



# Laboratorium permeameters

## Handleiding



### Merkgegevens laboratorium permeameter

Typennummer:

Serienummer:

*Meet the difference*

## Inhoud

Over deze gebruiksaanwijzing.....	3
Inleiding .....	3
1. Beschrijving.....	3
2. Technische specificaties.....	4
3. Veiligheid .....	5
4. Ingebruikneming.....	5
4.1 Installatie .....	5
4.2 Keuze van meetoplossing .....	5
5. Gebruik .....	5
5.1 Monsters en monsterneming .....	5
5.2 Monsters verzadigen .....	6
5.3 Monsterringen in ringhouders plaatsen.....	7
5.4 Doorlatendheidsbepaling .....	7
5.4.1 Constant hoogteverschil .....	8
5.4.2 Afnemend hoogteverschil.....	9
6. Verwerking van de resultaten .....	9
6.1 Doorlatendheidsbepaling met constant hoogteverschil.....	9
6.2 Doorlatendheidsbepaling met een afnemend hoogteverschil.....	10
6.3 Temperatuurscorrectie .....	11
7. Discussie .....	11
8. Toepassingen .....	12
9. Problemen en oplossingen.....	12
10. Onderhoud .....	13
Literatuur .....	13
Appendix	
Afleidingen van formules.....	14
Doorlatendheidsbepaling met constant hoogteverschil.....	14
Doorlatendheidsbepaling met een afnemend hoogteverschil .....	14
Verdampingscorrectie.....	15

## Over deze gebruiksaanwijzing



Wanneer tekst volgt op een markering (zoals links afgebeeld) betekent dit dat er een belangrijke aanwijzing volgt.



Wanneer tekst volgt op een markering (zoals links afgebeeld) betekent dit dat er een belangrijke waarschuwing volgt die duidt op gevaar voor letsel voor de gebruiker of beschadiging van het apparaat. N.B. De gebruiker is ten alle tijd zelf verantwoordelijk voor voldoende persoonlijke bescherming

Text

Cursief aangegeven tekst betekent dat de tekst letterlijk op het beeldscherm of het instrument staat.

## Inleiding

De laboratorium permeameter is een apparaat waarmee in het laboratorium de verzadigde doorlatendheid van grondmonsters gemeten kan worden, zoals beschreven in NEN5789 Bodem - Onverzadigde zone - Bepaling van de verzadigde waterdoorlatendheid; ISO/FDIS 17312 Determination of the hydraulic conductivity of saturated porous materials; ISO/TS 17892-11 Laboratory testing of soil: part 11 Determination of permeability by constant and falling head and in Methods of Soil Analysis van de American Society of Agronomy en de Soil Science Society of America SSSA Book series 5. Het apparaat kent verschillende uitvoeringen, geschikt voor 5 tot 25 monsters. Door gebruik van de waterpomp kan een gesloten watersysteem aangelegd worden, dat een constante waterkwaliteit en -temperatuur waarborgt en tevens water bespaart.

De waterdoorlatendheid of “permeabiliteit” is het vermogen van de grond om water door te laten. De waterdoorlatendheidscoëfficiënt (K-factor) is een maat voor de waterdoorlatendheid en wordt bepaald door enerzijds de geometrie van het poriënstelsel, afhankelijk van de textuur en structuur van de bodem, en anderzijds door intrinsieke eigenschappen van de bodemoplossing (viscositeit en dichtheid). De doorlatendheid wordt bovendien beïnvloed door het bodemvochtgehalte. Bij een verzadigde grond spreekt men over de verzadigde doorlatendheid.

Bodemcompactie, zwel en krimp en de bezetting van het adsorptiecomplex van de bodemmineralen hebben invloed op de doorlatendheid van een bodem. Een heterogene bodem kan in verticale richting een andere doorlatendheid hebben dan in horizontale richting. Dit wordt anisotropie genoemd.

De verzadigde doorlatendheid van de bodem wordt bepaald bij geohydrologisch onderzoek dat vaak voorafgaat aan de planning en uitvoering van waterbouwkundige en cultuurtechnische projecten (bijvoorbeeld drainage en irrigatie). Ook op het gebied van milieubescherming en natuurbeheer is het van groot belang inzicht te hebben in de heersende hydrologische omstandigheden. De laboratorium permeameter wordt toegepast om de horizontale of verticale waterdoorlatendheid van afzonderlijke bodemlagen te bepalen. Het is een alternatief voor veldonderzoekmethoden ter bepaling van de verzadigde doorlatendheid zoals de boorgatmethode, dubbele ringinfiltrometer of pompproeven.

## 1. Beschrijving

De laboratorium permeameter werkt volgens het onderstaande principe (zie figuur op volgende pagina): door aan beide uiteinden van een verzadigd monster een verschillende waterdruk te creëren en de daardoor ontstane waterstroming te meten, kan de waterdoorlatendheid worden bepaald.

