

NOTA 1332

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

DE CAPILLAIRE EIGENSCHAPPEN VAN DE
GRONDEN IN HET WATERAANVOERGEBIED 'DE MONDEN'

ing. G.W. Bloemen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-middelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. DE CAPILLAIRE DOORLATENDHEDEN	3
2.1. Bepalings- en berekeningsmethoden	3
2.2. De overeenkomst tussen twee berekeningsmethoden	5
2.3. Vergelijking tussen verschillende afleidingen en directe metingen	6
2.4. De constanten voor de berekening van de capillaire doorlatendheid van 12 bemonsterde profielen	8
3. DE STIJGHOOGTE VAN CAPILLAIRE FLUXEN	9
3.1. Berekening van de constanten in verg. (5)	9
3.2. Stijghoogte van stationaire capillaire fluxen in 12 bemonsterde profielen	9
3.3. Classificatie op grond van capillaire eigenschappen van de onderscheidingen op de bodemkaart	13
3.4. Een indeling in eenheden met vergelijkbare capillaire eigenschappen	15
4. EFFECT VAN MENGWOELLEN	18
4.1. Voorbeelden van de invloed van storende lagen	18
4.2. Invloed van mengwoelen op capillaire doorlatendheid van zandlagen	20
4.3. Invloed van mengwoelen op de capillaire doorlatend- heid van veenlagen	22
4.4. Invloed van het mengwoelen op de capillaire eigen- schappen van de eenheden 4, 5 en 6 in tabel 3	24
LITERATUUR	28
BIJLAGEN	

1. INLEIDING

Met de capillaire eigenschappen van de gronden wordt zowel de capillaire doorlatendheid van, als de capillaire opstijging in de grond bedoeld. Eerstgenoemde eigenschap is primair want de tweede is een functie van de eerste. De capillaire doorlatendheid kan alleen voor homogene bodemlagen worden gegeven als een alleen van de vochtspanning afhankelijke grootte. Het berekenen van opstijging van capillaire fluxen in homogene bodemlagen is weinig zinvol omdat deze opstijging de gangbare laagdikten in natuurlijke bodemprofielen meestal zal overtreffen.

Hiertegenover staat dat niet meer kan worden gesproken van de capillaire doorlatendheid van een bodemprofiel dat is opgebouwd uit verschillende lagen. Hoogstens zou een gemiddelde kunnen worden berekend. De opstijging van capillaire fluxen is echter een gegeven van grote praktische betekenis in een bodemprofiel dat is opgebouwd uit verschillende bodemlagen van beperkte dikte.

In de volgende paragrafen worden beide aspecten van de capillaire eigenschappen van de gronden in 'De Monden' behandeld. De capillaire doorlatendheden worden berekend voor de bodemlagen, die onderscheiden zijn in de 12 profielen waarvan opbouw en lokatie door VEERMAN (1982) zijn gegeven. De stijghoogten van capillaire fluxen in de 12 bodemprofielen worden berekend tot een grondwaterdiepte van 2 meter. Dan worden de onderscheidingen op de bodemkaarten van de Stichting voor Bodemkartering geklassificeerd volgens hun capillaire eigenschappen volgend uit bodemtype en grondwatertrap en er volgt een indeling in eenheden met vergelijkbare capillaire eigenschappen, die uitsluitend steunt op bodemkundige gegevens. Tenslotte wordt getracht om aan te geven, wat de effecten van grondverbetering zullen zijn voor de capillaire eigenschappen van de daarvoor in aanmerking komende gronden.

Alle stijghoogteberekeningen gaan uit van de veronderstelling dat de capillaire stroming stationair is, dat wil zeggen dat er geen verandering optreedt in het vochtspanningsverloop in het profiel.

2. DE CAPILLAIRE DOORLATENDHEDEN

2.1. Bepalings- en berekeningsmethoden

De capillaire doorlatendheden zijn op verschillende manieren bepaald, namelijk:

- a. Door directe meting van de vochtspanningen op verschillende diepten in een grondkolom en de gewichten hiervan tijdens geforceerde verdamping aan de bovenkant. Deze methode is beschreven door BOELS e.a. (1978). Tegelijkertijd wordt de pF-curve bepaald.
- b. Door berekening met de door BROOKS en COREY (1964) afgeleide machtsfunctie:

$$k = k_s \left(\frac{h_a}{h} \right)^{n_d} \quad h > h_a \quad (1)$$

waarin k_s de verzadigde doorlatendheid voorstelt, h_a de vochtspanning is waarbij tijdens uitdroging vanuit verzadiging de wijdeste doorlopende poriën hun capillaire water verliezen en n_d de snelheid voorstelt waarmee k vanaf k_s afneemt als h vanaf h_a toeneemt. k_s moet worden gemeten en h_a en n worden uit pF-curven afgeleid door h uit te zetten tegen de effectieve verzadiging S_e . Hiervoor geldt:

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} \quad (2)$$

waarin $S = \theta/\theta_s$ en S_r is het deel van het poriënvolume, dat bestaat uit doodlopende of geïsoleerde poriën en niet bijdraagt aan de vochtstroom in de grond. S_r wordt gevonden door grafisch vast te stellen bij welke waarde de samenhang tussen $\log h$ en $\log S_e$ (als $h > h_a$) het dichtst een rechte benadert. De helling van deze rechte is:

$$\lambda = \frac{d \log S_e}{d \log h} \quad (3)$$

en voor n_d in verg. (1) geldt nu dat:

$$n_d = 2 + 3\lambda \quad (4)$$

Voor de constante in verg. (4) werd door BLOEMEN (1980a) de waarde 1,4 in plaats van 2 voorgesteld. h_a kan worden bepaald als de h -waarde die volgens de samenhang tussen $\log h$ en $\log S_e$ behoort bij $S_e = 1$.

- c. Door berekening met verg. (1), waarbij de waarden van de constanten k_s , h_a en n_d worden berekend op basis van hun empirische relaties met textuureigenschappen en humusgehalte van minerale bodemlagen (BLOEMEN, 1980a) en met de dichtheid en het volume vaste bestanddelen van veenlagen (BLOEMEN, 1982). Ook bij deze methode is rekening gehouden met een minimale waarde voor n van 1,4. Om aan de berekende capillaire doorlatendheden een zo groot mogelijke praktische betekenis te geven is de invloed van hysteresis hierop zo goed mogelijk verantwoord door verg. (1) te veranderen in:

$$k = 0,5 k_s \left(\frac{h_a}{r \cdot h} \right)^{n_s} \quad (5)$$

waarin:

$$n_s = \log 2 \left(\frac{h_a}{h_o} \right)^{n_d} / \log \left(\frac{h_a}{r \cdot h_o} \right) \quad (6)$$

Voor de waarde van de factor r worden die van KUNTZE (1966) gebruikt. Deze zijn 4,5 voor zand, 3,1 voor laagveen, 1,9 en 3,4 voor hoogveen met een dichtheid van respectievelijk $< 0,1 \text{ g.cm}^{-3}$ en $> 0,1 \text{ g.cm}^{-3}$. h_o is de vochtspanning waarbij k verwaarloosbaar klein wordt en wordt geschat op 10^3 cm voor grof zand, 10^4 cm voor middelfijn en fijn zand, 10^5 voor klei en veen (BLOEMEN, 1980a).

2.2. De overeenkomst tussen twee berekeningsmethoden

Ten behoeve van het onderzoek in het gebied van De Monden zijn pF-curven met zandbak en membraanpers (STAKMAN e.a., 1969) bepaald voor 74 bodemlagen, verdeeld over 12 profielen. Voor 12 van deze lagen zijn de pF-curven ook bepaald tegelijk met de k- Ψ relatie met de verdampingsmethode, zoals beschreven door BOELS e.a. (1978). In bijlage 1 zijn deze 12 paren pF-curven weergegeven. Het blijkt dat de met de verdampingsmethode bepaalde pF-curven in sommige gevallen zeer onvolledig en feitelijk onbruikbaar is. In andere gevallen is de bepaling beter geslaagd maar in geen enkel geval geschikt voor de afleiding van de onbekenden in verg. (5), want gegevens bij hogere pF-waarden ontbreken vrijwel altijd. Juist deze gegevens zijn voor de succesvolle afleiding zoals bedoeld in par. 2.1 sub b van zo grote betekenis. De conclusie moet dan ook zijn dat de met de verdampingsmethode bepaalde pF-curven niet geschikt is om er met de methode van BROOKS en COREY (1964) de k-h relatie uit af te leiden.

De met zandbak en membraanpers bepaalde pF-curven (tot pF = 4,2) zijn blijkens Bijlage 1 goed bruikbaar om de constanten n en h_a in verg. (5) af te leiden zoals aangegeven in par. 2.1 sub b. Voor de bepaling van de kritische S_r -waarde en de daarbij behorende waarden van λ en h_a werd door de wiskundige afdeling van het ICW het RESSAT-computerprogramma ontwikkeld dat is gebaseerd op de niet-lineaire vereffeningsmethode van STOL (1975). De toepassing van dit programma heeft de consequentie dat moet worden geschat waar ongeveer h_a ligt aangezien de waarde hiervan niet met de pF-curve wordt bepaald.

Tussen de uit de pF-curven afgeleide n-waarden (= n) en die, berekend uit textuur en humusgehalte zoals bedoeld in par. 2.1 sub c (= n') bestaat nu, bij een minimale waarde voor beide grootheden van 1,4, een samenhang die beschreven kan worden als:

$$n' = 1,4 + 1,23(n - 1,4) \quad (r = 0,933)$$

Het blijkt dat de uit textuur en humusgehalte afgeleide n-waarden hoger zijn dan de uit de pF-curve afgeleide n-waarden. Dit is in sterkere mate het geval als de n-waarden hoger worden. Ondanks dat

is de overeenkomst gemiddeld vrij goed.

