

Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau
Physikalische Laboruntersuchungen
Teil 9: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in
wassergesättigten Stechzylinderbodenproben

DIN
19683-9

ICS 13.080; 65.060.35

Ersatz für Ausgabe 1973-04

Deskriptoren: Bodenuntersuchung, Landwirtschaft, Wasserbau, Laborunter-
suchung, Wasserdurchlässigkeit

Methods of soil investigations for agricultural engineering – Physical laboratory
tests – Part 9: Determination of the saturated hydraulic water conductivity in the
cylindrical core-cutter

Méthodes d'analyse du sol dans l'hydrotechnique de l'agriculture – Analyses
physiques effectuées en laboratoire – Partie 9: Détermination de la perméabilité
à l'eau dans des échantillons de sol saturés en eau pris par la canne d'échan-
tillonnage cylindrique

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuß Wasserwesen (NAW), Arbeitsausschuß III 7
"Standortuntersuchung und -beurteilung", erarbeitet.

Es wird empfohlen, bei den Arbeiten nach dieser Norm Fachleute oder Facheinrichtungen
einzuschalten.

Die weiteren Normen der Reihe DIN 19683 sind in Anhang B aufgeführt.

Die Anhänge A und B sind informativ.

Änderungen

Gegenüber der Ausgabe April 1973 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Inhalt technisch und redaktionell überarbeitet.
- b) Bilder aufgenommen (siehe Anhang A).

Frühere Ausgaben

DIN 19683-9: 1973-04

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Einleitung

Die Wasserdurchlässigkeit oder Wasserleitfähigkeit eines wassergesättigten Bodens ist von Größe, Form und Kontinuität der Hohlräume, von Bodenstruktur, Ausprägung der Sekundärporen und vom Gehalt an organischer Substanz abhängig und kann vor allem in inhomogenen Böden sehr stark entsprechend der Fließrichtung variieren. Sie ist eine wichtige Kenngröße zur Charakterisierung des Wasserhaushalts eines Bodens, bei der Abschätzung physiko-chemischer Sorptionsprozesse, zur Beurteilung der mechanischen Filtereigenschaften und zur Bewertung der Erosionsanfälligkeit sowie Dränbarkeit von Böden.

Die Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderbodenproben kann in geringem Umfang im Gelände mit mobilen Meßgeräten bestimmt werden. Für größere Serien mit statistisch abgesichertem Probenumfang eignen sich am besten Laborverfahren unter vergleichbaren und nach Möglichkeit konstanten Untersuchungsbedingungen.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt ein Verfahren zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderbodenproben fest. Das Verfahren ist für Moorböden und Mineralböden in grundwasserfreien Horizonten mit geringem Grobbodenanteil anwendbar.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikation nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN 4047-10 : 1985-09

Landwirtschaftlicher Wasserbau – Begriffe – Der Boden als Pflanzenstandort

DIN 19672-1

Bodenentnahmegерäte für den Landeskulturbau – Geräte zur Entnahme von Bodenproben in ungestörter Lagerung

E DIN ISO 10381-4

Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 4: Anleitung für das Vorgehen bei der Untersuchung von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten (ISO/DIS 10381-4 : 1995)

3 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gilt die folgende Definition:

3.1 Wasserdurchlässigkeit; Wasserleitfähigkeit:

Siehe 4.41 von DIN 4047-10 : 1985-09

4 Grundlagen

Die Bodenwasserbewegung ist die Reaktion auf verschiedene im Porenraum wirkende Kräfte (unter anderem Gravitation, Kapillarität, Wasserdruck). Nach Darcy besteht in einer mit Wasser gesättigten Bodensäule ein linearer Zusammenhang zwischen dem Durchfluß Q und dem antreibenden Druckgefälle I . Der Durchfluß je Zeiteinheit bezieht sich auf den Querschnitt des durchströmten Bodens. Nach Einführung der Proportionalitätskonstante k ergibt sich die als Gesetz von Darcy bekannte Gleichung (1):

$$Q = k \cdot I \text{ oder } k \frac{Q}{I} \quad (1)$$

Durch eine voll mit Wasser gesättigte Stechzylinderbodenprobe wird senkrecht zum Probenquerschnitt ein Wasserstrom unter der Wirkung einer nach Größe bekannten hydraulischen Druckdifferenz geleitet. Aus dem Wasservolumen, welches die Stechzylinderbodenprobe innerhalb einer bestimmten Zeitspanne oder mehrerer definierter Zeitabschnitte durchströmt, ist die Wasserdurchlässigkeit oder Wasserleitfähigkeit (k_f -Wert) zu berechnen.

Die Messung der Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderbodenproben kann nach zwei verschiedenen Meßprinzipien, stationärer Strömung (siehe 5.3.2) und instationärer Strömung (siehe 5.3.3), durchgeführt werden.

