

09.04 DOPPELRING-INFILTROMETER

GEBRAUCHSANWEISUNG



Inhalt

Über diese Gebrauchsanweisung	2
Einleitung	2
1. Bodenwasser	2
1.1 Energiezustand	2
1.2 Infiltration	3
2. Beschreibung	4
3. Benutzung	5
3.1 Installation	5
3.2 Messung	6
3.3 Verarbeitung der Meßdaten	7
4. Anwendungen	7
5. Probleme und Lösungen	7
Literatur	8

All it takes for environmental research

P.O. Box 4, 6987 ZG Giesbeek,
the Netherlands

T +31 313 88 02 00
F +31 313 88 02 99

E info@eijkelkamp.com
I www.eijkelkamp.com



Über diese Gebrauchsanweisung



Wenn ein Text nach diesem Zeichen folgt, (wie links abgebildet) bedeutet dies, dass ein wichtiger Hinweis folgt.



Wenn ein Text nach diesem Zeichen folgt, (wie links abgebildet) bedeutet dies, dass eine wichtige Warnung folgt, die auf eine Gefahr vor Verletzungen des Benutzers oder vor Beschädigung des Geräts hinweist. Zusatz: Der Anwender ist jederzeit für eine vollständige persönliche Schutzausrüstung verantwortlich.

Text Text zwischen Anführungszeichen "..." (Kursiv) bedeutet dass der Text genauso auf dem Bildschirm/Gerät erscheint.

Einleitung

Der Doppelring-Infiltrometer ist ein einfaches Instrument zur Bestimmung der Wasserinfiltration in Böden (Messungen nach ASTM D3385-03 Standard-Testmethode und DIN 19682 Blatt 7). Die Ringe werden zu einem Teil in den Boden eingebracht und mit Wasser gefüllt, wonach die Rate gemessen wird, mit der das Wasser in den Boden infiltriert. Durch den Doppelring wird ein seitliches Versickern des infiltrierenden Wassers eingeschränkt.

Das Standardset besteht aus drei Paar Innen- und Außenringe, wodurch gleichzeitig drei Messungen im Felde durchgeführt werden können, was Zeit spart und einen zuverlässigen Durchschnittswert ergibt.

Infiltration ist die Erscheinung, daß Wasser an der Bodenoberfläche in den Boden einsickert. Die Intensität, mit der das stattfindet, heißt **Infiltrationsrate**. Diese wird ausgedrückt als Wasservolumen pro Bodenoberfläche und pro Zeiteinheit [L/T, zum Beispiel mm/min]. Die **Infiltrationskapazität** des Bodens ist die maximale Infiltrationsrate in einem bestimmten Moment. In einigen Fällen ist es wichtig, die Infiltrationskapazität eines Bodens zu kennen, zum Beispiel in Bewässerungsgebieten oder für Infiltrationsbecken.

Der Doppelring-Infiltrometer ist für nahezu alle Böden geeignet und wird bei Bewässerungs- und Drainageprojekten, in Grundwasser-Infiltrationsbecken, bei der Optimierung der Wasserverfügbarkeit für Pflanzen und bei Untersuchungen der Auswirkung von Bodenbearbeitungen eingesetzt.

1. Bodenwasser

1.1 Energiezustand

Wasser im Boden ist Kräften ausgesetzt, die durch Schwerkraft, Kapillarwirkung, Adsorption und Osmose verursacht werden. Die Kapillar- und Adsorptionskräfte wirken zusammen als eine Saugspannung auf das Bodenwasser (die osmotischen Kräfte sind so gering, besonders in salzarmen Böden, daß sie meist vernachlässigt werden können).

Bodenwasser hat einen bestimmten Energiezustand, ausgedrückt als potentielle Energie oder **Potential**. Das Bodenwasserpotential besteht aus einem Schwerkraft- und einem Druckpotential (bestehend aus einem negativen Druck oder „Saugspannung“ in der ungesättigten Zone und einem positiven Druck in der gesättigten Zone). Wasser bewegt sich unter Einfluß einer Potentialdifferenz mit einer bestimmten Geschwindigkeit in eine bestimmte Richtung. Die Strömungsgeschwindigkeit hängt auch von der **Wasserdurchlässigkeit** des Bodens ab.