Dit kan niet gezegd worden van de overeenkomst tussen uit textuur afgeleide waarden van h_o en k_s en die uit pF-curve afgeleide respectievelijk gemeten waarden. In beide gevallen bestaat geen significante samenhang.

Het is nu een boeiende vraag geworden in hoeverre k-h relaties bepaald op basis van textuur en humusgehalte of van de pF-curve met elkaar en met directe metingen zullen overeenkomen.

2.3. Vergelijking tussen verschillende afleidingen en directe metingen

Van de 14 monsters waaraan metingen met de verdampingsmethode zijn verricht heeft de helft geen bruikbare resultaten opgeleverd. Van 7 monsters zijn de meetresultaten weergegeven in fig. 1. Een aantal metingen, die door meettechnische oorzaken een systematische fout hebben en veel te hoge k-waarden opleverden (pers.meded. Boels, Veerman) zijn niet in de figuren opgenomen.

Eveneens in fig. 1 zijn verschillende curven getekend. In de eerste plaats zijn dit de curven die voor de betreffende lagen kunnen worden berekend met verg. (5) als de waarden van de constanten k_s , h_a en n_s worden berekend op grond van textuur en humusgehalte. In de tweede plaats zijn dit de curven, eveneens berekend met verg. (5) als de waarden van de constanten h_a en n worden afgeleid uit de pF-curven, terwijl gemeten k_s -waarde wordt gebruikt. Het blijkt nu dat uit textuur en humusgehalte berekende k-h relaties meestal een redelijk tot zeer goede overeenkomst vertonen met de k-metingen en dat dit in mindere mate geldt voor de uit de pF-curven berekende k-h relaties.

In het geval van fig. 1d, waarin beide berekende curven gemiddelde ongeveer 10 x te hoge k-waarden geven zijn de metingen verricht in een niet homogeen monster, waarin nog een deel van de sterk verkitten waterhardlaag voorkomt (pers.meded. Veerman).

De fig. 1a tot en met g (fig. 1d uitgezonderd) geven een belangrijke steun aan de in par. 2.1 sub c bedoelde methode. Daardoor is ook voor de berekening van de capillaire stijghoogten in de 12 be-

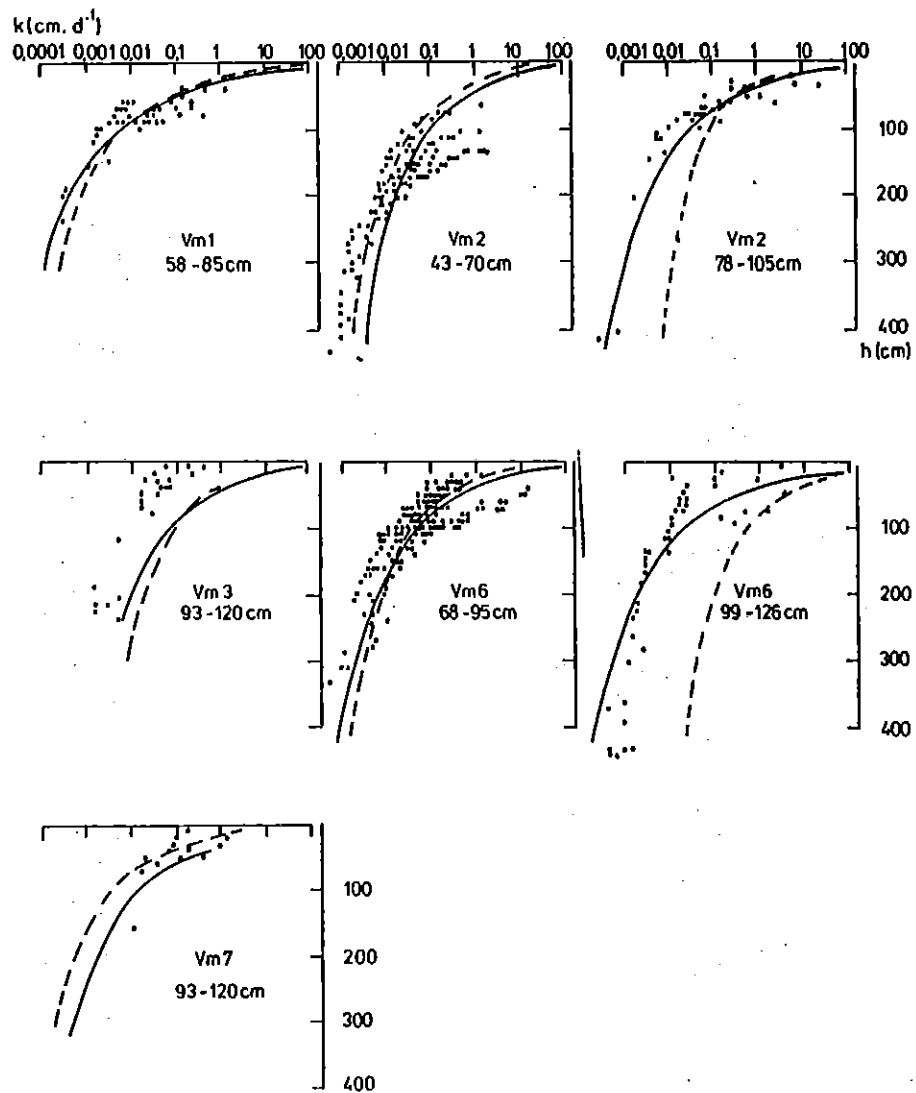


Fig. 1. Vergelijking tussen directe metingen en verschillende afleidingen van k-h relaties

- directe metingen
- volgens textuur en humusgehalte
- - - volgens pF-curve

monsterde bodemprofielen en in de profieltypen op de bodemkaarten van de Stichting voor Bodemkartering de toepassing van deze methode veel aanvaardbaarder geworden. In hoeverre dit geldt voor de veenlagen in de profielen is niet te voorspellen want in veenlagen werden geen directe metingen verricht.

2.4. De constanten voor de berekening van de capillaire doorlatendheid van 12 bemonsterde profielen

Alle beschikbare gegevens van de 12 bemonsterde profielen zijn verschaft door VEERMAN (1982, bijlage). Voor de berekening van de capillaire doorlatendheden zijn de uit de granulaire samenstelling berekende M_d -cijfers en korrelgrootteverdelingsindexen f van belang, evenals de humusgehalten van de minerale bodemlagen. Voor de veenlagen zijn de droge volumegewichten en het volume van de vaste bestanddelen van belang. In bijlage 2 zijn de uit deze basisgegevens berekende waarden van de constanten $0,5 k_s$, h_a/r en n_s in verg. (5) gegeven voor de in de 12 profielen bemonsterde diepten. Voor iedere gewenste vochtspanning h kan nu de capillaire doorlatendheid k direct worden berekend.

Uit de cijfers in bijlage 2 blijkt dat het nodig is dat bemonsterd wordt tot op de diepte van het grondwater, die van actueel belang is. In alle profielen ondergaat namelijk de ondergrond, dieper dan de voor profielbeschrijving gebruikelijke boor- en bemonsteringsdiepten van 100 à 120 cm, een wezenlijke en ongunstige verandering. Dit blijkt uit de toenemende waarden van n_s als gevolg van een eenzijdiger korrelgrootteverdeling en een afnemend humusgehalte.

3. DE STIJGHOOGTE VAN CAPILLAIRE FLUXEN

3.1. Berekening van de constanten in verg. (5)

Voor de berekeningen van de stijghoogte van stationaire fluxen als functie van de vochtspanning is gebruik gemaakt van het computerprogramma CRISP, dat is beschreven door BLOEMEN (1980b). Dit programma berekent de capillaire stijghoogte in gelaagde bodemprofielen uit de constanten in verg. (5) voor de afzonderlijke bodemlagen, in combinatie met de dikte van deze lagen en de hoogte ervan boven een gegeven grondwaterdiepte. De constanten in verg. (5) werden berekend op basis van textuur en humusgehalte van minerale bodemlagen en op basis van dichtheid en volume vaste bestanddelen van veenlagen. De redenen hiervoor zijn:

1. Functies, die berekend kunnen worden uit directe metingen geven onvoldoende basisgegevens omdat er van slechts 7 bovenlagen uit de 12 bemonsterde profielen bruikbare metingen zijn.
2. Bemonstering voor directe $k(h)$ metingen en voor de bepaling van pF-curven is niet dieper gegaan dan ± 120 cm onder maaiveld. Granulair analyses zijn tot op een diepte van 190 cm uitgevoerd.
3. De uit textuur en humusgehalte bepaalde $k-h$ functies vertonen goede overeenkomst met de beschikbare metingen. Met deze methode kunnen voor alle minerale bodemlagen in de bemonsterde profielen tot op een diepte van 190 cm de constanten in verg. (5) berekend worden.
4. Van de veenlagen in de bemonsterde profielen zijn helemaal geen metingen beschikbaar. De constanten in verg. (5) kunnen echter berekend worden op grond van de dichtheid en het volume vaste bestanddelen, zoals aangegeven door BLOEMEN (1981).

3.2. Stijghoogte van stationaire capillaire fluxen in 12 bemonsterde profielen

Voor de berekening van de capillaire stijghoogten in de 12 bemonsterde profielen zijn de in bijlage 2 gegeven waarden voor de constanten in verg. (5) gebruikt.

Aangenomen is dat de profielen bestaan uit een pakket homogene

bodemlagen, die in elkaar overgaan halverwege tussen de in bijlage 2 opgegeven bemonsteringsdiepten.

Het blijkt nu dat er grote verschillen bestaan in de capillaire stijghoogten in de verschillende profielen. Deze zijn echter groten-deels verdwenen als de grondwaterstand is gezakt tot in de meestal tamelijk grofzandige en leemarme ondergrond.

