

Infiltrationsmessungen zur Erstellung einer relativen Rangfolge schleswig-holsteinischer Böden im Hinblick auf ihre Versickerungseigenschaften im Rahmen hydrologischer Untersuchungen*

VON ERNST PREUSS, Kiel

1. Einleitung

Die Infiltration ist eine derjenigen pedohydrologischen Prozesse, deren Ermittlung von großer Bedeutung ist, u. a. bei Untersuchungen über die Grundwasserneubildung, bei Planungen von Bewässerungsvorhaben — Dimensionierung von Kanälen und Stauseen in Bezug auf Wasserverluste sowie der Ermittlung des Pflanzenwasserbedarfes —, ferner auch im Hinblick auf die zu treffenden Maßnahmen bei der Erosionsbekämpfung.

Stärkeren Eingang in die Hydrologie fand die Infiltrationsmessung, nachdem HORTON 1933 (zit. PARR & BERTRAND, 1960) die Bedeutung der Infiltration im Wasserkreislauf herausgestellt hatte. In dem Arbeitsprogramm der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) wird empfohlen, bei der Einrichtung von Einzugsgebieten Infiltrationsmessungen mit in das Untersuchungsprogramm aufzunehmen (TOEBES & OURYVAEA, 1970).

Im Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Universität Kiel läuft zur Zeit eine Untersuchung mit dem Ziel der Ermittlung des für eine eventuelle Nutzung infrage kommenden Grundwasserdargebotes in schleswig-holsteinischen Naturräumen. Zu diesem Zweck wurden in ausgewählten Niederschlagsgebieten Infiltrationsmessungen durchgeführt. In diesem Beitrag werden die Untersuchungsmethode und die Ergebnisse der umfangreichen Messungen mitgeteilt.

2. Definition

Die Infiltration wird als Wassereintritt in den Boden definiert (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1956). Die Stärke des Wassereintritts wird durch die Infiltrationsrate gekennzeichnet und zwar als diejenige Wassermenge in Millimeter Wassersäule, die während einer bestimmten Zeitdauer auf einer gegebenen Fläche in den Boden eindringt. Weiterhin wird zwischen der Infiltrationskapazität,

*) Die Untersuchungen werden vom Ministerium Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten des Landes Schleswig-Holstein im Rahmen eines Forschungsprogramms über den Wasserhaushalt schleswig-holsteinischer Naturräume finanziell unterstützt.

der Wassermenge, die unter gegebenen Bedingungen in den Boden einsickern kann, und der minimalen oder ultimativen Infiltrationsrate — der Wassermenge, die während der Zeiteinheit in den Boden eindringt, nachdem dieser zuvor auf Feldkapazität aufgefüllt wurde —, unterschieden. PHILIP (1957) hat sich ausführlich mit der Theorie der Infiltration beschäftigt.