Der Wasserdurchlässigkeitskoeffizient [L/T] schwankt mit dem Bodenfeuchtigkeitsgehalt: je trockener der Boden, um so geringer ist die Durchlässigkeit, weil mit Luft gefüllte Bodenporen kein Wasser leiten. In einem gesättigten Boden ist die Durchlässigkeit am größten (**gesättigte Durchlässigkeit**) und wird vor allem durch die Geometrie und die Verteilung der Poren bestimmt.

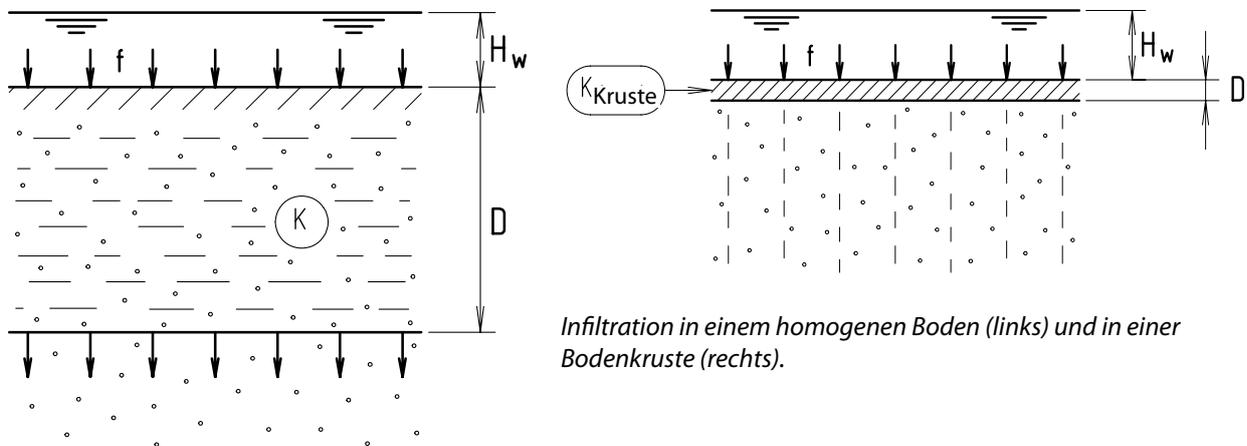
1.2 Infiltration

Bei Regen oder Bewässerung infiltriert Wasser in den Boden. Wenn die Befeuchtung intensiver ist als die Infiltrationskapazität, bleibt Wasser auf der Bodenoberfläche stehen. Die Infiltrationsrate ist dann gleich der Infiltrationskapazität. In einem homogenen Boden entsteht dann eine gesättigte Oberschicht, mit darunter einer annähernd gesättigten Zone, die durch das Fallen der Feuchtigkeitsfront ständig größer wird.

Der Infiltrationsprozeß kann nach der Theorie von Green & Ampt (1911), abgeleitet vom Darcyschen Gesetz, mit folgender Formel beschrieben werden:

$$f = K (H_w + D - H_f) / D$$

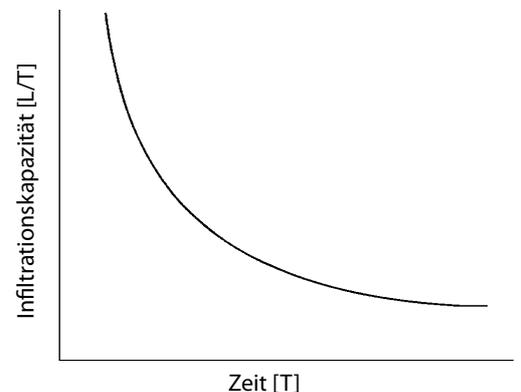
wobei (siehe auch nachstehende Abbildung): f die Infiltrationskapazität [L/T], K der annähernd gesättigte Durchlässigkeitskoeffizient [L/T], H_w die Höhe der Wasserschicht auf dem Boden [L], D die Tiefe der Befeuchtungsfront [L] und H_f das Druckpotential an der Befeuchtungsfront [L] ist.



