M. v. Bakel
ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

NOTA 911 juni 1976

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

GEWENSTE GRONDWATERSTAND IN DE JONGE VEENKOLONIEN

T.S.B. van der Spelt

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

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

VOORWOORD

In het kader van de studie aan de Hogere Bosbouw- en Cultuurtechnische School te Arnhem moet ter afsluiting een studie-opdracht uitgevoerd worden.

Samen met de heer W. Klaassen zou ondergetekende deze studie-opdracht uitvoeren in opdracht van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen. Door een ongeluk moest Wim zijn studieopdracht staken. Desondanks is zijn bijdrage aan deze studie-opdracht van grote waarde. Vanaf deze plaats wil ik hem dan ook bedanken voor zijn, weliswaar tijdelijke, medewerking en hem beterschap en veel sterkte toewensen.

Onze dank gaat uit naar Dr. J. Wesseling, die het mogelijk heeft gemaakt dat wij deze studie-opdracht in dienst van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding konden maken.

Een bijzonder dankwoord aan Dr. R.A. Feddes, die ons zeer goed heeft begeleid bij het uitvoeren van deze studie-opdracht.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

I N H O U D

	blz.
INLEIDING	1
GEBIEDSBESCHRIJVING	3
BODEMKUNDIGE GESTELDHEID	4
WATER IN - EN UITLAAT	4
BODEMVOCHT	4
METEOROLOGISCHE WAARNEMINGEN	5
GEWASSEN	5
VOCHTTRANSPORT IN DE ONVERZADIGDE ZONE	5
DE RELATIE DOORLATENDHEID-VOCHTSPANNING	6
BESCHIKBAAR WATER	10
CAPILLAIRE OPSTIJGING	16
TOTALE HOEVEELHEID BESCHIKBAAR VOCHT	16
DIEPSTE EN HOOGSTE TOELAATBARE GRONDWATERSTANDEN	20
SAMENVATTING	24
LITERATUUR	25

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

INLEIDING

Vanouds gold de opinie dat veenkoloniale grond met de voeten in het water moet staan, dat wil zeggen, dat de ontwateringsbasis niet dieper mag zijn dan de onderzijde van de veenhorizont. Veronachtzaming van deze regel zou grote droogteschade betekenen en vermindering van de kwaliteit van het bodemprofiel door irreversibele indroging en afbraak van humus.

Wellicht is deze natte-voeten regel wel iets te stringent, maar toch is duidelijk dat men niet straffeloos zeer diepe ontwateringen kan toelaten. In de meeste jaren komt op het veenkoloniale profiel enige droogteschade voor. Die kan men uiteraard opheffen door een kleinere ontwateringsdiepte te kiezen, waarbij echter nog niet vaststaat of deze maatregel geen andere belangrijker, schade doet ontstaan (WIND, 1965).

In de landbouw kan al sprake zijn van wateroverlast, wanneer het water nog niet zichtbaar op het land staat. Echter we willen het grondwater ook niet te ver weg (diep) hebben. Water is niet alleen een belager van de landbouw, maar ook een produktiemiddel en grondstof. Volgens VISSER (1958) is de invloed van het grondwater weer te geven in grondwaterdiepte-opbrengst krommen. Deze relaties geven het verband weer tussen gewasopbrengst en de diepte van het grondwater. Hoewel de curven verschillend zijn, al naar de aard van het gewas en de grond waarop ze betrekking hebben, zijn ze toch algemeen van dezelfde vorm. Het zijn alle optimum krommen, met een stijgende natte tak en een dalende droge tak. Slechts bij de diep bewortelbare opdrachtige gronden ontbreekt de droge tak. De lage opbrengsten in het natte gebied worden veroorzaakt door luchtgebrek, wat tot gevolg heeft een verstoring van de stikstofhuishouding; de lage opbrengsten

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

in het droge gebied worden veroorzaakt door vochtgebrek. Hoewel de droge tak tot lang niet zulke lage opbrengsten komt als de natte, is juist aan deze droge kant veel meer aandacht besteed dan aan de natte kant. In de laatste jaren is er juist een economische ontwikkeling geweest, die de natte kant een nog groter belang heeft gegeven dan ze al had. Vanwege de sterk gestegen lonen is de arbeid in de landbouw in hoge mate gemechaniseerd. Door deze mechanisatie zijn er meer machines op het land en minder arbeiders. Deze redenen veroorzaken een vraag naar drogere omstandigheden.

Samenvattend kan worden gezegd, dat door de mechanisatie van de landbouw hogere eisen worden gesteld aan de ontwatering van de grond.

In het veenkoloniale gebied van het waterschap 'De Runde' nabij Emmer-compascuum is een proef opgezet om door middel van het opzetten van de wijkpeilen water te infiltreren in het gebied tussen de wijken. Het doel van het onderzoek is:
Na te gaan wat de mogelijke infiltratievanuit de wijk is om de grondwaterstand in de aanliggende gronden zodanig te verhogen, dat voldoende water voor het gewas beschikbaar komt en een maximale produktie gehaald wordt. In 1972 zijn uitgebreide metingen verricht door het waterschap 'De Runde' in samenwerking met het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.

