

Zeitschrift: Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société
Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 160 (1980)

Artikel: Kurz- und langfristige Variationen der Sickerrate, der
Gewichtsänderung und der Evapotranspiration von vier identischen
wägbaren Lysimetern

Autor: Blum, Herbert

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90783>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Kurz- und langfristige Variationen der Sickerrate, der Gewichtsänderung und der Evapotranspiration von vier identischen wägbaren Lysimetern

Herbert Blum

Zusammenfassung

Anhand der täglichen Wasserbilanzmessungen an vier identischen Lysimetern während den Vegetationsperioden 1979 und 1980 wurden Standardabweichungen für die Sickerrate, Gewichtsveränderung und Evapotranspiration berechnet. Die Resultate zeigen, dass die Messwerte kurzfristig (Tageswerte) mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet sind (Sickerrate: 0,3–1 mm/d, Gewichtsänderung: 1–2 mm/d, Evapotranspiration: 1–1,5 mm/d). Diese Werte sind von der Grösse der Sickerrate abhängig. Langfristig (Vegetationsperiode) gleichen sich die täglichen Unterschiede zum grössten Teil aus. Es bleiben aber kleine konstante Unterschiede bestehen, die Unsicherheiten in der langfristigen Bilanz für die Sickermenge und die Evapotranspiration von 8 bis 10% ergeben.

Einleitung

Wägbare Lysimeter erlauben auf einfache Weise Wasserhaushaltfragen des bewachsenen Bodens fortlaufend zu untersuchen. Die Sickerrate und die Änderung des Wassergehalts im untersuchten Bodenkörper können direkt gemessen werden. Bei bekannter Niederschlagsmenge lässt sich daraus die Evapotranspiration berechnen.

Die Beschaffungskosten für Lysimeter sind allerdings hoch, vor allem bei solchen mit einigen m^3 Inhalt. Dies hat zur Folge, dass oft nur ein einziges Lysimeter pro Verfahren zur Verfügung steht. In diesen Fällen stellt sich die Frage der Reproduzierbarkeit von Lysimetermessungen.

Aus den Messungen der Vegetationsperioden 1979 und 1980 sollen die Standardabweichungen der Sickerrate, der Gewichtsveränderung und der Evapotranspiration der

vier Lysimeter berechnet werden. Diese statistischen Werte werden für lange (während einer Vegetationsperiode) und kurze (während eines Tages) Auswerteperioden verglichen.

Beschreibung der Lysimeter-Anlage

Auf der Versuchsstation des Instituts für Pflanzenbau der ETHZ in Eschikon-Lindau stehen seit 1976 vier identische wägbare Lysimeter im Einsatz. Die zylinderförmigen Lysimetergefässe haben einen Durchmesser von 2 m und eine Tiefe von 2,3 m. Am tiefsten Punkt jedes Gefäßes befindet sich eine Öffnung für den Austritt des Sickerwassers. Die Gefäße sind in den Boden eingelassen, so dass ihr oberer Rand auf der Höhe der umgebenden Bodenfläche liegt. Die Gefäße wurden mit Erde aus unserem Versuchsgelände unter Wahrung der Schichtung des Bodenprofils eingefüllt. Das Erdreich besteht aus skelettreichem Moränelehm, (Bodenform Bc2), der in 1,1 m Tiefe eine wasserundurchlässige Schicht enthält, die natürlich im Lysimeter unerwünscht ist. Nach Beratung durch die Professur für Bodenphysik der ETHZ (Prof. Dr. F. Richard) wurde deshalb zuerst eine ca. 1 m dicke Schicht von gewaschenen Steinen (\varnothing 30–50 mm) eingefüllt. Darauf legten wir eine Filtermatte, auf die 0,2 m gewaschener Sand geschüttet wurde. Anschliessend wurde der 1,1 m tiefe Erdkörper in Schichten von 10–20 cm Dicke eingefüllt und sorgfältig gestampft, so dass annähernd die Dichte des natürlich gelagerten Bodens erreicht wurde. Die Lysimeter wurden mit der Rasenmischung Royal Extenso (Firma Schweizer, Thun) bepflanzt und regelmässig geschnitten. Um vegetationsbedingte Randeffekte zu vermeiden, wurde auch die unmittelbare Umgebung mit derselben Rasenmischung

bepflanzt. Im Umkreis von 50 m der Lysimeter ist nur eine Weidenutzung, die einen niedrigen Graswuchs fördert, gestattet.

