

## VOCHTKARAKTERISTIEK (PF-CURVE)

### 1 TOEPASSINGSGEBIED

Een bodem is samengesteld uit drie fasen, een vaste fase (mineralen en organisch materiaal), een vloeibare fase (bevat opgeloste bestanddelen) en een gasvormige fase. Afhankelijk van de bodemtextuur en de bodemstructuur kan de verhouding tussen deze fasen sterk variëren. De onderlinge verdeling van deze fasen zal in belangrijke mate het fysisch gedrag van de bodem bepalen. Dit fysisch gedrag omvat o.a. de draagkracht, drainage en vochthoudend vermogen, verluchting, doordringbaarheid voor de wortels, enz. Tevens zal het ook de migratie van voedingselementen in het bodemprofiel beïnvloeden.

Een volledige beschrijving van het water in de bodem vraagt de kwantificering van twee verschillende grootheden. Enerzijds de hoeveelheid water per eenheid van massa of volume van de bodem (ook het vochtgehalte genoemd), en anderzijds de energietoestand (ook wel de potentiaal van het bodemwater genoemd) van het water in de bodem. Beide factoren zijn van het grootste belang voor de plantengroei. Het vochtgehalte zegt niet per definitie iets over de beschikbaarheid van het water voor de planten. Het brengt ons ook niets bij over de manier waarop het water in de bodem wordt getransporteerd. De enige informatie die het vochtgehalte ons geeft is de relatieve hoeveelheid water aanwezig in de bodem. De potentiaal van het bodemwater wordt gedefinieerd als de energie die noodzakelijk is om het bodemwater uit de bodem te kunnen verdrijven. Deze potentiaal geeft ons ook geen directe waarde voor de hoeveelheid water beschikbaar voor de planten. Om een idee te krijgen over de hoeveelheid beschikbaar water in de bodem met betrekking tot de plantengroei en irrigatie moeten zowel het vochtgehalte als de potentiaal van het bodemvocht in rekening gebracht worden. Deze grootheden zijn aan elkaar gerelateerd, de vocht karakteristiek is een grafische voorstelling van deze verhouding.

In een verzadigde bodem in evenwicht met vrij water is de actuele druk in deze laatste gelijk aan de atmosferische druk en dus de matrixpotentiaal of drukhoogte gelijk aan nul. Van zodra er water uit de bodem vrij wegdraineert of verdampt zal het overblijvende water in steeds kleinere bodem capillairen worden vastgehouden waardoor de matrixpotentiaal of drukhoogte steeds maar zal afnemen. De relatie tussen het vochtgehalte en de matrixpotentiaal (drukhoogte) wordt meestal experimenteel bepaald en grafisch voorgesteld door wat men de "vocht karakteristiek" noemt.

De adsorptie van water aan de bodemdeeltjes en de poriëngeometrie zijn te complex om de vocht karakteristiek door een model te laten beschrijven. Om dit traject in één grafiek te kunnen weergeven wordt de vocht karakteristiek vaak semi-logaritmisch uitgezet, of de  $^{10}\log(-h \text{ cm waterhoogte})$  ten opzichte van het vochtgehalte. De grootheid  $^{10}\log(-h \text{ cm waterhoogte})$  wordt de pF-waarde genoemd en de grafische voorstelling de pF-curve.

De vocht karakteristiek van een bodem is afhankelijk van zijn fysische eigenschappen, textuur en structuur.

Bodemtextuur verwijst naar de korrelgrootteverdeling. De textuur van een bodem wordt bepaald door het gehalte aan klei, leem en zand. Bovendien bevatten bijna alle bodems een deel organisch materiaal, hoofdzakelijk in de toplaag. Dit organisch materiaal samen met de fijne bodemdeeltjes, dragen bij tot aggregaatvorming wat resulteert in de verbetering van de bodemstructuur.

Onder bodemstructuur wordt de onderlinge schikking van de bodemdeeltjes, zowel enkelvoudig als onder aggregaatvorm, verstaan. Deze schikking kan de invloed van de textuur op lucht en vochthuishouding, beschikbaarheid van nutriënten, wortelgroei, microbiële activiteit, enz., wijzigen. De grootte, de vorm en de schikking van de bodempartikels en de daardoor gevormde leegtes bepalen de capaciteit van de bodem om water vast te houden. Grote poriën zijn in staat om meer water sneller te geleiden dan kleine poriën en bovendien zal het verwijderen van water uit grote poriën makkelijker zijn en minder energie vragen dan wanneer men water uit kleine poriën wil verdrijven.

