

# Berechnung der Wasserbewegung entlang eines Hanges

A. KLIK, W. JESTER und F. KASTANEK

## Kurzfassung

Im Oktober 2001 wurden an einem 100 m langen, 12 % geneigten Hangtransekt drei Profile mit Sonden zur Messung des Bodenwasseranteiles und der Wasserspannung ausgerüstet. Aus den wenigen zur Verfügung stehenden Bodenkennwerten wurden über Pedotransferfunktionen die notwendigen Parameter für die Wasserbewegung im ungesättigten Bodenbereich abgeschätzt. Anhand der wöchentlichen Messwerte des Bodenwassergehaltes und der Wasserspannungen, des erfassten Niederschlages und Oberflächenabflusses wurden die vertikalen Wasserflüsse wie Evapotranspiration und Versickerung und die hangparallelen Flüsse berechnet. Die Ergebnisse liefern plausible Werte.

## Abstract

In October 2001 a hillslope transect was equipped at three positions with soil moisture sensors and tensiometers. With limited available soil information necessary parameters for water transport in the vadose zone were assessed by using pedotransfer functions. Measurements of precipitation and runoff together with weekly data of soil moisture and soil water tension were used to calculate vertical flows like evapotranspiration and percolation, and lateral flow. Feasible results could be obtained.

## Einleitung und Aufgabenstellung

Ziel der Studie ist es, mit Hilfe von wöchentlichen Messungen des Bodenwasseranteiles und der Wasserspannung im Boden an drei Profilen entlang eines Hangtransektes, die Wasserbewegung zu berechnen und anhand einer Bilanzie-

rung die Evapotranspiration abzuschätzen.

## Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an einem 12 % geneigten Hang durchführt. Bei dem vorliegenden Boden handelt es sich um einem lehmigen Schluff (*Tabelle 1*). Die untersuchten Hangpositionen waren der Hangbeginn, die Hangmitte und der Hangfuß. Die Abstände zwischen den untersuchten Profilen betragen jeweils 30 m. An jeder Messstelle wurden die Bodenwassergehalte und die Wasserspannungen in zweifacher Wiederholung gemessen. Die Wasseranteilmessung erfolgte mittels Sentek Diviner Sonde in 10 cm-Tiefenabschnitten bis in 150 cm Bodentiefe; die Wasserspannung wurde mit Tensiometern in 50 cm und 100 cm Tiefe gemessen. Die Werte werden einmal wöchentlich abgelesen. Zusätzlich werden der Niederschlag gemessen und der an jeder Hangposition auftretende Oberflächenabfluss durch 2 m breite und 3 m lange Erosionsmessflächen erfasst. Während der Vegetationsperiode 2002 war Raps angebaut, der Anfang Juli 2002 geerntet wurde.

Für jeden der sechs Messorte standen daher jeweils 60 Messwertpaare (1.10.2001 - 21.11.2002) zur Verfügung. Unter Zugrundelegung der Niederschlagssituation während des Untersuchungszeitraumes wurden Ent- und Be-

wässerungsphasen ausgewiesen, zusätzlich wurden die Werte in der Frostperiode ausgeschieden, sodass schließlich nur Werte verwendet wurden, die einer mittleren Wasseranteils-Wasserspannungsbeziehung des Standortes entsprechen.

Aus der ermittelten Kornverteilung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Kationenaustauschkapazität (KAK) wurden nach BAUMER (1992) Werte für den Wasseranteil bei Sättigung ( $W_s$ ), für die Feldkapazität (FK), den permanenten Welkepunkt (WP), der Restwasseranteil ( $W_r$ ) und die Trockendichte ( $\rho_d$ ) berechnet (*Tabelle 1*).

Da keine anderen Angaben zur Verfügung standen wurden diese Werte für den gesamten Hang als konstant angenommen. Mit Hilfe dieser berechneten Werte und unter Berücksichtigung der Messwertpaare Wasseranteil-Wasserspannung für die unterschiedlichen Hangpositionen bzw. Bodentiefen wurden nach VAN GENUCHTEN (1980) die zur Beschreibung der Wasseranteil-Wasserspannungsbeziehung notwendigen Kurvenparameter  $\alpha$  und  $n$  berechnet und das kapillare Leitvermögen abgeschätzt (SCHAAP et al. 2000, *Tabelle 2*).