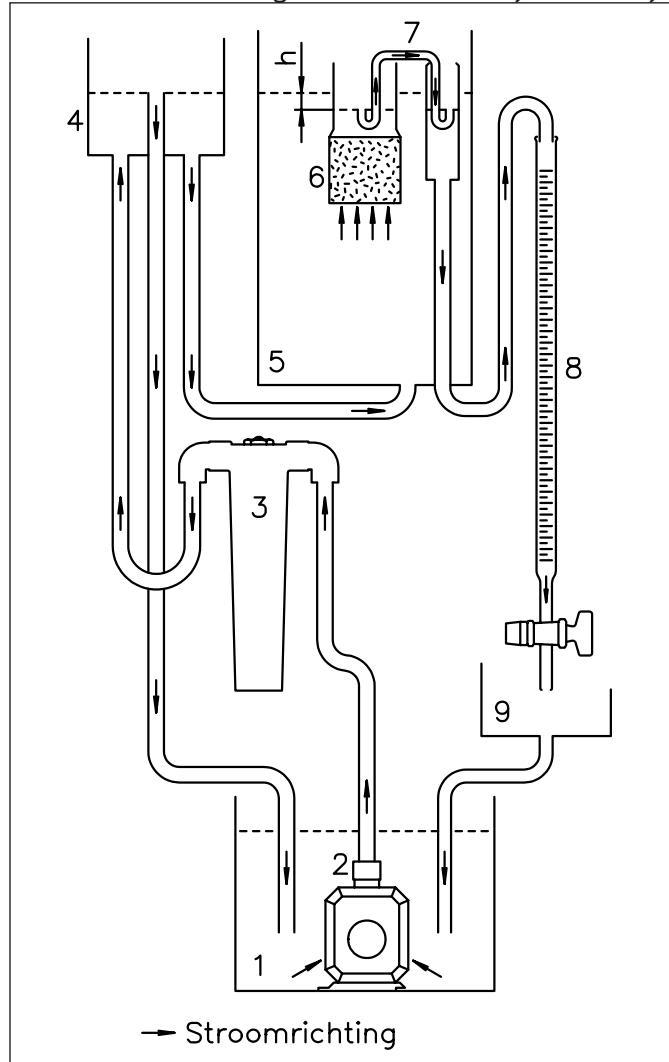
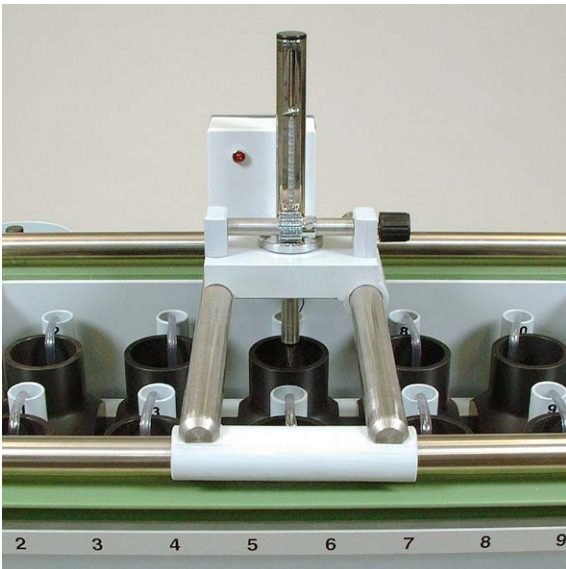
Bij een gesloten systeem wordt water vanuit een voorraadbak (1) door middel van een pomp (2) via een filter (3) omhoog gepompt naar een in hoogte verstelbare niveauregelaar (4). Deze niveauregelaar is enerzijds verbonden met een kunststof container (5) en anderzijds met een leiding waardoor overtollig water terugvloeit in de voorraadbak. Met een afdichtplaat kan de container gesloten worden om verdamping tijdens de meting te beperken.

Bij een open systeem vloeit water rechtstreeks vanuit de waterleiding in de niveauregelaar.

Doordat de niveaugelaar en de container een communicerend vat vormen, zal de niveaugelaar de waterhoogte in de container in stand houden (de waterspiegel in de niveaugelaar is gelijk aan de waterspiegel in de container).

Een volledig verzadigd ringmonster (6) wordt in een ringhouder geplaatst en voorzien van een zeefdop. De ringhouder wordt vervolgens in de container gezet. Via een plastic hevel (7) komt het water dat boven het monster staat in een buret (8) terecht. De buretten hebben verschillende lengtes zodat de kraantjes makkelijk te bedienen zijn. Een lekbak (9) vangt het water uit de buretten op en voert het terug naar de voorraadbak. Bij een open systeem vindt de afvoer vanuit de lekbak plaats naar bijvoorbeeld een wasbak.

Door de werking van de hevel ontstaat een hoogteverschil (h) in de waterstand binnen en buiten de ringhouder. Dit hoogteverschil veroorzaakt een continue stroming van water door het monster. De hoogte van de waterspiegels wordt gemeten met een eenpuntsmeetbrug (zie figuur). Door het afgevoerde water gedurende een bepaald tijdstraject op te vangen in de buret kan met behulp van een formule de waterdoorlatendheidscoëfficiënt (de K-factor) van het betreffende monster berekend worden.



De permeameter wordt geleverd in uitvoeringen met een verschillende grootte. De grootte is afhankelijk van het aantal bodemonsters waarvan men gelijktijdig de waterdoorlatendheid wil bepalen. Er zijn uitvoeringen die geschikt zijn voor 5, 10 en 25 monsters. Standaard is de permeameter geschikt voor monsterringen met een diameter van 53 en 60 mm.

## 2. Technische specificaties

### Uitvoeringen permeameter

Open systeem	Monsterringen $\varnothing$ 53 en 60 mm	5, 10 of 25 monsters
Gesloten systeem	Monsterringen $\varnothing$ 53 en 60 mm	5, 10 of 25 monsters

### Pomp

Type	Eheim 1048
Elektriciteit	230 V, 50 Hz

Vermogen	10 W
Capaciteit	10 liter per minuut
IP67	tot 1 meter (geschikt om continu onder water te gebruiken tot een maximum diepte van 1 meter).
Max. opvoerhoogte	1,5 meter. Aangeraden wordt een opvoerhoogte van max. 1,0 meter te hanteren.