De hoeveelheid water door de bodem vastgehouden bij hoge drukhoogten hangt in de eerste plaats af van de geometrie van de bodem en wordt aldus in hoge mate beïnvloed door de bodemstructuur. Bij lagere drukhoogten wordt het water hoofdzakelijk vast gehouden door adsorptiefenomenen en zal dus voornamelijk beïnvloed worden door de textuur en het specifiek oppervlak van het

bodemmateriaal. Hieruit mag duidelijk blijken dat de vocht karakteristiek in hoge mate zal bepaald worden door de textuur. Hoe groter het kleigehalte hoe groter het vochtgehalte bij een welbepaalde drukhoogte en hoe geleidelijker het verloop van de curve. In een zandige bodem zijn de meeste poriën relatief groot en vaak heel wat van gelijke diameter. Eens deze geleidigd bij een welbepaalde drukhoogte blijft er maar een geringe hoeveelheid water achter. In een kleigrond is de poriënverdeling uniformer zodat bij afnemende drukhoogte er slechts een geleidelijke afname in vochtgehalte optreedt. Zoals we verder zullen zien wordt in de kleigronden meer dan de helft van het water zo sterk vastgehouden dat het niet door de planten kan opgenomen worden. Stel tijdens een hevige regenbui of irrigatie wordt de bodem verzadigd met water terwijl er terzelfder tijd drainage optreedt. Op dat ogenblik bereikt de bodem zijn maximale waterophoudend vermogen. De drukhoogte is hoog en benadert deze van zuiver en vrij water t.t.z. een waarde gelijk aan nul. Na de regenbui of irrigatie en waarbij evaporatie verhinderd wordt zal drainage van water verder doorgaan in gevolge de hydraulische potentiaalgradiënt, hoofdzakelijk van gravitaire aard. Na twee tot drie dagen wordt deze drainage verwaarloosbaar en de bodem bereikt dan een vochttoestand welke gekenmerkt wordt als veldcapaciteit. Op dat ogenblik is het water uit de macroporiën weg gedraineerd en vervangen door lucht. Het water dat nu nog in de bodem aanwezig is wordt vastgehouden tegen de zwaartekracht in, in wat men de microporiën noemt. Deze poriën bergen het voor de planten nodige water. De heersende matrixpotentiaal bij veldcapaciteit kan variëren van bodem tot bodem maar schommelt meestal tussen -0,1 bar (zandgrond) tot -0,3 bar (leemgrond). Waterbeweging zal verder plaats hebben doch de snelheid waarmede deze optreedt in de microporiën is zeer langzaam. In gevolge optredende evapo(transpi)ratie kan de bodem verder uitdrogen en zal tegelijkertijd de drukhoogte van het overblijvende bodemwater afnemen. Deze drukhoogte kan met de tijd zo laag komen dat de plant blijvend gaat verwelken en dus afsterven. Het water is zo sterk door de bodem vastgehouden dat dit niet meer voor de plant beschikbaar is. De matrixpotentiaal onder deze omstandigheden vertoont voor de meeste gewassen een waarde van ongeveer -18 bar. Het vochtgehalte bij deze potentiaal wordt het verwelkingspunt genoemd. Het water bevindt zich voornamelijk als waterfilmen rond de individuele bodemdeeltjes. In sommige bodems blijkt nog heel wat water bij het verwelkingspunt aanwezig te zijn in de bodem, doch is het voor de planten niet meer beschikbaar. De hoeveelheid vocht aanwezig tussen de veldcapaciteit en het verwelkingspunt wordt vaak het beschikbaar vocht genoemd. Echter is het meestal zo dat dit water niet allemaal even gemakkelijk beschikbaar is voor de planten. In de meeste situaties zal een optimale groei van de gewassen slechts verzekerd zijn bij vochtgehalten tussen veldcapaciteit en dit bij een matrixpotentiaal van -1 bar.

