

Untersuchungen mit Tracern und Wasserinhaltsstoffen zu Matrix- und Bypass-Flüssen in einem Intensiv-Lysimeter

D. KLOTZ

Abstract

In einem Kies-Lysimeter mit achtfach unterteiltem Auslauf wurde der Anteil der Bypass-Flüsse an der Grundwasser-Neubildung über 6 Jahre abgeschätzt, er schwankt im Bereich 16 bis 23 % und ist abhängig von der Anzahl der Starkregen-Ereignisse und der angebauten Frucht. Bypass-Flüsse machen sich in sprunghaften Änderungen der physikalisch-chemischen Parameter (Leitfähigkeit, pH-Wert) des Sickerwassers in einigen Auslaufsegmenten bemerkbar. In diesen Segmenten sind auch die durch einen Tracerversuch bestimmten Sickerwassergeschwindigkeiten größer.

The share of water discharged through by-passes and contributing to the formation of new ground water has been estimated over a period of six years with the help of a gravel lysimeter where the outlet has been divided eight-fold. This share ranges between 16 % and 23 % and depends on the number of occurrences with heavy precipitation as well as on the fruit actually grown. By-pass discharges are characterized by a rapid change of the seepage water's physical and chemical parameters (such as the conductivity, the pH value) in some discharge segments. The seepage water velocity, as established in a trace test, is also higher in these segments.

Einleitung

In Böden ändert sich in den oberen Horizonten sowohl durch natürliche Vorgänge als auch durch die Bodenbearbeitung laufend die Textur im Mikrobereich. Auch durch die natürliche Ablagerung der Sedimente können kleinskalig Inhomogenitäten entstehen. All diese Vorgänge können zur Entstehung von Kurzschlüssen beitragen, in denen unter gewissen hydraulischen Randbedingungen und Starkregen-Ereignissen Bypass-Flüsse entstehen. Die dabei auftre-

tenden Sickerwassergeschwindigkeiten (bis m/d-Bereich, s. SCHNEIDER, 2001) sind größer als die Sickerwassergeschwindigkeiten der Matrixflüsse (m/a-Bereich), die im Boden in breiter Front auftreten.

Über den Einfluss dieser Bypässe auf die Verteilung der Grundwasser-Neubildung, der Sickerwassergeschwindigkeiten und der Wasserinhaltsstoffe über die Auslauffläche eines Lysimeters wird im folgenden berichtet.

Eingesetztes Lysimeter

Zu den im folgenden beschriebenen Untersuchungen wurde das Lysimeter Nr. 18 (Rendzina/Kiese, Standort Feldkirchen/Bayern, Querschnitt 1 m²) der GSF-Anlage Neuherberg mit einem achtfach unterteiltem Auslauf (Fläche je Segment: 12,5 dm²) im Zeitraum Oktober 1996 bis September 2002 eingesetzt. Die in diesen Auslauf-Segmenten anfallenden Sickerwassermengen fließen kontinuierlich in wägbare 10 l Behälter und werden wöchentlich auf ± 10 g registriert. Diese wöchentlichen Sickerwässer wurden auf die physikalisch-chemischen Leitparameter (Leitfähigkeit, pH-Wert), wassergetragene Partikel (DOC-Gehalt und Keimzahlen) sowie den hydrologischen Tracer (Bromid), der homogen im Mai 2000 auf die Lysimeteroberfläche appliziert wurde, analysiert.

Ergebnis: Einfluss der Bypass-Flüsse auf die Grundwasser-Neubildung

Die in den Auslauf-Segmenten des Intensiv-Lysimeters registrierten Sickerwassermengen sind wegen den Texturunterschieden des eingebauten Bodens untereinander sehr verschieden, in der Regel aber für kleine Niederschlagshöhen (< 10 mm/Woche) prozentual näherungsweise konstant, im Lysimeter treten hauptsächlich Matrix-Flüsse auf.

Verfügt der Sickerwasserleiter über einen bestimmten Wassergehalt und treten Starkregen-Ereignisse ($>> 10$ mm/Woche) auf, so ändern sich die in den einzelnen Segmenten registrierten prozentualen Sickerwassermengen. Eine Zunahme der prozentualen Sickerwassermenge bedeutet ein Auftreten von Bypass-Flüssen (KLOTZ, 2001).