### 3. Veiligheid



**Sluit de pomp aan op de juiste netspanning.**



**Plaats de pomp niet dieper dan 1 meter onder water (zie 2.1 Technische specificaties).**



**Wees voorzichtig met het draaien van het kraantje aan een buret. Bij het zetten van te veel kracht kan de buret breken.**

### 4. Ingebruikneming

#### 4.1 Installatie

Maak de permeameter als volgt gereed voor gebruik:

1. Stel de permeameter waterpas op, eventueel geplaatst op een verhoging.
2. Vul de voorraadbak met water.

Een open systeem is nu gereed voor gebruik. Voor een gesloten systeem:

3. Sluit de pomp aan.
4. Verdrijf de lucht uit de leidingen. Bevestig de slang tussen pomp en filter, gevuld met water, aan de filter.

#### 4.2 Keuze van meetoplossing

Het gesloten systeem biedt de mogelijkheid de bepalingen met andere oplossingen dan leidingwater te verrichten. Aanbevolen wordt een meetoplossing te gebruiken die zoveel mogelijk overeenkomt met de originele bodemoplossing.

Bij monsters uit een zout milieu bijvoorbeeld, moet een zoute oplossing gebruikt worden om te voorkomen dat uitwisseling van kationen aan het uitwisselingscomplex van de bodemdeeltjes plaatsvindt. De doorlatendheid van een bodemmonster zal afnemen bij een verlaging van de elektrolyt concentratie. Bij een hoge concentratie van Na<sup>+</sup>-ionen kunnen kleideeltjes in dispersie gaan waardoor poriën verstopt kunnen raken en de waterdoorlatendheid zal afnemen.

In alle gevallen wordt afgeraden om gedemineraliseerd of gedestilleerd water te gebruiken.

### 5. Gebruik

#### 5.1 Monsters en monsterneming

Voor de bepaling van de waterdoorlatendheid met de laboratorium permeameter wordt gebruik gemaakt van onverstoorde bodemmonsters in roestvaststalen monsterringen (pF-ringen).

De volgende monsterringen zijn geschikt voor de permeameter:

- Ring Ø 53 x 50 mm, hoogte 51 mm, inhoud 100 cc
- Ring Ø 60 x 56 mm, hoogte 40,5 mm, inhoud 100 cc

Bemonstering kan plaats vinden aan het bodemoppervlak, in boorgaten en in profielkuilen (er zijn hiervoor diverse steeksets verkrijgbaar bij Royal Eijkelkamp).

Steek het ringmonster zorgvuldig. Zorg ervoor dat de ringen het juiste volume onverstoorde grond bevatten en dat het monster aan de snijvlakken niet dichtgesmeerd is. Verstoorde monsters kunnen niet gebruikt worden bij de metingen.

Voor het verkrijgen van representatieve gegevens, is het noodzakelijk een voldoende aantal monsters te nemen. In homogene zandige afzettingen kan men volstaan met bemonstering in drievoud. In zware kleigronden daarentegen, waarin de bodemstructuur een grote rol speelt, kunnen door zwel- en krimpverschijnselen scheuren in de bodem ontstaan waardoor de plaatselijke variatie in de doorlatendheid groot kan zijn. Hierdoor dient in kleigronden de bemonstering in twintig- tot dertigvoud uitgevoerd te worden.

Ook de vochttoestand tijdens de bemonstering is van grote betekenis. Bij een hoog vochtgehalte kan versmering van het kleimonster optreden, waardoor poriën en scheuren verstopt raken. In een droge toestand worden zware kleigronden hard en brokkelig.

## 5.2 Monsters verzadigen

Na het steken van de monsters worden ze verzadigd. Afhankelijk van het beschikbare materiaal en de eisen die aan het onderzoek worden gesteld, kan dat via de volgende methodes:

- In een waterbak
- In een exsiccator (onder vacuüm met ontluicht water)
- In de container van de permeameter

### Waterbak.

Plaats aan de onderzijde van de monsters een hydrofiel gaasje en een zeefdop. Zet de monsters ter verzadiging in een waterbak. Het waterniveau in deze bak moet ongeveer één cm beneden de onderzijde van het monster blijven.



**Het waterniveau mag nooit tot boven de rand van de monsters stijgen, omdat dan verstoring van het monster op zal treden.**

De tijdsduur van verzadiging is afhankelijk van de grondsoort. Een zandig monsters is al binnen 1 dag verzadigd, terwijl een slecht-doorlatende klei soms pas na een paar weken verzadigd is. Met deze methode wordt geen volledige verzadiging bereikt door de insluiting van lucht in de poriën tijdens het verzadigen.

### Exsiccator.

Een relatief snelle manier om het monster te verzadigen is met een exsiccator. De verzadiging vindt hierin onder vacuüm plaats, waardoor tevens een volledige verzadigingsgraad wordt verkregen (geen insluiting van lucht in de poriën).

Ontlucht eerst het water in de exsiccator. Plaats het monster, waaronder hydrofiële gaasjes zijn bevestigd, gedurende circa 15 minuten onder vacuüm in de exsiccator, waarna verzadiging met het ontluichte water plaatsvindt. Na 12 uur zijn de monsters volledig verzadigd.

### Container van permeameter.

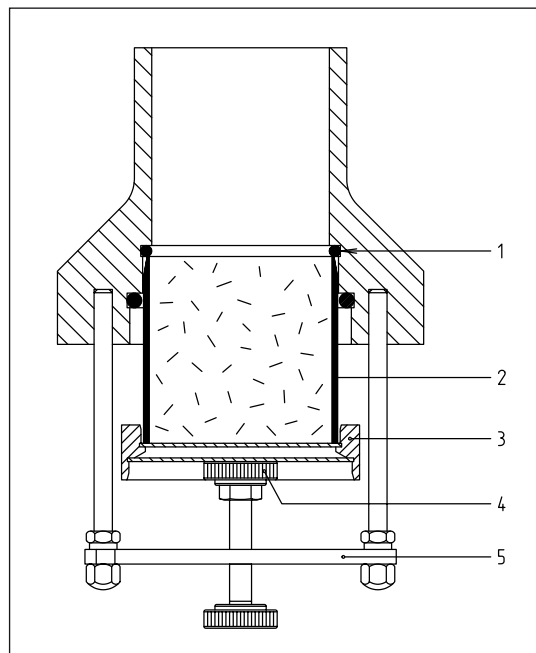
De monsters kunnen ook in de container van de permeameter verzadigd worden. Hiertoe moeten de ringmonsters echter eerst in de ringhouders geplaatst worden (zie paragraaf 5.3). Daarna worden de ringhouders in de permeameter geplaatst (paragraaf 5.4) waar met behulp van de niveauregelaar langzame verzadiging plaatsvindt. De tijdsduur van verzadiging is afhankelijk van de grondsoort en varieert van één tot drie dagen.