3. Ermittlung der Infiltrationsraten

Zur Beantwortung der verschiedenen Fragestellungen wurde eine Vielzahl von Meß- und Ermittlungsmethoden entwickelt. Die Meßmethoden lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen, in die Überstauinfiltrimeter und die Regensimulationsinfiltrimeter. Im Rahmen der erwähnten Untersuchung wurde mit einem vom Verfasser selbst gefertigten Überstauinfiltrimeter gearbeitet, obwohl dieser hauptsächlich in der Bewässerungswirtschaft und weniger in der Gebietshydrologie eingesetzt wird. Der Grund für unsere Wahl lag darin, daß sie leicht zu transportieren, billig in der Anschaffung und einfach in der Handhabung sind. Als Überstauinfiltrimetertyp wurde das Doppelringinfiltrimeter eingesetzt. Dieser Typ besteht aus zwei Ringen, meistens aus Metall, einem kleineren Innenring von etwa 30 cm und einem größeren Außenring von etwa 60 bis 80 cm Durchmesser (siehe Abbildung 1). Die Ringe dienen einmal zur Begrenzung der Untersuchungsfläche und zum andern dazu, eine Bodensäule, die mit Wasser gesättigt wird, abzugrenzen. Um die Infiltrationsraten zu ermitteln, wird der kleinere Innenring einige Zentimeter (5 bis 10) tief in den Boden gedrückt, der Außenring wird danach konzentrisch zum ersten etwa gleich tief in den Boden getrieben. Beide Ringe werden bis zum Rand mit Wasser gefüllt. Die Aufgabe des Außenringes besteht darin, die laterale Wasserbewegung aus dem Innenring zu verhindern. Der absinkende Wasserspiegel wird von der Oberkante des Innenringes an gemessen. Die Wasserstandsänderungen werden in Millimeter gegen die Zeitintervalle, in denen die entsprechende Wasserstandsänderungen stattfanden, tabelliert (siehe Tabelle 1). Hieraus errechnen sich die Wasserstandsänderungen pro Zeiteinheit, was der Infiltrationsrate, ausgedrückt in mm Wasserhöhe pro Stunde, entspricht. Die so ermittelten Infiltrationsraten werden in einem Ordinatensystem gegen die Zeit aufgetragen. Das führt zu einer allmählich abflachenden Kurve, die schließlich fast parallel zur Zeitachse verläuft. Dieser letztgenannte Kurvenabschnitt spiegelt die minimale Infiltrationsrate des untersuchten Bodens wider (siehe Abbildung 2). Die Kontrolle der Überstauhöhe kann mittels eines Metallhakens, der bei Abfall des Wasserspiegels durch die Wasseroberfläche stößt, oder durch eine im Innenring angebrachte Skala, erfolgen. Eleganter ist die Benutzung einer Bürette zur Einstellung der Überstauhöhe, die in Abständen kontrolliert und abgelesen wird.

Die zu untersuchende Bodenoberfläche sollte nicht abgeschnitten, sondern abgebröckelt werden, damit keine Poren verschmieren. Um die Versickerungsoberfläche nicht zu verschlammern, kann eine etwa ein Zentimeter dicke Sandschicht oder eine perforierte Scheibe daraufgelegt werden, hierdurch wird gleichzeitig ein Ausspülen von Bodenteilchen verhindert.

Da zu erwarten ist, daß die einzelnen Bodenhorizonte verschiedene charakteristische Infiltrationsraten besitzen, sollte jeder Horizont bei der Messung erfaßt werden.