Het onderscheid tussen de profielen is tot uitdrukking gebracht in fig. 2. Hierin is aangegeven hoe bij toenemende grondwaterdiepte de stationaire capillaire flux afneemt, die de onderkant bereikt van de bovenste laag, die meestal wel als de bewortelingszone kan worden beschouwd. Aangenomen is dat de vochtspanning aan de onderkant van deze laag toeneemt vanaf een evenwichtstoestand bij de voorjaars-grondwaterstand tot 750 cm bij een grondwaterdiepte van 200 cm onder maaiveld; en dat deze toename rechtlijnig is als vochtspanning en grondwaterdiepte logaritmisch worden uitgezet.

Gegevens over de werkelijke samenhang tussen toenemende vochtspanning en dalende grondwaterstand ontbreken. Modelberekeningen, die onder andere gebaseerd zijn op functies voor de berekening van $k(h)$ die ook in fig. 2 zijn verwerkt, zullen inzicht kunnen verschaffen over het werkelijk beloop van de vochtspanning en van de grootte van de capillaire fluxen. De bedoeling van fig. 2 is slechts om een schatting van, en een vergelijking tussen de capillaire eigenschappen van de

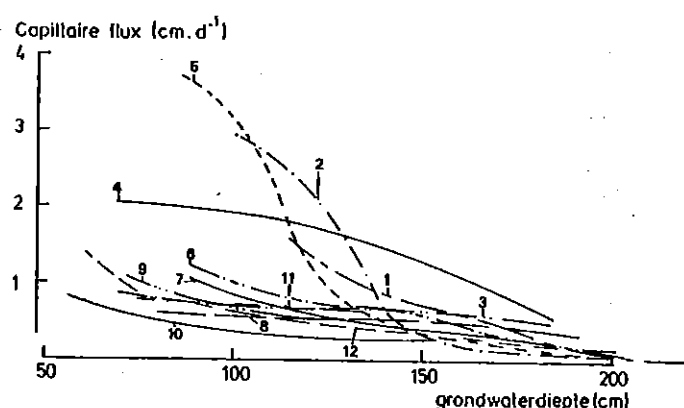


Fig. 2. Samenhang tussen de capillaire flux die de wortelzone bereikt en de grondwaterdiepte in 12 bemonsterde profielen

12 profielen te maken. De lijnen geven het verloop van de capillaire flux vanaf een grondwaterdiepte w_1 , die 20 cm lager is dan de voorjaarsgrondwaterstand. Deze is berekend uit de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstand (GHG en GLG) zoals aangegeven door VAN HEESSEN en VAN DER SLUYS (1974). De lijnen in fig. 8 geven slechts een indruk van de hoofdzaken. Getalmatige vergelijking is mogelijk door berekening van de gemiddelde flux $\bar{v}$ tussen grondwaterdiepten w_1 en w_2 , berekend als:

$$\bar{v} = \int_{w_1}^{w_2} v \cdot dw / w_2 - w_1 \quad (7)$$

De moeilijkheid om functies voor de curven in fig. 2 te geven kan worden ontlopen door meting van de oppervlakten tussen w_1 en w_2 die door de curven worden begrensd.

In tabel 1 zijn de waarden van $\bar{v}$ opgegeven, evenals de berekende gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en de grenzen w_1 en w_2 . $\bar{v}$ is steeds berekend over een grondwaterstandsval van 100 cm, dus $w_2 = w_1 + 100$ cm. De bodemkundige beschrijving volgt uit de ligging op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000.

Tabel 1. Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), gemiddelde stationaire capillaire flux ($\bar{v}$)

nr	GVG	w_1	w_2	$\bar{v}$	Bodemtype
1	100	120	220	0,55 Hn	Veldpodzolgrond
2	84	104	204	0,86 iWp	moerige podzolgrond met veenkoloniaal dek
3	52	72	172	0,72 iWp	
4	50	70	170	1,66 iWp	
5	66	86	186	1,25 iWp	
6	74	94	194	0,63 iWz (zie boven)	veengrond met veenkoloniaal dek op zand zonder humuspodzol, < 120 cm
7	72	92	192	0,47 iVz	
8	60	80	180	0,57 iVz	
9	52	72	172	0,56 iWp (zie boven)	
10	36	56	156	0,41 zVc	meerveengrond op veen
11	64	84	184	0,65 zVz	meerveengrond op zand, < 120 cm
12	44	64	164	0,59 iVz (zie boven)	

Uit tabel 1 blijkt dat uit de bodemkundige beschrijving van de 12 bemonsterde profielen niet veel valt te verklaren over de grootte van $\bar{v}$. Dit is niet zo vreemd, want er zijn veel factoren die niet in deze beschrijving tot uiting komen. De slechte klassering van profiel nr 1, een moerige eerdgrond is een direct gevolg van de diepe grondwaterstanden in dit profiel. Het grote verschil met profiel nr 2, een moerige podzolgrond is voor een deel het gevolg van minder diepe grondwaterstanden, maar voor een groter deel van de lemigheid van profiel nr 2. De zeer goede moerige podzolgronden (nrs 4 en 5) hebben gunstigere grondwaterdiepten, profiel nr 4 is bovendien sterk lemig. Dit blijkt uit fig. 3 waarin enige duidelijke profielkenmerken grafisch zijn weergegeven. Er volgt uit dat de best geklasseerde veengrond, dat is profiel nr 4, de dunste veenlaag heeft.

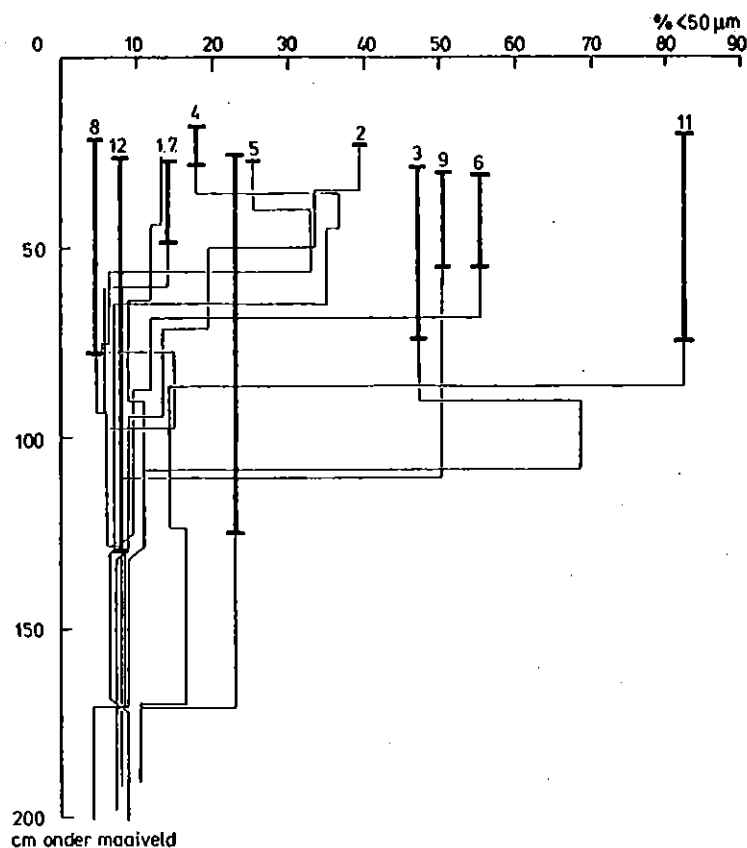


Fig. 3. De dikte van de bovengrond, de veendikte en het verloop van de lemigheid van de 12 bemonsterde profielen

Dikke veenlagen gaan gepaard met een slechte klassering want als gevolg van de over het algemeen slechte capillaire doorlatendheden van het veen neemt bij grotere dikte van de veenlaag het capillair vermogen van het veenprofiel sterk af. In par. 4.1 wordt hierop nader ingegaan. Uit de lage waarde van $\bar{v}$ van profiel nr 7, met een geringe veendikte en een leemarme ondergrond blijkt overigens dat de lemigheid van de ondergrond ook van grote betekenis zal zijn. In het algemeen is ook de grondwaterdiepte van belang. Gronden zonder veenlaag, waarvan de capillaire doorlatendheden veel groter zullen zijn dan van veengronden zullen bij te diepe grondwaterstanden geen groter capillair vermogen hebben dan menig veenprofiel met veel hogere grondwaterstanden.

Verder zijn er andere factoren, zoals de korrelgrootteverdeling van het zand of de dichtheid van het veen, die in fig. 3 niet maar in fig. 2, en dus in de grootte van $\bar{v}$, wel tot uitdrukking zijn gekomen.

3.3. Classificatie op grond van capillaire eigenschappen van de onderscheidingen op de bodemkaart

Behalve over de bodemkundige gegevens van de 12 bemonsterde profielen kan beschikt worden over die van de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000. Het betreffende gebied ligt verdeeld over de kaartbladen 120, 13, 170 en 18. Er komen 13 bodemtypen in voor. Ze zijn in tabel 2 vermeld met de code en beschrijving volgens de toelichtingen op de bodemkaarten. Voor verdere bijzonderheden wordt hier naar verwezen. Sommige bodemtypen komen met meer dan één grondwatertrap voor, zodat 22 onderscheidingen ontstaan. Voor de berekening van de stijghoogte van capillaire fluxen in deze eenheden is van belang:

1. de dikte van moerige lagen respectievelijk veenlagen;
2. de dichtheid van deze lagen;
3. het wel of niet voorkomen van een gliedelaag of een meerbodemlaag;
4. de aard van deze lagen;
5. de textuur van de zandondergrond;
6. de grondwatertrap.

Over de punten 1, 3 en 6 geeft de bodemkaart informatie. Over de punten 2 en 5 werd de noodzakelijke informatie geput uit de gegevens van de 12 bemonsterde profielen. Op grond van de geologische kaart van Nederland werd een smalle strook langs de westgrens van het gebied onderscheiden, waar de grofzandige hellingafzettingen langs de Hondsrug voorkomen. Voor punt 4 werden door de Stichting voor Bodemkartering verstrekte gegevens gebruikt.