**Het is belangrijk de monsters niet te snel te verzadigen in verband met het gevaar van luchtinsluiting, wat resulteert in vermindering van de doorlatendheid.**

### 5.3 Monsterringen in ringhouders plaatsen

1. Maak de buitenzijde van de monsterring goed schoon.
2. Bevestig het hydrofiële gaasje met een kunststof O-ring aan de dubbele zeefdop. Breng de zeefdop (3) op de stompe kant van de monsterring aan (zie figuur hiernaast).
3. Plaats de monsterring (2) met de snijrand tegen de (verwisselbare) O-ring (1) in de ringhouder (zie figuur). Op deze manier zal het water tijdens de meting in de richting door het monster stromen zoals dat in de natuurlijke situatie zou gebeuren bij neerwaartse waterstroming.
4. Sluit de brug (5) draai het nylon aandrukblokje (4) tegen de zeefdop aan, waardoor de monsterring stevig tegen de O-ring gedrukt wordt. Door het gebruik van de dubbele zeefdop wordt voorkomen dat het monster als gevolg van het indrukken van de zeefdop verstoord wordt, terwijl ook de waterstroming door het monster niet gehinderd wordt.



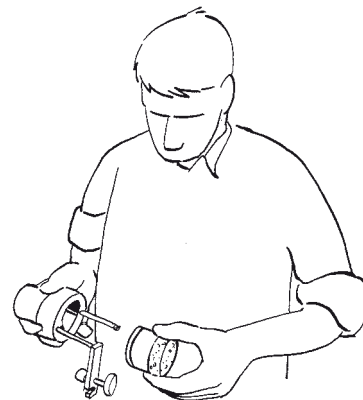
### 5.4 Doorlatendheidsbepaling

Bij de bepaling van de waterdoorlatendheid van bodemonsters kunnen twee meetmethodes worden onderscheiden:

- Meting met een constant drukhoogteverschil (Eng: constant head method).
- Meting met een afnemend drukhoogteverschil (Eng: falling head method).

De te meten monsters kunnen in drie groepen worden onderverdeeld.

- a. Goed doorlatende monsters; het waterniveau in de ringhouder is binnen het uur min of meer gelijk aan het waterniveau in de container. Meet volgens de eerste methode.
- b. Matig doorlatende monsters; het kan enkele uren duren alvorens beide waterniveaus gelijk zijn. In de meeste gevallen kunnen deze monsters volgens de eerste methode gemeten worden.
- c. Slecht doorlatende monsters; pas na één dag staat er een laagje water boven het monster. Meet volgens de tweede methode. Wanneer na drie dagen nog geen water boven het monster verschijnt, kan de doorlaatfactor voor praktische doeleinden op nul gesteld worden.



1. Stel de permeameter in werking: vul de container met water en stel de pomp in werking. Kantel de meetbrug eventueel zodat deze niet in de weg zit bij het plaatsen van de ringhouders.



**De pomp moet zich altijd volledig onder water bevinden. Wanneer hij droogloopt, beschadigt hij. Vul de voorraadbak daarom tijdig met water indien nodig.**

2. Plaats de ringhouders met de (bijna-)verzadigde monsters op de uitneembaar kunststof tableaus in de container.
3. Stel met behulp van de niveaugelaar de waterhoogte in. Gebruik een lage waterhoogte wanneer de monsters geplaatst worden en verhoog dit langzaam (in een aantal uren) tot de uiteindelijk gewenste hoogte. Dit voorkomt dat de monsters door een te hoge waterdruk uit de monsterringen omhoog komen.



Het waterhoogteverschil binnen en buiten de ringhouder dat gecreëerd wordt, is gelijk aan het waterdrukverschil aan beide kanten van het monster en zorgt ervoor dat het water door het monster omhoog stroomt.

4. Kies de te gebruiken methode van doorlatendheidsbepaling. Gebruik daarbij onderstaand schema en zie de paragrafen 5.4.1 en 5.4.2.

Volgens deze methodes kan zowel de horizontale als de verticale doorlatendheid worden bepaald, afhankelijk van de manier waarop de monsters zijn gestoken.

		Verzadigde waterdoorlatendheid [m/d] bij 20°C										
		10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>
Klasse		Hoog		Medium		Laag		Zeer laag		Praktisch ondoorlatend		
						Fijn zand		Löss		Homogene klei		
								Leem				
									Gestructureerde klei			
Materiaal		Grind		Zand		Zandige klei						
						Silt						
						Mengsels van zand, silt en klei						
Methode		← Constant hoogteverschil →						← Afnemend hoogteverschil →				
		10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>
		Verzadigde waterdoorlatendheid [cm/d] bij 20°C										

### 5.4.1 Constant hoogteverschil

Deze methode wordt toegepast op vrijwel de meeste bodems, uitgezonderd de zeer slecht doorlatende bodems, zoals klei en veen.

