

Änderung des Wasserhaushaltes von Böden durch den prognostizierten globalen Wandel

D. KLOTZ

Abstract

In a study performed over several years in 16 lysimeters at the GSF plant of Neuherberg, it was found that, under a temperature increase by 3° C, the water balance shows measurable changes only in lysimeters with top-soils having a good permeability. Tracer experiments made in two small lysimeters in the low-precipitation year of 2003 showed that, under such temperature change, the leachate rate does not change noticeably, while the hydraulic parameters of effective water content and dispersivity show strong alterations.

Zusammenfassung

In einer mehrjährigen Studie in 16 Lysimetern der GSF-Anlage Neuherberg wurde festgestellt, dass sich der Wasserhaushalt bei einer Erwärmung von 3° C nur in Lysimetern mit durchlässigen Oberböden messbar ändert. Tracerversuche im niederschlagsarmen Jahr 2003 in zwei Kleinlysimetern zeigten, dass sich bei dieser Temperaturerhöhung nicht merklich die Sickerwassergeschwindigkeiten, stark aber die hydraulischen Parameter effektiver Wassergehalt und Dispersivität ändern.

Einführung

Globaler Wandel und menschliche Aktivitäten führen zu Veränderungen in der Luftzusammensetzung (höhere CO₂- und O₃-Konzentrationen), in den Niederschlagsbedingungen (Zunahme der Starkregenereignisse), in den Strahlungsaktivitäten (Zunahme der Temperatur, prognostiziert: 3 bis 5° C) sowie im Schadstoff-Input. Diese Änderungen werden Biogeosysteme belasten und zukünftig signifikant verändern.

Im Folgenden wird über den Einfluss einer Temperaturänderung auf den Wasserhaushalt und die Sickerwassergeschwindigkeit von Lysimeterböden berichtet.

Einfluss einer Temperaturänderung auf die hydraulischen Parameter

Bei einer Temperaturänderung ändern sich in einem durchströmten Boden/Sediment nicht merklich die Strukturparameter (Korngröße, Porosität, Gefüge), aber stark die Viskosität des Wassers: Näherungsweise beträgt zwischen 10° C und 20° C die Abnahme der kinematischen Viskosität des Wassers 3 % pro Grad. Das hat Auswirkungen auf die hydraulischen Parameter des Boden/Sediment-Systems (KLOTZ, 2002 und 2003): Mit steigender Temperatur erfolgt

- eine Zunahme der Durchlässigkeit sowie der Dispersivität,
- eine Abnahme der Saugspannung (Wasserpotential) für konstante Wassergehalte und
- eine Abnahme des totalen und effektiven Wassergehaltes.

Diese einzelnen Änderungen der hydraulischen Parameter durch eine Erwärmung werden zusammenwirken und einen Einfluss auf den Wasserhaushalt von Böden und möglicherweise auf die Sickerwassergeschwindigkeit in Böden haben.

Änderung des Wasserhaushaltes von Böden durch eine Temperaturerhöhung

Seit Mai 2001 sind die GSF-Lysimeter Neuherberge der vier Standorte

- SCHEYERN (SCH): monolithische Entnahme, Oberboden: Schluff;

- FELDKIRCHEN (FK): händischer Aufbau, Oberboden: Schluff;
- HOHENWART (HOH): monolithische Entnahme, Oberboden: schluffig, feinsandiger Mittelsand;
- KELHEIM (KEH): monolithische Entnahme, Oberboden: feinsandiger Mittelsand

teilweise (je 2 Lysimeter pro Standort) mit aufgelegten Heizspiralen ausgestattet, um die natürliche Temperatur um 3° C zu erhöhen und eine globale Erwärmung zu simulieren. Aus Vergleichsgründen sind 2 Lysimeter pro Standort ohne Beheizung belassen. Die Lysimeter weisen vor Versuchsbeginn "Simulation Temperaturerhöhung" (15.05.2001) im Rahmen der Fehlergrenzen über ca. 3 ½ Jahre dieselbe Grundwasserneubildungsrate auf (s. Tabelle 2). Im Zeitraum 1998 - 2004 war auf den 16 Lysimetern und dem umgebenden Lysimeterfeld folgende Fruchtfolge angebaut:

- 1997/1998: Wintergerste,
- 1998/1999: Senf, Mais,
- 1999/2000: Winterweizen,
- 2000/2001: Brache, Sommergerste,
- 2001/2002: Senf, Hafer,
- 2002/2003: Brache, Sommerweizen,
- 2003/2004: Senf, Sommergerste.