Voor de 23 onderscheidingen op de bodemkaart zijn de stijghoogte van stationaire capillaire fluxen vanuit dalende grondwaterniveaus berekend, zoals is beschreven in par. 3.2. De gemiddelde flux $\bar{v}$, die de bovenste laag van de profielen bereikt, is opgegeven in tabel 2.

Tabel 2. In 'De Monden' voorkomende onderscheidingen op de bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, met de gemiddelde stationaire capillaire flux $\bar{v}$, zoals berekend volgens verg. (7)

Bodemkundige onderscheiding		GT	$\bar{v}$ mm.d ⁻¹
aVc	madeveengronden op zeggeveen, rietzeggeveen of broekveen	III	0,77
aVz	madeveengronden op zand zonder humuspodzol, < 120 cm	III	0,56
zVc	meerveengronden op zeggeveen, rietzeggeveen of broekveen	II	0,50
zVz	meerveengrond op zand zonder humuspodzol, < 120 cm	II	0,55
zVz	idem	III	0,48
iVc	veengronden met veenkoloniaal dek op zeggeveen, rietzeggeveen of broekveen	III	0,55
iVz	veengronden met veenkoloniaal dek op zand zonder humuspodzol, < 120 cm	III	0,69
iVz	idem	V	0,51
iVp	veengronden met veenkoloniaal dek op zand, met humuspodzol, < 120 cm	III	0,62
iVp	idem	V	0,51
iWp	moerige podzolgronden met veenkoloniaal dek en een moerige tussenlaag	V	0,68
iWp	idem	VI	0,54
iWp	idem	VII	0,29
vWz	moerige eerdgronden met een moerige bovengrond op zand	III	0,90
zWz	moerige eerdgronden met een zanddek en een moerige tussenlaag op zand (grofz. hellingafz.)	VI	0,39
iWz	moerige eerdgronden met een veenkoloniaal dek en een moerige tussenlaag op zand	III	0,68
iWz	idem	V	0,32
iWz	idem	VI	0,27
H _n 21	veldpodzolgronden	V	1,62
H _n 21	idem	VI	0,92
H _n 21	idem	VII	0,44
Z _n	gooreerdgronden	V	1,60

Op grond van de grootte van $\bar{v}$ is een indeling gemaakt in 8 klassen, waarvan de verbreiding is aangegeven op bijlage 3. Hieruit blijkt dat in de oostelijke helft van het gebied de gronden met de slechtste capillaire eigenschappen voorkomen. Het betreft hier het bodemtype iWz met grondwatertrap V. Alleen de smalle strook met het type zWz langs de westgrens van het gebied is even slecht. Dit is het gevolg van de grofzandige hellingafzettingen waarin dit profiel is ontstaan. Het sterk aan iWz verwante bodemtype iWp met grondwatertrap V is beter want het heeft dunnere veenlagen dan iWz en staat dus wat dicht-ter bij de veldpoldzolgronden. Deze en de gooreerdgronden (H_n en Z_n) hebben goede capillaire eigenschappen als de grondwaterstanden niet te laag zijn. De diepe veengronden in de stroomdalen zijn beter dan de moerige eerdgronden zWz en iWz ondanks de grote veendikte. Dit is weer het gevolg van de veel gunstiger grondwatertrap, die voor deze gronden geldt.

De nadruk moet erop worden gelegd dat de classificatie op bijlage 3 uitsluitend is gebaseerd op capillaire eigenschappen onder de geldende omstandigheden.

3.4. Een indeling in eenheden met vergelijkbare capillaire eigenschappen

Om de bodemkundige variatie in het gebied te kunnen opnemen in modelberekeningen, moet een samenvatting tot stand komen tot bodemkundige eenheden met vergelijkbare parameters voor de stijghoogte van capillaire fluxen. Dit zijn behalve de constanten in verg. (5) voor voorkomende bodemlagen ook de opeenvolging en de dikte hiervan. Grondwatertrappen zijn niet meer van belang omdat het bij modelberekeningen om simulaties van de grondwaterdiepte zal gaan. Voor het overige is toelaatbare vereenvoudiging gewenst om de omvang van de modelberekeningen te beperken. Dit kan omdat sommige onderscheidingen op de bodemkaart voor het doel niet relevant zijn. Dit is het geval met de aard van de bovengrond omdat bij de gangbare modellen de capillaire flux, die de bovengrond bereikt, wordt berekend. Ook is het onderscheid tussen madeveengrond, meerveengrond en veengrond niet relevant omdat hieruit niets blijkt over de dichtheid van het veen. De indeling van tabel 2

wordt dus al sterk vereenvoudigd en de indeling die overblijft ver-
toont een sterke overeenkomst met die volgens de globale grondver-
beteringskaart (Stiboka, ICW, 1975). Deze geeft in het betreffende
gebied 7 onderscheidingen. De indeling voor de modelberekeningen
heeft in eerste instantie 9 onderscheidingen omdat ook met de diepere
zandondergrond (tot 2 m-mv) is rekening gehouden. Deze is oostelijk
van de op de bodemkaart aangegeven grens van het veenkoloniaal gebied
wat grofzandiger dan westelijk daarvan, terwijl langs de westelijke
gebiedsgrens een smalle strook met een grofzandige ondergrond voor-
komt. De volgende onderscheidingen blijven nu over, met de beschrij-
ving volgens de globale grondverbeteringskaart en de code volgens de
bodemkaart, schaal 1:50 000:

- | | | |
|---|---------------------------------|----|
| 1. zeer diepe veengronden in stroomdalen | | |
| 1a westelijk van veenkoloniaal gebied | zVc, aVc | 1 |
| 1b in veenkoloniaal gebied | iVc | 2 |
| 2. matig diepe en diepe veengronden in stroomdalen | aVz, zVz | 3 |
| 3. matig diepe dalgronden met gliedelaag of meer meerbodemplaat | iVz, iVp | 4 |
| 4. ondiepe meerbodemplaatgronden | | |
| 4a in veenkoloniaal gebied | iWz | |
| 4b westelijk van veenkoloniaal gebied | iWz | 5 |
| 4c met grofzandige hellingafzettingen | zWz | 6 |
| 5. moerige podzolgronden | iWp | 62 |
| 6. zandgronden | H _n , Z _n | 7 |

Hiervan is 4b qua oppervlakte te verwaarlozen, 4c beslaat ook een
klein oppervlak en kan bij 4a worden gerekend omdat de zandondergron-
den van beide bodemtypen wel een sterk verschillende gemiddelde kor-
relgrootte hebben, maar ook een zeer verschillende korrelgroottever-
deling, waardoor hun k-h relaties niet zo verschillend zijn. Uitein-
delijk blijven dus 7 onderscheidingen over. Nadat van enige sterk
verwante bodemlagen de dikten en de constanten in verg. (5) zijn
gemiddeld, blijft met de verder niet omschreven bovengrond een mini-
mum van 13 bodemlagen over, waaruit de 7 bodemeenheden zijn opgebouwd.
Tabel 3 geeft hiervan een overzicht. De verbreiding is weergegeven
in bijlage 3.

Tabel 3. Overzicht van de opbouw van de kaarteenheden op bijlage 4 uit 14 bodemlagen, met hiervoor de constanten voor de berekening van de capillaire doorlatendheden

Bodemlaag	Constanten verg. (5)			Kaarteenheden op bijlage 4						
	$0,5 k_s$	h_a/r	n_s	I	II	III	IV	V	VI	VII
	cm.d ⁻¹	cm	-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1 bovengrond		7,5	1,46	0-170	0-20	0-20	0-15	0-15	0-20	0-20
2 laagveen	+ 0,250 g.cm ⁻³	0,185	35	1,57	20-55	20-90		15-40	20-40	
3 idem	+ 0,230 g.cm ⁻³	0,26	26	1,62	55-135	60-130	42-65			
4 vast hoogveen	+ 0,175 g.cm ⁻³									
5 bolsterachtigveen	+ 0,140 g.cm ⁻³	0,44	24	1,86	20-60		15-42			
6 gliedelaag		2,24	10	1,86	130-140		65-75		40-50	
7 meerbodemiaag		1,45	48	1,41						
8 sterk lemig zand		2,825	27	1,41		90-100		40-45		
9 zwak lemig zand		57	8	1,81				45-55		20-45
10 idem		77	7	2,62	135-170	100-170				45-90
11 idem		80	6	2,20			75-92		50-80	
12 leemarm zand		80	8	3,67		>140	>92	>55	>80	>130
13 idem		90	7,5	3,46						90-130
		105	6	3,22	>170					

Zie lijst

ben. diepte
idem na. nergroede

20 25 20 25 20 20 20
40 10 40

Tabel 3. Overzicht van de opbouw van de kaarteenheden op bijlage 4 uit 14 bodemlagen, met hiervoor de constanten voor de berekening van de capillaire doorlatendheden

Bodemlaag		Constanten verg. (5)			Kaarteenheden op bijlage 4						
		0,5 k_s	h_a/r	n_s	I	II	III	IV	V	VI	VII
		cm.d ⁻¹	cm	-	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1 bovengrond		86	7,5	1,46	0- 17	0- 15	0- 20	0-15	0-15	0-20	0-20
2 laagveen	+ 0,250 g.cm ⁻³	0,185	35	1,57	17- 55		20- 90		15-40	20-40	
3 idem	+ 0,230 g.cm ⁻³	0,26	26	1,62	55-135	65-130		42-65			
4 vast hoogveen	+ 0,175 g.cm ⁻³										
5 bolsterachtigveen	+ 0,140 g.cm ⁻³	0,44	24	1,86		15- 65		15-42			
6 gliedelaag		1,45	48	1,41		130-140		65-75		40-50	
7 meerbodemiaag		2.825	27	1,41			90-100		40-45		
8 sterk lemig zand		57	8	1,81					45-55		20- 45
9 zwak lemig zand		77	7	2,62	135-170		100-170				45- 90
10 idem		80	6	2,20				75-92		50-80	
11 idem		80	8	3,67		>140		>92	>55	>80	>130
12 leemarm zand		90	7,5	3,46							90-130
13 idem		105	6	3,22	>170						

