

NOTA 1378

ICW-nota 1378
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Oktober 1982
G. v. Bakel

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ONDERZOEK NAAR BODEM- EN WATERHUISHOUDKUNDIGE GEGEVENS
VOOR INVOER IN EN VERIFICATIE VAN EEN MODEL VOOR BEREKENING
VAN DE EFFECTEN VAN DE WATERHUISHOUDING

J. Beuving

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, 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. GEBIEDSKEUZE	3
3. PROEFPLEKKEN EN MEETOPSTELLINGEN	4
4. CRITERIA VOOR BEWERKBAARHEID VAN DE GROND	6
5. BODEMFYSISCH INVOERGEGEVENS	11
5.1. $k(h)$ -relatie	12
5.2. $h(\theta)$ -relatie	18
6. VERIFICATIE VAN MODELRESULTATEN	22
6.1. Bodemvochtinhoud	22
6.2. Gewasontwikkeling en productie	25
7. SAMENVATTING	26
LITERATUUR	27

1. INLEIDING

Voor de evaluatie van landinrichtingsplannen is bij de Landinrichtingsdienst een methode in gebruik voor de vaststelling van de kosten en baten van de verschillende planonderdelen (WERKGROEP HELP, 1977). Een onderdeel van vele landinrichtingsplannen, dat een aanzienlijk deel van de investeringen opeist is verbetering van de waterhuishouding, die verlaging van het grondwaterpeil beoogt. Verandering van het grondwaterpeil heeft weer effect op de bedrijfsvoering en/of op de produktiviteit van de grond. Om de baten van de effecten van verandering in de waterhuishouding vast te kunnen stellen, dienen deze effecten gekwantificeerd te worden. Vooralsnog wordt dat gedaan met vooral empirisch bepaalde normen, die weinig wetenschappelijk onderbouwd zijn. Op verzoek van de Landinrichtingsdienst is op het ICW een werkgroep gevormd bestaande uit onderzoekers van de hoofdafdelingen Bodemtechniek en Waterhuishouding. Deze werkgroep werkt aan het operationeel maken van een benadering waarmee het effect van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen voor de belangrijkste grondsoorten in Nederland gekwantificeerd kan worden.

In principe kunnen hierbij twee wegen worden gevolgd:

- onderzoek op drainageproefvelden;
- onderzoek met behulp van modellen.

Om met behulp van drainageproefvelden het gestelde doel te bereiken, zijn proefvelden nodig waar het effect van verschillende draindiepten en -afstanden op de opbrengst wordt onderzocht. Deze proefvelden zouden moeten worden aangelegd op een aantal verschillende grondsoorten en beteeld met verschillende gewassen. Om betrouwbare uitkomsten te krijgen moeten waarnemingen over een lange reeks van jaren worden verricht. Hierin zou een enorme hoeveelheid tijd, arbeid en geld

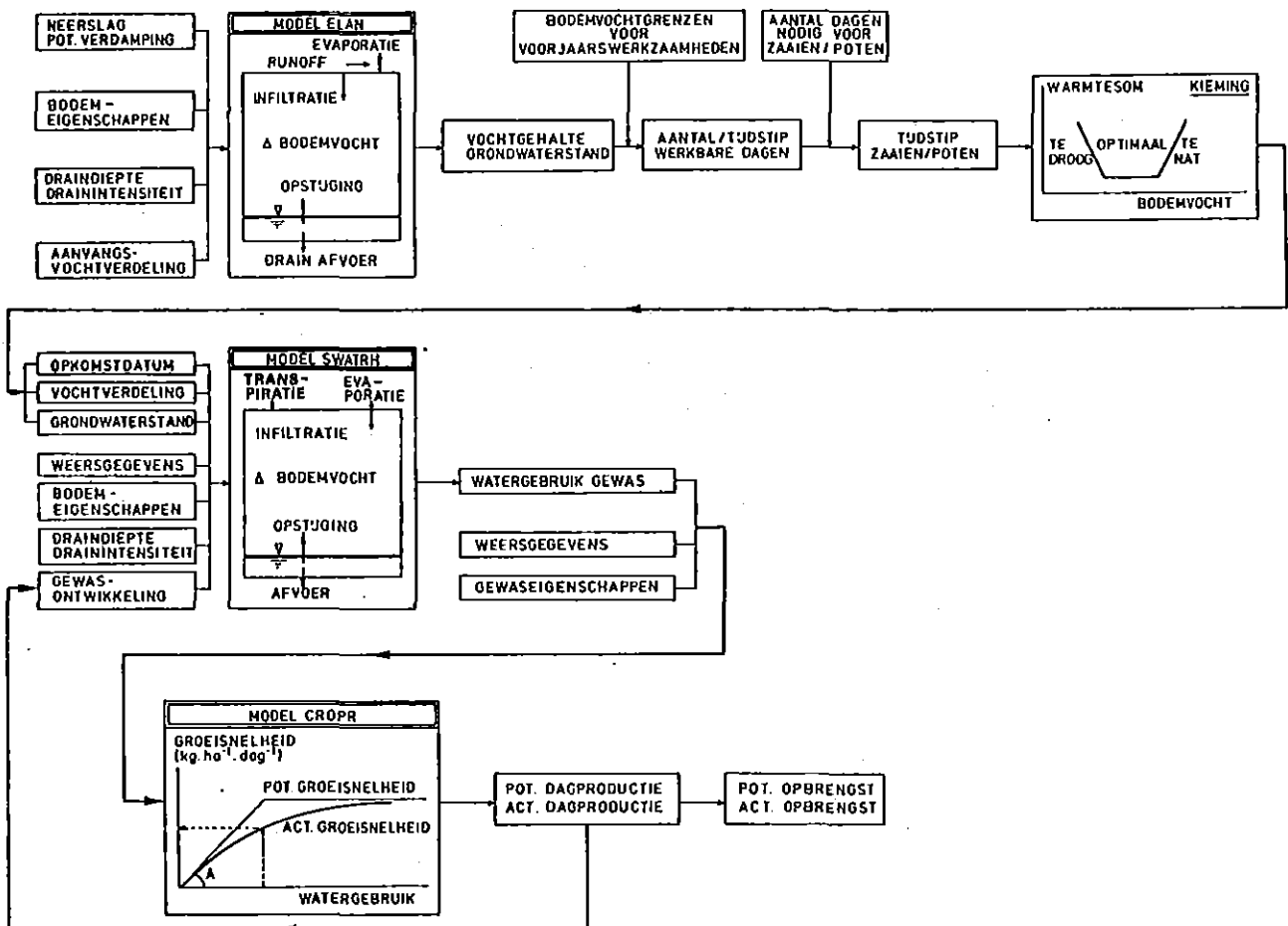


Fig. 1. Model voor berekening van de invloed van de waterhuishouding op opbrengst van landbouwgewassen

moeten worden geïnvesteerd. Daarom is gekozen voor toepassing van modelonderzoek om de belangrijkste effecten van de waterhuishouding te kwantificeren.

Het hiervoor ontwikkelde model (VAN WIJK en FEDDES, 1982) bestaat uit een koppeling van een drietal modellen (zie fig. 1) en houdt rekening met het effect van de ontwatering op:

- grondwaterstand en plasvorming in de winter;
- aantal en tijdstip van bewerkbare dagen in verband met zaaien/poten in het voorjaar;

- vochtvoorziening van het gewas tijdens het groeiseizoen;
- aantal en tijdstip van bewerkbare dagen in verband met oogsten in het najaar.

Om dit model operationeel te maken, zijn van elke te behandelen grondsoort en gewas gegevens nodig. Dit zijn:

- criteria voor de bewerkbaarheid van de grond in voor- en najaar;
- bodemfysische invoergegevens;
- veldgegevens omtrent vochthuishouding en grondwaterstand en gewasparameters waaraan de modeluitkomsten getoetst kunnen worden.

Deze nota beschrijft het onderzoek ter verkrijging van deze gegevens. Het valt uiteen in onderzoek in het veld en in het laboratorium. Het veldonderzoek is verricht in de jaren 1979 en 1980 en het laboratoriumonderzoek in 1981 en 1982. Ook wordt een voorbeeld gegeven van toetsing van modelresultaten aan veldmetingen.

2. GEBIEDSKEUZE

In het huidige evaluatiesysteem voor landinrichtingsplannen zijn voor bouwland en grasland 25 profieltypen onderscheiden (WERK GROEP HELP, 1977). Overname van dit aantal in het modelonderzoek zou in dit stadium van de studie tot een te omvangrijk meetprogramma in het veld en laboratorium leiden. Daarom is in eerste instantie het aantal grondsoorten beperkt. Bij de keuze van de grondsoorten en gebieden waar de in de inleiding genoemde gegevens verzameld zouden kunnen worden, hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:

- voor bouwland en grasland moeten die bodemtypen worden gekozen die voorkomen in de belangrijkste akkerbouw- en graslandgebieden;
- voor afleiden van criteria voor de bewerkbaarheid moeten de gekozen gebieden bodem- en waterhuishoudkundig tamelijk homogeen zijn. Bovendien moet het bouwplan in het gebied vrij uniform zijn en karakteristiek voor de grondsoort.