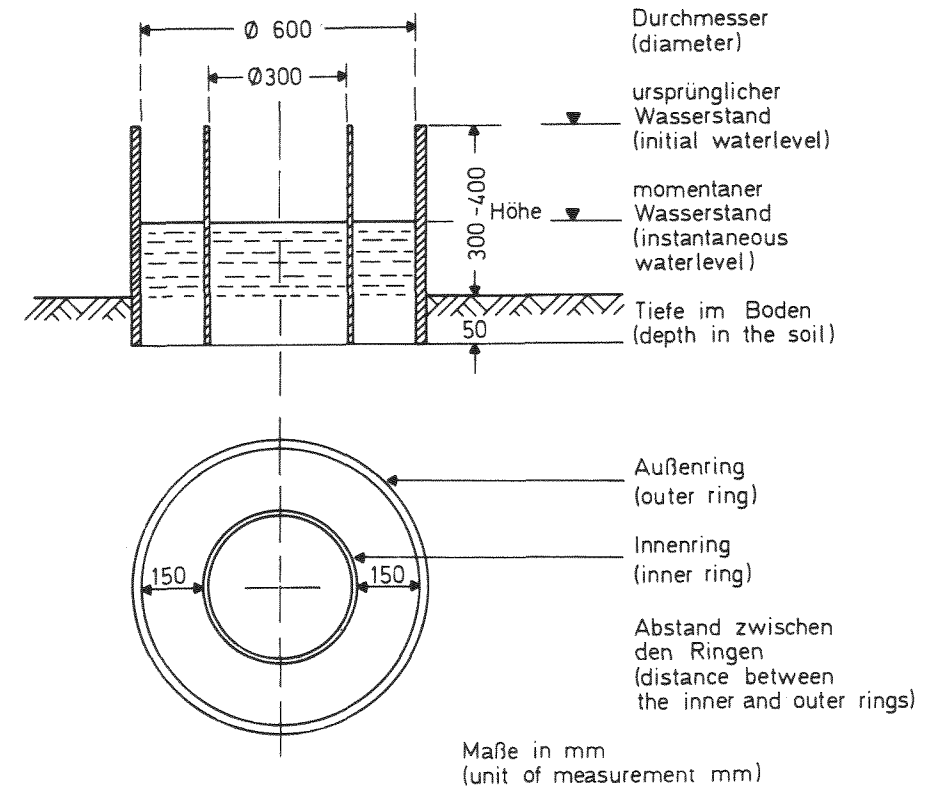


Abb. 1 - Doppelring - Infiltrimeter
(doublerring infiltrometer)

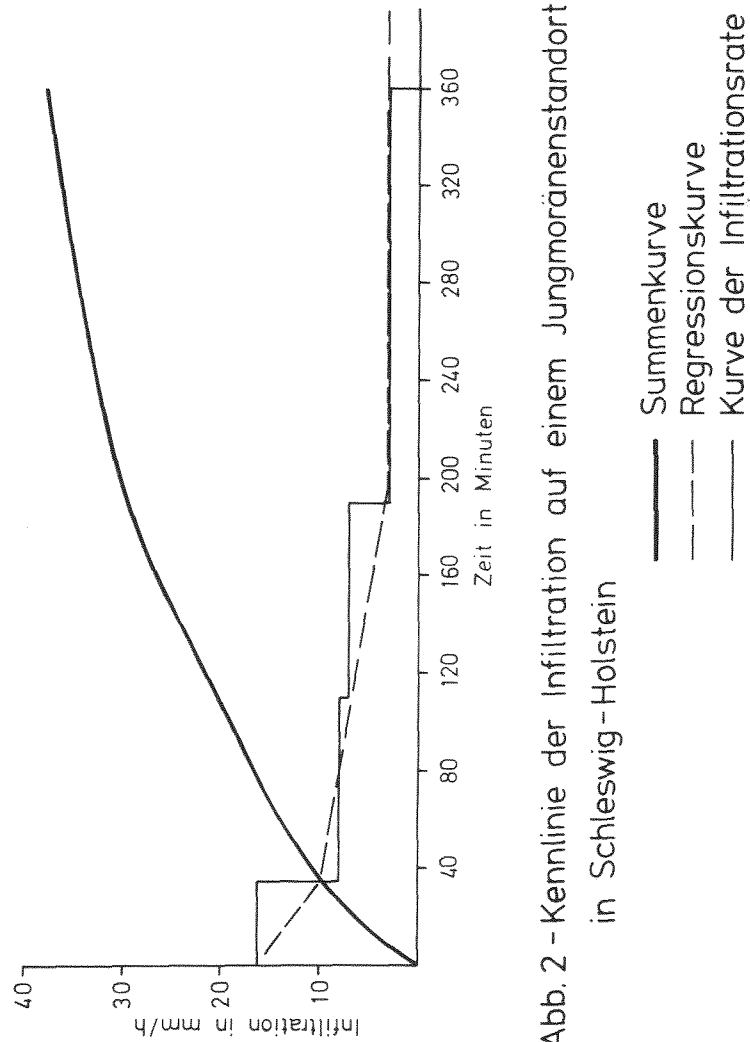


Abb. 2 - Kennlinie der Infiltration auf einem Jungmoränenstandort in Schleswig-Holstein