4. EFFECT VAN MENGWOELLEN

4.1. Voorbeelden van de invloed van storende lagen

Bodemverbetering door mengwoelen van de veenkoloniale gronden is onder andere gewenst door de aanwezigheid van profiellagen, die door hun slechte doorlatendheid waterstagnerend zijn. Deze lagen belemmeren echter ook de capillaire aanvoer vanuit het grondwater. Het gaat om:

1. vaste oude veenmosveenlagen
2. gliede- en meerbodemplagen
3. kazige lagen
4. oerbanken
5. waterhardlagen

Hiervan zijn de onder 3, 4 en 5 bedoelde lagen niet onverbrekelijk aan een profiel gebonden en de verspreiding ervan is niet op de bodemkaarten aangegeven. In fig. 2 of op bijlage 3 is de invloed ervan op het capillair vermogen van profielen dan ook niet verdisconteerd. Deze invloed kan echter van toenemend belang zijn naarmate van een laag in het profiel de doorlatendheidsfunctie ongunstiger is. In fig. 4 is de verklaring hiervoor schematisch gegeven. De stijghoogte van een capillaire flux v in samenhang met de vochtspanning is weergegeven voor profielen met en zonder een slecht doorlatende laag op verschillende hoogte z boven het grondwater. Doordat de gradiënt dh/dz , die nodig is om de flux v te handhaven in de slecht doorlatende laag veel groter is dan in de rest van het profiel, ontstaat in deze laag een zo grote toename van de vochtspanning dat bij gegeven vochtspanning de stijghoogte van de flux v veel kleiner is dan in het profiel zonder slecht doorlatende laag. Het is bovendien gemakkelijk te concluderen dat het verschil kleiner is naarmate de slecht doorlatende laag dichterbij het grondwater voorkomt. Dit is van belang voor de lagen waarvan de dikte minder zal variëren dan de hoogte boven het grondwater. Zo zal een waterhardlaag minder schadelijk zijn dan een oerlaag, die meestal hoger in het profiel voorkomt.

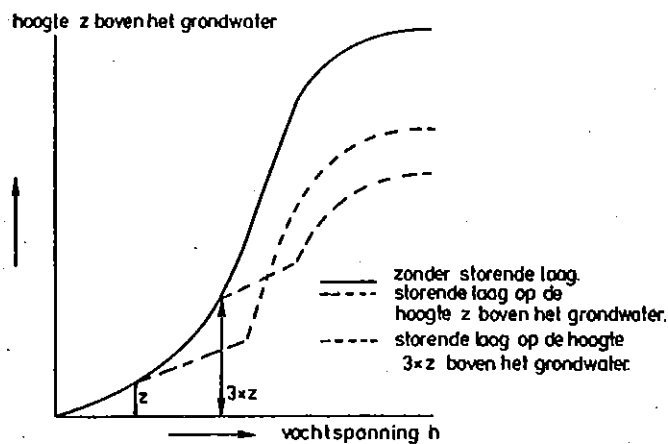


Fig. 4. Schematische voorstelling van de invloed van een storende laag op verschillende hoogte in het profiel op de stijghoogte van een capillaire flux v

In fig. 5 is op basis van de gegevens van profiel nr 2 (bijlage 2) weergegeven, hoe de capillaire flux, die de bovengrond bereikt, afneemt door de aanwezigheid van een 15 cm dikke slecht doorlatende laag ($k_s = 0,4 \text{ cm.d}^{-1}$) op toenemende hoogte boven het grondwater.

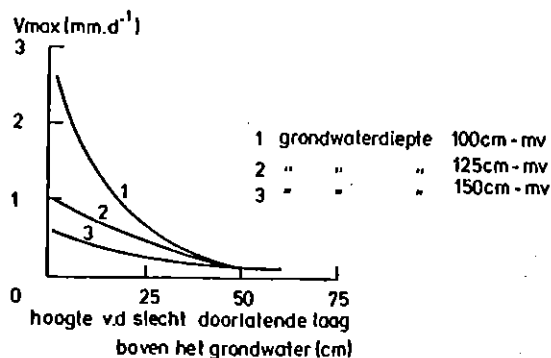


Fig. 5. Voorbeeld van het afnemen van de capillaire flux, die de bovengrond bereikt en de hoogte boven het grondwater van een 15 cm dikke slecht doorlatende laag

Op basis van de gegevens van profiel nr 7 (bijlage 2) is in fig. 6 weergegeven hoe bij een grondwaterdiepte van 120 cm de stijghoogte van een capillaire flux van 2 mm.d^{-1} verandert als de dikte van de veenlaag tussen 23 en 49 cm onder maaiveld, zou toenemen. Naarmate de veenlaag dikker is, is de stijghoogte kleiner maar blijft toch sterk beperkt. Bij de gegeven dikte van 26 cm is de 2 mm flux in staat om door te dringen tot de bovengrond.

Uit de twee voorbeelden blijkt wel dat het vaak de capillaire eigenschappen van een profiel zal verbeteren, als gemengwoeld wordt.

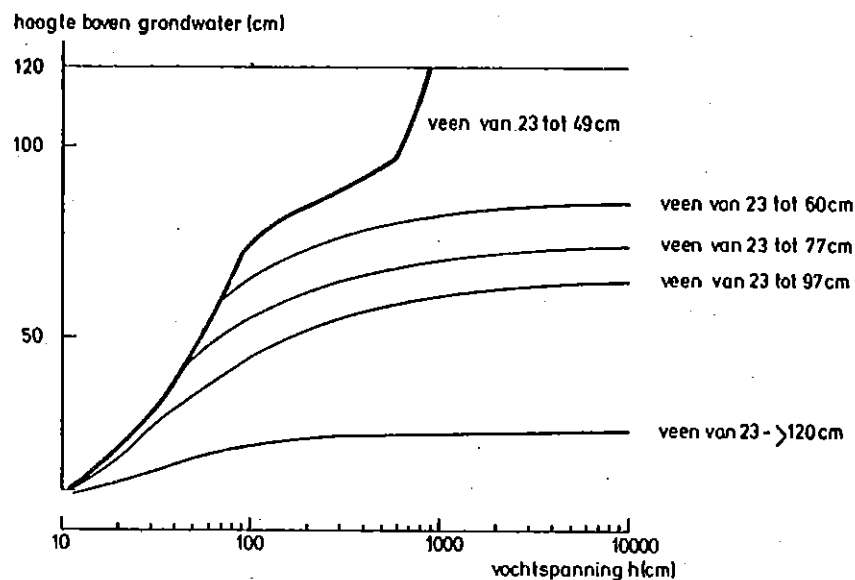


Fig. 6. De stijghoogte van een capillaire flux van 2 mm.d^{-1} in profiel nr 7 (bijlage 2) bij een grondwaterdiepte van 120 cm. De zware lijn geeft de feitelijke situatie weer

4.2. Invloed van mengwoelen op capillaire doorlatendheid van zandlagen

Directe metingen van het capillair geleidingsvermogen in gemengwoelde profielen zijn niet beschikbaar. Over k-waarden van de verschillende bodemlagen in natuurlijke ligging is voldoende bekend. Men zal dus k-waarden van de verstoorde lagen uit die van de ongestoorde lagen moeten afleiden. Er moeten daarom rekenfactoren bekend zijn, die de effecten van de verstoring voorstellen, hetzij direct op de

k-waarden, hetzij op de constanten in de vergelijking, waarmee de k-waarden worden berekend. Ook hierover is niet zoveel bekend, maar LALIBERTE and COREY (1967) hebben door metingen aangetoond dat door verstoring van de natuurlijke ligging van zand-, klei- en leemmonsters de constante n wordt vergroot met de factor 1,54. BLOEMEN (1980a, p. 587) vond door vergelijking van in de literatuur verschaft gegevens, dat n-waarden in ongestoorde en gestoorde monsters zich verhouden als 1:1,43. Bij het berekenen van de k-waarde van het door het mengwoelen aangeploegde zand zou men dus de n_d -waarden in verg. (1) met + 1,5 kunnen vermenigvuldigen, maar de voorkeur heeft bijvoorbeeld een factor 1,25 omdat een deel van het onmiddellijke effect van het mengwoelen door bezakking gauw zal zijn verdwenen.

Toename van n_d -waarden door mengwoelen betekent dat de poriëngrootteverdeling is veranderd. Hierdoor zullen ook de constanten k_s en h_a in verg. (1) veranderen want alle drie constanten zijn een functie van een index f, berekend uit de korrelgrootteverdeling en nauw samenhangend met de poriëngrootteverdeling. Uit de metingen van LALIBERTE en COREY (1967) blijkt dat k_s afneemt en h_a toeneemt.

Voor de aangeploegde zandondergrond kan de verandering van de n_d -waarden worden doorberekend naar de ermee samenhangende verandering van k_s en h_a , want uit de berekening van n_d uit de index f (BLOEMEN, 1980a verg. 11) blijkt dat de door het mengwoelen veranderde index f kan worden berekend als

$$f' = \frac{\ln(1,25 \cdot n_d - 1,4 + 4,536)}{4,536}$$

Nu kunnen de bij 1,25 $\cdot n_d$ behorende waarden van k_s en h_a opnieuw worden berekend als functie van f' in plaats van als functie van f. Daarna kunnen de waarden van n_s , $0,5 k_s$ en h_a/r na het mengwoelen weer worden berekend zoals in 2.1 sub c is aangegeven. Ze zijn voor de bij het mengwoelen betrokken zandondergronden opgegeven in tabel 4 in par. 4.3.