## 2 DEFINITIES

- vochtgehalte: de hoeveelheid water per eenheid van massa (gravimetrisch vochtgehalte) of volume (volumetrisch vochtgehalte) van de bodem.
- bodempotentiaal: de potentiaal van het bodemwater wordt gedefinieerd als de energie die noodzakelijk is om het bodemwater uit de bodem te kunnen verdrijven. De totale potentiaal van het bodemwater t.o.v. deze op het referentieniveau wordt gegeven door de som van de deelpotentialen, namelijk door de som van de matrixpotentiaal, de zwaartekrachtpotentiaal, de osmotische potentiaal, de externe gasdrukpotentiaal en de hydrostatische drukpotentiaal. Voor de studie van de waterbeweging in een onverzadigde bodem zal de osmotische potentiaal nooit als compensatie voor een verschil in één van de andere deelpotentialen optreden gezien het verschil in osmotische potentiaal door diffusie zal te niet gedaan worden. De externe gasdrukpotentiaal in het bodemprofiel mag gelijk genomen worden aan de heersende atmosferische druk en de hydrostatische drukpotentiaal treedt slechts op onder de grondwatertafel. Dit alles maakt dat voor het bepalen van de bodempotentiaal slechts rekening dient gehouden te worden met de matrix- en de zwaartekrachtpotentiaal. De som van beide deelpotentialen wordt de hydraulische potentiaal (of hydraulische hoogte) genoemd. Ze wordt uitgedrukt als de som van de drukhoogte (h) en de plaatshoogte (z) in meters waterhoogte (m).
- Zwaartekrachtpotentiaal: ieder lichaam op aarde is onderhevig aan de zwaartekracht. De zwaartekrachtpotentiaal van een watermassa wordt bepaald door de verticale afstand tussen het referentiepunt (meestal het maaiveld) en het punt onder beschouwing en is dus onafhankelijk van de bodemeigenschappen. Ze wordt uitgedrukt als de plaatshoogte (z) in meters waterhoogte (m).

- matrixpotentiaal: Het gedrag van het water in de bodem wordt in sterke mate bepaald door de bindingskrachten welke optreden tussen het water en de vaste bodembestanddelen. Dit is van groot belang omdat hierdoor de bodem water kan vasthouden tegen de werking van de zwaartekracht in. Naast de directe adsorptie binding van het water aan de vaste oppervlakten en de osmotische binding van het water in de elektrische dubbellaag zijn het voornamelijk de capillaire bindingen die instaan voor het vasthouden van het water in de bodemporiën. De matrixpotentiaal wordt uitgedrukt als de drukhoogte (h) in meters waterhoogte (m).
- vocht karakteristiek: De vocht karakteristiek is een grafische voorstelling van de verhouding tussen het vochtgehalte en de bodempotentiaal.
- pF-curve: De pF-curve is een grafische voorstelling van de verhouding tussen het vochtgehalte en de logaritmische functie van de bodempotentiaal.
- maximaal waterophoudend vermogen: De volledige verzadiging van de bodem, het punt waarbij drainage optreedt.
- veldcapaciteit: dit is de vochttoestand van de bodem waarbij al het water uit de macroporiën weg gedraineerd en vervangen is door lucht onder invloed van de zwaartekrachts potentiaal. Het water dat nog in de bodem aanwezig is wordt vastgehouden in wat men de microporiën noemt onder invloed van de matrixpotentiaal. Deze poriën bergen het voor de planten nodige water. De heersende matrixpotentiaal bij veldcapaciteit kan variëren van bodem tot bodem maar schommelt meestal tussen -0,1 bar (zandgrond) tot -0,3 bar (leemgrond).
- verwelkingspunt: Het water dat bij deze matrixpotentiaal nog aanwezig is in de bodem wordt zo sterk vastgehouden dat dit niet meer voor de plant beschikbaar is. Het water bevindt zich voornamelijk als waterfilmen rond de individuele bodemdeeltjes. De matrixpotentiaal onder deze omstandigheden vertoont voor de meeste gewassen een waarde van ongeveer -18 bar.
- beschikbaar vocht: De hoeveelheid vocht aanwezig tussen de veldcapaciteit en het verwelkingspunt.

### 3 PRINCIPE

Het bepalen van de vocht karakteristiek (pF-curve) is noodzakelijk bij de studie naar de beschikbare hoeveelheid water in de grond voor planten en bomen. Afhankelijk van het gewenste meetbereik wordt gebruik gemaakt van onderdruk of overdruk. Voor de bepaling van de vocht karakteristiek met behulp van onderdruk zijn ongestoorde monsters nodig. Deze worden gestoken in roestvrij stalen grondmonsterringen. Het volsteken van deze ringen gebeurt met monsterringhouders. In het laboratorium worden de monsters verzadigd en achtereenvolgens bij oplopende vochtspanningswaarden in evenwicht gebracht. De vochtspanningen worden verkregen door het aanleggen van een reeks onder- en overdrukken. Weging van het monster na iedere evenwichtinstelling geeft bij elke vochtspanning het bijbehorende vochtgehalte. In Figuur 1 worden enkele pF-curven voor verschillende bodems uitgezet.