In deze scriptie zal de opzet van het onderzoek en de meettechniek worden uiteengezet. Vervolgens zal uitvoerig de beschrijving van de stroming van het water in de onverzadigde zone worden behandeld.

Vanwege de wisseling in weersomstandigheden in ieder seizoen is het niet aan te bevelen een direct verband te leggen tussen opbrengst en gemiddelde grondwaterstand gedurende dat groeiseizoen. Daarom is getracht de beschikbare hoeveelheid water te berekenen die nodig is om aan een bepaalde verdampingsvraag c.q. maximum produktie te kunnen voldoen.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

GEBIEDSBESCHRIJVING

In fig. 1 is een situatietekening (schaal 1 : 2000) van het proefobject 'De Runde' weergegeven. De zuid- en noordwijken zijn aangegeven met respectievelijk Z en N. Ze hebben een afstand tot elkaar van 200 m, gemeten vanuit de middens van de wijken (= watergangen).

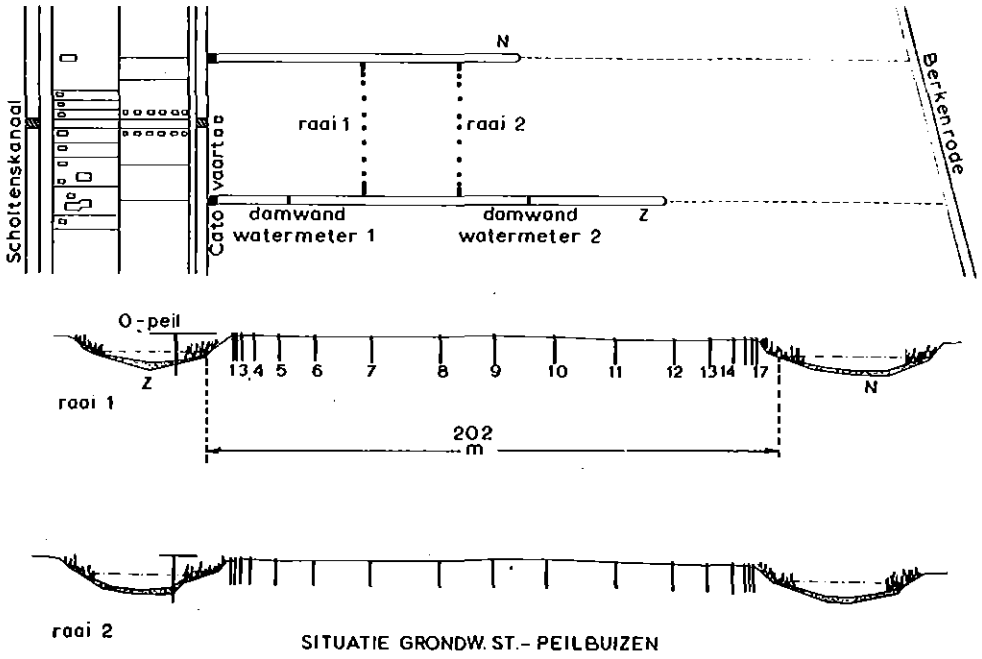

Fig. 1. Schema van het infiltratieperceel met de bijbehorende raaien grondwaterstandsbuizen

Loodrecht op de wijken zijn 2 raaien uitgezet met een onderlinge afstand van 130 m. In elke raai zijn 17 grondwaterstandsbuizen uitgezet, op afstanden vanuit wijk Z van respectievelijk 1, 3, 7^5, 16^5, 29^5, 49^5, 74^5, 93^5, 115^5, 137^5, 157^5, 170, 178, 182^5, 185 en 186^5 m. Deze grondwaterstandsbuizen worden elke dag gemeten. In het midden van elk van deze twee raaien zijn tevens twee registrerende grondwaterstandsmeters geplaatst.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

BODEMKUNDIGE GESTELDHEID

Het proefgebied bevindt zich in de jonge veenkoloniën. Ten behoeve van de veenwinning is het gebied afgegraven. Hierbij wordt de bovenste laag, de zogenaamde bolsterlaag, verwijderd; het veen wordt afgegraven, waarna vervolgens de bolsterlaag weer wordt teruggezet. Na ontwatering wordt het land tot landbouwgebied ingericht.

In de bovenste bewortelde laag van ongeveer 20 tot 30 cm moet het gewas groeien. Hier beneden, in het overgebleven niet afgegraven veen, vindt praktisch geen wortelgroei plaats. Op een diepte van ongeveer 1.00 m tot 1.10 m gaat het veen (mosveen) over in een zandondergrond van zwak lemig zand, die reikt tot ongeveer 2.00 m.

WATER IN- EN UITLAAT

Het peil van de wijken werd opgezet. In de zuidelijke wijk (Z) staan twee watermeters opgesteld, links en rechts van het betreffende proefgebied (zie fig. 1). Zij registreren de waterhoeveelheden in twee richtingen. Met deze watermeters wordt dus gemeten de hoeveelheid water die in het gebied infiltreert of daaruit wordt afgevoerd. Er infiltreert een halve hoeveelheid naar de noordkant en een halve hoeveelheid naar de zuidkant van wijk Z. Vanuit wijk N infiltreert echter ook water het gebied binnen, zodat men kan rekenen met de waargenomen metingen van de watermeters 1 en 2.