Voor de zandbovengrond is aangenomen dat de constanten door het mengwoelen niet veranderen.

Het blijkt nu dat door het mengwoelen de k-h relatie van zandlagen zodanig verandert dat de doorlatendheid lager is dan voor het mengwoelen als de vochtspanning tot slechts enige tientallen centimeters is toegenomen. In fig. 7 is dit als gemiddelde voor de bodemlagen nr 8 tot en met 11 in tabel 3 weergegeven.

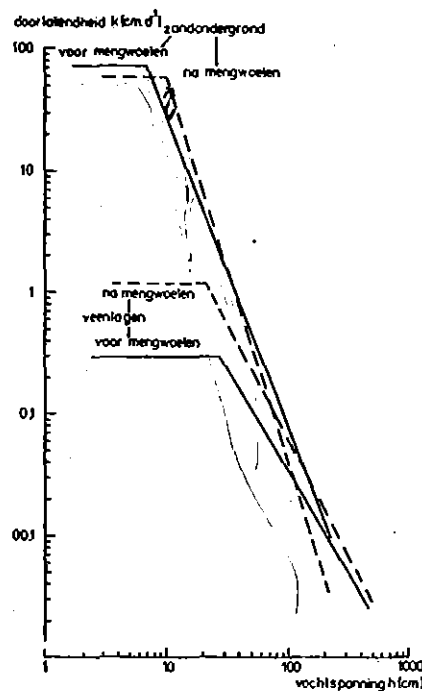


Fig. 7. De verandering van de k-h relatie als gevolg van mengwoelen, gemiddeld voor de zandondergrond en de veenlagen

4.3. Invloed van mengwoelen op de capillaire doorlatendheid van veenlagen

Veenlagen zullen door het mengwoelen niet op dezelfde wijze als zandgronden hun natuurlijke samenhang verliezen maar in brokken worden verdeeld, die verspreid in het profiel terechtkomen. De brokken zelf behouden hun natuurlijke samenhang. Een eventuele gelaagdheid in het veen zal een andere helling ten opzichte van het freatisch vlak krijgen. Dit kan consequenties hebben voor de k-h relatie van de veenbrokken, die betrekking heeft op verticale stroming. Door metingen is namelijk aangetoond dat de verzadigde doorlatendheid in veenmosveen in natuurlijke ligging in horizontale richting $+ 7 \times$ groter is dan in verticale richting als de dichtheid van het veen gering is,

en $\pm 10 \times$ groter bij grote dichtheden. Voor de constante h_a geldt een factor 0,5 (BLOEMEN, 1981). Nu zal veenmosveen wellicht wat sterker gelaagd zijn dan laagveen en ook zullen alle brokken van de opgebroken veenlaag niet rechtop komen te staan. Bij het berekenen van de k -waarden van de veenbrokken zal men de k_s -waarden met een factor 0,7 kunnen vermenigvuldigen. Uit de relaties van k_s en h_a met de veendichtheid (BLOEMEN, 1981) kan worden afgeleid dat dit overeenkomt met dichtheidsverandering van het veen met een factor 0,7. Aangezien ook n_d een functie van de veendichtheid is kunnen nu n_d -waarden van veenlagen na het mengwoelen worden berekend, en dan de constanten in verg. (5), zoals aangegeven in par. 2.1 sub c.

In tabel 4 zijn voor de veenlagen in tabel 3, de waarden van de constanten in verg. (5) opgegeven, die na het mengwoelen in rekening moeten worden gebracht. Van de gliede- en meerbodemplagen is aangenomen dat ze weliswaar verbrokken worden maar dat als gevolg van hun amorf karakter de constanten van de brokken niet veranderen.

Tabel 4. Constanten voor de berekening van de capillaire doorlatendheden met verg. (5) na het mengwoelen

Nr tabel	Bodemlaag		0,5 k_s cm.d ⁻¹	h_a/r cm	n_s -
3					
2	laagveen	$\pm 0,250 \text{ gr.cm}^{-3}$	0,74	26	1,76
3	idem	$\pm 0,230 \text{ gr.cm}^{-3}$	1,04	20	1,79
4	vast veenmosveen	$\pm 0,175 \text{ gr.cm}^{-3}$	1,18	21	1,91
5	bolsterachtig veen	$\pm 0,140 \text{ gr.cm}^{-3}$	1,76	18	1,96
6/7	sterk lemig zand		42,5	12	2,26
9	zwak lemig zand		63	9	3,25
10	zwak lemig zand		62,5	9	2,73
11	zwak lemig zand		68,5	10	4,55

11/8 2
11/8 6
11/8 10

Het blijkt dat door mengwoelen de capillaire eigenschappen van veenlagen wenzenlijk hoewel niet sterk verbeteren. De doorlatendheden zijn tot vochtspanning van ongeveer 1000 cm toegenomen. In fig. 7 is dit als gemiddelde voor de bodemlagen nr 2 tot en met 5 in tabel 3 weergegeven.

4.4. Invloed van het mengwoelen op de capillaire eigenschappen van de eenheden IV, V en VI in tabel 3

Vóór het mengwoelen worden de k -waarden op een bepaalde diepte in het veenprofiel bepaald door de constanten in verg. (5), die voor de laag op die diepte gelden. Na het mengwoelen echter kan op de diepte waar eerst een veenlaag voorkwam, nu een afwisseling van veenbrokken, stukken gliedelaag en zandbanen voorkomen. De gemiddelde k -waarde zal over een horizontale doorsnede op deze diepte worden bepaald door de oppervlakteverhoudingen tussen deze componenten. Die zullen niet constant zijn. Aangenomen wordt, dat in het algemeen de gemiddelde oppervlakteverhoudingen per laag gelijk zullen zijn aan de mengverhoudingen. Dit betekent dat als in een laag de mengverhouding 50% veen en 50% zand is, de k -waarden in deze laag het rekenkundig gemiddelde zijn van de k -waarden voor het veen en het zand waaruit de gemengde laag is gevormd. Bij andere mengverhoudingen wordt het gewogen gemiddelde berekend. Voor de bewerking van de k -waarden dient wel eerst een omrekening van de constanten plaats te vinden, zoals bedoeld in par. 4.2 en 4.3.

Voor de eenheden IV, V en VI in tabel 3 zijn nu mengverhoudingen geschat. De eenheden I, II en III komen door de grote diepte van de zandondergrond niet voor mengwoelen in aanmerking. De mengverhoudingen zijn geschat naar analogie van die voor de berekeningen ten behoeve van het grondwaterplan Drenthe (STOFFELSEN e.a., 1982). Ze zijn weergegeven in fig. 8. Eenheid nr IV wordt gemengwoeld tot 120 cm, nr V en VI tot 90 cm.

Op grond van de mengverhoudingen in fig. 8 zijn nu voor de verschillende lagen de $0,5 k_s$ -waarden en de k -waarden bij verschillende vochtspanningen ná het mengwoelen berekend. Hieruit worden de n_s -waarden en de h_a/r -waarden afgeleid, die na het mengwoelen gelden. Voor de gemengwoelde profielen in fig. 8 komt men nu tot de afgeronden waarden in tabel 5.

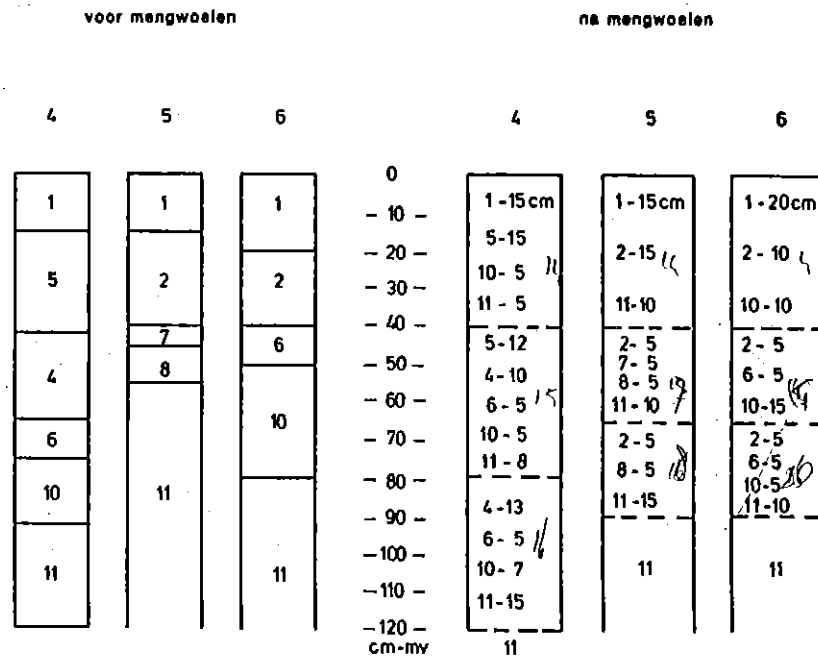


Fig. 8. Profielbouw van de eenheden IV, V en IV in tabel 3 en op bijlage 4 vóór en ná mengwoelen. De cijfers geven de bodemlagen in tabel 3 aan.