Infiltration in einem homogenen Boden (links) und in einer Bodenkruste (rechts).

Der zeitliche Verlauf der Infiltrationsrate ist der **Infiltrationsverlauf** (siehe Abbildung).

Die Anfangs-Infiltrationskapazität ist bei einem trocknen Boden durch die hohe Saugspannung an der Oberfläche hoch. Im annähernd gesättigten Zone sind die Potentialdifferenzen gering, weil durch den hohen Feuchtigkeitsgehalt kaum noch Saugspannungsunterschiede auftreten. Die Infiltrationskapazität nimmt dadurch ziemlich schnell ab, meist schon innerhalb von 2 Stunden bis zu einem konstanten Wert, der an die gesättigte Durchlässigkeit herankommt (durch Luftblaseneinschlüsse während der Infiltration wird die maximale Sättigung nicht völlig erreicht).



Die Infiltrationskapazität beeinflussende Faktoren an der Bodenfläche sind Bodenverdichtung durch Fahrzeugspuren oder Begehungen, Einschwemmen feiner Bodenteilchen in Poren und Risse im Boden (Makroporen). Eventuell können diese Faktoren zur Verkrustung führen. Auch Vegetation und Bodenbearbeitung haben eine Auswirkung. Die Höhe der Wasserschicht auf dem Boden hat nur bei Beginn der Infiltration einen Einfluß.

Die Abwärtsgeschwindigkeit des infiltrierenden Wassers hängt von der Textur ab, der Struktur und Schichtung (Heterogenität) des Bodens, dem Bodenfeuchtigkeitsgehalt und der Höhe des Grundwasserspiegels. Bei einem hohen Grundwasserspiegel stockt das infiltrierende Wasser und die Infiltrationskapazität nimmt in Richtung Null ab.

Ein heterogener Boden wird häufig als eine Aueinanderfolge separater, homogener Bodenschichten betrachtet. Bei einem heterogenen Boden, der nach unten immer undurchlässiger wird, ist die Infiltrationskapazität der gewichtete Durchschnitt

der Infiltrationsraten der Einzelschichten. Bei einem heterogenen Boden, der nach unten immer durchlässiger wird, zum Beispiel ein Boden mit einer Kruste, gibt es einen Punkt, von dem aus der Boden nicht völlig gesättigt wird (siehe Abbildung auf dieser Seite). Wenn dieser Punkt sich nahe der Oberfläche befindet, beeinflusst er die Infiltrationskapazität.

Die Tabelle enthält Beispiele konstanter Infiltrationsraten (oder annähernd gesättigter Durchlässigkeiten) für verschiedene Bodenarten.

Bodenart	Konstante Infiltrationsrate (mm/Std.)
Sand	> 30
Sandiger Lehm	20 - 30
Lehm	10 - 20
Tonartiger Lehm	5 - 10
Ton	1 - 5

Mehr Informationen über Bodenwasser, Infiltration und den Ring-Infiltrometer sind in der Literatur zu finden (zum Beispiel Bouwer 1986, ILRI 1974, Ward & Robinson 1990).