Aan de hand van bodemkaarten is tot de volgende gebiedskeuze voor

het onderzoek gekomen:

- voor bouwland op:
 - . matig zware oude en jonge zeeklei: het Oldambt
 - . matig zware zeeklei, lichte zeeklei en matig lichte zavel: Zuid-Beveland
 - . zeer lichte zavel: Noord-West Groningen
 - . heide-ontginningsgrond: Drente en Zuid-Oost Groningen
 - . wel- en niet-verbeterde veenkoloniale grond: Drents-Groningse veenkoloniën
- voor grasland op:
 - . zandgrond: Gelderse Vallei
 - . klei op veen: Lopikerwaard
 - . veen: Utrechts-Zuidhollands veenweidegebied
 - . zware kleigrond: Bommelerwaard

In deze opsomming ontbreken zandgronden met toemaakdek en löss. De essen in de zandgebieden zijn opgenomen in dorpsuitbreiding en/of zijn nagenoeg uitsluitend voor snijmaisteelt in gebruik. Lössgronden hebben een zodanige hoogteligging dat ze nauwelijks ontwateringsbehoefte hebben. Bij het grasland zijn de madeland- en de beekdalgronden niet in het onderzoek opgenomen. Deze gebieden zijn veelal erg heterogeen in profielopbouw en te kleinschalig. Voor het modelonderzoek kan daarom beter gebruik worden gemaakt van waarnemingen uit andere gebieden met hetzelfde grondgebruik.

3. PROEFPLEKKEN EN MEETOPSTELLINGEN

Voor het verzamelen van bodemfysische invoergegevens, het afleiden van bewerkbaarheidscriteria en het gedurende twee jaar registreren van de vochthuishouding en gewasontwikkeling ter controle van de modeluitkomsten, zijn in elk gebied enkele percelen uitgezocht die representatief zijn voor de grondsoort. Dit is gedaan in nauw overleg met bodemkundige specialisten, goed bekend met de streek. Aan deze percelen zijn de volgende eisen gesteld:

- het perceel moet bodemkundig homogeen zijn;
- voorzover de grondsoort het toelaat, moet het profiel duidelijke kenmerken en horizonten hebben;
- het perceel moet goed ontwaterd zijn;
- in verband met hogere eisen aan de grondbewerking moet het bouwplan waar het akkerbouw betreft een groot percentage hakvruchten bevatten;
- het bedrijf moet zodanig gemechaniseerd zijn dat bewerkingen nodig voor zaaien/poten of oogsten verricht kunnen worden zo gauw de grond dit toelaat. Bij een te grote afhankelijkheid van loonwerkers is dit vaak niet het geval;
- geen berekening, aanvullende watervoorziening tijdens het groeiseizoen wordt niet in het modelonderzoek opgenomen.

Waar mogelijk zijn in de verschillende gebieden de proefplekken ingericht op proefboerderijen. Door het meer vertrouwd zijn met onderzoek, het gewend zijn aan hinderlijke vaste meetopstellingen in het veld en het accepteren van enige gewasschade bij de metingen lenen proefboerderijen zich bij uitstek voor dit type onderzoek. Daarnaast is echter ook gebruik gemaakt van de welwillende medewerking van een aantal boeren.

Voor elke proefplek, door coördinaten vastgelegd, is het profiel beschreven door de Stichting voor Bodemkartering. Ter bepaling van humusgehalte, kalkgehalte, pH-KCl, granulaire samenstelling, dichtheid van de vaste fase, dichtheid van de grond, poriënvolume en de vocht-karakteristiek (pF-curve) zijn uit elke horizont gestoorde en ongestoorde monsters genomen. Voor bepaling van verzadigde en onverzadigde doorlatendheid zijn uit dezelfde horizonten bij voldoende laagdikte de volgende typen ongestoorde monsters genomen:

- voor meting van verzadigde en onverzadigde doorlatendheid in het zeer natte traject grote monsters (20 x 20 cm) in cylinders of in gipsblokken;
- voor meting van onverzadigde doorlatendheid tot een drukhoogte van het bodemvocht tot circa -800 cm en de vochtkarakteristiek, monsters in cylinders van 10 of 6 cm hoog en $\varnothing$ 10 cm;
- voor meting van de onverzadigde doorlatendheid tot een drukhoogte van circa $-10^{5,5}$ cm, monsters in kopeckringen (5 x 5 cm), voor lu-

tumrijke zware grond en voor zand- en veengrond ringen met een hoogte van 10 cm.

Voor controle van de modeluitkomsten zijn gegevens nodig over de vochthuishouding en de grondwaterstand op een aantal tijdstippen in het voorjaar en het groeiseizoen. Voor registratie van de drukhoogte van het bodemvocht met de diepte zijn op iedere proefplek in een vaste meetopstelling tensiometers in het profiel aangebracht op diepten van 5, 10, 15, 20 cm en verder per 10 cm tot 1 meter diepte. Voor meting van de grondwaterstand is per proefplek een grondwaterstandsbuis geplaatst.

Om de met een model gesimuleerde bodemvocht-drukhoogte profielen met die in het veld gemeten te kunnen vergelijken, zijn ter plaatse gemeten neerslagen nodig. Gebruik van neerslaggegevens van het dichtstbij gelegen KNMI-neerslagstation kan tot grote afwijkingen leiden. Daarom is op elke proefplek een zelfregistrerende regenmeter geplaatst, waarvan de stroken wekelijks werden verwisseld.

Ter controle van de uitkomsten van de gewasproductiemodellen zijn op iedere proefplek ook gegevens verzameld over het gewas. Dit zijn zaai/pootdatum, datum van opkomst, verloop van de bedekkingsgraad, gewashoogte en bewortelingsdiepte tijdens het groeiseizoen en de eindopbrengst.

4. CRITERIA VOOR BEWERKBAARHEID VAN DE GROND

In het voorjaar bepaalt de bewerkbaarheid van de grond wanneer gezaaid of gepoot kan worden. Is de grond nat dan kan de grond zonder ernstig structuurbederf niet worden bewerkt. Slecht ontwaterde gronden zijn in het voorjaar later bewerkbaar, waardoor ook het tijdstip van zaaien of poten later valt dan op goed bewerkbare grond. Het tijdstip van zaaien bepaalt de lengte van het groeiseizoen. De lengte van het groeiseizoen neemt weliswaar niet evenredig af met het aantal dagen later zaaien of poten, maar het leidt wel tot opbrengstverlaging. Dit wordt geïllustreerd door fig. 2.

In het najaar is de bewerkbaarheid van de grond van grote betekenis voor de rooiverliezen en het tarragehalte van aardappelen en

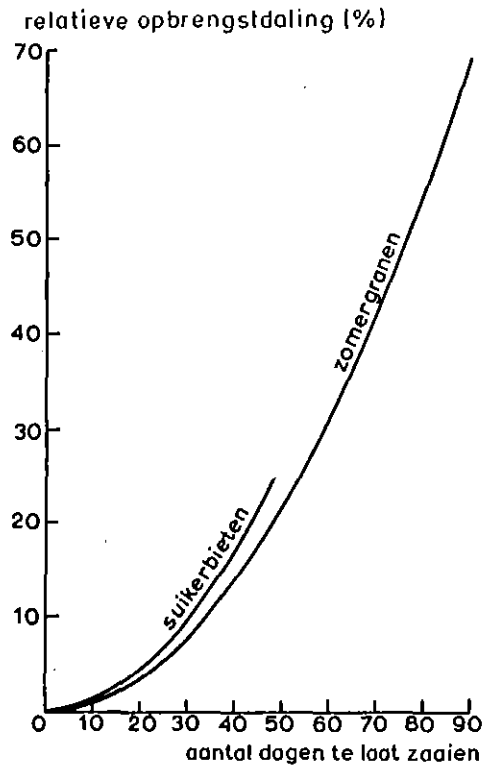


Fig. 2. Relatieve opbrengstdaling bij hakvruchten en zomergranen als gevolg van het aantal dagen te laat zaaien. Als vroegste zaai-respectievelijk pootdatum geldt voor zomergranen 1 februari en voor hakvruchten 20 maart (VAN WIJK en FEDDES, 1975)

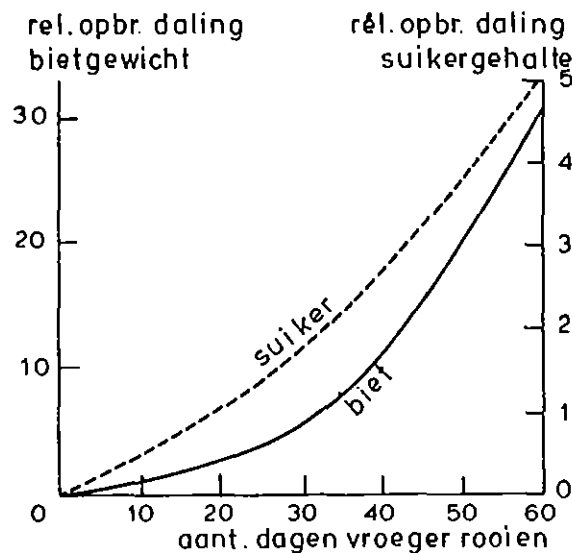


Fig. 3. Relatieve opbrengstdaling van bietgewicht en suikergehalte als gevolg van het aantal dagen eerder rooien dan 1 november (FEDDES en VAN WIJK, 1977)

bieten en voor de structuur van de grond. Vanwege grotere oogst risico's zal een boer geneigd zijn op natte grond vroeger te rooien dan op een beter ontwaterde en daardoor meer oogstzekere grond. Fig. 3 laat zien dat vroeger rooien van suikerbieten gepaard kan gaan met grote opbrengstverliezen.