Aus den registrierten Sickerwassermengen in den Segmenten kann das Verhältnis der Anteile der Matrix- und Bypass-Flüsse auf die Grundwasser-Neubildung abgeschätzt werden (KLOTZ, 2001). In *Tabelle 1* sind für die Jahre 1996/97 bis 2001/02 der Anteil der Bypass-Flüsse an der Grundwasser-Neubildung im Kies-Lysimeter aufgelistet:

- Der Anteil der Bypass-Flüsse an der Grundwasser-Neubildung schwankt für das untersuchte Lysimeter im Bereich 16 bis 33 %.
- Der Anteil der Bypass-Flüsse an der Grundwasser-Neubildung ist im Winter- und Sommerhalbjahr verschieden. Entgegen früherer Aussagen (KLOTZ, 2001) ist der Anteil i.d.R. im Winter nicht größer als im Sommer (*Abbildung 1*).
- Von entscheidender Bedeutung für das Auftreten von Bypass-Flüssen ist die Anzahl der auftretenden Starkregen-Ereignisse.
- Der Anteil der Bypass-Flüsse an der Grundwasser-Neubildung korreliert mit der jährlichen Niederschlagshöhe (*Abbildung 1*), er ist ebenfalls abhängig von der angebauten Frucht.

Ergebnis: Änderung der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Sickerwassers durch Bypass-Flüsse

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften (Leitfähigkeit, pH-Wert) des

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

Tabelle 1: Abgeschätzte Anteile der Matrix- (M) und Bypass-Flüsse (B) an der Grundwasser-Neubildung (GWN) für den Zeitraum Oktober 1996 bis September 2002; N = Niederschlagshöhe. Angebaute Frucht: Winter-Weizen (1996/97), Winter-Gerste (1997/98), Brache, Mais (1998/99), Winter-Weizen (1999/00), Brache, Sommer-Gerste (2000/01), Senf, Hafer (2001/02)

Quartal/Jahr	N [mm]	GWN [mm]	M [mm]	B [mm]	B [%]
4/96	192	146,5	96,9	49,6	33,9
1/97	119	79,7	65,5	14,2	17,8
2/97	173	26,0	24,8	1,2	4,7
3/97	253	54,4	45,3	9,1	16,8
1996/97	737	306,6	232,5	74,1	24,2
4/97	180	100,8	79,1	21,7	21,5
1/98	99	36,9	33,4	3,5	9,7
2/98	192	9,2	9,2	0,0	0,0
3/98	261	21,6	18,9	2,7	12,4
1997/98	732	168,5	140,6	27,9	16,6
4/98	282	166,6	117,6	49,0	29,4
1/99	195	181,0	137,3	43,7	24,2
2/99	307	148,5	109,9	38,6	26,0
3/99	154	11,9	11,9	0,0	0,0
1998/99	938	508,0	376,7	131,3	25,8
4/99	244	69,1	56,1	13,0	18,8
1/00	278	184,5	130,5	54,0	29,2
2/00	340	120,0	87,1	32,9	27,4
3/00	319	133,4	89,9	43,5	32,6
1999/00	1181	507,0	363,6	143,4	28,3
4/00	172	90,1	63,3	26,8	29,7
1/01	249	176,4	112,5	63,9	36,2
2/01	297	128,9	84,4	44,5	34,5
3/01	300	85,0	63,1	21,9	25,8
2000/01	1018	480,0	322,9	157,1	32,7
4/01	237	145,9	108,5	37,4	25,6
1/02	115	80,4	70,9	9,5	11,9
2/02	240	22,8	14,9	7,9	34,7
3/02	433	144,5	107,6	36,9	25,5
2001/02	1225	393,5	301,9	91,6	23,3