BODEMVOCHT

Ter bepaling van de verandering van de vochthuishouding in het profiel zijn wekelijks gamma-metingen verricht in de twee raaien 1 en 2. De straling, afkomstig van een 20 mc C_s^{137} bron, wordt op een bepaalde afstand (40 cm) gemeten. De verzwakking van de straling is afhankelijk van de totale massa tussen bron en ontvanger. Hiermee wordt de dichtheid (nat-volume-gewicht ρ) van de tussenliggende grond gemeten. Wanneer het droog-volume (ρ_d) van de grond niet

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

verandert met de tijd, zijn de gemeten veranderingen in het natvolume gewicht directe veranderingen in het vochtgehalte.

In het laboratorium werden voor de verschillende profielen de relaties tussen het vochtgehalte en de vochtspanning, de zogenaamde pF-curves bepaald. Tevens werden aan ongestoorde cylinders de verzadigde doorlatendheid alsmede de relatie tussen het capillair geleidingsvermogen en de vochtspanning gemeten.

METEOROLOGISCHE WAARNEMINGEN

De meteorologische grootheden zoals luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, neerslag en windsnelheid op 2 m hoogte zijn ter plaatse van het proefobject gemeten. Enkele andere grootheden werden van het KNMI-station in Eelde betrokken, zoals de straling en zonnenschijnduur.

GEWASSEN

In 1972 werd er op het proefgebied een aardappelgewas geteeld. Het ras was Prevalent (fabrieksaardappel). Aan de gewassen werden diverse metingen gedaan: hoogte, bedekkingsgraad, vers- en droge stofgewicht van knol, loof en wortels.

Teneinde een vergelijkingsmogelijkheid te hebben met de gewasgroei en opbrengst in de situatie zonder infiltratie werden dezelfde metingen en bepalingen ook gedaan aan hetzelfde gewas op een nulobject, enkele km's verderop gelegen.

VOCHTTRANSPORT IN DE ONVERZADIGDE ZONE

In de praktijk kan capillaire opstijging vanuit het grondwater een belangrijk proces zijn, omdat het kan bijdragen tot de vochtvoorziening van gewassen, met name in droge perioden. Hoewel dit proces niet-stationair verloopt kan het in vele gevallen stationair worden benaderd.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Kleine afwijkingen van de stationaire toestand bijvoorbeeld door uitdrogen van de grond of door daling van het grondwater als gevolg van onttrekking, of, zoals in dit geval, stijging van het grondwater door infiltratie, kunnen bij benadering worden berekend als zijnde een opeenvolging van stationaire toestanden. Dit noemt men ook wel quasi-stationair: bij geleidelijke veranderingen is deze werkwijze een goede benadering van de niet-stationaire toestand, die in werkelijkheid optreedt (V.D. MOLEN, dictaat onverzadigde zone).

Hierbij wordt gebruik gemaakt van de wet van Darcy:

$$v = k(\psi)(\frac{d\psi}{dz}-1) \qquad (1)$$

waarin: v = stroomsnelheid ($cm^3.cm^{-2}.dag^{-1}$)
k = onverzadigde doorlatendheid ($cm.dag^{-1}$)
ψ = vochtspanning (cm)
z = vertikale coördinaat (cm)

DE RELATIE DOORLATENDHEID - VOCHTSPANNING

In dit onderzoek werd de relatie $k - \psi$ van de te onderzoeken veengrond bepaald volgens de infiltratiemethode zoals ontwikkeld door WESSELING en WIT (1966). Deze methode is gebaseerd op de infiltratie van bekende constante kleine hoeveelheden water in verticaal ongeroerde monsters. Daarbij worden de vochtspanningen langs de kolom gemeten met behulp van kleine tensimeters. Bij bekende waarden van v, ψ en z, kan $k(\psi)$ dan afgeleid worden uit verg. (1). Ten behoeve van deze bepaling werden daartoe op twee plaatsen twee ringmonsters gestoken, een tot een diepte van 45 cm en een tot een diepte van 90 cm. Per laag van 10 cm werden voor verschillende waarden van ψ de verschillende waarden van k gemeten.

Uitgezet op dubbel-logaritmisch papier vormen ze de punten van fig. 2.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