Jedes Lysimeter steht auf einer elektronischen Waage der Firma Philips. Die Auflösung der Waagen beträgt 0,2 kp. Die Gewichte der vier Lysimeter werden der Reihe nach in 10 min. Intervallen auf Papierstreifen gedruckt. Das Sickerwasser wird mit Lysimeterwippen (Typ LY 100-10) der Firma Gertsch, Zürich, gemessen. Die Auflösung dieser Wippen beträgt 0,1 kp. Ein Regenmesser (System Joss-Tognini) mit einer Auflösung von 0,1 mm steht in 1,5 m Höhe bei den Lysimetern. Die Sickerrate und die Regenmenge werden in 15 min. Intervallen gemessen und registriert.

Resultate und Diskussion

Ein Beispiel für den Anstieg und anschliessenden Abfall der stündlichen Sickerrate nach starkem Niederschlag ist in Fig. 1 dargestellt. Die Unterschiede zwischen den vier Lysimetern sind beträchtlich. So variiert der Beginn des Anstiegs bis zu 3 Stunden. Die maximale Sickerrate wird mit bis zu 5 Stunden Zeitdifferenz erreicht. Die Höhe des Maximums ist bis um den Faktor 2 verschieden. Auch die täglichen Sickerraten sind unterschiedlich, wie aus Fig. 2 ersichtlich ist. Dabei sind nicht nur die Unterschiede in den Sickerraten interessant, sondern ebenso die Tatsache, dass sich die Kurven mehrfach überschneiden und ihre Reihenfolge in den beiden Maxima nicht dieselbe ist. Dies lässt vermuten, dass sich die kurzfristig auftreten-

den Unterschiede im Laufe der Zeit etwas ausgleichen.

Langfristige Variationen

Es sollen nun vorerst die langfristigen Unterschiede in den Sickerraten, den Gewichtsänderungen und den daraus berechneten Evapotranspirationen für Ausschnitte der Jahre 1979 und 1980 untersucht werden.

Tabelle 1 enthält die Wasserbilanzwerte der vier Lysimeter für die beiden Messperioden. Die drei Messgrössen zeigen in beiden Jahren beträchtliche Unterschiede zwischen den vier Lysimetern. In der Fig. 3a bis 3f sind die Verläufe der aufsummierten (kumulierte) Abweichungen der Messgrössen vom Mittelwert der vier täglichen Werte dargestellt. In den meisten Fällen verlaufen die Kurven angenähert linear, woraus sich langfristig konstante tägliche Unterschiede ergeben. Mit einer linearen Ausgleichsrechnung sind diese langfristigen Unterschiede berechnet worden. In Tabelle 2 sind die Koeffizienten dieser Regressionsrechnungen dargestellt. Die maximalen langfristigen Abweichungen b vom Mittelwert erreichen bei der Sickerrate 0,14 mm/d, bei der Gewichtsänderung 0,04 mm/d und bei der Evapotranspiration 0,15 mm/d. Diese kleinen Abweichungen ergeben im Laufe der Vegetationsperiode beträchtliche Unterschiede (vgl. Tabelle 1). Es ist zudem zu beachten, dass die Regressionsgeraden z. T. Achsenabschnitte von beachtlicher Grösse aufweisen. Tabelle 2 enthält auch die Standardabweichungen s für die Regressionskoeffizienten a und b für die

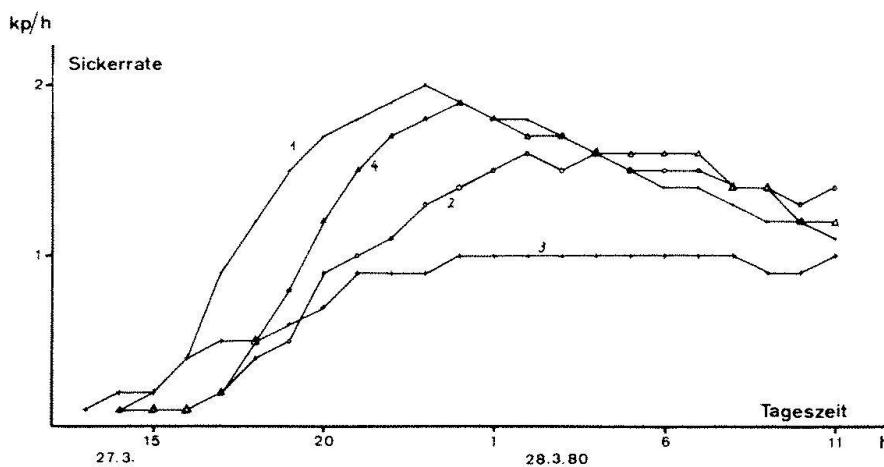


Fig. 1. Stündliche Sickerrate der vier Lysimeter: Typischer Verlauf nach starkem Niederschlag, 3,1 m² Lysimeterfläche

