

# Untersuchungen zur Variation physikalischer Parameter von sechs verschiedenen, in die GSF-Lysimeteranlage Neuherberg eingebauten Böden

D. KLOTZ

## Abstract

In the micro-range of the lysimeter cross-section (a few dm<sup>2</sup>), the structural properties (storage, grain size and thus moisture content) are varying, which causes that in particular the monolithically extracted lysimeters are flown through in an inhomogeneous manner. That is why, after tracer applications on the lysimeter surface, there are generally registered multimodal broad tracer distributions at the lysimeter outlet from which several leachate rates and large dispersion values are to be calculated. The influence of inhomogeneity in the micro-range, however is compensated to a large extent within the lysimeters (cross-section of 1 m<sup>2</sup>).

## Zusammenfassung

Im Mikrobereich des Lysimeterquerschnittes (wenige dm<sup>2</sup>) variieren die Struktureigenschaften (Lagerung, Körnung und damit der Feuchtegehalt), dadurch werden insbesondere die monolithisch entnommenen Lysimeter inhomogen durchströmt. Deshalb werden nach Tracer-Applikationen auf die Lysimeteroberfläche i. a. im Lysimeterauslauf mehrgipflige, breite Tracerverteilungen registriert, aus denen mehrere Sickerwassergeschwindigkeiten und große Dispersionswerte zu berechnen sind. Der Einfluss von Inhomogenitäten im Mikrobereich auf die Sickerwassermenge gleicht sich aber weitgehend in den Lysimetern (Querschnitt 1 m<sup>2</sup>) aus.

## Einleitung

Lysimeter, d. h. oben offene zylindrische Behälter, die monolithisch oder händisch mit Böden gefüllt und den natürlichen Witterungsbedingungen ausgesetzt sind, wurden bisher hauptsächlich zu aktuellen Fragestellungen und dringenden Pro-

blemen auf dem Gebiet des Grundwasserschutzes und der Sickerwasserprognose eingesetzt, d. h. zur Bestimmung

- der Grundwasserneubildungsraten und der Sickerwassergeschwindigkeiten unter und in verschiedenen, bewachsenen Böden,
- der Migration und Transformation von Agrochemikalien (Dünge- und Pflanzenschutzmitteln) und
- der Quellstärke von Altlastenmaterialien und dem Transportverhalten ausgelaugter Schadstoffe (Schwermetalle, PAK's, MKW's) auf dem Sickerwasserpfad.

In Zukunft werden Lysimeter-Experimente zum globalen Wandel (Änderung der Strahlungsintensitäten und der Niederschlagsbedingungen), zum Einfluss von Ozon und Kohlendioxid auf den Bewuchs, mikrobielle Stofftransformationen und Gentransfers an Bedeutung gewinnen (KLOTZ et al., 2004). Verhältnismäßig wenig wurde bisher auf den Gebieten "Lysimetertechnik" und "Reproduzierbarkeit der Ergebnisse" geforscht. Deshalb werden im Folgenden einige unserer Erfahrungen mitgeteilt.

## Ausbauzustand der GSF-Lysimeteranlage Neuherberg

Die 1994 - 96 erbaute GSF-Lysimeteranlage bietet für 48 kreiszylindrische

Gefäßlysimeter (Durchmesser 1128 mm, Länge: 2050 mm) Platz. Im jetzigen Ausbaustadium (Dezember 2004) ist sie mit 36 Lysimetern, in die sieben verschiedene Böden eingebaut sind, bestückt (Tabelle 1).