Das Bodenprofil wurde in zwei Kompartimente (0-75 cm und 75-150 cm) unterteilt und ein Wasserbilanzmodell erstellt (*Abbildung 1*). Das obere und untere Kompartiment wurden dabei ge-

**Tabelle 2: van Genuchten Parameter ( $\alpha$ ,  $n$ ) und van Genuchten-Mualem Parameter ( $K_0$ ,  $L$ )**

Parameter	Hangbeginn		Hangmitte		Hangfuß	
	50 cm	100 cm	50 cm	100 cm	50 cm	100 cm
$\alpha$ (1/cm)	0.0038	0.0059	0.0045	0.009	0.0013	0.0027
$n$ (-)	1.3918	13.679	1.3657	1.3631	1.5411	1.4289
$K_0$ (cm/d)	1.0433	1.6626	1.2226	2.758	0.4576	0.766
$L$ (-)	0.5132	0.1524	0.3679	-0.2248	1.0859	0.7468

**Tabelle 1: Gemessene und berechnete Bodenkennwerte**

Ton (%)	Schluff (%)	Sand (%)	KAK (mmol/100 g)	Org. C (%)	$W_s$ (%)	FK (%)	WP (%)	$W_r$ (%)	$\rho_d$ (g cm <sup>-3</sup> )
14.1	66.4	19.5	15.4	1.4	42.35	34.7	13.24	6.2	1.55

**Autoren:** ao. Univ. Prof. Dr. Andreas KLIK, Werner JESTER und Univ. Prof. Dr. Ferdinand KASTANEK, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur, Muthgasse 18, A-1190 WIEN

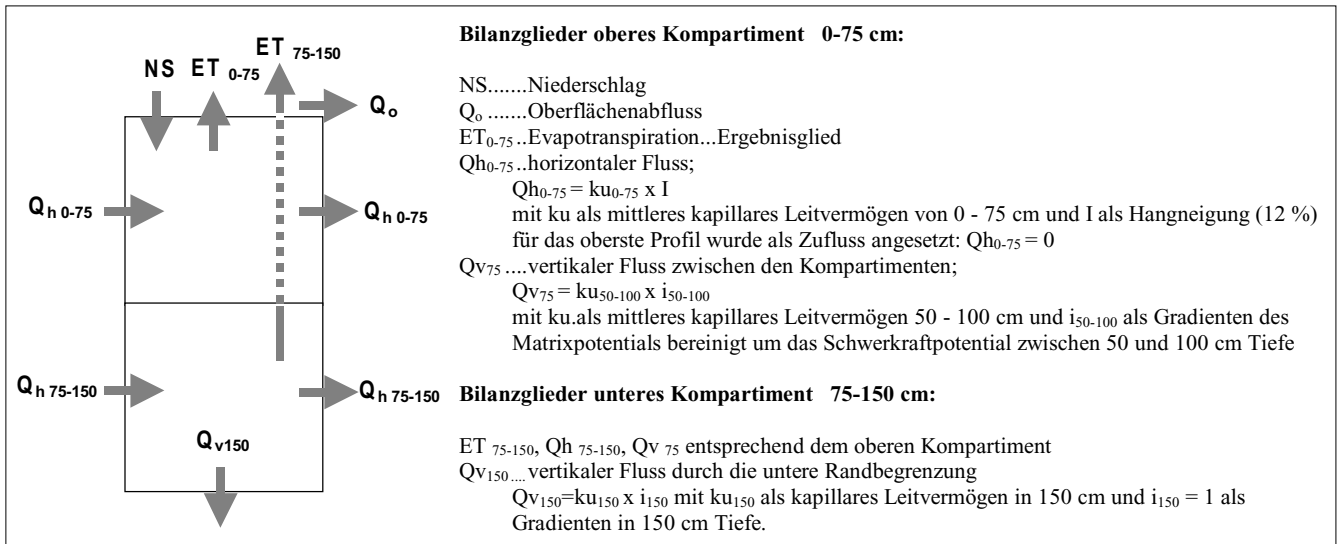


Abbildung 1: Bilanzmodell für die drei Standorte Hangbeginn, Hangmitte, Hangfuß (für den Hangbeginn wurden die horizontalen Zuflüsse mit Null angesetzt)