2. Beschreibung

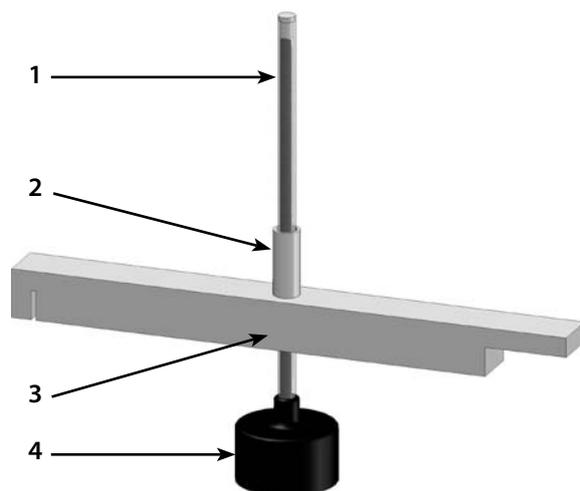
Das Standardset des Doppelring-Infiltrometers (siehe Foto auf der Titelseite) besteht unter anderem aus drei Paar Innen- und Außenringe, einer Schlagplatte, einem rückschlagfreien Schlaghammer, Meßbrücken und Meßstäben mit Schwimmern.

Die drei Paar Edelstahl-Infiltrationsringe haben Durchmesser von 28/53 cm, 30/55 cm und 32/57 cm. Die Ringe haben eine Höhe von 25 cm und besitzen eine Schneidkante (nach DIN 19682-7). Die Funktion des Außenrings ist, daß das infiltrierende Wasser eine Pufferzone bildet gegen seitliches Versickern des infiltrierenden Wassers aus dem Innenring (gilt besonders bei heterogenen Böden).

Mit den Stahl-Ziehheken können die Ringe leicht wieder aus dem Boden gezogen werden. Durch die unterschiedlichen Durchmesser können die Ringe kompakt weggeräumt werden und sind einfach zu transportieren.

Zu jedem Innenring gehört eine Meßbrücke aus Kunststoff (3) mit einem Röhrchen (2), in dem ein Meßstab (1) mit Schwimmer (4) sich auf und nieder bewegen kann (siehe Abbildung). Damit wird der Wasserstand gemessen. Die Meßbrücken sind so konstruiert, daß der Schwimmer sich in der Mitte des Innenrings befindet. Weil der Meßstab in einem Röhrchen geführt wird, ist er weniger empfindlich gegen Wind. Die Meßstäbe haben eine Maßeinteilung in Millimetern.

Die Schlagplatte aus verzinktem Stahl ist kreuzförmig ausgeführt und hat in der Mitte einen Schlagkopf. Die Schlagplatte eignet sich zum Einschlagen von Infiltrationsring in den Boden mit einem Durchmesser von 280 bis 570 mm. Durch die Stifte an der Unterseite sitzt die Schlagplatte immer genau auf den Ring und der Außenring wird zentrisch um den Innenring angeordnet. Durch die Form der Schlagplatte wird die Schlagkraft gleichmäßig über den Infiltrationsring verteilt und beschädigt dessen Rand nicht. Auf diese Weise treten bei der Installation möglichst wenig Bodenzerstörungen auf.



Der Schlaghammer ist rückschlagfrei, weil er mit Bleikugeln gefüllt ist, die sich nach Auftreffen auf einen Gegenstand in Schlagrichtung bewegen. Die schlagfesten Nylonköpfe verhindern eine Beschädigung des Schlagkopfes der Schlagplatte.

3. Benutzung

3.1 Installation

1. Setzen Sie den Innenring mit der Schneidkante auf den Boden. Entfernen Sie vorsichtig eventuell darunter befindliche Zweige oder Steine. Bei einer Messung unter der Bodenoberfläche muß die betreffende Bodenschicht in einer Profilmulde freigemacht werden.
2. Setzen Sie die Schlagplatte oben auf den Innenring. Je nach Durchmesser paßt der Ring vor, zwischen oder hinter den Stiften an der Unterseite der Schlagplatte.
3. Schlagen Sie den Infiltrationsring mit dem rückschlagfreien Hammer gleichmäßig ungefähr 5 cm senkrecht in den Boden. Sorgen Sie dafür, daß möglichst wenig Bodenzerstörungen auftreten. Bei schwereren Böden kann sich eventuell eine Person auf die Schlagplatte stellen, während die andere hämmert. Nehmen Sie die Schlagplatte von dem in den Boden geschlagenen Infiltrationsring ab.



