräte haben sich im übrigen in der dieser Untersuchung als ungeeignet erwiesen den tatsächlich stattfindenden Wasserfluss wiederzugeben.

Schlussfolgerungen

Unsere Untersuchungen ergaben, dass bei der in situ-Sickerwassererfassung bei höherem Unterdruck, bei größeren Gerätemaßen und bei einem Einbau von oben größere Wassermengen und eine geringere Variabilitäten zu erwarten sind. Die Gewinnung größerer Mengen ist aus praktischen Beweggründen zu begrüßen, führt jedoch unter Umständen zu Problemen hinsichtlich der Repräsentativität der so gewonnenen Ergebnisse. Bei stärkerem Unterdruck gewonnene Proben werden aus einem relativ großen Bodenbereich gesogen, und zwar auch zu den Zeiten in denen aufgrund der hydraulischen Verhältnisse keine Wasserbewegung nach unten stattfindet. In unseren Untersuchungen war dies z.B. vom 04.09. bis 11.09. und vom 13.09. bis 20.09. der Fall (Abb. 2B). Als Konsequenz wird »Sickerwassertransport« auch dann verzeichnet, wenn in situ kein Transport stattfindet. Die Erhöhung des

hydraulischen Gradienten nach unten führt darüber hinaus zu künstlich erhöhten Flussdichten und somit zu schnelleren Stoffdurchbrüchen, als dies im nicht durch die Messung gestörten Boden der Fall wäre.

Der eingesetzte Gerätetyp, die Einbauweise und auch der angelegte Unterdruck an den Geräten sollte je nach Fragestellung bestimmt werden. Wird besonderer Wert auf eine hoch aufgelöste Probenahme bei großen Probenmengen und eine gute Wiederholbarkeit der Ergebnisse gelegt, so kommen große Geräte mit großem Unterdruck und ein Einbau von oben in Frage. Durch größere Geräte werden Heterogenitäten des Bodens ausgeglichen und die aufgefangenen Wassermengen größer. Es wird allerdings auch der Installationsaufwand deutlich größer. Wird großer Wert auf eine Repräsentativität der Ergebnisse gelegt, so sollte ein eher moderater, den in situ-Verhältnissen entsprechender Unterdruck angelegt werden.

Der Einbau von Sickerwassererfassungsgeräten von oben ergab größere Probemengen und niedrigere Variabilitäten. Diese positive Auswirkungen werden erzielt durch eine künstliche Homogenisierung und Auflockerung des sich darüber befindlichen Bodenmaterials. Dies ist in Hinblick auf die Repräsentativität der erzielten Ergebnisse für die wirklich stattfindenden Prozesse wiederum problematisch.

Von den hier untersuchten Geräten konnten nur die Saugplatten, die mit Unterdruck betrieben wurden, den Ansprüchen an Wiederholbarkeit und die Repräsentativität der Messergebnisse genügen. Der Einbau dieser Geräte ist jedoch mit einem erheblich größeren Aufwand verbunden als der Einbau von Saugkerzen. Die freidrainenden Lysimeter und die Dochtlysimeter erwiesen sich bei den vorliegenden Verhältnissen sowohl hinsichtlich der Praktikabilität als auch der Repräsentativität als mangelhaft. Der Einsatz großflächiger Rillensysimeter erscheint nur dann attraktiv, wenn gezielt präferenzierter Transport aufgedeckt werden soll. Gegebenfalls können Modifikationen der Bauform zu verbesserten Ergebnissen führen (Durner und Buczko, 2003).

Dank

Wir danken den Firmen ecoTech Umweltmeßsysteme GmbH, Bonn, und UMS Umweltanalytische Mess-Systeme GmbH, München, für die großzügige Bereitstellung der Sauggeräte. Dem Institut für Agrarökologie der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig danken wir für die Bereitstellung der Versuchsfläche und die Unterstützung mit Infrastruktur.

Literatur

- Boll, J., T.S. Steenhuis, und J.S. Selker. 1992. Fiberglass wicks for sampling of water and solutes in the vadose zone. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:701-707.
- Brandi-Dohrn, F.M., R.P. Dick, M. Hess, und J.S. Selker. 1996. Field evaluation of passive capillary samplers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1705-1713.
- Briggs, L.J. and A.G. McCall. 1904. An artificial root for inducing capillary movement of soil moisture. *Science* 20: 566-569.
- Durner W. und U. Buczko (2003): Numerische Simulationen zur Sickerwassererfassung durch Lysimeter verschiedener Bauart, In: *Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft (BAL), Bericht über die 10. Lysimetertagung am 29. und 30. April 2003*, S. 163-167.
- Jemison, J.M. und R.H. Fox. 1992. Estimation of zero-tension pan lysimeter collection efficiency. *Soil Sci.* 154:85-94.
- Kladivko, E.J., G.E. van Scoyoc, E.J. Monke, K.M. Oates und W. Pask. Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drain on a silt loam soil in India. *J. Environ. Qual.* 20: 264-270.
- Kosugi, K. und M. Katsuyama. 2004. Controlled-suction period lysimeter for measuring vertical water flux and convective chemical fluxes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 371-382.
- Peters, A., N. Gronwald, S. Iden, U. Buczko, und W. Durner. 2003. Sickerwassergewinnung im „ungestörten“ Boden mit freidrainenden Lysimetern. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 102:115-116.
- Zhu, Y., R.H. Fox, und J.D. Toth. 2002. Leachate collection efficiency of zero-tension pan and passive capillary fiberglass wick lysimeters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 37-43.