Die Lysimeter sind im Zentrum eines abgeäugten 100 m x 100 m großen Areals angeordnet, das ursprünglich einheitlich landbewirtschaftet wurde, um Oaseneffekte zu vermeiden. In den letzten Jahren musste davon etwas abgewichen werden (s. KLOTZ et al., 2004). Der südliche Teil der Anlage mit 16 Lysimeterplätzen ist als radioaktiver Überwachungsbereich konzipiert, hier sind je eines der Lysimeter der Standorte SCH, HOH, KEH und FK und die vier WEI-Lysimeter angeordnet, während im Normalbereich (32 Lysimeterplätze) die Lysimeter von sechs Standorten jeweils im Vierer-Pulk eingebaut sind. Eine ausführliche Darstellung der GSF-Anlage ist aus KLOTZ und SEILER, 1998 zu entnehmen. Für die folgenden Untersuchungen wurden die Lysimeterböden der ersten sechs Standorte (Tabelle 1) ausgewählt.

## Durchströmung der Lysimeter

Versuche in kleindimensionierten Laborsäulen (Durchmesser = 300 mm), in die händisch homogen verschiedene nicht-

**Tabelle 1: Bestückung der GSF-Lysimeteranlage Neuherberg mit sieben verschiedenen Böden, Einbaumethoden derselben und Jahr des Aufbaues, N = Horizontanzahl**

Lys. Nr	Standort	Bodentyp	N	Einbau	Aufbau
1 - 8	HÖGLWALD HÖG	Waldboden	3	händisch	1999
9 - 12, 46	SCHHEYERN SCH	pseudovergl. Braunerde	3	monolith.	1995
13 - 16, 48	HOHENWART HOH	Kolluvium ü. Braunerde	4	monolith.	1995
17 - 20, 42	FELDKIRCHEN FK	Rendzina	2	händisch	1996
21 - 24, 44	KELHEIM KEH	Braunerde	3	monolith.	1995
25 - 28	HILPOLTSTEIN HIL	Ackerboden	3	händisch	1999
41, 43, 45, 47	WEICHSELST. WEI	Kolluvium ü. Braunerde	5	händisch	2002

**Autor:** Dipl.-Phys. Dietmar KLOTZ, GSF-Institut für Grundwasserökologie, Ingolstädter Landstr. 1, D-85764 NEUHERBERG

**Tabelle 2: In den GSF-Intensiv-Lysimetern Lys. 9, 24, 15 und 18 bestimmte prozentuale Verteilung der Sickerwassermenge in den äußeren (a) und inneren (i) vier Segmenten. GWN [mm] = Grundwasserneubildung**

Jahr	SCH (Lys. 9)		KEH (Lys. 24)		HOH (Lys. 15)		FK (Lys. 18)	
	GWN	a/i	GWN	a/i	GWN	a/i	GWN	a/i
1997	219	0,62/0,38	289	0,40/0,60	257	0,69/0,31	266	0,56/0,44
1998	204	0,53/0,47	272	0,39/0,61	316	0,68/0,32	236	0,51/0,49
1999	339	0,55/0,45	418	0,41/0,59	368	0,69/0,31	419	0,49/0,51
2000	507	0,50/0,50	618	0,44/0,56	449	0,79/0,21	527	0,53/0,47
2001	341	0,56/0,44	549	0,45/0,55	451	0,81/0,19	535	0,52/0,48
2002	344	0,59/0,41	501	0,41/0,59	476	0,82/0,18	502	0,50/0,51
2003	174	0,61/0,39	152	0,39/0,61	192	0,81/0,19	220	0,53/0,47
97-03	2127	0,57/0,43	2797	0,42/0,58	2507	0,76/0,24	2706	0,52/0,48

**Tabelle 3: In den Lysimetern von sechs Standorten bestimmte Mittelwerte und Standardabweichungen  $\sigma$  der jährlichen Grundwasserneubildungsraten [mm] für die Jahre 1997 - (September) 2004.**