Vanwege het effect van de ontwatering op de bewerkbaarheid in het voor- en najaar en daarmee op het tijdstip van zaaien of poten c.q. rooien, op de lengte van het groeiseizoen en op de uiteindelijke opbrengst is de vaststelling van de zaai/pootdatum en de uiteindelijke rooidatum een essentieel onderdeel van de modelberekeningen. Het model simuleert van dag tot dag de vochtomstandigheden in de bouwvoor. De bewerkbaarheid van de grond wordt mede bepaald door de vochtomstandigheden. Vandaar is getracht grenswaarden voor de drukhoogte van het bodemvocht te vinden waarbij de grond juist bewerkbaar wordt of is. Uit het gesimuleerde vochtverloop kan dan aantal en tijdstip van bewerkbare dagen worden vastgesteld.

Het verschijnsel bewerkbaarheid is erg complex. De vruchtwisseling die in de akkerbouw wordt toegepast eist dat dezelfde grond tijdig bewerkbaar moet zijn voor verschillende gewassen, terwijl de inhoud van het begrip bewerkbaarheid verschilt per gewas. Granen worden dieper gezaaid dan bieten. Voor het zaaien van bieten is een laagje losse grond van slechts enkele cm's nodig, terwijl de grond daaronder zoveel draagkracht moet hebben dat te sterke insporing niet optreedt. Voor het maken van de ruggen moet bij het poten van aardappelen een aanzienlijk dikkere laag losse kluitvrije grond beschikbaar zijn. Ook bij het oogsten van bieten en aardappelen speelt de bewerkbaarheid een belangrijke rol.

Niet alleen de berijdbaarheid van de grond is van belang, maar ook de structuur en het vochtgehalte. Grote kluiten en een te hoog vochtgehalte doen het tarragehalte van het produkt sterk toenemen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de bij de oogst aanwezige structuur in belangrijke mate afhangt van de vochtomstandigheden bij het zaaien of poten.

Ook de samenstelling van de grond is van grote invloed op de bewerkbaarheid. Werkmethode en -volgorde zijn in de praktijk aangepast aan de grondsoort. Om in het voorjaar gemakkelijker een goed zaai/

pootbed te kunnen maken wordt zware klei in de herfst al geploegd.

Bietenland op zandgrond wordt vaak vlak voor het zaaien pas geploegd.

Om ondanks het complexe karakter van het verschijnsel bewerkbaarheid toch in een betrekkelijk kort tijdsbestek een oordeel te kunnen geven wanneer de in het onderzoek betrokken grondsoorten voor verschillende gewassen bewerkbaar worden, is de volgende werkwijze gevolgd. In de geselecteerde gebieden is een aantal boeren gevraagd op een aan hen uitgereikt formulier dagelijks een waardering - in de vorm van goed, matig, slecht - te geven voor de bewerkbaarheid van de grond op hun bedrijf en in de directe omgeving. Het betreft in het voorjaar de gewassen zomergranen, bieten en aardappelen en in het najaar alleen bieten en aardappelen. In een kolom 'opmerkingen' werd een toelichting gevraagd op welke werkzaamheden werden uitgevoerd en waarom eventueel niet werd gewerkt.

In dezelfde perioden werd met behulp van gemakkelijk te verplaatsen tensiometeropstellingen de drukhoogte van het bodemvocht in de bouwvoor gemeten op dezelfde percelen waarop de beoordeling van de meewerkende boeren betrekking had. De metingen zijn verricht op 5, 10, 15 en 20 cm diepte. De meetfrequentie varieerde. In het voorjaar van 1979 werd vooral gemeten, wanneer bewerkt werd. Dit leidde tot te weinig gegevens aan de natte kant in het traject van matig naar goed bewerkbaar. Vandaar is in 1980 ook regelmatig onder natte omstandigheden gemeten. De twee voorjaren verschillen sterk, 1979 was nat en daardoor laat, terwijl 1980 een vrij droog voorjaar was.

Combinatie van deze meetgegevens met de bewerkbaarheidsbeoordeling door de meewerkende boeren geeft het in fig. 4 weergegeven beeld. De beste aansluiting tussen de waardering van de boer en de meetgegevens werd gevonden indien de drukhoogte van het bodemvocht gemeten op 5 cm diepte werd gebruikt. Uit een bewerking van de gegevens volgens de in fig. 4 weergegeven wijze werden voor zaaien/poten van zomergraan, bieten en aardappelen de in tabel 1 gegeven waarden van de drukhoogte van het bodemvocht gevonden. Is de bouwvoor op 5 cm diepte droger dan de in tabel 1 gegeven grenswaarden van de drukhoogte van het bodemvocht en aan de oppervlakte wat opgedroogd, dan is de grond zonder structuurbederf bewerkbaar.

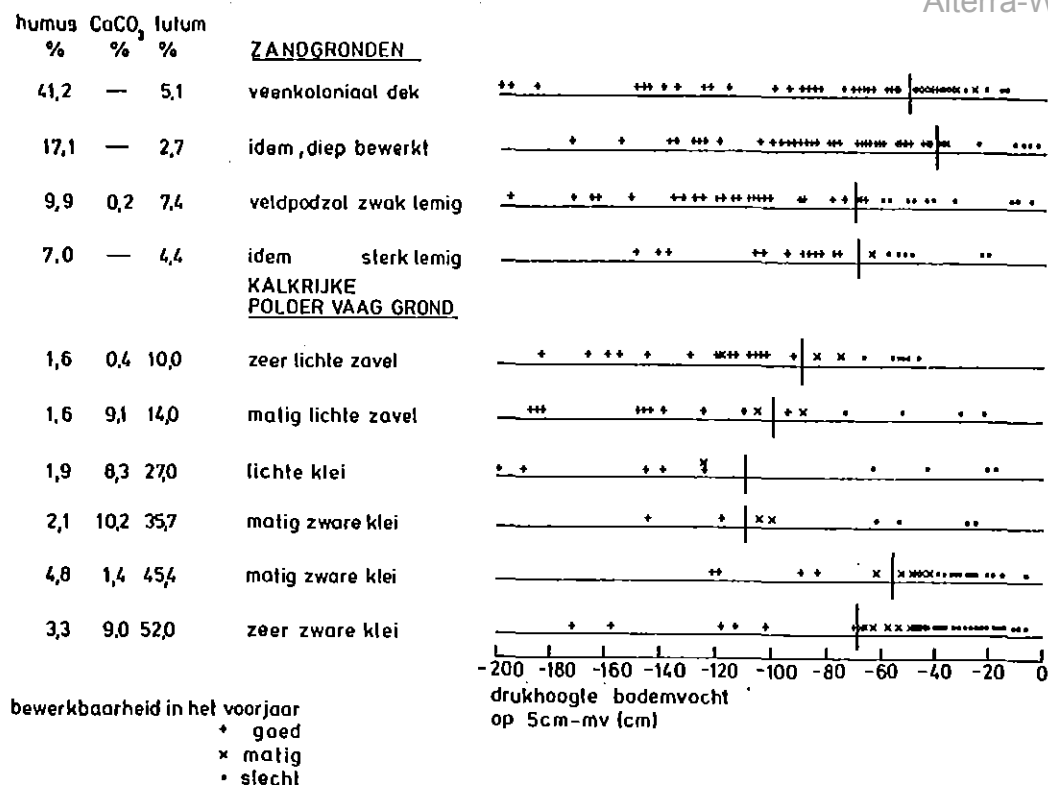


Fig. 4. Beoordeling door de boer van de bewerkbaarheid in het voorjaar van verschillende gronden in verband met de gelijktijdig gemeten drukhoogte in de bouwvoor op 5 cm diepte

Tabel 1. De drukhoogte (h cm) van het bodemvocht op 5 cm -mv. gemeten waarbij het zaaien van zomergraan en bieten en het poten van aardappelen zonder structuurbederf wordt uitgevoerd

Grondsoort	Drukhoogte (h cm)		
	zomer- granen	bieten	aardappelen
zand- en veenkoloniale grond	-50	- 70	- 70
lichte zavel (8-20% deeltjes <2 µm)	-80	-100	-100
lichte klei (20-40% deeltjes <2 µm)	-60	-100	-120
zware klei (>40% deeltjes <2 µm)	-40	- 60	- 80

Op dezelfde wijze als toegepast voor de bewerkbaarheid in het voorjaar zijn de in het najaar van 1979 en 1980 verzamelde gegevens

verwerkt. Het interpreteren van de enquêtegegevens is moeilijker bij het van droog naar nat gaan van de grond en het afleveren op oproep van de produkten. De boeren gaan in het voorjaar bovendien zorgvuldiger om met de grond dan in het najaar. In tabel 2 zijn grenswaarden van de drukhoogte van het bodemvocht gegeven voor het rooien van bieten en aardappelen.