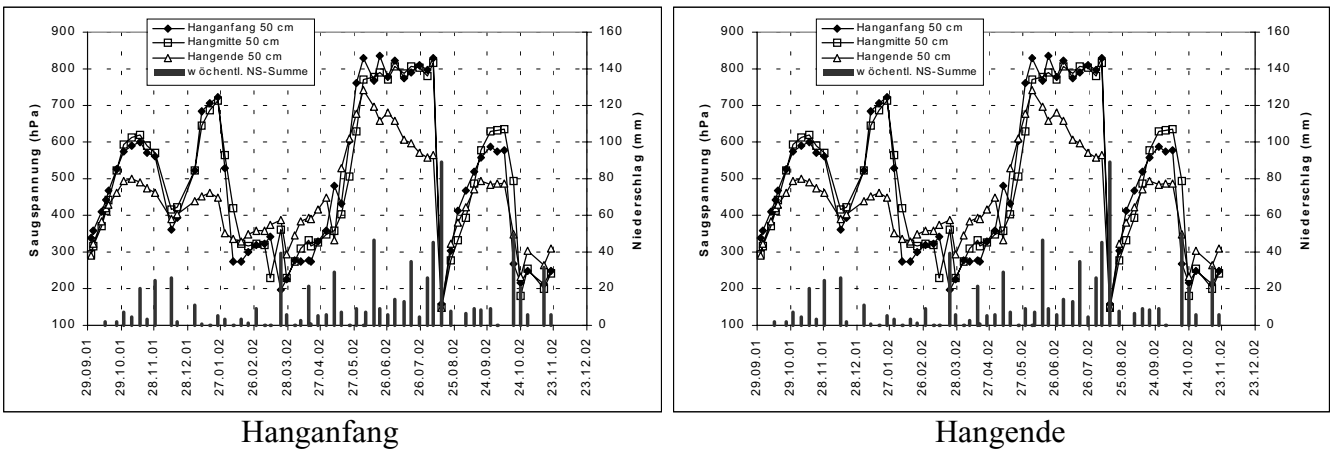


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Wasserspannungen im Boden an den drei Hangpositionen in 50 cm (a) und 100 cm Bodentiefe (b)

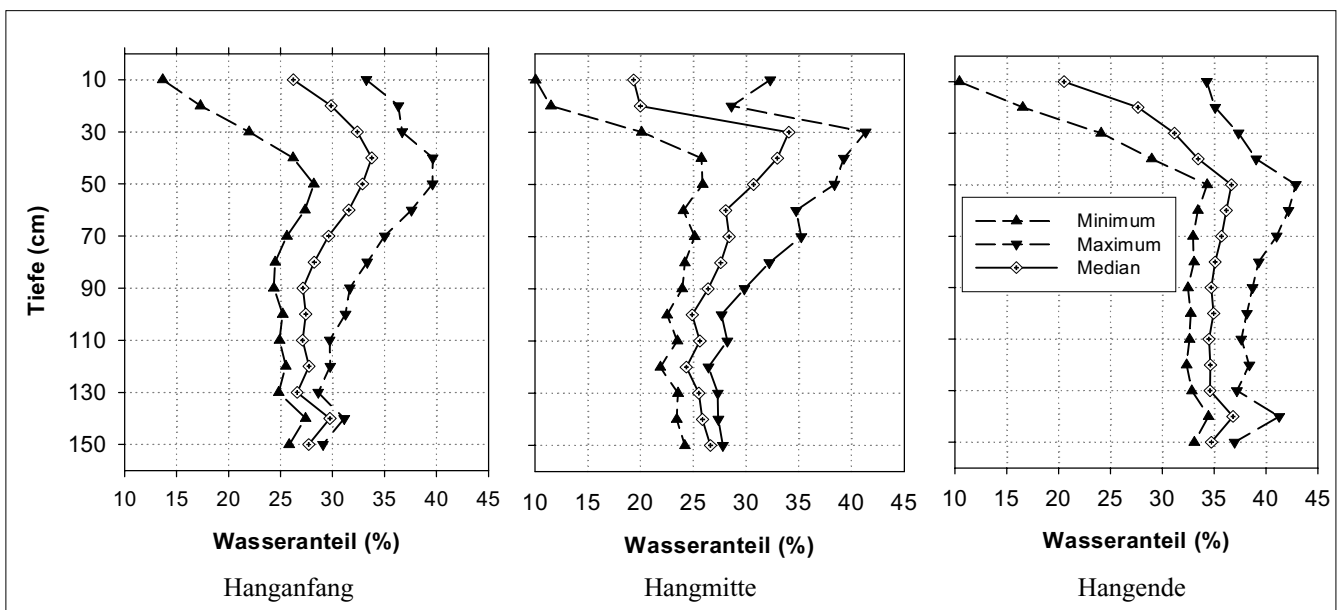
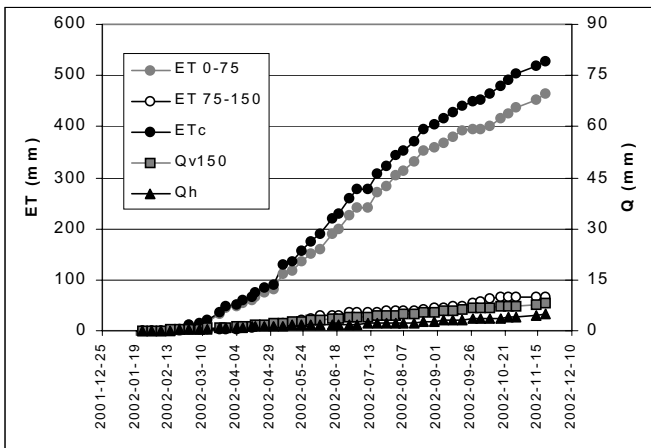