Tabel 5. Waarden voor de constanten in verg. (5) voor de eenheden nr IV, V en VI in tabel 3 na mengwoelen

Eenheid	Diepte	$0,5.k_s$ cm.d ⁻¹	h_a/r cm	n_s -
IV	0- 40	49	6	1,48
	40- 80	23	8	2,16
	80-120	37	6	2,22
	>120	80	8	3,67
V	0- 40	52	6	1,47
	40- 65	42	4	1,62
	65- 90	50	4	1,82
	> 90	80	8	3,67
VI	0- 40	59	7	1,48
	40- 65	38	9	2,31
	65- 90	40	7	2,22
	> 90	80	8	3,76

In fig. 9 is een voorbeeld van het effect van het mengwoelen op de stijghoogte van een capillaire flux van 2 mm.d^{-1} weergegeven. Deze bereikt vóór het mengwoelen bij een grondwaterstand van 125 cm onder maaiveld in geen van de drie eenheden de bovengrond. Na het mengwoelen is dit al bij kleine hydraulische gradiënten het geval. Een vergelijkbare samenhang tussen vochtspanning en stijghoogte vertoont vóór het mengwoelen een capillaire flux van $\pm 0,4 \text{ mm.d}^{-1}$. Hieruit blijkt wel hoe sterk de capillaire eigenschappen van de betreffende eenheden door mengwoelen zijn verbeterd. Dit zal in belangrijke mate het gevolg zijn van het opbreken van de veen- en gliedelagen want in par. 4.2 en 4.3 bleek dat de capillaire eigenschappen van de componenten van het gemengwoelde profiel niet of weinig spectaculair veranderen. Menging levert echter een tamelijk homogeen profiel op met goede capillaire eigenschappen.

Welke gevolgen het mengwoelen zal hebben voor de vergroting van het aandeel van de capillaire opstijging in het waterverbruik is tot nu toe niet te voorspellen. Door de toename van de bewortelingsdiepte en van de beschikbare vochtvoorraad in de grond zal na mengwoelen een geheel andere vochthuishouding ontstaan. Het vochtspanningsbeloop gedurende het groeiseizoen zal sterk veranderen evenals de samenhang tussen de vochtspanning in de bovengrond en de grondwaterdiepte.

Een en ander heeft invloed op de ontwikkeling van de grootte van de capillaire fluxen, die de bovengrond bereiken. Berekening van de vergroting van de capillairewateraanvoer door het mengwoelen heeft alleen werkelijkheidswaarde als daarvoor een geschikt rekenmodel wordt gebruikt. Dit valt buiten het bestek van dit overzicht.

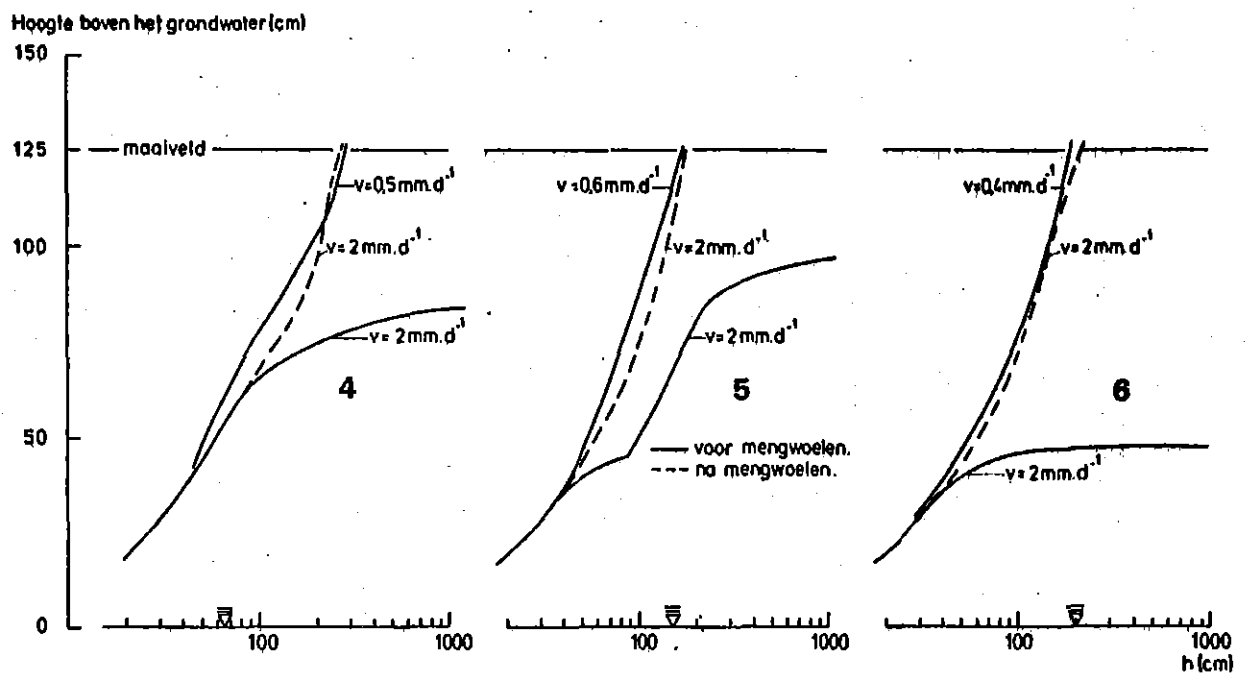
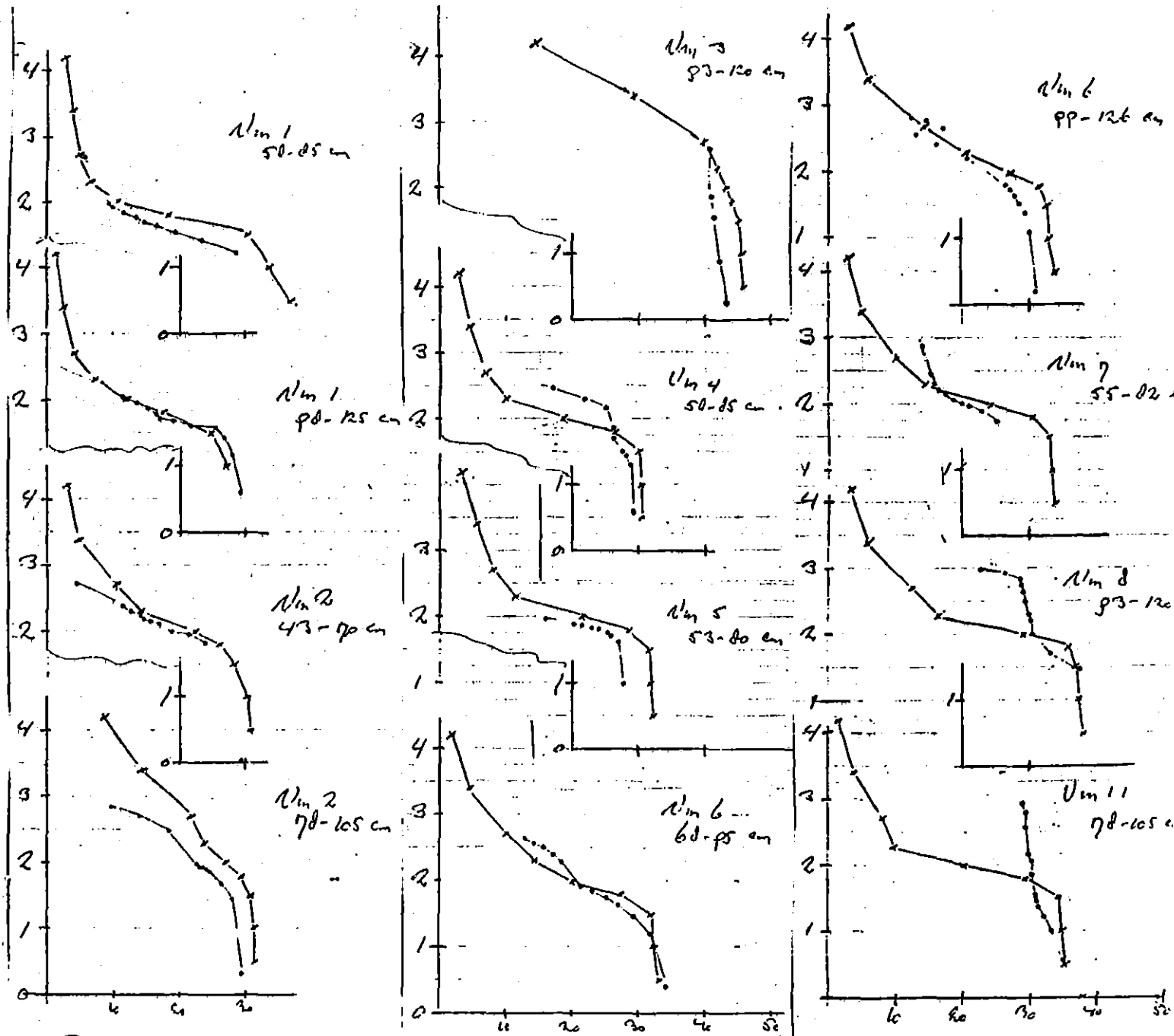


Fig. 9. Samenhang tussen de stijghoogte van een capillaire flux v en de vochtspanning h , vóór en ná mengwoelen, van de eenheden IV, V en VI in tabel 3 en op bijlage 4