Die Einschlagtiefe des Rings ist zur Vermeidung von Bodenzerstörungen so gering wie möglich zu halten. Installieren Sie die Ringe auf jeden Fall bis unter eine eventuell abweichende Oberschicht des Bodens wie eine durchmischte Oberschicht, eine Bodenkruste oder eine Bodenschicht mit Makroporen.



Falls bei der Installation zwischen dem Boden und dem Ring irgendein Raum entstanden ist, schieben Sie den Boden dann wieder an seinen Platz. Eine eventuell zerstörte Bodenkruste kann mit Bentonit oder anderem Bodenmaterial wiederhergestellt werden.

4. Setzen Sie den dazugehörigen Außenring mit der Schneidkante über den Innenring auf den Boden und legen Sie darauf die Schlagplatte.
5. Hämmern Sie den Außenring auf die gleiche Weise wie bei Schritt 3 in den Boden (siehe Abbildung). Durch die Form der Schlagplatte wird der Außenring genauso tief in den Boden geschlagen wie der Innenring.
6. Mit dem Standardset des Doppelring-Infiltrometers können gleichzeitig drei Messungen durchgeführt werden. Installieren Sie alle Ringe wie in den Schritten 1 bis 5. Setzen Sie den Doppelring-Infiltrometer 2 bis 10 m auseinander, je nach den Geländebedingungen.



Bringen Sie zum Vergleich der Ergebnisse alle Ringe gleich tief in den Boden ein. Soweit bekannt, entstehen durch die verschiedenen Ringdurchmesser keine unterschiedlichen Ergebnisse.

7. Setzen Sie die Meßbrücke einschließlich Meßstab und Schwimmer auf den Innenring. Wenn sich in den Ringe Vegetation befindet, welche die Messung beeinflussen kann, zum Beispiel weil der Schwimmer sich nicht frei bewegen kann, entfernen Sie diese dann ohne die Bodenstruktur zu zerstören.
8. Füllen Sie zuerst den Außenring und sofort danach den Innenring mit Wasser bis zu einer Höhe von etwa 5 bis 10 cm und starten Sie zur Bestimmung des Infiltrationsverlaufes direkt die Messung (siehe Abschnitt 3.2).



Im Zusammenhang mit einer möglichst senkrechten Infiltration muß die Wasserhöhe in den Infiltrationsringe im Prinzip so klein wie möglich sein. Die Ringe dürfen jedoch nicht trocken werden. Eine praktische Wasserhöhe ist deshalb 5 bis 10 cm.



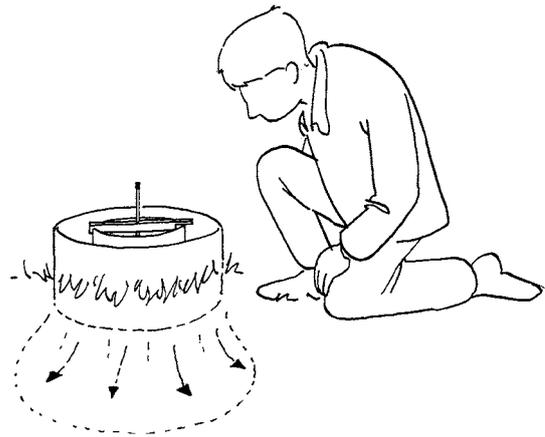
Um beim Eingießen des Wassers die Bodenfläche zu schützen, ist es notwendig, eine Schutzabdeckung zu verwenden wie eine Plastikfolie, ein Stück Jute, einen Schwamm oder eine Grobsand- oder Kies-schicht mit einer Dicke von 1-2 cm. Die Hand auf den Boden zu legen und darauf das Wasser gießen ist auch eine Möglichkeit.



Sorgen Sie dafür, daß Sie ausreichend Wasser bei der Hand haben. Für das Füllen von einem Ringpaar mit 10 cm Wasser werden ungefähr 25 Liter benötigt.