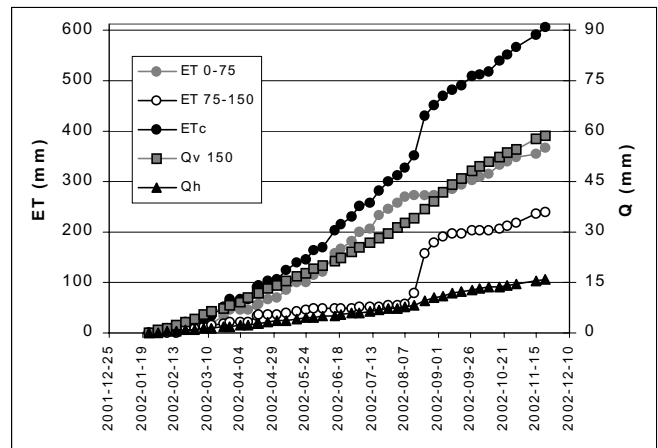
Abbildung 3: Mediane, Maxima und Minima des Wasseranteiles über die Profiltiefe von 150 cm während des Untersuchungszeitraumes

**Tabelle 2: Monatssummen des Niederschlages sowie der Evapotranspiration (ETc), des lateralen Flusses (Qh) und der Versickerung (Qv<sub>75</sub>, Qv<sub>150</sub>)**

Monat	NS mm	Hangbeginn				Hangmitte				Hangfuß			
		ETc mm	Qh mm	Qv 75 mm	Qv 150 mm	ET mm	Qh mm	Qv 75 mm	Qv 150 mm	ET mm	Qh mm	Qv 75 mm	Qv 150 mm
Jän	3,50	0,00	0,03	0,04	0,10	0,00	0,02	-0,04	0,10	0,00	0,17	-0,49	0,77
Feb	17,50	13,21	0,35	6,99	0,43	18,57	0,31	3,13	0,50	24,27	0,85	19,01	3,52
Mär	45,60	33,91	0,43	7,13	0,52	41,55	0,36	3,22	0,70	41,82	0,91	15,22	3,81
Apr	28,90	38,63	0,54	8,79	0,79	34,30	0,36	4,83	0,80	37,69	1,26	20,43	4,92
Mai	50,60	89,22	0,45	2,14	1,26	97,40	0,30	2,66	1,28	60,23	1,47	12,92	5,94
Jun	68,20	85,74	0,18	-1,26	0,81	77,37	0,13	-0,99	1,05	66,30	1,17	-9,92	5,19
Jul	66,40	62,18	0,16	0,72	0,67	57,24	0,12	0,34	0,97	70,08	1,28	3,93	5,64
Aug	183,50	80,01	0,80	25,63	0,93	65,74	0,67	23,26	1,38	151,63	3,29	151,08	9,44
Sep	32,90	45,99	0,54	1,52	1,07	68,32	0,38	2,24	1,59	55,46	2,44	11,49	9,10
Okt	75,80	54,12	0,63	12,00	0,83	47,64	0,38	2,82	1,26	58,83	1,71	17,38	6,47
Nov	37,30	25,44	0,66	10,25	0,61	24,17	0,46	5,67	0,77	38,32	1,22	23,76	4,12
<b>Σ</b>	<b>610,20</b>	<b>528,45</b>	<b>4,77</b>	<b>73,95</b>	<b>8,01</b>	<b>532,30</b>	<b>3,51</b>	<b>47,14</b>	<b>10,39</b>	<b>604,63</b>	<b>15,78</b>	<b>264,81</b>	<b>58,92</b>



Hanganfang



Hangfuß

**Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der Evapotranspiration (ETc), des Lateralfusses (Qh) und der Versickerung (Qv<sub>150</sub>)**

trennt bilanziert, wobei als Ergebnisglied die Verdunstung errechnet wurde.