Tabel 2. De drukhoogte (h cm) van het bodemvocht tot de rooidiepte voor bieten tot 10 cm en voor aardappelen tot 15 cm gemeten

Grondsoort	Drukhoogte (h cm)			
	bieten		aardappelen	
	slecht	goed	slecht	goed
zand- en veenkoloniale grond	>-30	<- 50	>- 40	<- 60
lichte zavel (8-20% deeltjes <2 μ m)	>-40	<-100	>- 60	<-100
lichte klei (20-40% deeltjes <2 μ m)	>-50	<- 80	>- 80	<-120
zware klei (>40% deeltjes <2 μ m)	>-30	<- 60	>-100	<-180

Belangrijke criteria die bij de afweging van de mate van bewerkbaarheid door de meewerkende boeren een rol spelen waren de zeefbaarheid van de grond en de mate van insporing. Wel dient te worden opgemerkt dat het begrip goede rooibaarheid voor boeren op zware klei een andere inhoud heeft dan voor boeren op andere grondsoorten. De eerste nemen (noodgedwongen) genoegen met een hoger tarrapercentage. Voor tarrapercentages vergelijkbaar met die op andere grondsoorten zou de drukhoogte op zware klei bij het rooien in de orde van ~300 cm moeten liggen. Dergelijke droge omstandigheden komen slechts in weinig najaaren voor, en dan alleen tijdens het begin van de campagne.

5. BODEMFYSISCHE INVOERGEGEVENS

Gebruik van modellen die de niet-stationaire stroming van water in de grond simuleren vereist invoer van het capillair geleidingsver-

mogen en de vochtkarakteristiek (pF-curve). Het capillair geleidingsvermogen geeft de mate van verandering van de doorlatendheid met de verandering van de drukhoogte van het bodemvocht (k(h)-relatie) of van het vochtgehalte (k(θ)-relatie). De vochtkarakteristiek geeft de relatie tussen drukhoogte van het bodemvocht en het vochtgehalte van de grond (h(θ)-relatie).

5.1. k (h) - r e l a t i e

Voor de bepaling van de doorlatendheid bestaat een groot aantal meetmethoden (KLUTE, 1972; BOUMA, 1977). Om de doorlatendheid over het gehele traject van verzadigde tot droge grond te kunnen meten zijn in dit onderzoek drie bepalingsmethoden toegepast, die allen op de wet van Darcy voor de verticale stroming van water in de grond zijn gebaseerd

$$v = -k(h) \left(\frac{dh}{dz} + 1 \right)$$

waarin: v = flux ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

$k(h)$ = capillair geleidingsvermogen ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)

dh/dz = gradiënt van de drukhoogte van het bodemvocht

z = verticale coördinaat (cm)

In deze methoden worden v en h gemeten, zodat $k(h)$ kan worden berekend. Voorwaarde is steeds dat het monster homogeen is wat betreft samenstelling en dichtheid.

Geautomatiseerde kolommenmethode

Deze methode meet de verzadigde doorlatendheid en de onverzadigde doorlatendheid in het zeer natte traject. Omdat de voor de bepaling van de verzadigde doorlatendheid gebruikelijk toegepaste geringe monstergrootte tot een grote variabiliteit in meetgegevens leidt, zijn voor dit onderzoek ongestoorde in gips gevatte kolommen grond met een diameter en hoogte van 20 cm toegepast (BOUMA, 1977). Om dh/dz te kunnen bepalen wordt op 15 cm boven de onderzijde van het monster een tensiometer ingebracht om h te meten, terwijl tijdens de meting het water aan de onderzijde vrij kan uitstromen zodat daar geldt $h = 0$. De

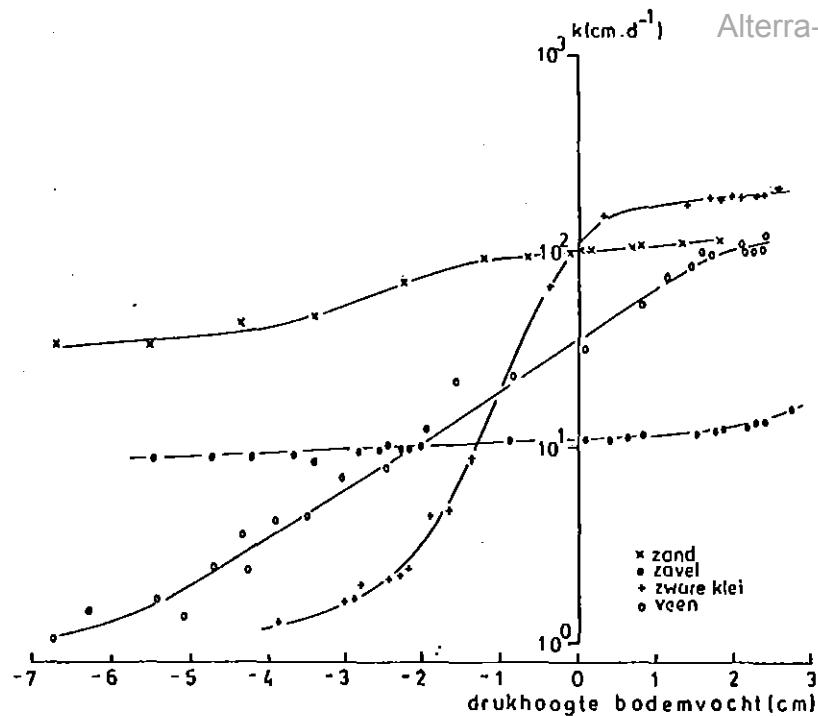


Fig. 5. Doorlatendheidskarakteristieken voor een zand-, zavel-, veen- en zware kleigrond verkregen met de geautomatiseerde kolommenmethode

automatisering van de meting bestaat hieruit dat zowel h als v met behulp van drukopnemers continu geregistreerd worden op een datalogger of recorder. De flux v wordt gemeten door de aan de onderzijde van het monster de vrij uitstromende hoeveelheid water op te vangen in een vooraf geijkte buis. De verandering van de stijghoogte van het water in de buis wordt met een op de bodem van de buis aangebrachte drukopnemer continu gemeten.

Voor de start van de meting worden alle monsters op een zandbak op een drukhoogte van circa -80 cm gebracht. Vervolgens wordt op het monster een laagje water van 2 cm gebracht en net zolang op dit niveau gehandhaafd tot v constant is. Afhankelijk van de doorlatendheid van het monster is de drukhoogte van het bodemvocht op 15 cm: $0 < h < 7$ cm. Door het water op het monster niet meer aan te vullen daalt het niveau en wordt tevens h negatief, zodat ook waarden van $k(h)$ in het zeer natte, doch het onverzadigde traject verkregen worden.

Voorbeelden van meetresultaten van de doorlatendheid in de buurt van verzadiging van een veen-, zand-, lichte zavel- en kleigrond geeft fig. 5.

Verdampingsmethode

Deze methode meet de onverzadigde doorlatendheid over het traject van circa $h = -10$ cm (kleigronden) en $h = -80$ cm (zandgronden) tot h is circa -800 cm. De methode bestaat uit het langzaam laten verdampen van bodemvocht aan de bovenkant van een nat cilindrisch monster. De veranderingen van de drukhoogte h die hierbij optreden worden met behulp van tensiometers op verschillende diepten regelmatig als functie van de tijd gemeten. Ook wordt het vochtverlies als maat voor v als functie van de tijd uit de afnemende massa van het monster bepaald (WIND, 1969; BOELS e.a., 1978).

Om sneller tot betrouwbaarder resultaten te komen, zijn de volgende verbeteringen in de bestaande meetopstelling aangebracht:

- een nieuwe constructie van de tensiometers waardoor de kans op lekkage is geminimaliseerd en de opstelling aanzienlijk bedrijfszekker is geworden (zie fig. 6);
- halvering van de monsterhoogte van 20 tot 10 cm met de volgende voordelen:
 - . het gemakkelijker nemen van ongestoorde monsters;
 - . het beter voldoen aan de voorwaarde van het homogeen zijn van het monster;
 - . een verkorting van de meettijd, omdat lagere drukhoogten (meer negatief) sneller bereikt worden vanwege het ontbreken van diepere lagen waaruit langdurig vocht blijft opstijgen.

Voor klei-, zavel- en veengronden is de monsterhoogte verder teruggebracht tot 6 cm. Hierdoor kunnen ook dunne lagen met afwijkende samenstelling of dichtheid, zoals bijvoorbeeld ploegzolen, worden bemonsterd.

Bij de monsters van 10 respectievelijk 6 cm hoogte wordt de drukhoogte van 4 respectievelijk 3 niveaus in het monster gemeten, waardoor het aantal lagen in het monster dat meedoet bij de berekening van de doorlatendheid 3 respectievelijk 2 bedraagt.

Voorbeelden van meetresultaten van de doorlatendheid tot een drukhoogte van circa -800 cm van humusarm zand- en zware kleigrond geeft fig. 7.