Anmerkungen:

- Wenn nur die Infiltrationskapazität von gesättigten Böden bestimmt wird, kann der Boden eventuell vorab ohne Messung gesättigt werden (indem Wasser in die Ringe gegossen wird).
- Verwenden Sie für ein optimales Ergebnis Wasser derselben Qualität und Temperatur, wie Wasser in der tatsächlichen Umgebung, für welche die Infiltrationskapazität bestimmt wird.



3.2 Messung

1. Notieren Sie beim Start der Messung die Zeit und den Beginnstand des Wassers im Innenring (Bezugspegel), wie dieser am Meßstab abzulesen ist. Benutzen Sie dafür die Spalten A und B in der Feldliste. Verwenden Sie bei gleichzeitigen Messungen mehrere Feldlisten.



Nehmen Sie immer Kopien der Feldliste, so daß diese öfter verwendet werden kann.

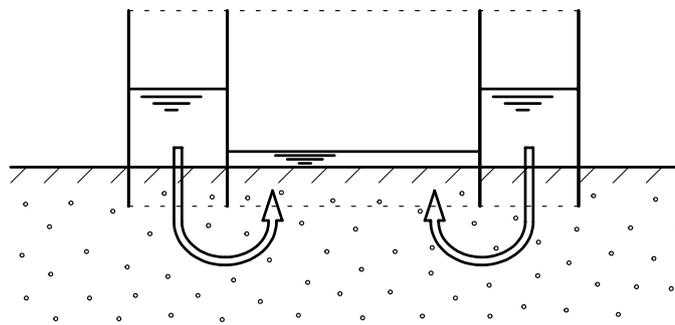
2. Ermitteln Sie anschließend in einem bestimmten Zeitintervall die Senkung des Wasserspiegels im Innenring. Notieren Sie jedesmal sowohl die Zeit als auch den Wasserstand in den Spalten A und B der Feldliste. Messen Sie am Anfang der Messung mit einem kurzen Zeitintervall (zum Beispiel 1-2 min) und am Ende der Messung mit einem längeren (zum Beispiel 20 bis 30 min, je nach Bodenart).



Sorgen Sie dafür, daß die Infiltrationsringe während der Messung nicht trocken werden. Fügen Sie extra Wasser hinzu, zum Beispiel jedesmal, wenn noch einige Zentimeter Wasser in den Ringe steht. Notieren Sie die neuen Wasserstände in Spalte B der Feldliste.



Halten Sie den Wasserstand im Innen- und Außenring konstant. Bei einem höheren Wasserstand im Außenring nimmt die Infiltrationsrate im Innenring nämlich ab. Bei einem niedrigeren Wasserstand im Außenring verringert sich die Pufferwirkung gegen seitliches Versickern.



Verminderte Infiltration durch unterschiedliche Wasserhöhen im Innen- und Außenring.

3. Beenden Sie die Messung, wenn die Infiltrationsrate einen nahezu konstanten Wert erreicht hat. Häufig wird eine Schwankung von < 10% innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes als konstant betrachtet. Das kann je nach Bodenart innerhalb von 1 bis 2 Stunden auftreten, in außergewöhnlichen Fällen aber erst nach einem Tag.
4. Ziehen Sie mit den Ziehhaken alle Infiltrationsringe aus dem Boden.
5. Säubern Sie nach dem Meßvorgang die Ringe mit Wasser, so daß kein Boden an den Ringe haftet und hart wird. Reparieren Sie Beschädigungen an der Schneidkante. Diese Wartung dient zur Verhinderung von extra Bodenzerstörungen bei einer nächsten Installation.