1. Wacht totdat de waterspiegel in de ringhouders even hoog staat als in de container. Is dit het geval, plaats dan de hevels. Vul ze daarvoor eerst met water: houd een hevel onder water en laat alle lucht eruit ontsnappen door hem onder water enkele malen langzaam te kantelen tot alle luchtbelletjes zijn verdwenen. Plaats vervolgens de hevel met één 'been' in de ringhouder en met het andere been in de genummerde kunststof pijp.

Het water boven het monster in de ringhouder zakt nu tot het niveau van de hevel. Het afgevoerde water stroomt in de pijp en zal, zodra deze gevuld is, uit de uitstroomopening in de buret lekken (alleen indien het niveau van de uitstroomopening lager is dan het waterniveau in de container). De uitstroomopening is in hoogte verstelbaar.

2. Stel de waterhoogte in de container in op de gewenste stand door de niveauregelaar omhoog of omlaag te schuiven. Voor het meten moet er een constant hoogteverschil (h) binnen en buiten de ringhouder zijn. Afhankelijk van de doorlatendheid van het monster moet dit variëren van 2 mm voor zeer goed doorlatende bodems tot 20 mm voor slecht doorlatende bodems.



De waterdoorlatendheidswaarde kan het best worden bepaald bij een zo klein mogelijk hoogteverschil.

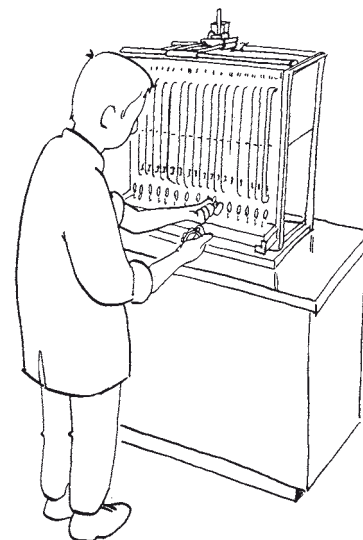


3. Bepaal de hoeveelheid water dat in een bepaalde tijdstap door het monster stroomt. Sluit de kraan van de buret en lees het startniveau op ooghoogte af (in ml). Lees na een bepaalde tijd wederom het waterniveau in de buret af. Indien per tijdstap een constante hoeveelheid water door het monster stroomt, is de stroming stationair. De buret kan geleegd worden door het kraantje te openen en het water in de lekbak te laten stromen.



**Wees voorzichtig met het draaien van het kraantje aan een buret. Bij het zetten van te veel kracht kan de buret breken.**

4. Plaats de meetbrug boven de gewenste plaats door hem met twee handen te verschuiven. Op de meetbrug zit een niveaumeter, welke met een lichtsignaal werkt. Draai de draaiknop zodat de meetpen naar beneden beweegt. Zodra de punt van de niveaumeter het wateroppervlak raakt, gaat het lampje branden en kan het waterniveau worden afgelezen (op een halve millimeter nauwkeurigheid). Meet op deze manier zowel het waterniveau in de container als in de ringhouders. Het gemeten waterhoogteverschil wordt voor elk monster gebruikt in de berekening van de verzadigde doorlatendheidscoëfficiënt (zie hoofdstuk 6).



## 5.4.2 Afnemend hoogteverschil

Deze meetmethode wordt toegepast bij het meten van lage doorlatendheden in bijvoorbeeld klei- of veenmonsters. De kunststof hevel wordt dan niet gebruikt.

Het principiële verschil van deze methode ten opzichte van de onder 5.4.1 genoemde methode bestaat hieruit dat niet de afgevoerde hoeveelheid water wordt gemeten, maar de verandering in waterhoogteverschil ( $\partial h$ ) in een bepaald tijdsinterval ( $\partial t$ ).

1. Wacht tot het waterniveau in de ringhouders even hoog is als in de container. Dit kan (ook voor een volledig verzadigd monster) dagen en soms zelfs weken duren.
2. Verlaag het waterniveau in de ringhouder tot iets boven het monster. Gebruik hiervoor bijvoorbeeld een hevel of pipet.
3. Meet met de meetbrug (zie vorige paragraaf, stap 4) de waterhoogte in de ringhouder; dit is de starthoogte. Leg de klep op de container om verdamping te voorkomen. Meet na een bepaalde tijd wederom de waterhoogte in de ringhouder (eindhooft). Meet ook het waterniveau in de container. De verandering in waterhoogteverschil wordt gebruikt bij de berekeningen in paragraaf 6.2.

Omdat het water uit de container in open verbinding staat met de lucht, moet bij deze metingen met een zekere verdamping van het doorgestroomde water rekening worden gehouden (zie 6. Verwerking van de resultaten).

## 6. Verwerking van de resultaten

### 6.1 Doorlatendheidsbepaling met constant hoogteverschil

Bij toepassing van deze meetmethode met een constant hoogteverschil kan de K-factor met behulp van de Wet van Darcy worden berekend (zie Appendix voor afleidingen van formules).

Volgens de wet van Darcy geldt:

$$V = K \cdot i \cdot A \cdot t$$

Waarin:

V =	Volume water dat door monster stroomt	[cm <sup>3</sup> ]
K =	doorlatendheidscoëfficiënt of “K-factor”	[cm/d]
h =	waterhoogteverschil binnen en buiten de ringhouder	[cm]
L =	lengte van het bodemonster in de stromingsrichting van het water	[cm]
i =	stijghoogtegradiënt, ofwel: h / L	[-]
A =	oppervlak van de dwarsdoorsnede van het monster	[cm <sup>2</sup> ]
t =	tijd die gebruikt is voor de doorstroming van watervolume V	[d]
(d =	de tijdsdimensie dag)	

Tijdens de meting (paragraaf 5.4.1) zijn de volgende parameters bepaald:

L en A : constantes, afhankelijk van het gebruikte type monsterring.

V : met buret gemeten volume (1 ml = 1 cm<sup>3</sup>)

t : lengte van de tijdstap.

h : berekend met de waterhoogtes zoals gemeten met de waterhoogtemeter.