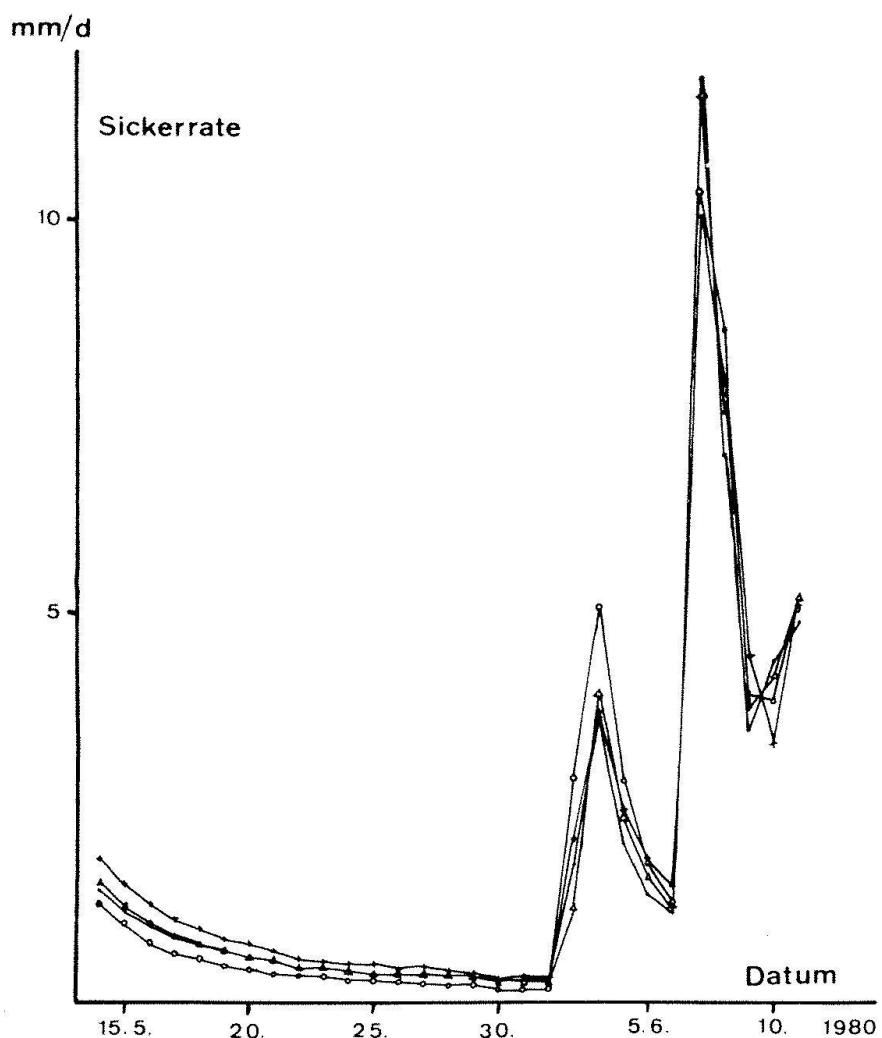


Fig. 2. Verläufe der täglichen Sickerraten für einen Ausschnitt aus der Messperiode 1980

ganze Messperiode 1979/80. Daraus ergeben sich für die langfristigen Abweichungen vom Mittelwert die folgenden Werte (95% Trefferwahrscheinlichkeit): Für die Sickerrate 0,17 mm/d, für die Gewichtsänderung 0,05 mm/d und für die Evapotranspiration 0,2 mm/d. Diese Werte sind als Unsicherheiten zu berücksichtigen bei der Wasserbilanzbestimmung über längere Zeitspannen. Diese langfristigen Abweichungen können nicht das Resultat von Messfehlern der Instrumente sein. Ein Vorversuch mit einem Lysimeter konstanten Gewichts hat ergeben,

dass im Laufe einer Vegetationsperiode ein Wägefehler entsprechend 1 mm Niederschlag zu erwarten ist. Auch die Fehler der Lysimeterwippen liegen weit unter den berechneten Abweichungen.

Die Verläufe der Kurven in Fig. 3a bis 3f sind nicht alle linear. Außerdem zeigt ein Vergleich der Fig. 3a und b, dass sich die Lysimeter 2 und 3 im Laufe der beiden Jahre stark verändert haben. Diese Abweichungen sind vermutlich durch Veränderungen im Bodenkörper der Lysimeter bedingt.