In der Versuchszeit ab Mitte 2001 wurden keine vergleichenden Untersuchungen zur Pflanzenentwicklung auf den beiheizten und nichtbeheizten Lysimetern durchgeführt.

Als Vorversuche wurden mit den Oberböden, die in kleinen 300 ml-Bechern

Tabelle 1: Verdunstung in [%] der gleichen Anfangsfeuchte (ca. 27 %) aus Oberböden verschiedener Standorte, eingebaut in 300 ml-Becher, nach 1 Woche.

Temperatur [°C] →	6 ± 1	20 ± 2	35 ± 1
relative Feuchte [%] →	70 ± 20	70 ± 20	35 ± 10
SCHEYERN (SCH)	21,4 %	42,3 %	91,0 %
KELHEIM (KEH)	19,6 %	38,5 %	92,5 %
HOHENWART (HOH)	21,2 %	39,0 %	95,6 %
FELDKIRCHEN (FK)	19,2 %	40,6 %	88,9 %

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

Tabelle 2: Grundwasserneubildung GWN [mm] von je vier Lysimetern von vier verschiedenen Böden ohne (-) und mit (+) aufgelegten Heizspiralen (Temperaturerhöhung: 3° C)

Lys.-Nr.	01/1997 - 05/2001			06/2001 - 09/2004		
	Heizung	GWN	Mittelwert	Heizung	GWN	Mittelwert
Standort SCHEYERN (pseudovergleyte Braunerde/Schluffe)						
10	-	1291	1354 ± 64	-	1023	862 ± 162
11	-	1418	[0,439 N]	-	700	[0,260 N]
9	-	1272	1331 ± 59	+	633	853 ± 221
12	-	1391	[0,432 N]	+	1074	[0,258 N]
Standort KELHEIM (Braunerde/Sande)						
21	-	1608	1594 ± 14	-	1160	1219 ± 58
24	-	1581	[0,517 N]	-	1276	[0,368 N]
22	-	1699	1571 ± 128	+	1091	988 ± 104
23	-	1443	[0,509 N]	+	884	[0,299 N]
Standort HOHENWART (Kolluvium ü. Braunerde/kiesige Sande)						
13	-	1530	1414 ± 116	-	1359	1325 ± 34
15	-	1297	[0,458 N]	-	1291	[0,401 N]
14	-	1396	1432 ± 36	+	934	863 ± 70
16	-	1468	[0,464 N]	+	793	[0,261 N]
Standort FELDKIRCHEN (Rendzina/sandige Kiese)						
17	-	1521	1461 ± 60	-	1409	1387 ± 22
18	-	1401	[0,474 N]	-	1365	[0,419 N]
19	-	1442	1484 ± 43	+	1365	1399 ± 34
20	-	1527	[0,481 N]	+	1432	[0,423 N]
Niederschlag						
N			3086			3308