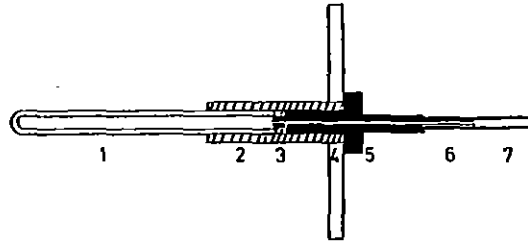


Fig. 6. Nieuwe tensiometerconstructie

	lengte (mm)	diameter (mm)	
		inw.	uitw.
1 tensiometercup	68	3	6
2 plastic slang	40	4	9
3 plastic slang	2	2	4
4 cylinderwand	60	-	-
5 koperen houder	36	-	-
6 roestvrijstalen buisje	15	1,08	1,48
7 nylonslang/koper	30	1,5	3

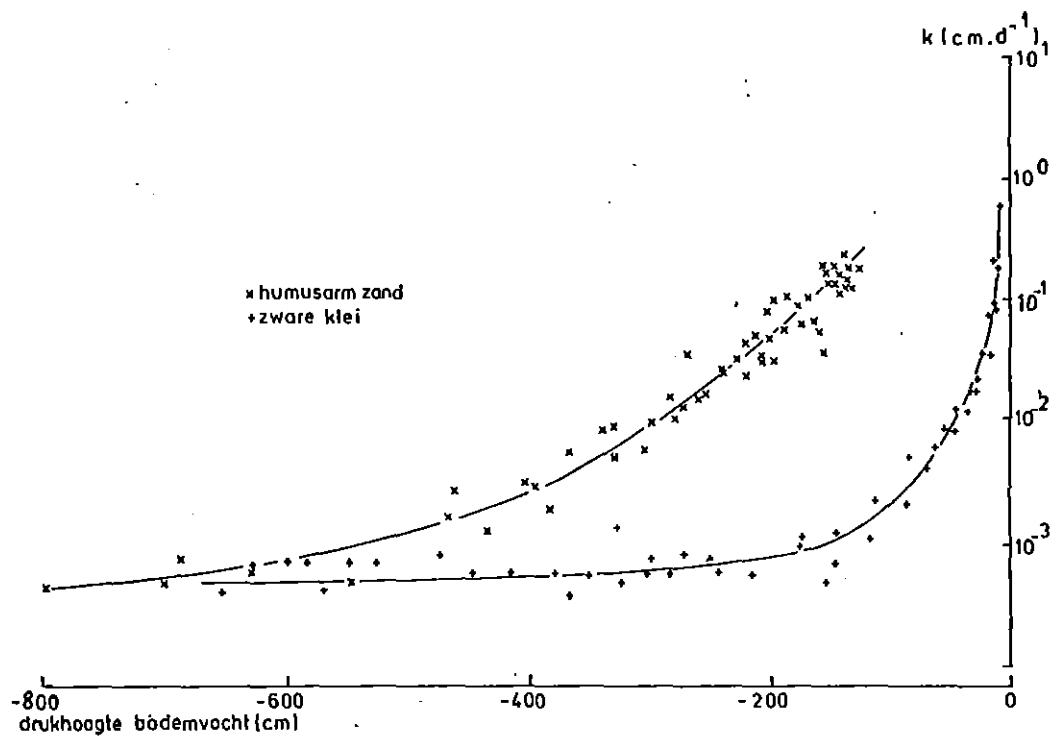


Fig. 7. Doorlatendheidskarakteristieken voor een humusarme zand- en zware kleigrond verkregen met de verdampingsmethode

Hete luchtmethode

Gaat de verdampingsmethode slechts tot circa $h = -800$ cm, deze methode beoogt de doorlatendheid te bepalen over het gehele traject tot drukhoogten van circa $10^{-5,5}$. Deze methode bestaat uit het laten stromen van verhitte lucht langs de bovenkant van een cylinder grond (ARYA e.a., 1975; EHLERS, 1977; BOUMA, 1977; RIJNIEERSEE e.a., 1981). Aan het grensvlak grond - lucht droogt de grond in waardoor een stroming ontstaat in de richting van het grensvlak. Voorwaarde is echter dat het vochtgehalte aan de onderkant van het monster niet verandert. Daarom wordt na 10 minuten de hele luchttoevoer gestopt en de grondkolom van bovenaf snel in dunne plakjes opgedeeld. Snelheid is hierbij geboden omdat met het stoppen van de hete luchttoevoer niet de stroming van vocht in de richting van het grensvlak wordt gestopt. Van ieder plakje grond (circa 15 per monster) wordt het vochtgehalte bepaald waaruit een curve wordt verkregen welke de relatie geeft tussen het vochtgehalte en de afstand tot het grensvlak. Hieruit kan de zogenaamde 'diffusivity' worden berekend volgens:

$$D(\theta) = \frac{1}{2t} \cdot \frac{dz}{d\theta} \int_{\theta_z}^{\theta_1} z \cdot d\theta$$

waarin: D = diffusivity ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
 t = tijd (min)
 z = afstand tot bovenvlak (cm)
 θ_1 resp. θ_z = vochtgehalte bij de start resp. op afstand z van bovenvlak ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

Vervolgens wordt met behulp van een bekende vocht karakteristiek (pF-curve) de doorlatendheid bepaald volgens:

$$k(h) = D(\theta) \cdot \frac{d\theta}{dh}$$

waarin $\frac{d\theta}{dh}$ staat voor de helling van de pF-curve. Bij deze berekening is gebruik gemaakt van een computerprogramma dat ter beschikking was gesteld door de afdeling Toegepaste Bodemfysica van de Stiboka.

De methode gaat ervan uit dat het begin vochtgehalte over de to-

tale lengte van het monster gelijk is. Uit uitvoerige metingen bleek dat hieraan meestal niet wordt voldaan wanneer het monster voor de meting kunstmatig wordt verzadigd. Betere resultaten worden verkregen wanneer niet wordt verzadigd maar wordt uitgegaan van monsters met een veldvochtgehalte om en nabij hygrostatisch evenwicht.

Verder is nagegaan wat de monsterhoogte moet zijn om beter te voldoen aan de voorwaarde van het homogeen zijn van het monster. In het geval van beter doorlatende gronden wordt nu gewerkt met een monsterhoogte van 10 cm bij slechter doorlatende gronden van 5 cm. In beide gevallen bedraagt de diameter van het monster 5 cm.

Fig. 8 geeft voorbeelden van met de hete luchtmethode bepaalde

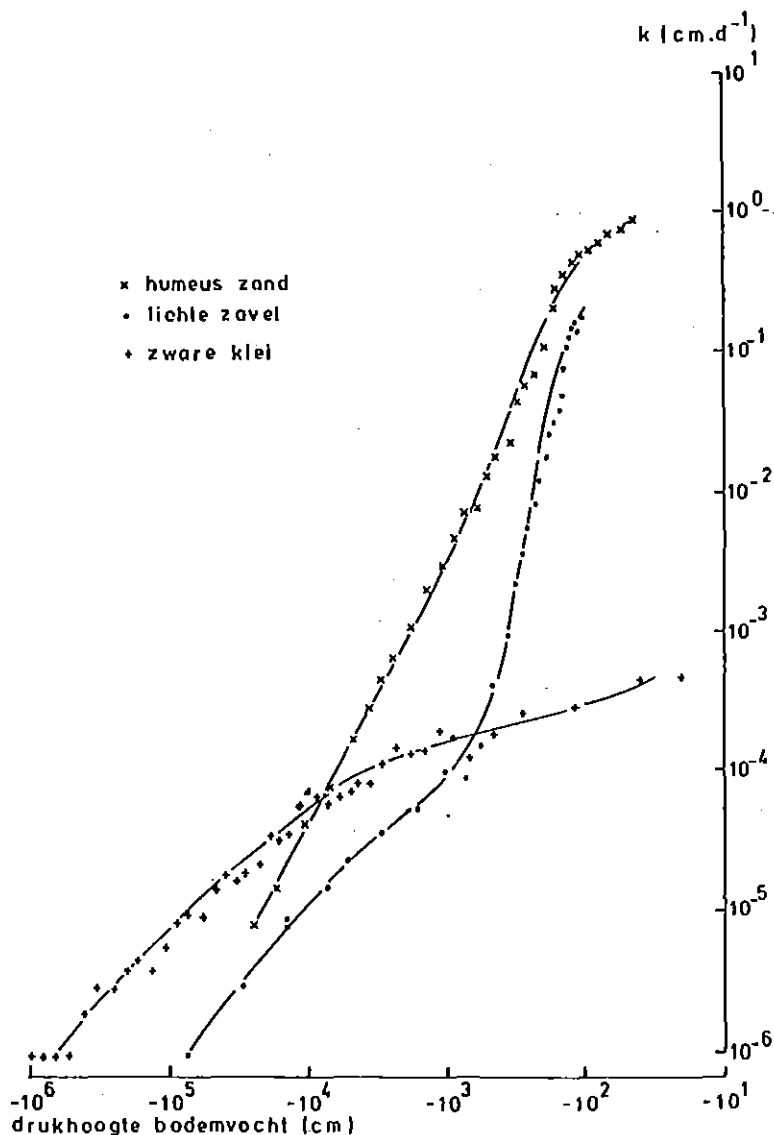


Fig. 8. Doorlatendheidskarakteristieken voor een humeuze zand-, lichte zavel- en zware kleigrond verkregen met de hete luchtmethode