5 Durchführung

5.1 Allgemeines

Von den verfügbaren Meßgeräten sollten die gewählt werden, die bei Anwendung der Darcy-Gleichung unter größter Schonung der Stechzylinderbodenprobe und vertretbarem Arbeitsaufwand möglichst viele Proben mit ausreichender Genauigkeit zu untersuchen ermöglichen.

Vorzugsweise sind für Durchlässigkeitsmessungen Stechzylinder mit einem Volumen von 250 cm³ zu verwenden. Bei größeren Volumina darf die Höhe des Zylinders seinen Durchmesser nicht überschreiten. Für nicht bindige fein- bis grobsandige Böden können wegen der mechanischen Störanfälligkeit der Probe allerdings häufig nur Stechzylinder mit einem Volumen von 100 cm³ eingesetzt werden.

5.2 Vorbereitung der Proben

Wasserdurchlässigkeitsmessungen können an Stechzylinderbodenproben in gestörter oder in ungestörter Lagerung durchgeführt werden. Bei einer In-situ-Probenahme in horizontbezogener, ungestörter Lagerung ist nach DIN 19672-1 und E DIN ISO 10381-4 zu verfahren, wobei die Entnahmerichtung nach dem Anwendungszweck und dem Aussageziel festzulegen ist.

Die Stechzylinderbodenproben sollten nach E DIN ISO 10381-4 möglichst feldfrisch in ausgequollenem Zustand, also nahe Feldkapazität entnommen werden. Die zu verwendende Stechzylindergröße richtet sich nach Bodenart, Grobbodenanteil und Konsistenz, nach Horizontmächtigkeit, Durchwurzelung und Beimengungen.

Vor der Messung und Aufsättigung ist jede Stechzylinderbodenprobe an den Schnittflächen auf raue, natürliche Bruchflächen visuell zu prüfen. Proben mit Randstörungen sind zu verwerfen; ein Glätten der Oberflächen ist nicht zulässig.

Der Stechzylinder mit der Probe im naturfeuchten Zustand wird zur Aufsättigung mit entlüftetem (abgestandenem oder abgekochtem) elektrolytarmem Wasser von Raumtemperatur

so in ein Gefäß mit Sandbett oder Filterplatte gestellt, daß er 1 cm in das Wasser eintaucht und Wasser ungehindert Zutritt. Die kapillare Sättigung ist beendet, wenn die obere Schnittfläche der Bodenprobe durch einen dünnen Wasserfilm glänzend erscheint. Die Zugabe von Wasser auf die Stechzylinderoberfläche zwecks Beschleunigung der Wasseraufsättigung ist nicht zulässig.

Wassergesättigte Stechzylinderbodenproben, vor allem aus nicht bindigem Bodenmaterial, sind gegen mechanische Erschütterungen zu schützen und besonders vorsichtig zu bewegen. Ein erneutes Austrocknen der Stechzylinderbodenprobe vor der Messung ist unbedingt zu vermeiden.

Die so vorbehandelte Probe wird oben und unten mit einem feinmaschigen Gewebe bedeckt und in die Meßapparatur eingebracht. Das Gewebe darf die Wasserdurchlässigkeit der Stechzylinderbodenprobe nicht behindern.

ANMERKUNG: Dies ist vor allem bei sehr gut durchlässigen Sandböden zu befürchten. Ein solches Gewebe verhindert das Ausspülen der Bodensubstanz.

In der Meßapparatur wird zur Sättigung der Stechzylinderbodenprobe und zur Austreibung der Luft der Wasserspiegel langsam angehoben (etwa 2 mm bis 5 mm je h), bis das Wasser knapp über der Probenoberfläche steht. Damit ist die Wassersättigung erfolgt, und die Messung darf durchgeführt werden.

5.3 Messung

5.3.1 Allgemeines

Änderung des Quellungszustandes der Stechzylinderbodenprobe, des Ionenbelages der Austauscher, Luftabscheidung aus dem Perkulationswasser und Bakterienwuchs können die Messungen stark beeinflussen. Zu hohe Fließgeschwindigkeiten und Drücke verursachen Turbulenzen und überschreiten damit den Gültigkeitsbereich der Darcy-Gleichung. Auch sind wassergesättigte strukturarme Böden häufig instabil, weshalb es durch Erosion innerhalb der Stechzylinderbodenprobe zu irreversiblen Veränderungen kommen kann.

Um dem an der Entnahmestelle im Gelände herrschenden Zustand am nächsten zu kommen, sollte mit kurzen Perkulationszeiten, geringen Gradienten bei laminaren Strömungsverhältnissen sowie stoß- und erschütterungsfrei gearbeitet werden.