LITERATUUR

- BLOEMEN, G.W., 1980a. Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. Zeitschr. für Pflanzenernaehr. Bodenk. 143. Band Heft 5; 581-605.
- , 1980b. Calculation of steady state capillary rise from the groundwater table in multi-layered soil profiles. Zeitschr. für Pflanzenernaehr. Bodenk. 143. Band Heft 6; 701-719.
- , 1981. Calculation of hydraulic conductivities and capillary rise in peat soils from bulk density and solid matter volume. ICW nota nr 129.
- BOELS, D., J.B.H.M. VAN GILS, G.J. VEERMAND and K.E. WIT, 1978. Theory and system of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities. Soil Science 126, 4 (191-199).
- BROOKS, P.H. and F. COREY, 1964. Hydraulic properties of porous media. Colorado State Univ. Hydrol. Papers 3. 27 pp.
- HEESEN, H.C. VAN, P. VAN DER SLUIJS, 1974. De vochtleverantie van een grond aan het gewas. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Interne mededeling 29.
- KUNTZE, H., 1966. Die messung des geschlossenen und offenen Kapillarsaumes in natürlich gelagerten Boden. Zeitschr. für Pflanzenern. Düngung und Bodenk. 111, Heft 2; 97-106.
- LALIBERTE, G.E. and F. COREY, 1969. Hydraulic properties of disturbed and undisturbed soils. Permeability and capillarity of soils, ASTM STP 419, Am. Soc. Testing Mats. 56 p.p.
- STAKMAN, W.P., G.A. VALK and G.G. VAN DER HORST, 1968. Determination of soil moisture curves (I and II). Institute for Land and Water management Research, Wageningen, Netherlands.
- STIBOKA, ICW, 1975. Reconstructiegebied Oost-Groningen en Gronings-Drentse Veenkoloniën en Streekplangebied Oost en Zuidoost Drenthe. Rapport Stiboka nr 1198.
- VEERMAN, G.J., 1982. Resultaten van fysische bepalingen in grondmonsters afkomstig uit Waterschap de Veenmarken.

pF-CURVEN BEPAALD MET DE VERDAMPINGSMETHODE (.) EN MET ZANDBAK EN
MEMBRAANPERS (x)

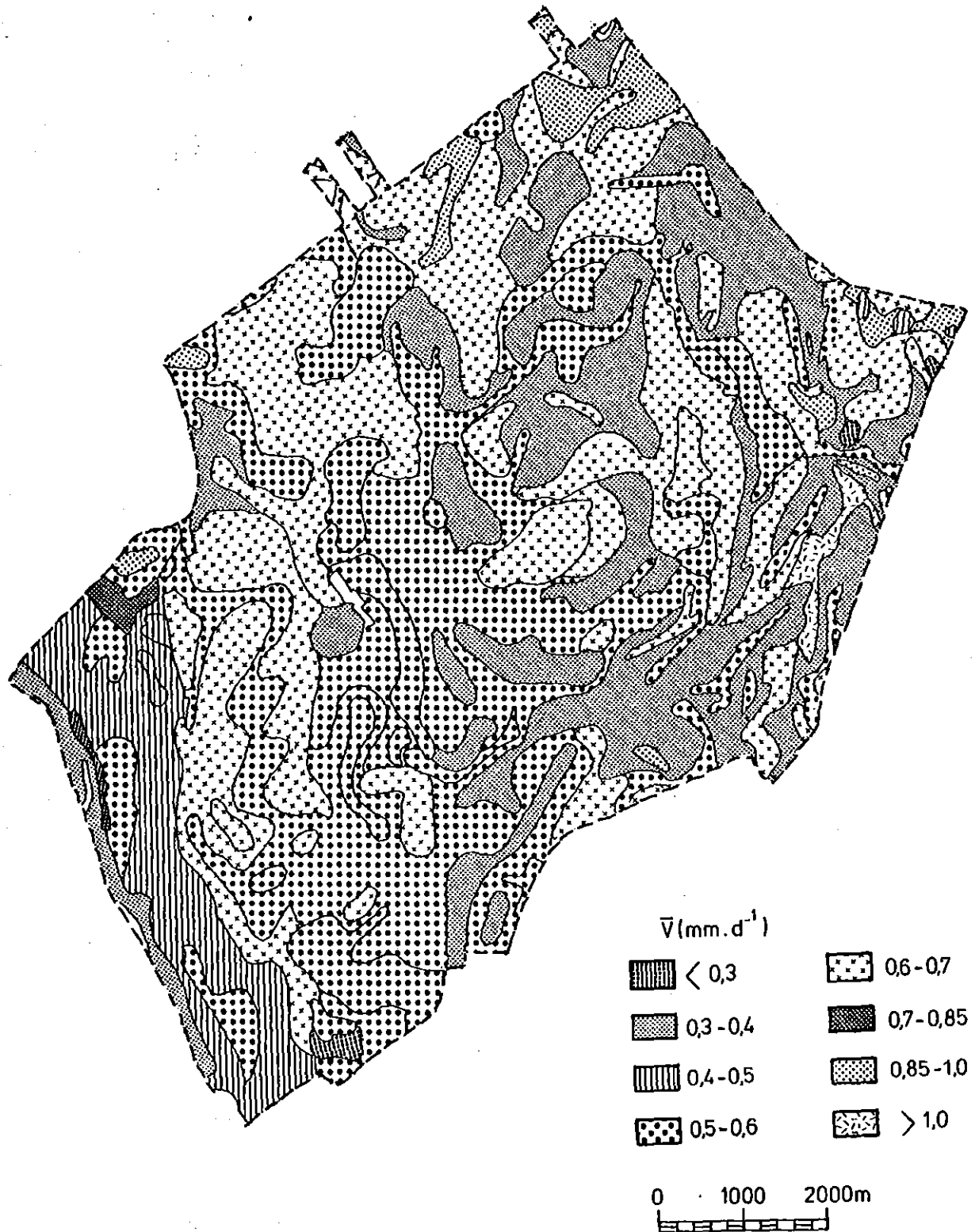


Bijlage 2

CONSTANTEN VOOR DE BEREKENING VAN DE CAPILLAIRE DOORLATENDHEID VAN
DE IN 12 PROFIEL BEMONSTERDE BODEMLAGEN

Diepte onder maaiveld	0,5 k_s cm.d ⁻¹	h_a/r cm	n_s -	Diepte onder maaiveld	0,5 k_s cm.d ⁻¹	h_a/r cm	n_s -
Veenmarken 1				Veenmarken 2			
12- 17 cm	90	7	1,75	11- 16 cm	69	7,5	1,63
35- 40 cm	80	7	1,86	28- 33 cm	40	9	1,68
52- 57 cm	79	7,5	2,49	37- 42 cm	52	7,5	1,90
72- 77 cm	81	7,5	2,91	57- 62 cm	72	7	2,44
103-108 cm	94	7	2,96	80- 85 cm	73	8	3,02
150 cm	72	8,5	3,56	103-108 cm	86	7,5	3,96
200 cm	82	7	3,12	150 cm	89	7	3,81
				190 cm	75	8	4,17
Veenmarken 3				Veenmarken 4			
17- 22 cm	53	9	1,38	8- 13 cm	72	9	1,41
48- 53 cm	0,22	30	1,47	22- 27 cm	0,13	40	1,68
63- 68 cm	0,18	30	1,47	29- 34 cm	61	10	1,30
80- 85 cm	22	12	1,81	37- 42 cm	27	16	1,54
95-100 cm	10	20	1,83	48- 53 cm	26	17	1,71
115-120 cm	80	7	2,66	76- 81 cm	38	18	3,18
150 cm	70	8	3,68	107-102 cm	42	16	2,64
190 cm	103	7	4,00	150 cm	64	9	4,29
				190 cm	73	8	4,06
Veenmarken 5				Veenmarken 6			
15- 20 cm	78	8	1,36	16- 21 cm	92	7	1,42
33- 38 cm	67	7	1,93	42- 47 cm	0,34	29	1,65
42- 47 cm	53	8	1,97	50- 55 cm	0,30	23	1,64
65- 70 cm	81	8	3,36	55- 60 cm	21	11	1,45
80- 85 cm	77	9	3,29	72- 77 cm	90	7	2,86
100-105 cm	77	8	3,59	97-102 cm	87	7	3,23
150 cm	80	8	3,76	150 cm	81	8	3,85
190 cm	77	8	3,75	190 cm	73	8	3,54
Veenmarken 7				Veenmarken 8			
15- 20 cm	82	8	1,51	10- 15 cm	89	8	1,46
35- 40 cm	2,55	13	1,90	28- 33 cm	0,43	22	1,72
43- 48 cm	0,33	24	1,68	50- 55 cm	0,81	18	1,79
49- 54 cm	78	8	1,79	69- 74 cm	1,0	17	1,80
67- 72 cm	75	9	3,64	82- 87 cm	175	5	2,66
81- 86 cm	98	6	2,23	100-105 cm	98	7	2,81
108-113 cm	79	8	3,34	150 cm	73	14	3,81
150 cm	80	8	3,57	190 cm	72	13	4,25
190 cm	87	8	3,77				

Diepte onder maaiveld	0,5 k_s cm.d ⁻¹	h_a/r cm	n_s -	Diepte onder maaiveld	0,5 k_s cm.d ⁻¹	h_a/r cm	n_s -
Veenmarken 9				Veenmarken 10			
8- 13 cm	80	7	1,34	10- 15 cm	129	6	1,45
20- 25 cm	81	7	1,33	35- 40 cm	0,04	45	1,35
35- 40 cm	0,47	22	1,73	60- 65 cm	2,79	13	1,90
45- 50 cm	0,45	12	1,69	71- 76 cm	0,13	32	1,54
61- 66 cm	22	12	1,56	79- 84 cm	0,50	21	1,73
150 cm	78	8	3,15	95-100 cm	0,56	20	1,75
200 cm	92	7	3,05	150 cm	82	6	2,27
				190 cm	79	7	3,51
Veenmarken 11				Veenmarken 12			
8- 13 cm	119	6	1,50	11- 16 cm	93	8	1,62
27- 32 cm	86	31	1,34	36- 41 cm	0,75	19	1,78
48- 53 cm	0,068	38	1,43	62- 67 cm	3,13	12	1,91
57- 62 cm	0,57	21	1,75	78- 83 cm	1,04	17	1,81
68- 73 cm	0,15	30	1,57	87- 92 cm	1,49	15	1,85
74- 79 cm	8	23	1,45	105-110 cm	0,05	44	1,36
93- 98 cm	107	6	2,40	150 cm	100	7	2,89
150 cm	75	7	2,76	190 cm	82	8	3,22
190 cm	131	5	2,93				



VERBREIDING VAN DE EENHEDEN IN TABEL 3

Bijlage 4