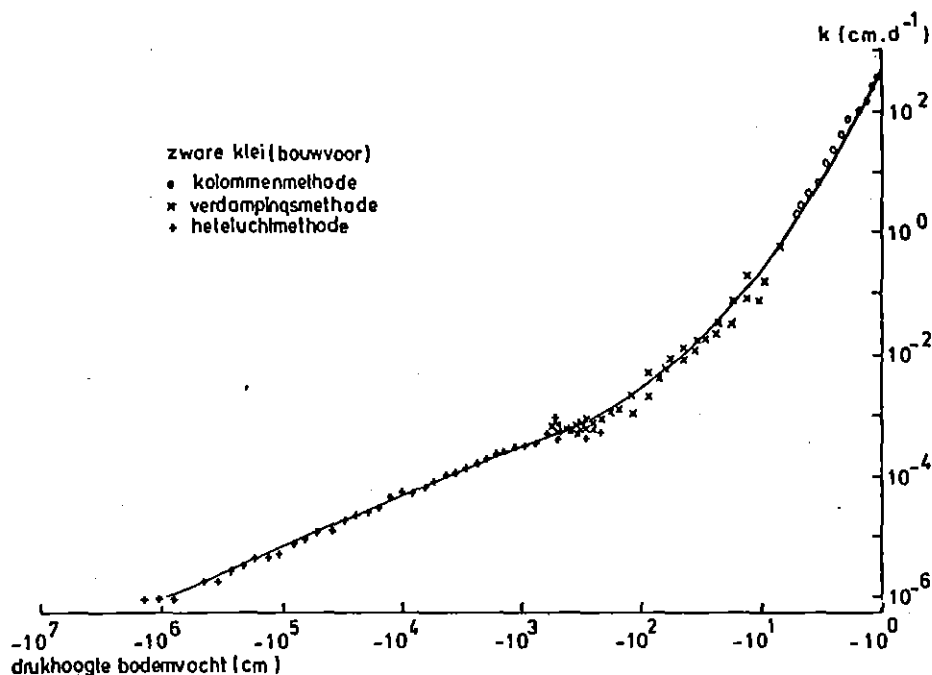


Fig. 9. Doorlatendheidskarakteristiek van een zware kleigrond over het gehele traject van uiterst natte tot zeer droge grond

doorlatendheidskarakteristieken voor een zand-, zavel- en zware kleigrond. Vervolgens worden de met behulp van de bovenbeschreven bepalingsmethoden verkregen delen van de doorlatendheidscurve samengebracht. Aldus wordt een doorlatendheidskarakteristiek verkregen geldend voor het gehele traject van verzadigde tot zeer droge grond (fig. 9).

5.2. $h(\theta)$ - relatie

De vochtkarakteristieken van de in het onderzoek betrokken monsters zijn volgens de in het fysisch laboratorium in gebruik zijnde methoden bepaald. Daarnaast is het traject natter dan $h = -800$ cm ook nog berekend op basis van de uit de verdampingsmethode verkregen meetgegevens. Hierbij wordt op verschillende niveaus in een kolom ongestoorde grond de verandering in drukhoogte met tensiometers en gelijktijdig het afnemen van het vochtgewicht van het monster gemeten (fig. 10). Uit deze twee gegevens kan de vochtkarakteristiek worden berekend en wel op de volgende wijze:

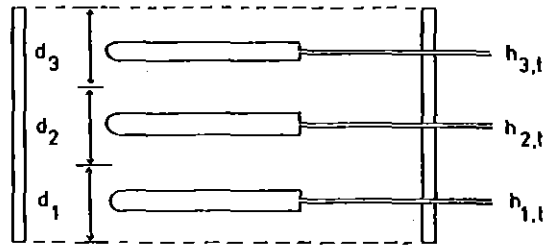


Fig. 10. Monster (hoogte 60 mm, diameter 103 mm) met tensiometers op de diepte van meten voor de bepaling van $h(\theta)$ en $k(h)$ relaties met de verdampingsmethode

$h_{1,t}$ in laag 1 op tijd t

$h_{2,t}$ in laag 2 op tijd t

$h_{3,t}$ in laag 3 op tijd t

G_t het gewicht van het monster inclusief toebehoren op tijd t

G_{te} het gewicht van het monster inclusief toebehoren aan het einde van de meting op tijd t_e

θ_{te} het gemiddelde vochtgehalte van het monster aan het einde van de meting op tijd t_e

De verandering in vochtinhoud van het monster in mm water (m_t) op tijdstip t wordt berekend uit de gewichtsafname gemeten tussen tijdstip (t) en tijdstip (t_e) en de afmetingen van het monster, hoogte (H) en diameter (D):

$$m_t = \frac{G_t - G_{te}}{\frac{\pi}{4} D^2} + H \cdot \theta_{te}$$

Het verband tussen het vochtgehalte (θ) en de drukhoogte (h , negatief) wordt benaderd door een lijnstukkencurve waarvan de ligging van de knikpunten op de drukhoogte-as bekend wordt verondersteld (fig. 11). Hierin is:

$$\theta_1 = \theta_0 + (h_1 - h_0)q_1$$

$$\theta_2 = \theta_1 + (h_2 - h_1)q_2$$

$$\theta_3 = \theta_2 + (h_3 - h_2)q_3$$

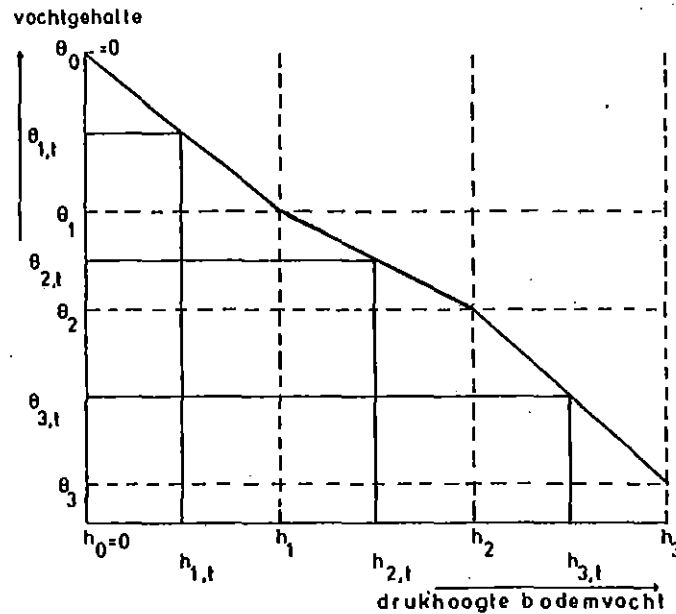


Fig. 11. Verband tussen vochtgehalte en drukhoogte beschreven door een lijnstukkencurve

De onbekenden zijn q_1 , q_2 , q_3 en θ_0 . Het vochtgehalte dat hoort bij de drukhoogte die op tijdstip t in het monster is gemeten:

$$\text{bij } h_{1,t} \quad \theta_{1,t} = \theta_0 + (h_{1,t} - h_0)q_1$$

$$\begin{aligned} \text{bij } h_{2,t} \quad \theta_{2,t} &= \theta_1 + (h_{2,t} - h_1)q_2 \\ &= \theta_0 + (h_1 - h_0)q_1 + (h_{2,t} - h_1)q_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{bij } h_{3,t} \quad \theta_{3,t} &= \theta_2 + (h_{3,t} - h_2)q_3 \\ &= \theta_0 + (h_1 - h_0)q_1 + (h_2 - h_1)q_2 + (h_{3,t} - h_2)q_3 \end{aligned}$$

De vochtinhoud van het monster op tijdstip t is:

$$m_t = d_1 \cdot \theta_{1,t} + d_2 \cdot \theta_{2,t} + d_3 \cdot \theta_{3,t}$$

waarin: d = dikte van de laag, waarin h_1 , h_2 en h_3 gemeten zijn

$$\begin{aligned} \text{dus: } m_t &= (d_1 + d_2 + d_3)\theta_0 + \{d_1(h_{1,t} - h_0) + d_2(h_1 - h_0) + d_3(h_1 - h_0)\}q_1 \\ &\quad + \{d_2(h_{2,t} - h_1) + d_3(h_2 - h_1)\}q_2 + d_3(h_{3,t} - h_2)q_3 \end{aligned}$$

Dat schrijven we gemakshalve als:

$$m_t = c_{0,t} \cdot \theta_0 + c_{1,t} \cdot q_1 + c_{2,t} \cdot q_2 + c_{3,t} \cdot q_3$$

De constanten $c_{0,t}$, $\dots$, $c_{3,t}$ en m_t zijn bekend en zijn voor iedere tijdstap anders.

Op de hier beschreven wijze worden door het doen van veel metingen veel vergelijkingen verkregen waaruit de onbekenden θ_0 , q_1 , q_2 en q_3 kunnen worden vereffend (BOELS e.a., 1978). In het te meten drukhoogtentraject wordt zo bij veel waarden h het bijbehorende vochtgehalte berekend.