**Bereken de K-factor als volgt:**

$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot h}$$



**Let er bij het invullen van de formules op dat de eenheden van de verschillende parameters overeenkomen. Aanbevolen wordt om K uit te drukken in [cm/d] of in [m/d].**

## 6.2 Doorlatendheidsbepaling met een afnemend hoogteverschil

Bij toepassing van deze meetmethode met een afnemend hoogteverschil kan de K-factor met behulp van de Wet van Darcy worden berekend (zie Appendix A voor afleidingen van formules). Echter, aangezien zowel de stijghoogte als het debiet in de tijd veranderen, wordt een aangepaste vorm van de Wet van Darcy gebruikt:

Waarin:

V =	volume water dat door monster stroomt	[cm <sup>3</sup> ]
K =	doorlatendheidscoëfficiënt of “K-factor”	[cm/d]
A =	oppervlak van de dwarsdoorsnede van het monster	[cm <sup>2</sup> ]
h =	waterhoogteverschil binnen en buiten de ringhouder	[cm]
L =	lengte van het bodemonster	[cm]
t =	tijd tussen begin en einde van de meting (t <sub>2</sub> - t <sub>1</sub> )	[d]
a =	oppervlakte van de dwarsdoorsnede van ringhouder	[cm <sup>2</sup> ]

Tijdens de meting (paragraaf 5.4.2) zijn de volgende parameters bepaald:

L, A en a : constantes, afhankelijk van het gebruikte type monsterring

V : met buret gemeten volume (1 ml = 1 cm<sup>3</sup>)

t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub> : tijdsinterval tussen start en einde van de meting.

h<sub>1</sub> en h<sub>2</sub> : waterhoogteverschil binnen en buiten de ringhouder op respectievelijk de tijdstippen t<sub>1</sub> (start) en t<sub>2</sub> (eind).

Aangezien een meting enkele dagen kan duren en het wateroppervlak in open verbinding met de atmosfeer staat, kan de verdamping van water in ringhouder niet verwaarloosd worden vergeleken bij de doorlatendheid van deze meestal slecht doorlatende monsters (ondanks het gebruik van de afdichtklep). Bij zeer lage doorlatendheden kan de verandering van het waterhoogteverschil soms geheel aan verdamping worden toegeschreven. Om voor deze verdamping te corrigeren wordt een correctie aangebracht, gebruikmakend van een gemiddelde waarde voor het waterhoogteverschil (zie ook Appendix).

x : verdampingsfactor (literatuurwaarde): 0,0864 cm/d ofwel 0,000864 m/d.



Bereken de K-factor als volgt:

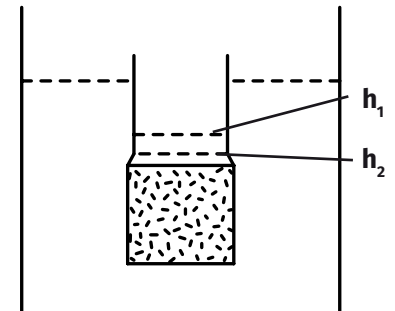
$$K = \frac{a \cdot L}{A \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} + \frac{x \cdot a \cdot L}{A \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}}$$



Let er bij het invullen van de formules op dat de eenheden van de verschillende parameters overeenkomen. Aanbevolen wordt om K uit te drukken in [cm/d] of in [m/d].

L Lengte bodemonster in cm

a opp. dwarsdoorsnede ringhouder in cm<sup>2</sup>



A oppervlakte dwarsdoorsnede in cm<sup>2</sup>

### 6.3 Temperatuurscorrectie

Zoals reeds in de inleiding vermeld wordt de doorlatendheid van de bodem mede bepaald door de viscositeit van de bodemoplossing. De viscositeit (stroperigheid) hangt af van de temperatuur (zie tabel). De temperatuur van water in het laboratorium schommelt tussen de 18 en 22 °C, terwijl de temperatuur van grondwater gemiddeld 10 °C bedraagt (waardes voor gematigd klimaat, in andere regio's afwijkend). In de winter kan de temperatuur van grondwater dalen tot circa 5 °C. Voor bepaalde toepassingen zal de waterdoorlatendheid dus gecorrigeerd moeten worden voor de viscositeit van de bodemoplossing (meestal water).

Temperatuur °C	Viscositeit water (10 <sup>-3</sup> Pa.s)
5	1,52
10	1,31
15	1,14
18	1,05
20	1,01
22	0,96
25	0,89
30	0,81

Corrigeer de K-factor voor de viscositeit met de volgende formule (Wit 1963):

$$k_{10} = k_T \cdot h_T / h_{10}$$

Waarin

$k_{10}$  = gecorrigeerde K-factor bij 10 °C (onder natuurlijke omstandigheden) [cm/d]

$k_T$  = K-factor bij gebruikte temperatuur [cm/d]

$h_{10}$  = dynamische viscositeit van water bij 10 °C [Pa.s]

$h_T$  = dynamische viscositeit van water bij T °C [Pa.s]

## 7. Discussie

- Ondanks de nauwkeurigheid van de laboratorium permeameter zullen de gemeten waardes voor de verzadigde waterdoorlatendheid altijd afwijken van de veldomstandigheden, veroorzaakt door onnauwkeurigheden in monsternamen en de ruimtelijke variabiliteit in het veld.
- De meetresultaten geven de doorlatendheid weer op de plaats waar het monster is genomen (puntmeting). Om een beeld te krijgen van de omgeving zal een groot aantal metingen verricht moeten worden.