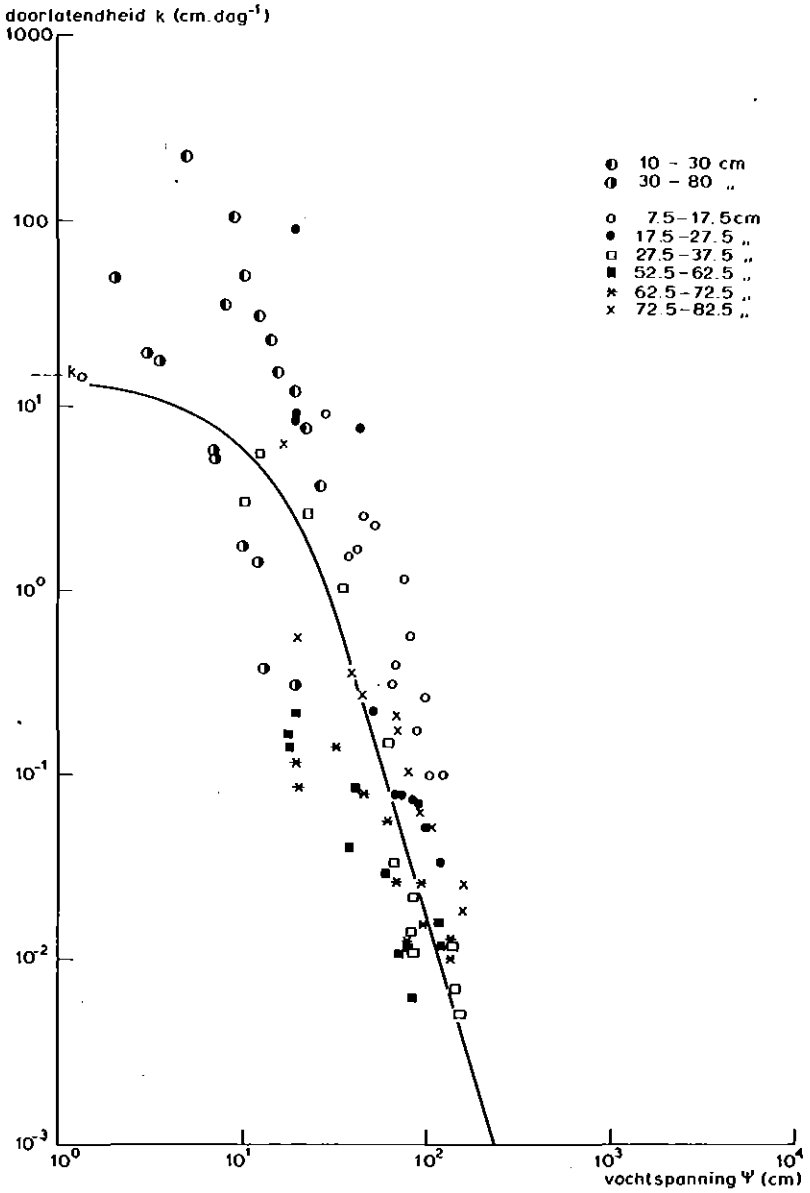

Fig. 2. Relatie tussen de onverzadigde doorlatendheid k en de vochtspanning ψ voor de veengrond van het infiltratieperceel in de jonge veenkoloniën

Door WIND (1955) en WESSELING (1957) wordt de relatie tussen k en ψ weergegeven door de empirische vergelijking:

$$k = a\psi^{-n} \qquad (2)$$

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

waarin a een constante is welke gevonden kan worden door de lijn te snijden met de verticale as. De exponent n heeft een waarde van 1,5 tot 2 in kleigronden en heeft een hogere waarde in zandige gronden RIJTEMA, 1965). Rijtema beschrijft de $k(\psi)$ relatie met de volgende functies:

$$k = k_0 \qquad \text{voor} \quad \psi \leqslant \psi_a \qquad (3)$$

$$k = k_0 . e^{-\alpha(\psi-\psi_a)} \qquad \text{voor} \quad \psi_a < \psi \leqslant \psi_{max} \qquad (4)$$

$$k = a\psi^{-n} \qquad \text{voor} \quad \psi > \psi_{max} \qquad (2a)$$

waarin k_0 is de verzadigde doorlatendheid, ψ_a is de vochtspanning waarbij een met water verzadigd poreus medium lucht begint door te laten, ψ_{max} is de vochtspanning waarboven vergelijking (4) niet meer geldt.

Teneinde de best passende $k(\psi)$ functie te vinden bij de puntenzwerm van fig. 2 is uitgegaan van de volgende procedure.

Voor het traject $\psi \leqslant 40$ is gebruik gemaakt van een methode voor berekening van de onverzadigde doorlatendheid volgens GREEN en COREY (1971). De vergelijking luidt:

$$k(\Theta)_i = \frac{k_s}{k_{sc}} . \frac{30.1440.j^2.\Theta i^2}{g\ \eta\ m^2} . \Sigma_{j=i}^{m}\ (2j+1-2i)h_j^{-2} \qquad (5)$$

waarin:

$k(\Theta)_i$ = doorlaatfaktor bij vochtgehalte Θ_i ($cm.dag^{-1}$)

Θ = volumetrisch vochtgehalte ($cm^3.cm^{-3}$)

$\frac{k_s}{k_{sc}}$ = matching faktor = $\frac{\text{gemeten verzadigde doorlaatfaktor}}{\text{berekende verzadigde doorlaatfaktor}}$

j = oppervlakte spanning van water = 75 ($dynes.cm^{-1}$)

g = versnelling zwaartekracht = 981 ($cm^2.sec^{-1}$)

η = viscositeit van water = 0,01 ($g.cm^{-1}.sec^{-1}$)

m = totaal aantal klassenporiën

h_j = zuigspanning van gegeven klasse poriën = ψ(cm water)

Deze berekende kromme is uitgezet op transparantpapier en aan de hand hiervan is de bestpassende kromme ingetekend in fig. 2.

Uitgaande van enige punten op deze kromme is vervolgens de best passende exponentiële functie volgens verg. (4) bepaald.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Voor het traject $\psi \geq 40$ is aangenomen dat verg. (2a) geldt.
De aldus gevonden constanten voor deze veengrond zijn:

$k_o = 15$ cm.dag^{-1}, $\alpha = 0{,}0942$ cm^{-1}, $a = 36411$ cm$^{4{,}14}$.dag^{-1}, $n = 3{,}14$.