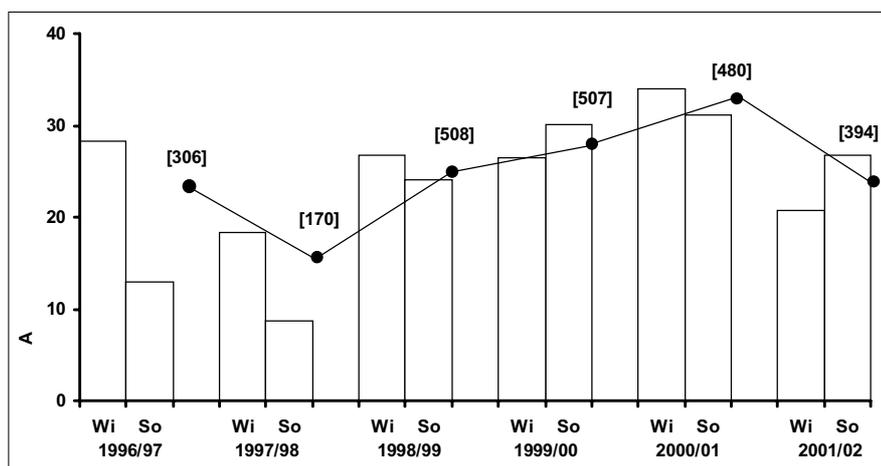


Abbildung 1: Anteil der Bypass-Flüsse an der Grundwasser-Neubildung für ein Kies-Lysimeter über 6 Jahre für Winter- (Wi) und Sommerhalbjahre (So). Messpunkte •: jährlicher Anteil, [Zahl an den Messpunkten]: jährliche Niederschlagshöhen [mm]

Sickerwassers in den Segmenten, die Ausdruck für die Wasserinhaltsstoffe sind, sind bei Matrix-Flüssen weitgehend konstant. Treten Bypass-Flüsse auf, än-

dern sich diese Parameter sprunghaft. Dann sind die Leitfähigkeits- und pH-Werte - solange Bypass-Flüsse vorliegen - nahezu konstant.

In *Abbildung 2* sind für den Zeitraum 18.09. - 27.11.2000 beispielhaft die Mittelwerte der physikalisch-chemischen Leitparameter für zwei Segmente dargestellt:

- Segment 6: Auftreten von Bypass- und Matrixflüssen im Zeitraum 18.09. - 23.10.2000, anschließend nur Matrixflüsse, d.h. Änderung der Leitparameter.
- Segment 7: Es treten nur Matrix-Flüsse über den gesamten Zeitraum auf, d.h. die Leitparameter sind nahezu konstant.

Ergebnis: Änderung der Partikel-Konzentrationen durch Bypass-Flüsse

Die physikalische Filtration wassergetragener Partikel ist abhängig von der Fließgeschwindigkeit. Deshalb wurden in den Sickerwässern der Lysimeter-Segmente auch die Konzentrationen der Partikel

- DOC-Gehalte (Partikelgröße der Huminstoffe 1 bis 100 nm) und
- Keimzahlen (Bakteriengröße 0,5 bis 5 µm)

bestimmt. Aus *Abbildung 2* folgt, dass

- für kleine Fließgeschwindigkeiten (Matrix-Flüsse) die Filtration großen Einfluss auf die Konzentration hat, d.h. die Gehalte an DOC und Keimzahlen sind gering,
- für größere Fließgeschwindigkeiten (zusätzlich Bypass-Flüsse) die Filtration geringeren Einfluss hat, d.h. die Partikel-Gehalte sind größer.

Ergebnis: Tracerversuch

Am 08.05.2000 wurde auf das Kies-Lysimeter homogen über die Lysimeteroberfläche mit der in KLOTZ und HINREINER, 1998 beschriebenen Anordnung Bromid (20,0 g) appliziert und seitdem das wöchentlich in den Segmenten anfallende Sickerwasser auf Br analysiert. Die während eines Zeitraumes von ca. 2 Jahren registrierten 8 Bromid-Durchgangskurven, das -Transportpotential und die -Mengen unterscheiden sich wegen den unterschiedlichen Verhältnissen Matrix- zu Bypass-Flüssen erheblich. *Tabelle 2* zeigt die Ergebnisse für das gesamte Lysimeter sowie beispielhaft für das Segment 6 (Auftreten von Matrix- und Bypass-Flüssen) und Segment 7 (hauptsächlich nur Matrix-Flüsse):