- De gebruikte methodes zijn gebaseerd op de Wet van Darcy. De Wet van Darcy is echter gebaseerd op homogene bodems en eendimensionale stroming. In werkelijkheid zal een bodem altijd heterogeen zijn en soms scheuren of andere macroporiën bevatten, waardoor soms de aanname dat de monsters voldoen aan de Wet van Darcy niet rechtvaardig is.
- Het formaat van de monsters is te klein om scheuren en macroporiën te bemonsteren. De gemeten doorlatendheid in kleigronden zal dus meestal lager zijn dan de reële waarden in het veld. De bijdrage van macroporiën aan watertransport is veel groter dan de bijdrage van het volume equivalent aan kleine poriën. Hierdoor zijn beide methodes minder geschikt voor zware klei monsters.
- De permeameter is niet geschikt voor zeer goed doorlatende gronden, daar het eenvoudig weg niet mogelijk is een waterniveau op de monsters te handhaven. Dit water zal sneller afgevoerd worden dan het aangevoerd kan worden.
- Bij het gebruik van een open systeem waarbij leidingwater vanuit de kraan wordt toegevoegd aan het meetsysteem, kan niet worden voorkomen dat hierin opgeloste gassen vrij komen en zich in de poriën ophopen. De onnauwkeurigheid die hierdoor ontstaat (er wordt een iets lagere doorlatendheid gemeten) valt echter binnen de marges van de overige onnauwkeurigheden, zoals door bemonstering. Gebruik eventueel ontgast water.

## 8. Toepassingen

De laboratorium permeameter is geschikt voor het meten van de verzadigde waterdoorlatendheid van ongestoorde bodem- en grondmonsters in monsterringen. De doorlatendheidscoëfficiënt of “K-faktor” kan worden bepaald voor vrijwel alle grondsoorten, behalve zeer goed doorlatende of zwel-/krimpgevoelige gronden. Afhankelijk van de manier waarop het monster is gestoken wordt de verticale of horizontale doorlatendheid bepaald.

De bepaling van de verzadigde doorlatendheid met de laboratorium permeameter wordt toegepast voor het bepalen van de snelheid waarin grondwater stroomt bij:

- Drinkwaterwinning
- Irrigatie en drainage
- Weg- en waterbouw, zoals aanleg en verzwaring van dammen en dijken
- Cultuurtechniek
- Milieuonderzoek, zoals de verplaatsing van milieu-verontreinigende oplossingen, meststoffen of radioactieve afvalstoffen in het grondwater
- Ecologische studies en natuurbeheer
- Land- en tuinbouw

## 9. Problemen en oplossingen

- Het lampje van de niveaumeter op de meetbrug gaat niet branden zodra deze het water raakt. Dit kan een aantal oorzaken hebben:
  - De batterij is leeg. Vervang deze (zie 10. Onderhoud).
  - Het stroomcircuit is onderbroken. Controleer het stroomcircuit. Dit loopt van de batterij via de dwarsliggers van de meetbrug naar een roestvaststalen buis. Schroefjes zorgen voor de verbindingen tussen deze onderdelen. De buis maakt via een draad in één van de hoeken contact met het water. Een verbinding kan verbroken zijn doordat een schroefje los is, of doordat vuil op de buis het contact verbreekt tussen dwarsligger en buis.
- Bij een gesloten systeem gaat er niet voldoende water rond in het systeem. Mogelijke oorzaken zijn:
  - De pomp loopt droog. Vul de voorraadbak met water.
  - De slangen van de niveauregelaar en/of de lekbak komen niet in de voorraadbak uit waardoor waterverlies optreedt. Leid de slangen door de opening in de voorraadbak.

- De aanwezigheid van lucht in de slang tussen filter en niveauregelaar. Haal de niveauregelaar omhoog zodat de lucht uit de slang verdwijnt.
- Er komt geen water in de buret terecht. Mogelijke oorzaken:
  - Er zit lucht in een hevel. Houd de hevel volledig onder water en kantel hem een paar keer langzaam zodat alle lucht ontsnapt. Pak de hevel in het midden vast en haal hem rechtop uit het water. Plaats vervolgens de hevel met één 'been' in de ringhouder en met het andere in de genummerde kunststof pijp.
  - De kunststof pijp is nog niet volledig gevuld met water. Vul deze eventueel vooraf met water, of wacht tot zoveel water door de monsters stroomt dat de pijp vanzelf gevuld wordt.
  - De slang onder de pijp bevat lucht. Beweeg de slang zodanig dat de lucht ontsnapt.
  - De uitstroomopening boven de buret bevindt zich hoger dan het waterniveau in de container. Verlaag de uitstroomopening tot onder het waterniveau in de container.
  - Het bodemonster is onverzadigd. Verzadig het monster voorafgaand aan de doorlatendheidsbepaling met de permeameter, of wacht totdat het verzadigd is.
  - Het bodemonster is slechtdoorlatend. Pas de doorlatendheidsbepaling met afnemend drukverschil toe.
- Het kraantje van de buret loopt stroef. Verwijder het blauwe kapje achter de kraan en haal het kraantje voorzichtig uit de buret. Smeer het kraantje in met vaseline.



**Let op dat de doorstroomopening in het kraantje niet dichtgesmeerd wordt.**

- De buret is afgebroken. Bestel een nieuwe (let op de lengte van de buret!).
- Het monster loopt uit de monsterring. Bevestig aan de onderzijde van het monster (tussen zeefdop en monsterring) een filterkousje. Zorg er voor dat na het plaatsen van nieuwe monsters de waterhoogte in de container langzaam (enkele uren) van laag naar hoog gebracht wordt.

## 10. Onderhoud

- Het vervangen van de batterij. Maak het kapje los en verwissel de batterij voor een nieuwe 9 V blokbatterij. Herplaats het kapje weer.
- Maak het apparaat na gebruik schoon (hevels niet met heet water reinigen i.v.m. vervorming).
- Reinig de voorraadbak en filter indien nodig om algengroei te voorkomen.
- Indien een zout-oplossing is gebruikt als meetoplossing, alles goed reinigen om aanslag van zoutkristallen te voorkomen.