Aufbau Standort Lys.	monolith. SCH	monolith. KEH	monolith. HOH	händisch HÖG	händisch HILP	händisch F K
	9 - 12, 46	21 - 24, 44	13 - 16, 48	1 - 8	21 - 25	17 - 20, 42
1997	233 ± 13	270 ± 38	247 ± 29			260 ± 22
1998	221 ± 26	316 ± 35	289 ± 33			269 ± 32
1999	380 ± 26	423 ± 51	387 ± 31			437 ± 18
2000	501 ± 39	598 ± 54	498 ± 67	829 ± 15	593 ± 28	544 ± 18
2001	487 ± 24	537 ± 16	504 ± 50	453 ± 98	547 ± 20	544 ± 23
2002	440 ± 62	554 ± 57	529 ± 38	545 ± 83		546 ± 41
2003	114 ± 24	176 ± 23	202 ± 36	236 ± 11		240 ± 13
2004	151 ± 84	292 ± 33	276 ± 35	236 ± 8		284 ± 26
$\sigma$ [%]	3 ... 56	3 ... 14	7 ... 18	3 ... 22	4 ... 5	3 ... 12

bindige Sedimente eingebaut waren, zeigten (KLOTZ, 1992), dass sich je nach den Befüllungsbedingungen ein konkaves oder konvexes Geschwindigkeitsprofil ausbildet. Die Untersuchungen in den GSF-Intensiv-Lysimetern, die am Auslauf achtfach, gleichflächig segmentiert sind, erbrachten (Tabelle 2), dass sich das Verhältnis aus prozentualen Sickerwasserhöhen in den äußeren vier ( $4 \times 0,125 \text{ dm}^2 = 0,5 \text{ m}^2$ ) und inneren vier Segmenten ( $0,5 \text{ m}^2$ ) bei drei der vier Lysimeter über sieben Jahre in etwa konstant bleibt (Ausnahme: Lys. 15, HOH). Das Verhältnis unterscheidet sich besonders stark vom Wert 0,5/0,5 bei den monolithisch entnommenen Böden der Standorte SCH, KEH und HOH, d. h. die Lagerung der Sedimente ist sehr inhomogen. Dagegen gering ist der Unterschied in der Grundwasserneubildungsrate innen und außen im Lysimeter 18, FK, das händisch gefüllt ist mit sehr ungleichförmigem Kies.

Die Unterschiede in den Sickerwassermengen im Bereich eines Lysimeters scheinen sich aber bei den monolithisch auf einer Linie von ca.  $\leq 10 \text{ m}$  entnommenen Lysimetern auszugleichen. Hier betragen die Standardabweichungen in

den Sickerwassermengen (Tabelle 3) wenige (3 bis 7 %) bis maximal 18 % (Sande und kiesige Sande: KEH, HOH); sehr groß können die Fehler (bis 56%) für den Schluffboden SCH sein, sie treten während oder nach dem niederschlagsarmen Jahr 2003 auf.

Die Standardabweichungen der jährlichen Grundwasserneubildungsraten von den händisch aufgebauten Lysimetern sind i. a. geringer als die monolithisch entnommenen Lysimeter. Große Fehlerbereiche der HÖG-Lysimeter (sandige Schluffe, vor Einbau homogenisiert) sind für 2001/02 bedingt durch total unterschiedlichen Bewuchs (Unkraut, ab 2003: Buchensetzlinge). Die Fehlerbereiche nehmen ebenfalls zu mit der Kör-

**Tabelle 4: Die aus den Tracerdurchgangskurven (1. und 2. Teil) der Lysimeter bestimmten Sickerwassergeschwindigkeiten  $v_a$  und Dispersivitäten  $\alpha$  sowie effektive Gesamt-Wassergehalte  $\bar{E}_{\text{eff}}$ .**