Nu k als functie van ψ bekend is, kan door middel van integratie van verg. (1) het verband tussen de stijgsnelheid v, de hoogte boven de grondwaterspiegel z en de vochtspanning ψ bepaald worden.
Nu wordt verg. (4) in verg. (1) gesubstitueerd. Integratie van verg. (1) tussen de bijbehorende grenzen levert

$$\int_{\psi=0}^{\psi=40} v = \int k_o . e^{-\alpha\psi} \left(\frac{d\psi}{dz} - 1\right) \qquad 0 \leq \psi \leq 40$$

$$z = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{v+k_o}{v+k_o . e^{-\alpha\psi}} + \frac{k_o . \psi_a}{v+k_o} \qquad (6)$$

Deze laatste term is nul, omdat $\psi_a = 0$.

Voor $\psi > 40$ wordt verg. (2a) in verg. (1) gesubstitueerd. Dit levert:

$$dz = \frac{d\psi}{\frac{v}{k} + 1} \qquad \text{voor } k = a^{\psi - n}$$

Numerieke integratie geeft vervolgens:

$$z_{i+1} = z_i + \frac{d\psi}{\frac{v}{a} . \psi^n + 1} \qquad \text{voor } \psi > 40 \qquad (7)$$

De resultaten van de berekeningen zijn tot een grafische voorstelling verwerkt in fig. 3.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

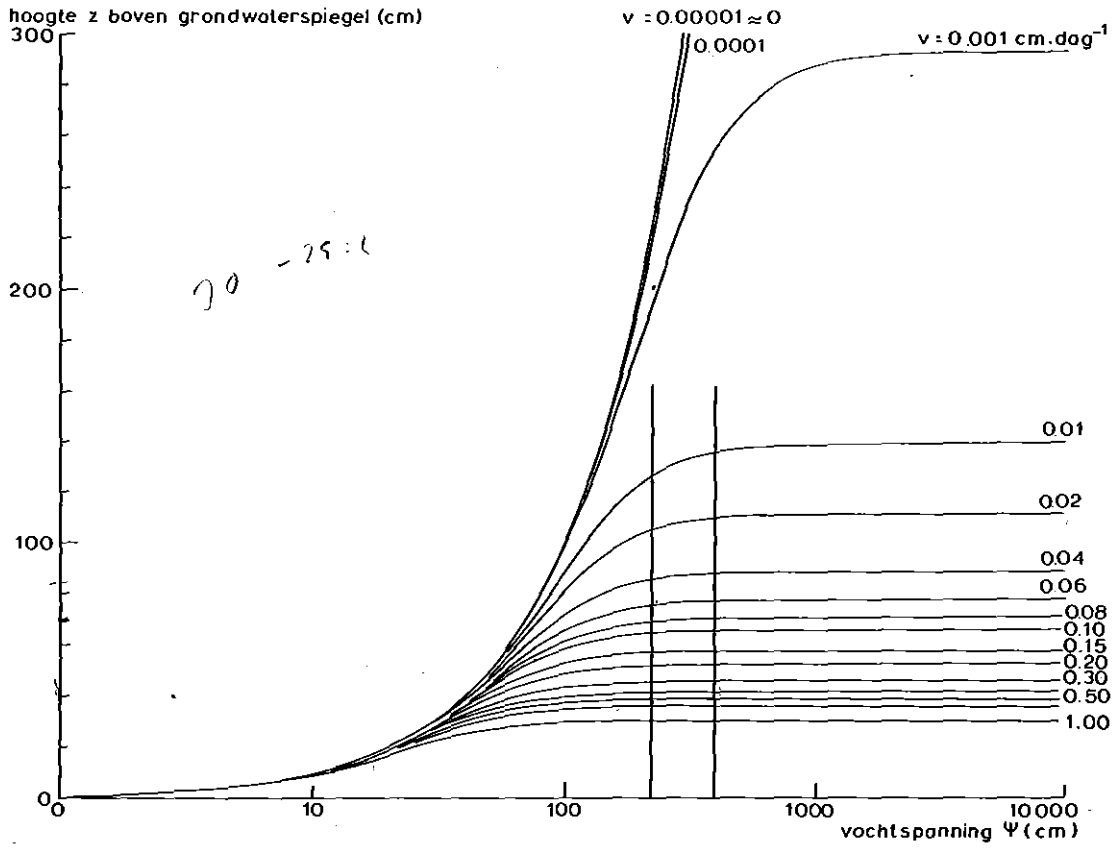

Fig. 3. Relatie tussen de hoogte van de capillaire opstijging boven de grondwaterspiegel z en de vochtspanning ψ voor verschillende stijgsnelheden v voor een veengrond

BESCHIKBAAR WATER

Om de hoeveelheid beschikbaar water voor planten te beschrijven, wordt vaak de term veldcapaciteit en verwelkingspunt gebruikt. Veldcapaciteit wordt gebruikt om aan te geven de bovengrens van de opgeslagen hoeveelheid beschikbaar water voor plantengroei en verwelkingspunt wordt gebruikt om de ondergrens aan te geven.