3.3 Verarbeitung der Meßdaten

1. Bestimmen Sie die kumulative Zeit und die Zeitabschnitte, indem Sie anhand der Spalte A die Spalten C und D der Feldliste ausfüllen. Bestimmen Sie die Infiltration, indem Sie anhand der Spalte B die Spalte E ausfüllen. Sie tun das, indem Sie jedesmal die Wasserstandsdifferenz zwischen zwei Zeitabschnitten bestimmen.
2. Berechnen Sie die Infiltrationskapazität [mm/min], indem Sie für jedes Intervall die Infiltration (Spalte E) durch den Zeitunterschied (Spalte D) teilen. Füllen Sie auf diese Weise Spalte F aus. Rechnen Sie in Spalte G die Infiltrationskapazität eventuell nach einer anderen Einheit um, zum Beispiel [m/Stunde].
3. Mit den Tabellendaten kann der Infiltrationsverlauf bestimmt werden. Stellen Sie dazu in einer Grafik die berechnete Infiltrationskapazität (Spalte F oder G) auf der Y-Achse gegenüber der kumulativen Zeit (Spalte C) dar.
4. Die annähernd gesättigte Durchlässigkeit ist gleich der mehr oder weniger konstanten Infiltrationskapazität am Ende der Messung. Machen Sie mehrere Messungen, um für eine gewisse Bodenart oder Landschaftseinheit einen zuverlässigen Durchschnittswert zu bekommen.
5. Bestimmen Sie gegebenenfalls die kumulative Infiltration über eine bestimmte Zeit. Die kumulative Infiltration ist die Gesamtwassermenge, die in einer bestimmten Zeit infiltriert [L, zum Beispiel mm]. Füllen Sie Spalte H der Feldliste aus, indem Sie ab dem Start der Messung für jeden Zeitabschnitt die bisherige Gesamtinfiltration nehmen (Spalte E).

4. Anwendungen

Der Doppelring-Infiltrometer eignet sich für nahezu alle Bodenarten, außer schlammempfindliche Böden, steinreiche Böden oder Böden an steilen Böschungen. Durch das Vorhandensein eines Außenrings infiltriert das Wasser vom Innenring aus mehr oder weniger vertikal. Es können unter anderem folgende bodenhydrologische Merkmale (pro Bodenschicht) bestimmt werden:

- Die Infiltrationskapazität.
- Die (annähernd) gesättigte Durchlässigkeit.
- Der Infiltrationsverlauf.
- Die kumulative Infiltration in einer bestimmten Zeit.

Der Doppelring-Infiltrometer wird unter anderem eingesetzt zur Bestimmung der Infiltrationskapazität von überschwemmten Böden bei:

- Oberflächenbewässerung und Drainageprojekten.
- Infiltrations- oder Wasserklärbecken.
- Sickerwasser aus Wasserläufen, Kanälen, Staubecken oder Abwasserlagunen.
- Auslaugung unter Müllhalden.
- Untersuchung der Auswirkung von Bodenbearbeitungen.
- Untersuchung von Abwassererscheinungen.
- Untersuchung schlecht durchlässiger Bodenschichten bei Sportplätzen.

5. Probleme und Lösungen

- Falls der Infiltrationsring beim Einschlagen mit der Schlagplatte schief im Boden steht, befindet sich wahrscheinlich ein Stein oder eine dicke Wurzel irgendwo unter der Kante. Wählen Sie eine andere Meßstelle.
- Falls die Infiltrationsrate nicht mehr oder weniger konstant ist, muß länger gemessen werden. Eine Schwankung von unter 10% pro Zeitabschnitt wird meist als konstant betrachtet.