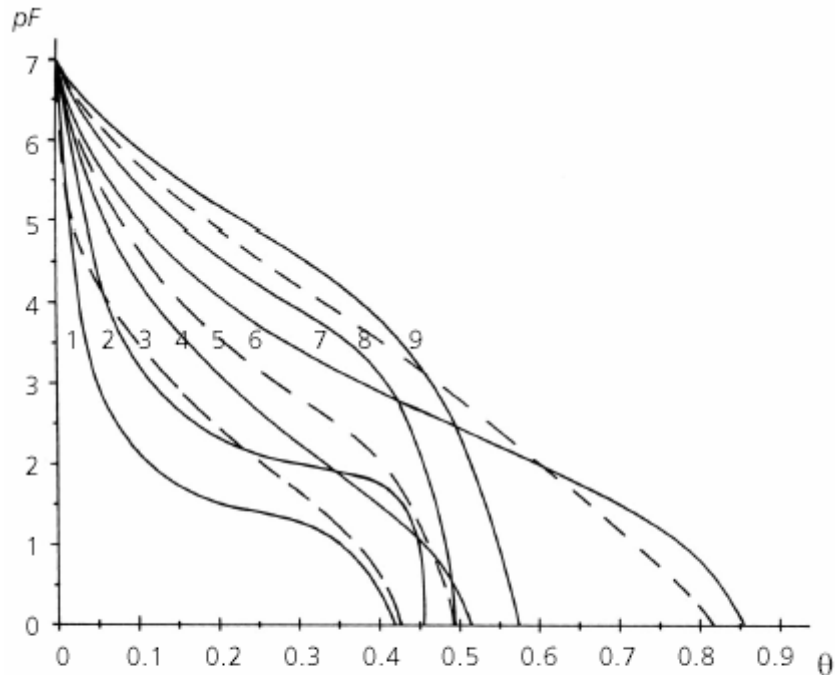


Figure 10. *pF-curves of several Dutch soil types.*

- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1: dune sand                  | 6: young oligotrophous peat soil |
| 2: loamy sand                 | 7: marine clay                   |
| 3: calcareous fine sandy loam | 8: eutrophous peat soil          |
| 4: calcareous loam            | 9: river basin clay              |
| 5: silt derived from loess    |                                  |

Figuur 1: pF-curves of several Dutch soil types.

#### 4 MONSTERBEHANDELING

Voor de bepaling van de vocht karakteristiek van bodemmonsters in het laboratorium wordt gebruik gemaakt van onverstoorde bodemmonsters in roestvrij stalen monsterringen (pF-ringen) of monsterbussen. Bemonstering kan plaats vinden aan het bodemoppervlak, in boorgaten en in profielkuilen. Steek de ringmonster zorgvuldig. Zorg er voor 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 APPARATUUR

Zie fabrikant.

**6 REAGENTIA**

Zie fabrikant.

**7 PROCEDURE**

Zie fabrikant.

**8 BEREKENINGEN**

In Tabel 1 wordt een voorbeeld weergegeven van de nodige berekeningen die men moet uitvoeren voor het opstellen van een pF-curve.

Sample number	Ring number	pF	Cm water column (potential in hPa)	Weight (g)						V = Volume of core ring = .....cm <sup>3</sup>											
				Wet weight (sample, ring, cloth, elastic) A	Dry weight (sample, ring, cloth, elastic) B	Weight of ring, cloth, elastic C	Weight of soil water D = A - B	Weight of dry soil E = B - C	Gravim. water content W = D / E	Bulk density (g / cm <sup>3</sup> ) $\rho_d = E / V$	Volum. Water content $\theta = w * P_d$										
		0,0	1,0																		
		0,4	2,5																		
		1,0	10																		
		1,5	31,6																		
		1,8	63,1																		
		2,0	100																		

Tabel 1: Voorbeeld berekenen en opstellen van een pF-curve

**9 REFERENTIES**

- Klute, A. Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods. SSSA Book Series:5. 1986
- “Gebruiksaanwijzing P1.80 “pF-bepalingmeters zandbakmethode” Eijkelkamp, 1997
- Prof. Dr. Ir. G. Hofman, Agrarische bodemkunde, Universiteit Gent, Faculteit van de Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Vakgroep Bodembeheer en –hygiëne.