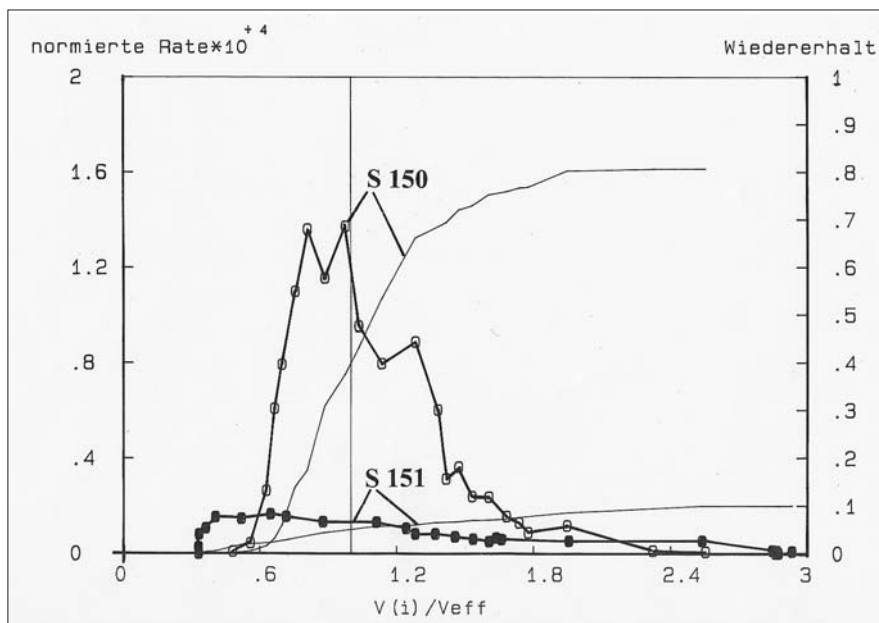


Abbildung 1: Im Sickerwasser registrierte ^3H -Konzentrationsdurchgänge und Wiedererhalte für die Lysimeter S 150 (natürliche Temperaturbedingungen) (oben) und S 151 (Erwärmung um 3° C) (unten). normierte Rate: ^3H -Konzentration/Impfmenge, V/V_{eff} : aufsummiertes, ausgelaufenes Sickerwasservolumen/effektives Fließvolumen

eingebaut waren, und eine Anfangsfeuchte von ca. 27 % aufwiesen im Labor unter verschiedenen Temperaturen Verdunstungsversuche durchgeführt. Es zeigte sich (Tabelle 1) für die gewählten Versuchsbedingungen

- nur ein starker Einfluss der Temperatur auf die Verdunstung,
- keine Abhängigkeit der Verdunstungsmenge von den verschieden gekörnten und verschieden durchlässigen Sedimenten.

Die in Tabelle 2 aufgelisteten Ergebnisse der Lysimeter zeigen hingegen, dass die Temperaturerhöhung von 3° C einen messbaren Einfluss auf die Grundwasserneubildung für die "durchlässigeren" Böden der Standorte HOHENWART und KELHEIM mit sandigen Oberböden (A-Horizont: schluffig, feinsandiger Mittelsand (HOH), feinsandiger Mittelsand (KEH)) hat. Für die Böden der Standorte SCHEYERN und FELDKIRCHEN mit weniger durchlässigen, schluffigen Oberböden ist in der Versuchszeit von ca. 3 ½ Jahren noch kein Einfluss auf die Grundwasserneubildung zu erkennen.

Einfluss einer Temperaturerhöhung auf die Sickerwassergeschwindigkeit von Böden

Die Untersuchungen wurden in zwei Kleinlysimetern (Durchmesser: 300 mm, Länge: 1000 mm) durchgeführt, die händisch unter versuchstechnisch dichter Lagerung mit einem Mittelsand (Quarzsand der Körnung 0,1 - 0,6 mm) gefüllt sind, eine Bepflanzung der Lysimeter fand nicht statt (d.h. es ist nur eine Verdunstung von der Sandoberfläche möglich). In einem Lysimeter (S 151) war durch eine aufgelegte Heizspirale eine Temperaturerhöhung um 3° C zu simulieren, im Lysimeter S 150 herrschten natürliche Temperaturbedingungen.