De opschriften op de buretten zijn niet zuurresistent. Nooit reinigen met zuuroplossingen!

## Literatuur

Klute, A. & C. Dirksen, 1986. Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. SSSA Book Series: 5.*

Koorevaar, P, G. Menelik & C. Dirksen, 1983. Elements of Soil Physics. *Developments in Soil Science 13. Elsevier, Amsterdam.*

Wit, K.E., 1963. Meting van de doorlatendheid in ongeroerde monsters. *Rapport 17. ICW, Wageningen.*

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Technische gegevens kunnen zonder voorafgaande kennisgeving worden gewijzigd. Royal Eijkelpark is niet verantwoordelijk/aansprakelijk voor schade/persoonlijk letsel door (verkeerd) gebruik van dit product. Royal Eijkelpark is geïnteresseerd in uw reacties en opmerkingen over de producten en de handleidingen.

## Appendix Afleidingen van formules

Zie voor meer informatie over de Wet van Darcy, verzadigde doorlatendheid en de berekeningsmethoden bij gebruik van de permeameter: Klute & Dirksen 1986, Koorevaar et al. 1983, Wit 1963.

### Doorlatendheidsbepaling met constant hoogteverschil

De Wet van Darcy voor eendimensionale, verticale stroming luidt als volgt:

$$q = -K \cdot i = K \cdot \frac{\partial H}{\partial z}$$

Het minteken duidt aan dat de energietoestand afneemt in de richting waarin het water stroomt.

K =	doorlatendheidscoëfficiënt (of K-factor)	[cm/d]
t =	de tijd die nodig is om volume V door het monster te laten stromen	[d]
V =	het volume van het water dat in de gemeten tijd t door het monster is gestroomd	[cm <sup>3</sup> ]
Q =	debiet of "volumestroom": volume water dat per tijdseenheid door het monster stroomt	[cm <sup>3</sup> /d]
	ofwel V / t	
q =	flux of "volumestroomdichtheid": volume water per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid door het monster stroomt, ofwel Q / A	[cm/d]
i =	stijghoogtegradiënt	[-]
H =	stijghoogte	[cm]
z =	lengte van bodemkolom waardoor water stroomt	[cm]
h =	waterhoogteverschil binnen en buiten de ringhouder	[cm]
L =	lengte van het bodemmonster	[cm]
A =	oppervlak van de dwarsdoorsnede van het monster	[cm <sup>2</sup> ]
(d =	tijdseenheid dag)	

In homogene, met water verzadigde grond (zoals in een verzadigd grondmonster) is de doorlatendheid (K) constant. De flux (q) is dan evenredig met de stijghoogtegradiënt (i).

Bij de bepaling van de verzadigde doorlatendheid met de permeameter vindt een stationaire, eendimensionale stroming door het monster plaats onder invloed van een drukverschil, welke wordt gecreëerd door een hoogteverschil tussen de waterniveaus binnen en buiten de ringhouder.

Voor de berekening van de verzadigde doorlatendheid met de permeameter voor een monster met de doorsnede A en lengte L geldt dus:

$$K = \frac{Q \cdot L}{h \cdot A}$$

### Doorlatendheidsbepaling met een afnemend hoogteverschil

Bij een doorlatendheidsbepaling met afnemend waterhoogteverschil, verandert het debiet met de tijd. De flux in het monster is evenredig met het hoogteverschil h.

Veranderingssnelheid van het volume van het doorgestroomde water kan als volgt uitgedrukt worden:

$$dV/dt = -K \cdot h \cdot A / L$$

Tengevolge van de doorstroming daalt echter ook de hoogte van het waterniveauverschil in de standbuis.

De verandering van het volume is nu ook uit te drukken als functie van de verandering van de niveauhoogte:

$$dV = a \cdot dh$$

Op basis hiervan kan de volgende vergelijking opgesteld worden.

$$dh/h = -K \cdot A / a \cdot L \cdot dt$$

$$\frac{dh}{h} = \frac{-K \cdot A \cdot dt}{a \cdot L}$$

Integratie van beide zijden levert op:

$$K = \frac{a \cdot L}{A \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Hierbij zijn

$h_1, h_2$	=	het begin- en eindhoogteverschil van het waterniveau.	[cm]
$a$	=	oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de ringhouder	[cm <sup>2</sup> ]
$t$	=	tijdverloop tussen het bereiken van het eindniveau	[d]

## Verdampingscorrectie

De waarde van K die beïnvloed wordt door de verdamping uit de ringhouder, wordt berekend aan de hand van de formule voor doorlatendheidsbepaling bij een afnemend waterniveau, waaraan een verdampingsfactor wordt toegevoegd.

De verdamping in de ringhouders is circa 0,00006 cm/min. De afwijkingen hiervan zijn gering (Wit 1963). Deze verdampingsfactor wordt x genoemd, en is gelijk aan 0,000864 m/d of 0,0864 cm/d (is 0,00006 cm/min of 0,0036 cm/u)

De volgende formule wordt gebruikt voor het 'verdampingsdeel' van K:  
waarin  $x \cdot a$  het volume water is dat vanuit de ringhouder verdampt, in (cm/d] uitgedrukt .

Het gemiddelde waterhoogteverschil tussen  $t_1$  en  $t_2$  is als volgt:

$$h_{\text{gem}} = \sqrt{(h_1 \cdot h_2)}$$

Toegevoegd aan de formule voor doorlatendheidsbepaling bij afnemend waterhoogteverschil wordt verkregen:

$$K = \frac{a \cdot L}{A \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} + \frac{x \cdot a \cdot L}{A \cdot \sqrt{(h_1 \cdot h_2)}}$$