Onder bepaalde voorwaarden kan men de maximale hoeveelheid water, die beschikbaar komt voor de verdamping van het gewas gedurende een aantal dagen, berekenen als men geïnformeerd is over de neerslag, dikte van de wortelzone, diepte van de grondwaterstand en de

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

hydrologische eigenschappen van de grond (FEDDES, 1971).

De hoeveelheid beschikbaar vocht in de grond is de som van beschikbaar water in de wortelzone plus de hoeveelheid water die geleverd wordt door de opwaartse waterbeweging vanuit de zone onder de beworteling en vanuit de grondwaterspiegel. Het beschikbaar water in de wortelzone wordt vaak gedefiniëerd als de hoeveelheid water tussen de evenwichtssituatie (capillaire opstijging = 0) en ψ = 15 000 (pF = 4.2) cm.

Het is bekend echter, dat bij toenemende uitdroging van de grond de beschikbaarheid van water voor de plant progressief afneemt. Daarom is het, met de bedoeling een optimale productie te verkrijgen, beter niet toe te staan dat de grond zo ver uitdroogt.

FEDDES (1969) concludeert in een overzicht over benodigde vocht hoeveelheden en effecten van vochtspanningen op opbrengst en kwaliteit, dat in het algemeen voor aardappelen de toegestane vochtspanning waarbij de produktie begint af te nemen ongeveer 400 cm (pF = 2,6) is. In de hier toegepaste berekeningen is deze waarde aangenomen als de hoogste uitdrogingsgrens voor de wortelzone.

Om de capillaire stijgsnelheid vanuit de grondwaterspiegel te berekenen werd een gemiddelde vochtspanning aangenomen van 224 cm (pF = 2,35) voor de gehele groeiperiode van het gewas.

De hoeveelheden water welke beschikbaar komen via capillaire opstijging vanuit de grondwaterspiegel kunnen afgeleid worden uit fig. 3 wanneer men bij ψ = 224 cm afleest de verschillende snelheden v voor de respectievelijke diepten z.

Fig. 4 vormt een voorbeeld van een berekening van de hoeveelheid beschikbaar water. Ervan uitgaande dat de wortelzone reikt tot 40 cm diepte, leest men uit tabel I af (bij een v = 0,08 cm.dag^{-1} en een pF = 2,6, ψ = 400 cm) een grondwaterstandsdiepte van 70,9 cm beneden de onderkant van de wortelzone. Uiteindelijk komt men dan tot een grondwaterstandsdiepte van 110,9 cm beneden maaiveld (70,9 + 40).

Geen successievelijke verlaging v.d. grondwaterstand.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

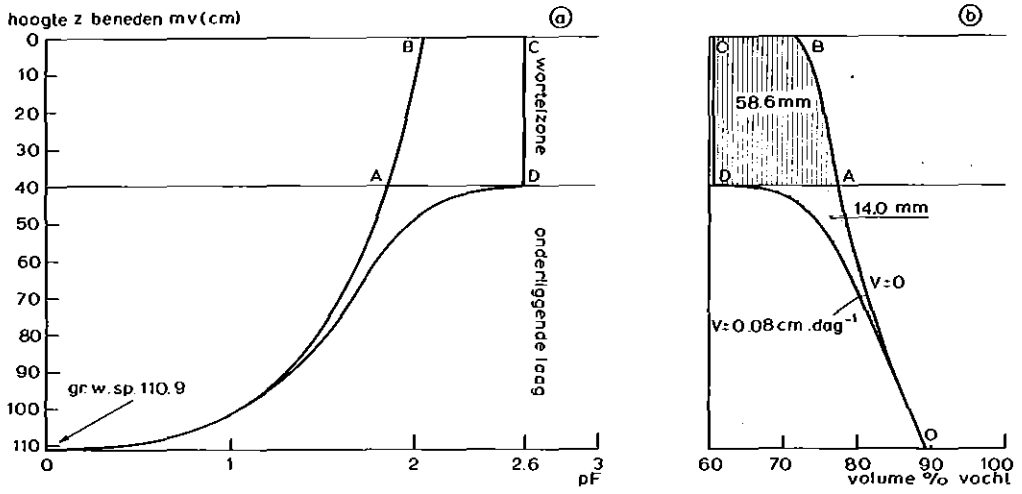

Fig. 4. a. Voorbeeld van de vochtspanningsverdeling in een veengrond wanneer een maximale vochtspanning van pF = 2,6 in de wortelzone wordt aangehouden en de grondwaterstand zich op 110,9 cm -mv bevindt;
b. Beschikbare hoeveelheid water bij de situatie onder a

Beginnend vanuit de evenwichtssituatie OAB (zie fig. 4) kan men de totale hoeveelheid beschikbaar vocht aangeven door het oppervlak van OABCDO. Per 10 cm is uitgewerkt welke evenwichts pF waarden en welke maximale pF waarden horen bij de verschillende diepten beneden maaiveld. Om nu vochtspanningen om te zetten in vochtgehalten is gebruik gemaakt van de gemiddelde pF-kurve, welke in het laboratorium bepaald is (fig. 5). Hierna kon het vochtverschil uitgerekend worden tussen het evenwichtsvochtgehalte en het minimale vochtgehalte. Daarna werd het gemiddelde beschikbare vochtgehalte bepaald over een laag van 10 cm. Het volumepercentage per 10 cm komt overeen met het aantal mm per 10 cm. De som van de verschillende lagen geeft dus aan het aantal mm vocht wat in de onverzadigde zone beschikbaar is voor het gewas per groeiseizoen. Een overzicht van deze berekening vormt tabel I (zie ook fig. 4b).