Die Sickerwassermenge im Lysimeter S 150 unter natürlichen Temperaturbedingungen beträgt für das niederschlagsarme Jahr 2003 ca. 80 % der Niederschlagsmenge N, im erwärmten Lysimeter S 151 nur ca. 45 % (Tabelle 3), für das niederschlagsnormale Jahr 2004 sind die Unterschiede nur ca. 10 %. Weiterhin zeigt sich, dass im erwärmten Lysimeter

Tabelle 3: Ergebnisse Sickerwasser und Tracerversuch für die Kleinlysimeter S 150 und S 151 für das niederschlagsarme Jahr 2003 und das Normal-Jahr 2004 (bis 10/04)

Kleinlysimeter → Temperatur →	S 150 natürliche	S 151 natürliche + 3° C
2003		
Niederschlag	617 mm	617 mm
Sickerwassermenge	491 mm = 0,80 N	280 mm = 0,45 N
pH-Wert	7,1 ± 0,4	7,3 ± 0,4
Leitfähigkeit	(301 ± 151) µS/cm	(467 ± 237) µS/cm
2004		
Niederschlag	778 mm	778 mm
Sickerwassermenge	564 mm = 0,72 N	487 mm = 0,63 N
pH-Wert	6,9 ± 0,5	7,1 ± 0,4
Leitfähigkeit	(133 ± 131) µS/cm	(159 ± 96) µS/cm
1. Tracerversuch (Tracer: ³ H ₂ O, Applikation: 17.03.2003)		
³ H-Wiedererhalt	80,7 %	10,1 %
Sickerwassergeschwindigkeit	4,29 m/a	4,04 m/a
effektiver Wassergehalt	13,1 %	6,5 %
Dispersivität	9,8 cm	50 cm

das Sickerwasser aufmineralisiert wird, besonders stark für das Jahr 2003 (ca. 50 %), weniger (ca. 20 %) für 2004.

Auf die Lysimeter S 150 und S 151 wurde am 17.03.2003 tritiiertes Wasser appliziert (1. Tracerversuch), die im Sickerwasser registrierten ³H-Konzentrationsdurchgänge sind in *Abbildung 1* dargestellt, die daraus folgenden hydraulischen Parameter in *Tabelle 3* aufgelistet:

- ³H₂O wird im Quarzsand nicht sorbiert, verhält sich also konservativ. Die Tracerverluste (ca. 20 % für S 150, ca. 90 % für S 151) sind nur auf Verdunstung des tritiierten Wassers zurückzuführen.
- Die aus den ³H-Konzentrationsdurchgangskurven folgenden Sickerwassergeschwindigkeiten unterscheiden sich nur wenig, sie liegen bei ca. 4 m/a.

- Stark unterschiedlich sind die effektiven Wassergehalte: im erwärmten Lysimeter S 151 stehen nur ca. die Hälfte des effektiven Fließvolumens des Lysimeters S 150 zur Verfügung.
- Wegen der verschiedenen Wassergehalte unterscheiden sich die Dispersivitäten in beiden Lysimetern um ca. den Faktor 5; d. h. im erwärmten Lysimeter würden Schadstoffe in Strömungsrichtung breiter verschmiert.

Am 02.08.2004 wurden erneut hydrologische Tracer (tritiiertes Wasser und Bromid) auf beide Kleinlysimeter appliziert. Über die Ergebnisse dieses 2. Tracerversuches kann noch nicht berichtet werden, da der Konzentrationsdurchgang noch nicht beendet ist.

Literatur

- KLOTZ, D., 2002: Einfluss einer Temperaturerhöhung auf die hydraulischen Eigenschaften von Böden. - In: Untersuchungen zur Schadstoff-Migration in Lysimetern (Hrsg.: D. Klotz), GSF-Bericht 05/02, 2003 - 2008.
- KLOTZ, D., 2003: Auswirkungen einer globalen Temperaturerhöhung auf den Wasserhaushalt von Böden. - In: Klima - Wasser - Flussmanagement - im Lichte der Flut, Beiträge zum Tag der Hydrologie am 20./21. März 2003 in Freiburg/Br. (Hrsg.: H.-B. Kleeberg), Band II, Heft 04.03, 25 - 28.