- Es wird eine erhöhte Infiltration gemessen. Das kann verschiedene Ursachen haben:
 - Das Vorhandensein von Makroporen. Das kann auftreten bei schrumpfungempfindlichen Böden (Trockenrisse), durch Vegetation (Wurzelgänge), Bodenfauna (Wurmgänge) oder durch einen stark durchmischten Oberboden (Pflügen). Bringen Sie den Ring ausreichend tief in den Boden ein, um durch die durchmischte Oberschicht zu kommen. Führen Sie zum Erhalt eines zuverlässigen durchschnittlichen Infiltrationsverlaufs der Bodenart oder Landschaftseinheit mehrere Messungen durch.
 - Bodenzerstörung durch Installation des Rings. Wenn eine vorhandene Bodenkruste oder eine andere beschränkende Schicht zerstört ist, kann diese mit Bentonit oder anderem Ton repariert werden. Wenn zwischen Ring und Boden ungenügend Kontakt ist, kann der Raum mit Boden aufgefüllt werden.
 - Wenn der Wasserstand im Außenring niedriger ist als im Innenring, ist die Pufferwirkung gegen seitliches Versickern ungenügend. Halten Sie die Wasserstände in beiden Ringe gleich.
 - In einem stark geschichteten Boden wird trotz Benutzung eines Doppelrings mehr Wasser seitlich versickern. Bestimmen Sie gegebenenfalls den Infiltrationsverlauf der unten liegenden Bodenschichten separat in einer Profilmulde.
 - Durch einen zu hohen Wasserstand in den Infiltrationsringe wird mehr Wasser seitlich versickern. Halten Sie die Wasserhöhe auf maximal 5 bis 10 cm.
 - Bei einer längeren Messung wird im Laufe der Zeit immer mehr Wasser seitlich versickern.

- Es wird eine niedrigere Infiltration gemessen als erwartet. Das kann verschiedene Ursachen haben:
 - Das Vorhandensein einer Bodenkruste. Prüfen Sie das Vorhandensein einer Bodenkruste, indem Sie erst den Infiltrationsverlauf des ungestörten Bodens (einschließlich Bodenkruste) bestimmen und danach eine separate Messung eines Bodens durchführen, von dem die Bodenkruste entfernt ist. Große Infiltrationsunterschiede weisen auf das Vorhandensein einer Bodenkruste hin. Diese ist meist dünner als 1 cm (Bouwer, 1986).
 - Falls der Wasserstand im Außenring höher ist als im Innenring, kann Wasser vom Innenring aus schwer infiltrieren und sogar negativ werden. Sorgen Sie für gleiche Wasserstände in beiden Ringe.
 - Die Bodenstruktur ist durch unvorsichtiges Eingießen von Wasser in die Ringe zerstört. Verhindern Sie das, indem Sie eine Schutzabdeckung auf den Boden legen wie eine Plastikfolie, ein Stück Jute, einen Schwamm oder eine grobe Sand- oder Kiesschicht mit einer Dicke von 1-2 cm. Legen Sie eventuell Ihre Hand auf die Bodenfläche und gießen Sie Wasser darauf.
 - Wenn für die Messungen Wasser verwendet wird, das Sedimente oder andere aufgeschwemmte Stoffe enthält, können diese eine schlecht durchlässige Schicht bilden. Verwenden Sie Wasser derselben Qualität und Temperatur wie das Wasser in der tatsächlichen Umgebung, für welche die Infiltrationskapazität bestimmt wird.

Literatur

Bouwer, H., 1986. Intake rate: cylinder infiltrometer. *In: methods of soil analysis, part I. Physical and mineralogical methods. Agronomy Monograph no. 9 (2nd ed.). Am. Soc. Of Agronomy, Soil Sc. Soc. Of America.*

DIN 19682-7, 1997. Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau – Felduntersuchungen – Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelzylinder-Infiltrimeter.

Green, W.H. & G.A. Ampt, 1911. Studies in soil physics, part I. The flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci. 4.*

ILRI, 1974. Drainage principles and applications, vol. III: Surveys and investigations.

Ward, R.C. & M. Robinson, 1990. Principles of Hydrology. *McGraw-Hill Book Company, London.*

Ohne vorherige schriftliches Einverständnis der Firma Eijkelkamp Agrisearch Equipment dürfen aus dieser Ausgabe keine Vervielfältigungen mittels Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder irgend eine andere Art und Weise publiziert werden.

Technische Daten können ohne vorherige Mitteilung geändert werden.

Eijkelkamp Agrisearch Equipment kann nicht verantwortlich gemacht werden für etwaigen Schaden der durch unsachgemässen Verbrauch des Produktes entstanden ist.

Eijkelkamp Agrisearch Equipment ist an Ihren Reaktionen und Bemerkungen über ihre Produkten und Gebrauchsanweisungen interessiert.