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

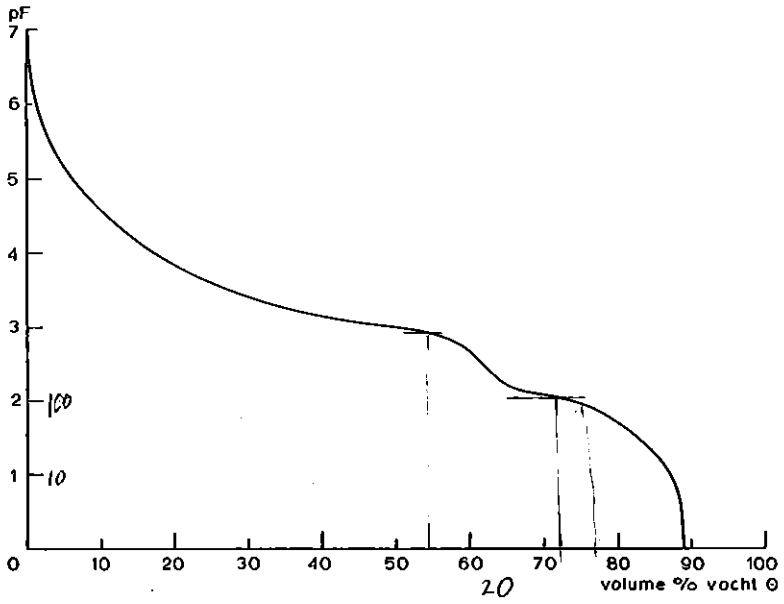

Fig. 5. Gemiddelde pF-curve van de veengrond van het infiltratie-perceel

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 1. Overzicht van de berekening van de beschikbare hoeveelheid vocht in een veengrond bij een grondwaterstand van 110,9 cm -mv, een maximale uitdrogingsgrens in de wortelzone van pF_{max} = 2,6 cm en de pF-curve van fig. 5

v = 0,08 cm.dag^{-1}. Gr.w.stand: 110,9 cm -mv.

diepte (cm) beneden m.v.	diepte (cm) boven gr.w.sp.	$pF_{ev.}$	$\Theta_{ev.}$	$pF_{max.}$	$\Theta_{max.}$	$\Delta\Theta$	$\Delta\Theta_{gem.}$	
0	110,9	2,05	71,8	2,6	60,4	11,4	12,7	
10	100,9	2,00	74,4	2,6	60,4	14,0	14,35	
20	90,9	1,96	75,1	2,6	60,4	14,7	15,25	
30	80,9	1,91	76,2	2,6	60,4	15,8	16,3	
40	70,9	1,85	77,2	2,6	60,4	16,8	10,0	58,6
50	60,9	1,78	78,2	1,97	75,0	3,2		
60	50,9	1,71	79,6	1,79	78,2	1,4	2,3	
70	40,9	1,61	81,1	1,65	80,5	0,6	1,0	
80	30,9	1,49	82,6	1,51	82,4	0,2	0,4	
90	20,9	1,32	84,9	1,33	84,7	0,2	0,2	
100	10,9	1,04	87,2	1,04	87,2	0	0,1	
110	0,9	0,10	88,0	0,10	88,0	0	0	
110,9	0	- ∞	100			0	0	14,0
						Totaal		72,6 mm

Homogeen

+ daling grwst. Bv. bij 90 beginnen; geeft extra ± 25 mm

Op een diepte van ongeveer 1,20 m -maaiveld gaat de veengrond over in zand. Bij diepere grondwaterstanden moeten we dus rekenen met een ander vochtspanningsprofiel en met een andere pF-curve, namelijk die van zand. Wanneer we deze echter uitrekenen vinden we vanwege de gunstige capillaire eigenschappen van het zand verschillen in vocht tussen de evenwichts pF en maximale pF van praktisch nul. Deze hoeveelheden kunnen dus verwaarloosd worden.

Nu blijkt dat de diepte van de wortelzone in het veen voor diverse gewassen nogal variëert. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de

BC 70 - 80
80-90
90-100
100-110

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 2. Beschikbare hoeveelheden vocht in een veengrond voor verschillende grondwaterstandsdiepten bij een maximale uitdrogingsgrens van pF_{max} = 2,6 en bij drie aangenomen diepten van de wortelzone