4. Kritik der Meßmethode

Die Eignung der Doppelringinfiltrationsmethode wurde von MUSGRAVE (1955), BURGY und LUTHIN (1957), SWARTZENDRUBER und OLSON (1961) und SCHAFFER und COLLINS (1961) ausführlich diskutiert. Danach ist der Hauptfehler die laterale Wasserbewegung unterhalb des Innenringes. So sind auch fast alle Werte, die mit diesem Infiltrationstyp ermittelt werden, höher als die der Regensimulationsinfiltrationsmethode. Eine weitere Fehlerquelle ist, daß bei dieser Meßanordnung die Wasserzufuhr ausschließlich von oben erfolgt, was häufig zum Einschluß von Luftblasen und somit zu einer Abnahme der Infiltrationsraten führen kann. Außerdem muß wohl davon ausgegangen werden, daß der Boden nicht völlig mit Wasser gesättigt ist, auch wenn die Versickerungsraten über einen längeren Zeitraum konstant sind.

Aus diesen Gründen kann keine exakte Messung der minimalen Infiltrationsraten erwartet werden, sondern es kann nur eine relative Rangfolge der Infiltrationsfähigkeiten der Böden innerhalb eines Gebietes erstellt werden.

5. Infiltrationsbeeinflussende Faktoren

Im Gegensatz zur Permeabilität eines Bodens, die ausschließlich von der Lagerungsart der festen Bodenteilchen bzw. dem Anteil und der Form der Hohlräume und der hydraulischen Leitfähigkeit abhängt, wird die Infiltration von Faktoren, wie Textur, Struktur, Bodenfeuchte, Vegetation, Temperatur und weiteren, zahlenmäßig schwer zu erfassenden Größen, beeinflusst. Die Wirkung der organischen Substanz auf die Infiltration hängt nicht so sehr von dem Gehalt, sondern viel mehr von der Art und Form ab. Große Unterschiede werden durch die Bodennutzung und die Vegetation verursacht; dafür ist in erster Linie die unterschiedliche Durchwurzelung verantwortlich.

6. Ergebnisse

Ziel der durchgeführten Messungen war die Bestimmung der minimalen Infiltrationsraten in einzelnen ausgewählten Niederschlagsgebieten innerhalb schleswig-holsteinischer Naturräume. Die minimale Infiltrationsrate ist für jeden Boden eine charakteristische Größe, die sich unter natürlichen Lagerungsbedingungen des Bodens ermitteln läßt.

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 2 und 3 zusammengestellt. In Tabelle 2 sind sie entsprechend den Naturräumen geordnet, wobei die Marschen nicht untersucht wurden. Ganz deutlich unterscheiden sich die verbleibenden Naturräume in ihrem Infiltrationsverhalten voneinander. So schwanken die Werte der Böden des Östlichen Hügellandes, die überwiegend aus Geschiebemergel entstanden sind, zwischen 2,50 und 6,20 mm/h. Innerhalb eines relativ weiten Bereiches streuen die Infiltrationsraten in Angeln, einem Gebiet mit stark wechselnden Bodenverhältnissen. Auffällig sind besonders die großen Differenzen zwischen den Werten des Acker- und Grünlandes (Dauergrünland). Die niedrigsten Infiltrationsraten — 2,50 mm/h ist der häufigste Wert — treten auf dem Ackerland etwa in 30 cm Tiefe auf, zurückzuführen auf Verdichtungen durch Bearbeitung, und auf den tonigen Unterboden mit unterschiedlichen biologischen Aktivitäten.

Weniger stark variieren die minimalen Infiltrationsraten der Parabraun- und Braunerden in den Naturräumen der oberen Eider und dem Seengebiet der oberen Trave. Die häufigsten minimalen Versickerungsraten liegen auf Ackerstandorten bei 3,80 mm/h, etwa in 30 bis 40 cm Tiefe und auf natürlichen Grünlandereien bei 5,80 mm/h. Die Unterschiede zu den Werten des Naturraumes Angeln werden vermutlich durch unterschiedliches Ausgangsgestein und unterschiedliche Pedogenese bedingt sein. Teilweise entstanden in diesem Gebiet die Böden aus Geschiebesanden und Geschiebelehm. Böden, die aus Beckentonablagerungen entstanden sind, werden durch sehr geringe — 2,5 mm/h — Infiltrationsraten charakterisiert.