Die Meßdurchführung richtet sich nach der Konstruktion der jeweiligen Meßapparatur. Grundsätzliche Unterschiede zwischen den Verfahren bestehen nur hinsichtlich der Perkulationsrichtung (siehe Anhang A). Die Richtung des Wasserflusses in der Stechzylinderbodenprobe hat in der Regel keinen signifikanten Einfluß auf das Ergebnis. Die Empfindlichkeit für die Wasserniveaufühler muß bei 1 mm, für die Perkulationsmenge bei 0,1 ml liegen. Temperaturschwankungen von $\pm 2^\circ\text{C}$ können unberücksichtigt bleiben.

Die Messung selbst beginnt nach etwa 10 min bis 15 min, nachdem sich aufgrund von Überschlagsmessungen oder nach Augenschein ein konstanter Durchlauf eingestellt hat. Während der Messung muß die Stechzylinderbodenprobe völlig im Wasser stehen.

5.3.2 Stationäre Strömung

Es wird die durch eine Stechzylinderbodenprobe perkolierende Wassermenge unter Einhaltung eines konstanten Druckgefälles (Druckhöhendifferenz) in einem bestimmten Zeitabschnitt gemessen. Die Fließrichtung ist je nach Meßapparatur vertikal abwärts oder vertikal aufwärts gerichtet (siehe Anhang A, Bild A.1 und A.2).

Für Serienuntersuchungen in entsprechend groß ausgelegten Meßapparaturen ist es zweckmäßig, entweder die Zeit-

abschnitte oder das perkolierende Wasservolumen konstant zu halten.

Berechnung:

Die Berechnung der Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) in cm/s nach dem Verfahren der stationären Strömung erfolgt aus der Ableitung der Darcy-Gleichung (1) nach Zurückführung auf die einzelnen zu messenden Größen nach Gleichung (2):

$$k_f = \frac{V}{F \cdot t} \cdot \frac{l}{\Delta h} \quad (2)$$

Dabei ist:

- V das perkolierende Wasservolumen, in cm^3 ;
- F der Fließquerschnitt der Stechzylinderbodenprobe, in cm^2 ;
- t die Zeit des Wasserdurchflusses, in s;
- l die Höhe der Bodensäule in Fließrichtung, in cm;
- Δh die hydraulische Druckhöhendifferenz, in cm;

Bei sehr hohen Wasserdurchlässigkeitswerten ($> 3,5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$) sollte der "Gerätewiderstand" $1/k_{fG}$ berücksichtigt werden. Er wird unter sonst gleichen, stationären Bedingungen an einem leeren Stechzylinder bestimmt.

Der korrigierte Wasserdurchlässigkeitswert des Bodens k_{fk} in cm/s errechnet sich nach Gleichung (3):

$$k_{fk} = 1/(1/k_f - 1/k_{fG}) \quad (3)$$

Dabei ist:

- k_{fG} der Geräte-Wasserdurchlässigkeitswert, in cm/s.

5.3.3 Instationäre Strömung

Das Verfahren der instationären Strömung stellt häufig ein ergänzendes Meßverfahren zur stationären Strömung dar, wenn die Werte der Wasserdurchlässigkeit einer Stechzylinderbodenprobe so gering werden, daß äußere Einflüsse (zum Beispiel Verdunstungseffekte) oder gerätetechnische Einschränkungen das Ergebnis zu beeinflussen beginnen.

Beim instationären Verfahren wird die durch eine Stechzylinderbodenprobe perkolierende Wassermenge nicht gemessen, sondern aus der Änderung des absinkenden Wasserstandes in einem Meßrohr (Druckhöhendifferenz) berechnet. Die Fließrichtung ist vertikal abwärts gerichtet (siehe Anhang A, Bild A.3).

Berechnung:

Die Berechnung der Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) in cm/s nach dem Verfahren der instationären Strömung erfolgt aus der umgeformten Darcy-Gleichung (1) nach Gleichung (4):

$$k_f = \frac{f}{F} \cdot \frac{l}{t} \cdot \ln \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} \quad (4)$$

Dabei ist:

- f die innere Fläche des Meßrohres, in cm^2 ;
- F der Fließquerschnitt der Stechzylinderbodenprobe, in cm^2 ;
- l die Höhe der Bodensäule in Fließrichtung, in cm;
- t die Zeit von Meßbeginn h_1 bis Meßende h_2 , in s;
- Δh_1 die hydraulische Druckhöhendifferenz bei Meßbeginn, in cm;
- Δh_2 die hydraulische Druckhöhendifferenz bei Meßende, in cm;

Die Meßspanne liegt zwischen 10^{-3} cm/s und 10^{-7} cm/s . Sie kann nach oben und unten durch Vergrößerung oder Verkleinerung der Meßrohrskala geringfügig erweitert werden.

Um einen durchschnittlichen, repräsentativen k_f -Wert zu erhalten, sind aufeinanderfolgende Messungen i auch mit