Standort ↓	$\bar{E}_{\text{eff}}$	1. Teil der Tracerkurve		2. Teil der Tracerkurve	
		$v_{a1}$ [m/a]	$\alpha_1$ [cm]	$v_{a2}$ [m/a]	$\alpha_2$ [cm]
SCHEYERN	0,16	5,6 ± 1,0	12 ± 10	10,7 ± 9,7	18 ± 14
KELHEIM	0,20	2,2 ± 0,3	10 ± 2	1,1	5,5
HOHENWART	0,18	2,1 ± 0,1	10 ± 1		
HÖGLWALD	0,39	2,4 ± 0,2	5,1 ± 1,1	1,4 ± 0,1	6,8 ± 1,3
HILPOLTSTEIN	0,09	6,1 ± 0,6	27 ± 17		
FELDKIRCHEN	0,10	4,0 ± 0,4	5,6 ± 1,6	2,5 ± 0,1	1,2 ± 1,8

nung und sind größer für die Kieslysimeter FK als für die Sandlysimeter HIL.

## Wassergehalte

Diese inhomogene Lysimeter-Durchströmungen beeinflussen die Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehungen (KLOTZ et al., 2001). Sie sind nur real, wenn die TDR-Sonde und das Tensiometer direkt nebeneinander angeordnet sind und pro Messtiefe mehrere Sonden die Wassergehalte und -potenziale registrieren, um auf eine räumliche Verteilung schließen zu können.

## Sickerwassergeschwindigkeiten und hydraulische Parameter

Zur Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeiten wurde der hydrologische Tracer Bromid (als KBr, Applikationsmenge 2 bis 10 g pro Lysimeter) eingesetzt. Als Ergebnis erhält man im Lysimeterauslauf mehrgipflige (meistens bimodale Verteilungen) Br-Durchgangskurven,

- die primär bedingt sind durch die inhomogene Durchströmung der Lysimetersäule und Superposition der Br-Durchgänge.
- Aber auch eine Br-Aufnahme durch die Getreidepflanzen (KLOTZ und STICHLER, 2002) und eine spätere Verrottung von Pflanzenteilen ("Nachapplikation") kann zu einer bimodalen Br-Verteilung führen.

Beide Prozesse sind bei den Tracerversuchen nicht zu trennen. Nach MALOSZEWSKI und KLOTZ, 2004 weisen ca.  $\frac{3}{4}$  der bisher in der GSF-Lysimeteranlage durchgeführten Tracerversuche bimodale Verteilungen auf, deren Auswertung unterschiedliche Sickerwassergeschwindigkeiten (ca. Faktor 2) und i. a. größere

Dispersivitäten  $\alpha$  als bei homogener Lagerung der Sedimente in Laborsäulen ergibt (*Tabelle 4*). Diese großen  $\alpha$ -Werte sind bedingt durch Inhomogenitäten in der Lagerung und in der Feuchteverteilung.

## Literatur

- KLOTZ, D., 1992: Erfahrungen mit Säulenversuchen zur Bestimmung der Schadstoff-Migration. - GSF-Bericht 07/91, 118 S.
- KLOTZ, D. und K.-P. SEILER, 1998: Die GSF-Lysimeteranlage Neuherberg. - GSF-Bericht 23/98, 56 S.
- KLOTZ, D., H. GAUDLITZ und G. HINREINER, 2001: Wassergehalts-Saugspannungs-Beziehung - ein Vergleich von Labor- und Lysimeteruntersuchungen. - In: Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung, BAL-Bericht, Gumpenstein, 181 - 184.
- KLOTZ, D. und W. STICHLER, 2002: Bromid als Tracer bei Lysimeteruntersuchungen. - In: Untersuchungen zur Schadstoff-Migration in Lysimetern (Hrsg.: D. Klotz), GSF-Bericht 05/02, 115 - 121.
- KLOTZ, D., H. PAYER und H.K. SEIDLITZ, 2004: Die GSF-Lysimeteranlage Neuherberg (Stand März 2004). - In: Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern (Hrsg.: D. Klotz), GSF-Bericht 02/04, 184 - 188.
- MALOSZEWSKI, P. und D. KLOTZ, 2004: Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeiten in Lysimetern. - In: Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern (Hrsg.: D. Klotz), GSF-Bericht 02/04, 92 - 102.