Die minimalen Infiltrationsraten des Stormarner Endmoränengebietes liegen beim Ackerland bei 3,00 mm/h und beim Grünland bzw. Wald bei 6,20 mm/h. Abweichend von den obengenannten Gebieten treten die geringsten Versickerungsraten des Ackerlandes hier unterhalb von 40 cm Tiefe auf, wo die Böden häufig Merkmale der Pseudovergleyung aufweisen. Die recht hohen Raten der Grünland- und Waldstandorte — hier wurde schwerpunktmäßig der Einfluß des Waldes auf die Infiltrationseigenschaften untersucht — sind in erster Linie auf die gute Durchwurzelung der Böden unter Waldvegetation zurückzuführen.

Die Böden der Geest zeichnen sich durch hohe bis sehr hohe Infiltrationsraten — 11,20 bis 15,20 mm/h — aus. Die minimalen Versickerungsraten für den Raum der Lecker Geest schwanken zwischen 12,50 mm/h bei Podsolen und Parabraunerden unter Ackernutzung und 15,20 mm/h unter Grünlandnutzung. Eine stark verminderte Infiltrationsfähigkeit durch Einwaschungs- und Verdichtungshorizonte konnte nur einmal nachgewiesen werden. In den übrigen Fällen waren die Böden melioriert worden und somit in ihrer natürlichen Lagerung gestört. Die Unterschiede in den minimalen Infiltrationsraten, bedingt durch die Bodennutzung sind relativ groß. Etwas weniger durchlässig sind die Böden der Schleswiger-Geest. Hier wird die feinere Textur des Ausgangsgesteins wirksam. Die Werte liegen zwischen 11,20 und 11,40 mm/h. Der Einfluß der Bodennutzung ist hier sehr gering, wie überhaupt der Nutzungseinfluß auf den leichten Standorten relativ geringer ist als auf den schweren Böden des Östlichen Hügellandes.

Die Niederungen, bestehend aus Anmooren, Niedermooren, Übergangsformen und Hochmooren wurden auch auf ihre Versickerungseigenschaften untersucht. Diese Böden weisen eine sehr große Varianz innerhalb der Infiltrationsergebnisse auf, was auf die unterschiedliche Zusammensetzung, die unterschiedlichen biogenen Aktivitäten sowie auf den unterschiedlichen Zersetzungsgrad zurückgeführt wird. So schwanken die Meßergebnisse zwischen 0,00 und 24,00 mm/h. Die häufigsten Werte liegen bei 0,75 mm/h auf beackerten Standorten und bei 1,50 mm/h auf Grünlandstandorten.

In Tabelle 3 sind sämtliche Meßergebnisse in den untersuchten Naturräumen entsprechend den Hauptbodenarten nach der Reichsbodenschätzung geordnet. Die minimalen Infiltrationsraten nehmen von Sand — 10 bis 15 mm/h — über Lehm — 7 bis 12 mm/h — zu Ton — 2 bis 4 mm/h — hin ab. Diese Werte liegen im Vergleich zu Angaben in der Literatur (MUSGRAVE & HOLTAN, 1964; N. N. & DOMISSE, 1961) teilweise höher, was durch die Meßmethode erklärt werden kann.

7. Zusammenfassung

Die Infiltration ist ein wichtiger Prozeß im hydrologischen Kreislauf, der häufig in der Gebietshydrologie vernachlässigt wird. In diesem Beitrag wird eine in der Bewässerungswirtschaft sehr weit verbreitete Methode beschrieben. Im Rahmen hydrologischer Untersuchungen wurden mit Hilfe des Doppelringinfiltrimeters umfangreiche Messungen in ausgewählten Niederschlagsgebieten in Schleswig-Holstein durchgeführt. Die Meßergebnisse dienen der Erstellung einer relativen Rangfolge der Böden im Hinblick auf ihre Infiltrationseigenschaften innerhalb des Landes.