Tab. 1. Wasserbilanz (mm) der vier Lysimeter für die Messperioden 1979 und 1980

Lysimeter Nr.	1.3.-30.10.79				1.3.-28.8.80			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Sickermenge	419.9	395.2	406.6	429.8	436.3	409.4	448.9	439.8
Gewichtsänderung	-10.8	-11.8	-21.2	-15.6	-51.1	-46.5	-35.1	-44.0
Evapotranspiration	466.3	491.6	489.8	460.6	366.6	389.3	337.9	355.7
Niederschlag			874.9				733.0	

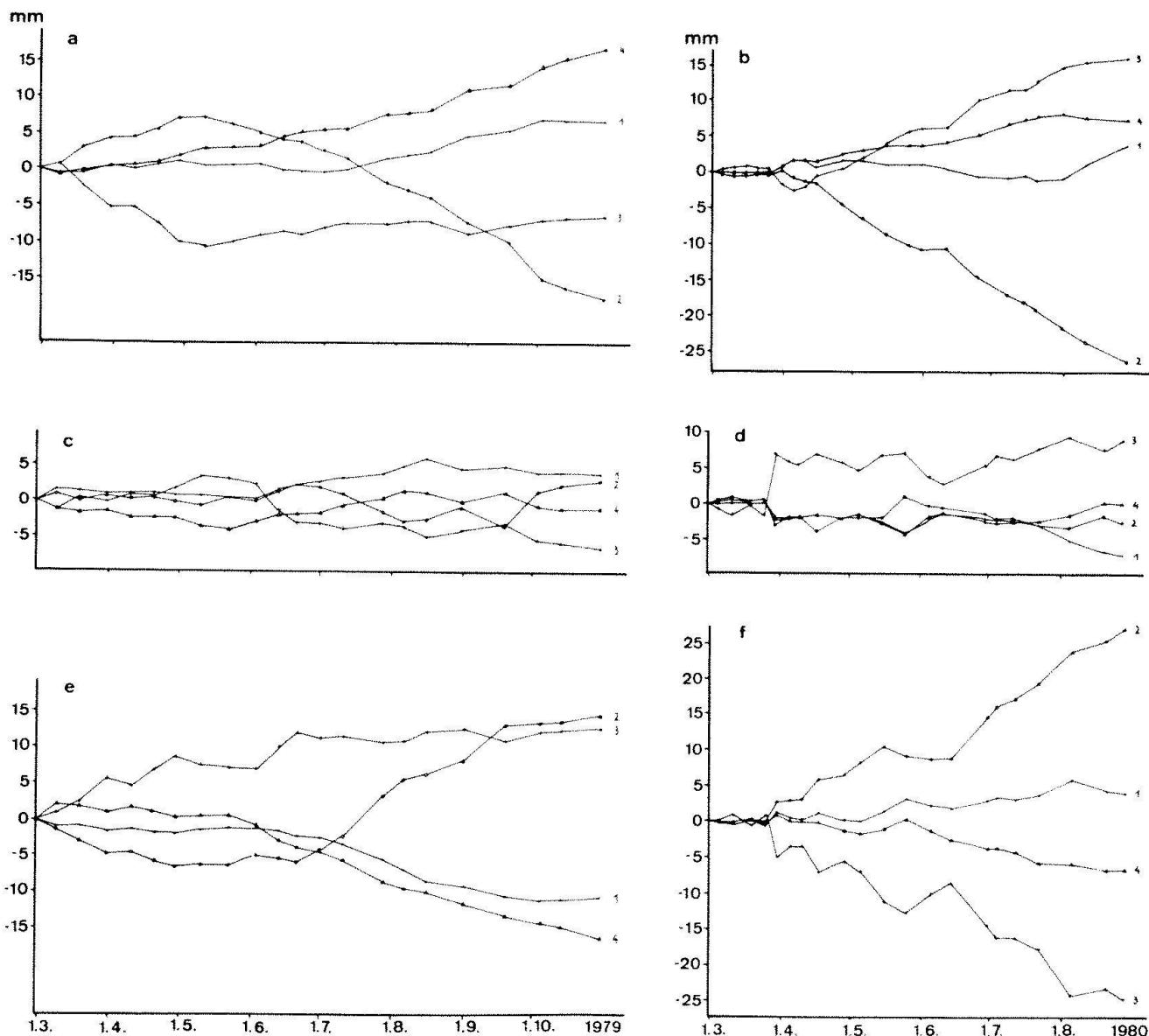


Fig. 3a-f. Verläufe der kumulierten Abweichungen der Messgrößen vom jeweiligen Mittelwert aus den täglichen Werten der vier Lysimeter. Linke Hälfte, Messperiode 1979; rechte Hälfte, Messperiode 1980. a und b: Sickerrate; c und d: Gewichtsänderung; e und f: Evapotranspiration. Die Nummern am rechten Rand bezeichnen die vier Lysimeter.