Het deel van de $h(\theta)$ -relatie verkregen uit de verdampingsmethode wek vaak af van dat verkregen uit metingen op de pF-bakken (fig. 12). Ook SILVA (1977) constateerde een verschil tussen vocht karakteristieken verkregen uit veldmetingen en die verkregen via de pF-bakken. Bij een gelijke drukhoogte in het natte traject werd in het veld steeds een lager vochtgehalte gemeten dan afgeleid kon worden uit de op de pF-bakken gemeten vocht karakteristiek. Dit moet samenhangen met de

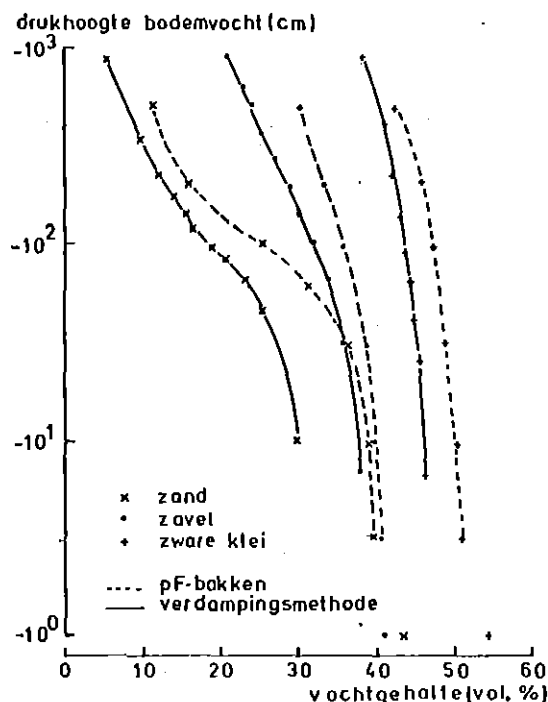


Fig. 12. Vocht karakteristieken gemeten met de verdampingsmethode en op de pF-bakken

wijze van verzadiging zoals die gebruikelijk is bij meting van de vochtkarakteristiek via pF-bakken. In het laboratorium moet de mate van verzadiging groter zijn dan in het veld ooit wordt bereikt. Ook in dit onderzoek werd gevonden dat de enkele op veldmetingen gebaseerde vochtkarakteristieken in het natte traject systematisch onder de via de pF-bakken bepaalde curven liggen. De via de verdampingsmethode bepaalde curven bleken de in het veld gemeten $h(\theta)$ -relaties beter te benaderen dan de via de pF-bakken verkregen $h(\theta)$ -relaties.

In het modelonderzoek zijn de gebruikte $h(\theta)$ -relaties in het natte traject daarom gebaseerd op $h(\theta)$ -relaties verkregen uit de verdampingsmethode. Het drogere traject is gebaseerd op de gebruikelijke laboratoriummetingen.

6. VERIFICATIE VAN MODELRESULTATEN

Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Gezien het doel van het door de werkgroep HELP verrichte modelonderzoek, namelijk berekening van het effect van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen ten behoeve van de evaluatie van landinrichtingsplannen, is het van essentieel belang te zorgen dat de gebruikte modellen de werkelijkheid goed benaderen.

Voor verificatie van de modelresultaten van het in fig. 1 weergegeven model zijn voor elke in het onderzoek betrokken grondsoort gedurende de jaren 1979 en 1980 bodem- en waterhuishoudkundige gegevens verzameld waaraan de modeluitkomsten getoetst kunnen worden. Op regelmatige tijdstippen zijn op elke grondsoort in deze jaren drukhoogteprofielen tot een diepte van 1 m -mv. en grondwaterstanden gemeten. Voor toetsing van de gewasverdampings- en -produktiemodellen zijn voor verschillende gewassen gegevens verzameld over zaai/pootdatum, datum van opkomst, verloop van bodembedekking, gewashoogte en worteldiepte en de eindopbrengst.

6.1. B o d e m v o c h t h u i s h o u d i n g

Het elektrisch analogon ELAN of het numerieke model FLOW simuleren de waterbalans van onbegroeide grond (WIND, 1979). Deze modellen

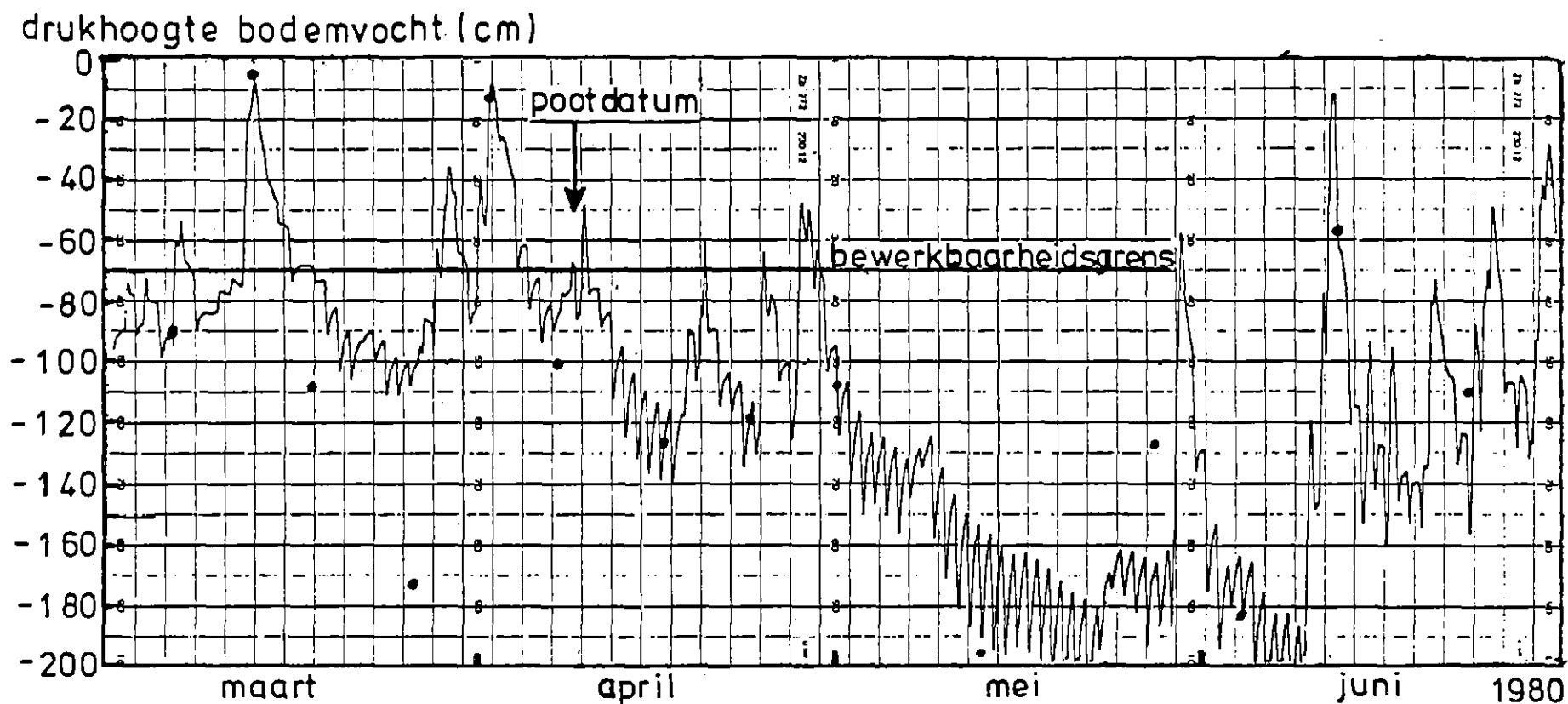


Fig. 13. Vergelijking van de gesimuleerde (getrokken lijn) met de gemeten (punten) drukhoogte van het bodemvocht op 5 cm diepte in de bouwvoor van een heide-ontginningsgrond te Sellingeren in het voorjaar van 1980

gelden voor een homogeen bodemprofiel en voor profielen die uit twee verschillende lagen zijn opgebouwd. In het in fig. 1 gepresenteerde geïntegreerde model worden ELAN of FLOW gebruikt om per grondsoort voor 15 combinaties van draindiepte en -afstand over een periode van 30 jaar het verloop van de grondwaterstand in winter en voorjaar en het tijdstip van zaaien/poten en opkomst te berekenen. Alvorens dit te doen wordt eerst voor iedere grondsoort een testrun gemaakt om na te gaan of met de gemeten $k(h)$ en $h(\theta)$ relaties die in 1979 en 1980 in het veld gemeten drukhoogten of vochtgehalten door het model voldoende worden benaderd. Hiervoor moeten de ter plaatse gemeten neerslagen worden ingevoerd.

In fig. 13 wordt een voorbeeld gegeven voor het gesimuleerde verloop van de drukhoogte op 5 cm diepte in de bouwvoor van een heide-ontginningsgrond (veldpodsol) te Sellingen over de periode maart tot en met juni 1980. Ook is de drukhoogte weergegeven zoals die op 13 tijdstippen gedurende dezelfde periode en op 5 cm diepte in het veld is gemeten. Op enkele uitzonderingen na werd een goede aansluiting gevonden tussen gesimuleerde en gemeten drukhoogten. Soms kan een grote afwijking verklaard worden uit afwijkende omstandigheden. Zo woedde op de dag van de meting in het veld op 26 maart een zandstorm, waardoor de evaporatie extra groot geweest kan zijn. Worden de gemeten punten over de jaren 1979 en 1980 benaderd op een wijze als in fig. 13 het geval is, dan worden de ingevoerde $k(h)$ en $h(\theta)$ relaties bruikbaar bevonden om perioden van 30 jaar door te rekenen.