- Für den Untersuchungszeitraum (112 Wochen) treten in 64 Wochen zu den

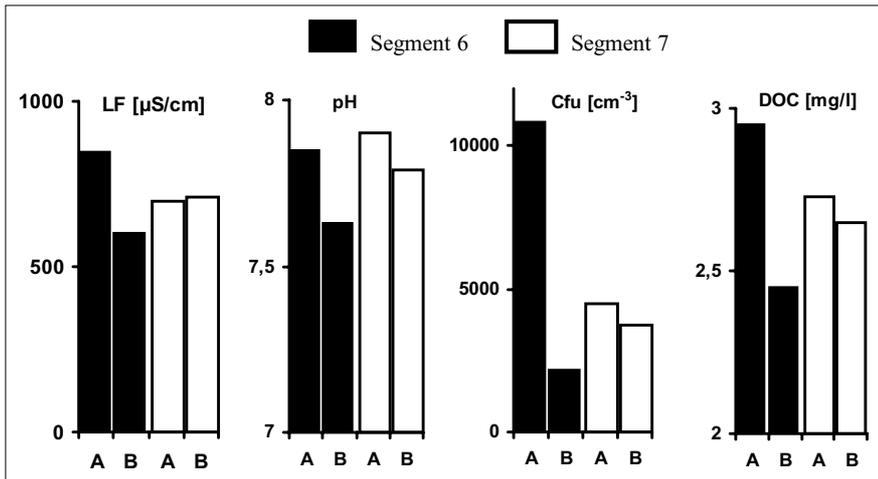


Abbildung 2: Mittlere Werte der Leitfähigkeit (LF), des pH-Wertes (pH), der Keimzahlen (cfu) und des DOC-Gehaltes (DOC) für Sickerwässer des Segmentes 6 und des Segmentes 7 für den Zeitraum 18.09.-23.10.2000 (A) und 23.10.-27.11.2000 (B).

Tabelle 2: Aus den Bromid-Durchgangskurven für das Lysimeter Nr. 18 sowie beispielhaft für das Segment 6 (Auftreten von Matrix- und Bypass-Flüssen) und das Segment 7 (hauptsächlich Matrix-Flüsse) berechnete Größen. Untersuchungszeitraum: 08.05.2000 - 01.07.2002 (112 Wochen)

Messgröße	Lys 18 (1 m ²)	Segment 6 (12,5 dm ²)	Segment 7 (12,5 dm ²)
Sickerwasserhöhe [mm]	966,7	148,1	105,0
[%]	100,0	15,3	10,9
Bromid-Wiedererhalt [mg]	$W_L = 12.455,1$	1.916,5	986,3
	$W_L = 62,3 \%$	$0,154 \times W_L$	$0,079 \times W_L$
Matrix- u. Bypass-Flüsse (MB)	MB = 64 Wo.	58 Wo.	17 Wo.
	MB = 57,1 %	$0,906 \times MB$	$0,266 \times MB$
Fließgeschwindigkeit v_a [m/a]	6,06	6,43	5,87
Filtergeschwindigkeit v_f [m/a]	0,506	0,458	0,366
effektiver Wassergehalt Θ_{eff}	0,083	0,071	0,062
long. Dispersivität α [cm]	25,8 (55,3)	2,7 (5,8)	21,3 (45,7)

Matrix-Flüsse Bypass-Flüsse auf, im Segment 6 mehr (58 Wochen) als im Segment 7 (17 Wochen).

- Die Sickerwasserhöhen und die Bromid-Wiedererhalte betragen im Segment 6 > 12,5 %, im Segment < 12,5 % der gesamten Sickerwasserhöhe (966,7 mm) bzw. des Gesamt-Br-Wiedererhalts (12,455 g) des Lysimeters 18.
- Die Sickerwassergeschwindigkeiten v_a und die erfassten effektiven Wassergehalte sind für das Segment 6 größer als für das Segment 7.
- Die longitudinalen Dispersivitäten, die ein Maß für die Halbwertsbreiten der Br-Durchgangskurven sind, sind für das Segment 7 ca. um den Faktor 8 größer als für Segment 6.

Literatur

KLOTZ, D., 2001: Untersuchungen zu Bypass-Flüssen an den GSF-Intensiv-Lysimetern. - In: Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung. BAL-Bericht, 165 - 168.

KLOTZ, D., 2002 (Hrsg.): Grundparameter der Lysimetersedimente - Standorte Scheyern, Kelheim, Hohenwart und Feldkirchen. GSF-Bericht 10/02, 146 S.

KLOTZ, D. und G. HINREINER, 1999: Applikationsvorrichtung für Markierungs- und Schadstoffe auf Gefäß-Lysimeter von kreisförmigem Querschnitt. - In: Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeit in Lysimetern. GSF-Bericht 01/99, 109 - 112.

SCHNEIDER, S., 2001: Bypass- und Matrixflüsse in der wasserungesättigten Zone von Lössen und tertiären Kiessanden des Tertiär-Hügellandes von Scheyern (Oberbayern). GSF-Bericht 14/01, 166 S.