Tab. 2. Koeffizienten der Regressionsanalyse $F(T) = A + B \cdot T$, für die vier Lysimeter. T: Zeit in Tagen, R: Korrelationskoeffizient, S: Standardabweichung des entsprechenden Koeffizienten über beide Jahre

		1979				1980				
Lysimeter Nr.		1	2	3	4	1	2	3	4	S
Sicker-rate	A mm	-1.77	9.58	-5.27	-2.53	.61	3.13	-3.26	-.47	4.63
	B mm/d	.033	-.091	-.014	.073	-.004	-.144	.102	.046	0.083
	R	0.86	-0.86	-0.40	0.98	-0.17	-0.98	0.96	0.96	
Gewichts-änderung	A mm	0.50	0.66	1.14	-2.31	0.34	-0.34	1.21	-1.20	1.22
	B mm/d	.020	-.001	-.031	.012	-.029	-.009	.041	-.002	0.024
	R	0.80	-0.03	0.76	0.59	-0.80	-0.32	0.71	-0.11	
Evapo-transpiration	A mm	1.27	-10.24	4.13	4.84	-0.95	-2.79	2.06	1.68	4.82
	B mm/d	-.053	.092	.046	-.085	.033	.153	-.143	-.043	0.10
	R	-0.92	0.86	0.85	-0.98	0.93	0.98	-0.97	-0.92	

Kurzfristige Variationen

Für die Beurteilung der Unterschiede der Wasserbilanzgrößen über Zeitspannen von einigen Tagen können die bisher berechneten Abweichungen vernachlässigt werden. Für sehr kurze Messperioden sind die Standardabweichungen der Messwerte einzelner Tage entscheidend.

Für die Berechnung der Standardabweichungen werden die Differenz zwischen den täglichen Werten und den Mittelwerten aus den vier täglichen Werten benutzt. Nun sind jedoch diese Differenzen grösser, wenn die täglichen Sickerraten, infolge vorangegangener starker Niederschläge, gross sind. Standardabweichungen wurden deshalb für kleine und grosse Sickerraten getrennt berechnet. Als Grenzwert für die Einteilung in die beiden Klassen wählten wir eine Sickerrate von 3,5 mm/d. Dieser Wert wurde in der Regel am dritten Tag nach den starken Niederschlägen, die ein vorübergehendes Ansteigen der Sickerrate zur Folge hatten,

erreicht. Die Tage, an denen eine der vier Sickerraten über 3,5 mm anstieg, ergaben zusammen die Fälle hoher Sickerraten. Tabelle 3 enthält die berechneten Standardabweichungen. Die entsprechenden Werte für die beiden Vegetationsperioden stimmen gut überein, was ihre Zuverlässigkeit unterstreicht. Die Unterschiede zwischen den Werten bei niedriger bzw. hoher Sickerrate sind beträchtlich.

Die hier vorgestellten kurz- und langfristigen Abweichungen dürften für die meisten ähnlichen Lysimeteranlagen obere Grenzen darstellen, weil Unterschiede in der Bodenstruktur (Spalten, Risse, Hohlräume, - und dadurch bedingt, Unterschiede in den Wasserhaushaltsgrößen) durch das in unseren Lysimetern verwendete Erdmaterial sicher begünstigt werden.

Die beiden Messperioden zeigten beträchtliche Unterschiede in der Verteilung von Niederschlag und Strahlung. Während 1979 ein ausgeglichenes Jahr war, traten 1980 viel grössere Extreme auf, insbesondere beim Niederschlag. Trotz der Witterungsunterschiede der beiden Jahre sind die Standardabweichungen der Lysimeterwerte vergleichbar.

Tab. 3. Standardabweichungen für Tageswerte der Sickerrate, der Gewichtsänderung und der Evapotranspiration für die Fälle hoher bzw. niedriger Sickerrate (Messperioden 1979/1980)

Klasse d. Sickerrate		1979		1980	
		$\leq 3,5$ mm/d	$> 3,5$ mm/d	$\leq 3,5$ mm/d	$> 3,5$ mm/d
Sickerrate	mm/d	0.17	0.59	0.17	0.66
Gewichtsänderung	mm/d	0.55	1.12	0.53	0.78
Evapotranspiration	mm/d	0.52	0.75	0.50	0.64
Anzahl Tage		198	34	118	38

Adresse des Autors:

Dr. Herbert Blum
Institut für Pflanzenbau
ETH-Zentrum
CH-8092 Zürich