Afwijkingen tussen gesimuleerde en gemeten drukhoogten kunnen worden veroorzaakt door invoer van

- onjuiste draindiepte of -intensiteit
- onjuiste $k(h)$ of $h(\theta)$ relaties
- onjuiste profielopbouw: te weinig lagen in het model of een verkeerde dikte

Elke testrun begint met de instelling van de juiste draindiepte en -intensiteit aan de hand van gemeten grondwaterstanden. Wanneer door niet de meest essentiële bodemlagen van een profiel te bemonsteren en te meten, de ingevoerde $k(h)$ of $h(\theta)$ relatie onvoldoende aansluiting met de veldgegevens blijkt te geven, dan kan het model induc-

tief worden gebruikt (WIND, 1979). Dat wil zeggen de veldgegevens worden gebruikt om $k(h)$ of $h(\theta)$ zodanig bij te stellen dat wel een goede aansluiting wordt verkregen. Ook kan de profielopbouw in het veld te gecompliceerd zijn. Een of meerdere zeer dunne lagen (ploegzool of slibrijke laagjes), te dun voor bemonstering kunnen de vochthuishouding van de bouwvoor sterk beïnvloeden. Het profiel kan in het veld uit meer lagen bestaan, sterk verschillend in $k(h)$ en $h(\theta)$ relatie dan het model aan kan of bestaan uit een mengsel van bodemmaterialen (diep-ploegen en woelen) met totaal verschillende $k(h)$ en $h(\theta)$ relaties. In deze situaties kunnen uitgaande van de veldmetingen door inductief gebruik van het model toch equivalent $k(h)$ en $h(\theta)$ relaties voor gecompliceerde bodemprofielen worden afgeleid.

Naast de vergelijking tussen gesimuleerde en in het veld gemeten drukhoogten laat fig. 13 ook het gebruik van de in tabel 1 gegeven bewerkbaarheidsgrenzen zien. Deze zandgrond is in het voorjaar bewerkbaar voor aardappelen bij een drukhoogte van -70 cm op 5 cm diepte. Eenvoudig is uit de figuur af te leiden wanneer en hoe vaak de grond te nat was voor bewerking. De boer op deze grond pootte zijn aardappelen op 9 april, toen zowel de model- als veldomstandigheden hiervoor gunstig waren.

6.2. Gewasontwikkeling en produktie

Zijn via de omschreven testruns met ELAN of FLOW de $k(h)$ en $h(\theta)$ relaties bruikbaar bevonden, dan gelden ze tevens als invoer voor SWATRE. Dit model berekent onder de heersende klimatologische omstandigheden de diepte van de grondwaterstand, verandering van het bodemvocht en de verdamping van bodem en gewas. Bij deze simulatie wordt gebruik gemaakt van in het veld gemeten gewasontwikkelingsparameters, zoals het verloop van de wortelgroei en bodembedekking in de tijd. Fig. 14 geeft een vergelijking van het in het veld gemeten verloop van de bodembedekking van fabrieksaardappelen gedurende het groeiseizoen 1979 met dat gesimuleerd met de modellen SWATRE en CROPR. Een dergelijke vergelijking wordt gebruikt om bepaalde modelconstanten bij te kunnen stellen en aldus de modellen te ijken.

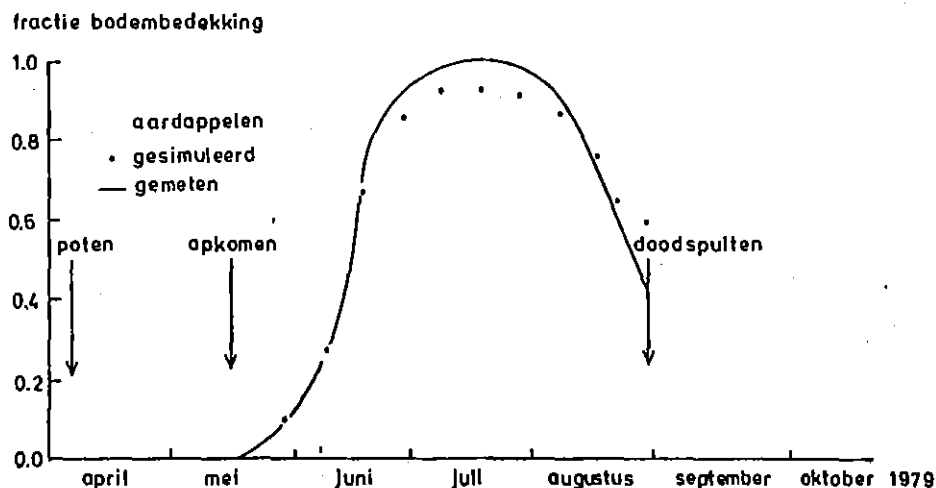


Fig. 14. Vergelijking van het gesimuleerde (punten) met het gemeten (getrokken lijn) verloop van de bodembedekking van fabrieks-aardappelen (ras Ehut) gedurende het groeiseizoen 1979 op een heide-ontginningsgrond te Sellingeren in het voorjaar van 1979

7. SAMENVATTING

Op het ICW houdt een werkgroep zich bezig met de kwantificering van effecten van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen. Hiervoor is een geïntegreerd model ontwikkeld waarin verschillende modellen gekoppeld zijn. Voor gebruik van dit model zijn invoergegevens nodig en gegevens voor verificatie van modelresultaten.

Deze nota beschrijft het onderzoek dat is verricht ter verkrijging van deze gegevens. Hiertoe zijn op de voor bouwland en grasland belangrijkste grondsoorten in Nederland meetopstellingen ingericht waar gedurende 1979 en 1980 een aantal waterhuishoudkundige grootheden regelmatig zijn gemeten. Deze grondsoorten zijn beschreven en uitvoerig bemonsterd. Voor bepaling van de doorlatendheid en de vocht karakteristiek van deze monsters in het laboratorium zijn twee nieuwe meetmethoden geïnstalleerd en een derde reeds aanwezige methode grondig verbeterd. De nota geeft voorbeelden van resultaten van deze drie bepalingmethoden.

Bovendien is in samenwerking met een aantal boeren onderzocht

bij welke vochtomstandigheden de verschillende grondsoorten bewerkbaar zijn voor zaaien/poten in het voorjaar en oogsten in het najaar. De tabellen 1 en 2 vatten de resultaten van dit onderzoek samen.

Ook worden voorbeelden gegeven hoe de in het veld gemeten waterhuishoudkundige en gewasparameters in het modelonderzoek worden gebruikt voor verificatie van modelresultaten en ijking van modelconstanten.

LITERATUUR

- ARYA, L.M., D.A. FARRELL and G.R. BLAKE, 1975. A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots. I. Determination of hydraulic properties of the soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 424-430.
- BOELS, D., J.B.H.M. VAN GILS, G.J. VEERMAN and K.E. WIT, 1978. Theory and system of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities. Soil Sci. 126: 191-199. Verspr. Overdr. ICW 222.
- BOUMA, J., 1977. Soil survey and the study of water in unsaturated soil. Paper 13, Soil Survey Institute, Wageningen. 107 p.
- EHLERS, W., 1977. Measurement and calculation of hydraulic conductivity in horizons of tilled and untilled loess-derived soil, Germany. Geoderma 19: 293-306.
- FEDDES, R.A. and A.L.M. VAN WIJK, 1977. An integrated model-approach to the effect of water management on crop yield. Agric. Water Man. 1: 3-20. Techn. Bull. ICW 103.
- KLUTE, A., 1972. The determination of hydraulic conductivity and diffusivity of unsaturated soils. Soil Sci. 113: 264-277.
- RIJNIERSCE, K. en I.H. SCHOLTEN-SELLES, 1981. De nauwkeurigheid van de $K-\psi$ bepaling volgens de methode Arya. Flevovericht 181. 39 p.
- SILVA, W., 1977. Vergelijking van de vochtspanningen, gemeten in situ met behulp van de pressure transducer, met de uit de pF-curve afgeleide waarden. Nota ICW 988. 60 p.
- WERKGROEP HELP, 1977. Methode voor de evaluatie van landinrichtingsplannen. Rapport. 80 p.

- WIND, G.P., 1969. Capillary conductivity data estimated by a simple method. Symposium on water in the unsaturated zone, Wageningen.
- WIND, G.P., 1979. Analog modeling of transient moisture flow in unsaturated soil. Agric. Res. Rep. 894. Pudoc, Wageningen. 54 p.
- WIJK, A.L.M. VAN en R.A. FEDDES, 1975. Invloed van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen. Nota ICW 867. 42 p.
- WIJK, A.L.M. VAN and R.A. FEDDES, 1982. A model approach to the evaluation of drainage effects. In: Land Drainage. Ed. M.J. Gardiner. Balkema, Rotterdam: 131-149.