### 3. Ergebnisse

In *Abbildung 2* ist der zeitliche Verlauf der Wasserspannung an den drei untersuchten Hangpositionen für beide Tiefen grafisch dargestellt. *Abbildung 3* zeigt den Verlauf des mittleren sowie des maximalen und minimalen Bodenwassergerhaltes in den drei Profilen. Aus den Abbildungen ist zu erkennen, dass sowohl bei der Wasserspannung als auch beim Wasseranteil zwischen dem Profil am Hangbeginn und in der Hangmitte kaum Unterschiede auftreten. In allen drei Hangprofilen tritt der höchste Wasseranteil in einer Tiefe von rd. 50 cm auf. In den beiden oberen Profilen nimmt er bis in eine Tiefe von etwa 90 cm um rd. 8 - 10 % ab und bleibt dann annähernd konstant. Im Hangfußprofil dagegen bleibt der Wasseranteil auch unterhalb von 50 cm Tiefe annähernd gleich hoch und verändert sich nicht.

Die zeitlichen Verläufe der Evapotranspiration (ETc), des Lateralfusses Qh und der Tiefenperkolation (Qv<sub>150</sub>) sind für die drei Hangprofile in *Abbildung 4* und in *Tabelle 2* dargestellt. Bei der Verdunstung wurden sowohl die Anteile aus dem oberen (0-75 cm) und aus dem unteren Bodenkompartment (75-150 cm) getrennt berechnet als auch die gesamte Evapotranspiration aus den beiden Anteilen aufsummiert.

Für die oberen beiden Profile ergeben sich über den Untersuchungszeitraum (1.1. - 21.11.2002) Verdunstungswerte von rd. 530 mm (*Tabelle 2*). Betrachtet man nur den Zeitraum mit Pflanzenbestand (Zeitraum Jänner bis Juli) so beträgt die ETc zwischen 260 und 269 mm. Der Großteil wird davon aus der Bodentiefe 0-75 cm entnommen; bis zum Juni steigt auch der Wasserentzug durch Pflanzenwurzeln aus größerer Tiefe (75-150 cm) an und erreicht im Mai sein Maximum, wobei dann rd. 15 % des Pflanzenwasserbedarfes aus diesem Tie-

fenbereich gedeckt werden. Am Hangfuß trat infolge der extrem hohen Niederschläge im August vermutlich eine Versickerung in Makroporen (preferential flow) auf, die durch die vorliegenden Messungen in Wochenabständen nicht erfasst werden konnte. Rund die Hälfte der berechneten 151,6 mm Verdunstung sind daher als preferential flow anzusetzen.

Die Versickerungen (Qv<sub>150</sub>) betragen von Jänner bis November zwischen 8,0 und 58,9 mm, wobei die oberen beiden Hangprofile wiederum sehr ähnliche Werte aufweisen und am Hangfuß die Tiefenversickerung und damit die Grundwasseranreicherung deutlich höher ist (*Tabelle 2*). Die hangparallelen Abflüsse (Qh) liegen am Hanganfang und in der Hangmitte nur bei 3,5 bis 4,7 mm, am Hangfuß bei 15,8 mm.

### Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurde versucht, auf Grund von wöchentlichen

Messwerten des Bodenwasseranteiles und Wasserspannung die Wasserbilanz für ein Hangtransekt zu erstellen. Es zeigte sich, dass zwischen dem Hangbeginn und der Hangmitte kaum Unterschiede in der Bodenhydrologie auftraten, am Hangfuß jedoch stets höhere Bodenwassergehalte vorlagen. Anhand der wöchentlichen Messwerte, der Erfassung des Niederschlages und des Oberflächenabflusses wurden die vertikalen Wasserflüsse wie Evapotranspiration

und Versickerung und die hangparallelen Flüsse berechnet. Die Ergebnisse liefern plausible Werte.

### **Danksagung**

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen der BOKU-Forschungsinitiative 2001 gefördert.

### **Literatur**

BAUMER, O. W., 1992: Predicting Unsaturated Hydraulic Parameters. In: van Genuchten, M. Th.,

F.J. Leij, and F.J. Lund (eds.). Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. Proc. of the Int. Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils, Riverside, California, October 11-13, 1989.

SCHAAP, M.G., F.J. LEIJ, and M. Th. Van GENUCHTEN, 2000: Rosetta: a program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. U.S. Salinity Laboratory, Riverside, CA.

Van GENUCHTEN, M.Th., 1980: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.