Schriften

- BURGY, J. H. & LUTHIN, J. N., 1957: Diskussion of a test of the single-doubling types of infiltrimeters. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 38, 260—261, 1957.
- MUSGRAVE, G. W., 1955: How much of the rain enters the soil? *Water, Yearbook of agriculture* 1955, 151—159.
- MUSGRAVE, G. W. & HOLTAN, H. N., 1964: Infiltration, Section 12: 1—30; In: *Handbook of Applied Hydrology*, von CHOW (ed.), New York 1964.
- N. N. & DOMISSE, J., 1961: Better results with irrigation. *Supplement to South African Farmer's Weekly*, Nov. 8, 1961, 14—15.
- PARR, J. F. & BERTRAND, A. R., 1960: Water infiltration into soil. *Adv. Agron.* 12, 311—363, 1960.
- PHILIP, J. R., 1957: The theory of infiltration. *Soil Sci.* 83, 345—357, 435—448, 84, 163—178, 257—264, 329—339.
- SCHAFFER, G. & COLLINS, H.-J., 1966: Eine Methode zur Messung der Infiltrationsrate im Felde. *Z. f. Kulturtechnik u. Flurber.* 7, 193—199.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1956: Report of definitions approved by the Committee on Terminology. *Soils Sci. Soc. Amer. Proc.* 20, 430—440, 1956.
- SWARTZENDRUBER, D. & OLSON, T. C., 1961: Sand — model study of buffer effects in double — ring infiltrimeter. *Soil Sci. Amer. Proc.* 25, 5—8, 1961.
- TOEBES, C. & OURYVAEA, V., 1970: Representative and experimental basins. An international guide for research and practice. A contribution to the International Hydrological Decade. *Unesco* 1970.

Tab. 1 — Beispiel einer Tabellierungsmöglichkeit

Datum: 7. 2. 74
 Standort: Hohenhorst bei Kiel im Niederschlagsgebiet der Honigau
 Profil: A_h 25 cm sL; B(Fe_{ox}) 25 cm sL; C 250 cm lS

Uhrzeit	Zeitintervall min	Wasserstand mm	Δ Wasserstand mm	Δ Wasserstand mm/min	Δ Wasserstand mm/h	akkumulierter Δ Wasserstand	akkumulierter Zeit in min
11.19	37	10,0	10,0	0,27	16,2	10,0	37
11.56	72	20,0	10,0	0,14	8,3	20,0	109
13.08	82	30,0	10,0	0,12	7,3	30,0	191
14.30	35	2,0	2,0	0,06	3,4	32,0	226
15.05	60	5,0	33,0	0,05	3,0	35,0	286
16.05	55	8,0	3,0	0,05	3,0	38,0	340
17.00							

Tab. 2 — Minimale Infiltrationsraten in Millimeter pro Stunde in schleswig-holsteinischen Naturräumen

Naturraum	Hauptbodentyp	Bodennutzung		Infiltration
		Ackerland	Grünland	
Östliches Hügelland				
Angeln	Parabraunerden	2,50	6,20	gering bis mäßig
Moränengebiet der oberen Eider	Parabraunerden	3,80	5,80	
Seengebiet der oberen Trave	Braunerden			
Stormarner	Parabraunerden			
Endmoränengebiet	Braunerden Feuchtpodsole	3,00	6,20	
Geest				
Lecker Geest	Feuchtpodsole	12,50	15,20	sehr hoch bis hoch
Schleswiger Geest	Feucht-, Trockenpodsole	11,20	11,40	
Niederungen	Anmoore Niedermoore Hochmoore	0,75	1,50	gering

Tab. 3 — Minimale Infiltrationsraten verschiedener Bodenarten aus schleswig-holsteinischen Naturräumen in Millimeter pro Stunde

Bodenart	Infiltration	Infiltrationsraten (mm/h)
Sand	sehr hoch	10 — 15
lehmiger Sand	hoch	4 — 8
Lehm	hoch	7 — 12
Ton	gering	2 — 4