Grondwaterstand in cm beneden onderkant wortelzone	Beschikbaar vocht in mm met een wortelzone van		
	40	30	20
136,4	43,1	39,35	35
110,2	47,29	41,29	35,29
88,5	65,35	57,5	47,4
77,7	70,6	60,5	47,55
70,9	72,6	59,9	45,55
66,0	73,2	60,6	46,1
57,9	76,8	62,15	46,6
52,8	79,4	64,3	48,2
46,4	81,65	66,05	49,3
42,2	83,6	67,5	50,3
39,2	85,6	69,1	51,5
36,8	86,25	69,5	51,65
30,7	90,6	73,15	54,5

diverse hoeveelheden vocht welke beschikbaar zijn bij verschillende grondwaterstanden met respectievelijk een wortelzone van 40 cm, 30 cm en 20 cm. In fig. 6 is deze tabel grafisch uitgezet. Uit deze figuur blijkt dat de dikte van de wortelzone van grote invloed is op de beschikbaar hoeveelheid vocht. Bovendien is dit bij stijgende grondwaterstand van meer betekenis. Bijvoorbeeld is de hoeveelheid beschikbaar vocht bij een grondwaterstand van 70 cm beneden mv. voor een wortelzone van respectievelijk 40, 30 en 20 cm: 91, 69 en 49 mm. Bij een grondwaterstand van 140 cm -mv. vindt men een beschikbare hoeveelheid vocht van respectievelijk 52, 41 en 36 mm.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

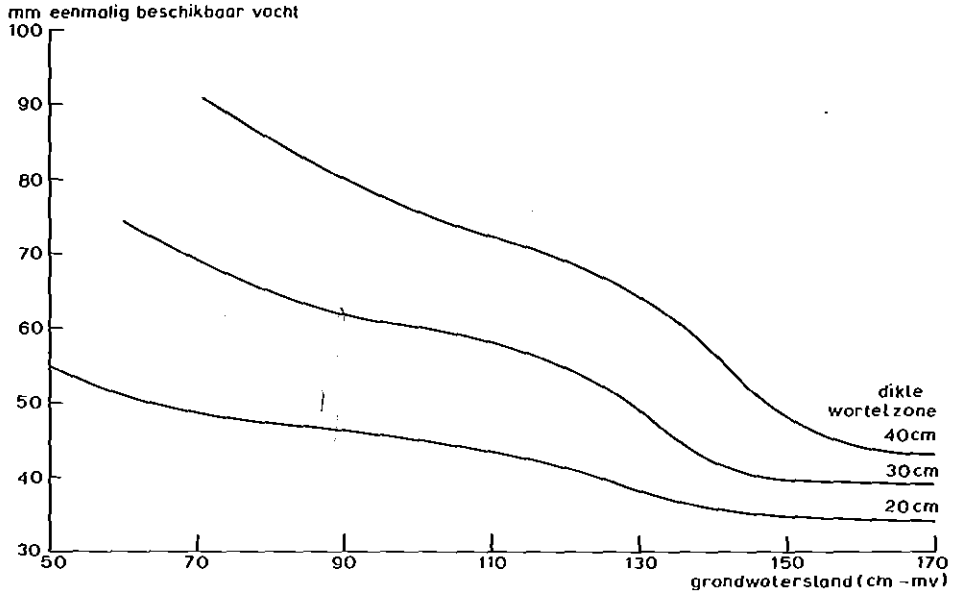

Fig. 6. Eenmalig beschikbaar vocht als funktie van de grondwaterstandsdiepte bij drie verschillende diktes van de wortelzone

In veenkoloniale grond is de beworteling beperkt tot de bouwvoor; in het veen is er geen beworteling. Dit als gevolg van de zeer lage pH en slechte struktuur. Veenkoloniale grond komt in het algemeen dan ook zeker in aanmerking voor een grondverbetering. Hierbij wordt dus de grond tot een grotere diepte bewortelbaar gemaakt. Daarmee neemt het beschikbaar vocht voor de plant aanmerkelijk toe, omdat juist de wortelzone de grootste hoeveelheid vocht voor de gewassen beschikbaar stelt.

Deze grondverbetering moet uitgevoerd worden door te diepploegen. De veenlaag is namelijk 90 cm dik en men zal met mengwoelen geen goede menging van zand en veen krijgen (WIERING en WIND, 1963). Nooit mag dieper geploegd worden dan de slootwaterstand in de winter. De ervaring is dat wanneer er dieper geploegd wordt dan het slootwaterpeil in de winter, de grond na het ploegen te nat wordt. Het zand onder de veenlaag wat aangeploegd wordt, mag niet te fijn zijn: hoe grover hoe beter.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

CAPILLAIRE OPSTIJGING

Behalve de berekende hoeveelheid beschikbaar vocht, die eenmalig vrij komt in de loop van het groeiseizoen, zal ten gevolge van capillaire opstijging iedere dag extra vocht naar het wortelsysteem worden gevoerd. Uitgaande van de veronderstelling dat capillaire opstijging van vocht uitde ondergrond plaats vindt bij een gemiddelde pF-waarde van 2,35 (ψ = 224 cm), kan men uit fig. 3 aflezen welke capillaire opstijging per dag optreedt voor de verschillende grondwaterstandsdiepten bij ψ = 224 cm (zie tabel 4).

TOTALE HOEVEELHEID BESCHIKBAAR VOCHT

In tabel 4 is verder een overzicht gegeven van de totale hoeveelheid vocht (dus de hoeveelheid vocht uit de wortelzone en de onderliggende laag tot aan de grondwaterspiegel plus de capillaire opstijging), welke ten goede aan de plant komt gedurende een groeiperiode van 90 dagen en van 105 dagen voor het gewas aardappelen met een wortelzone van respectievelijk 40, 30 en 20 cm. In fig. 7 zijn de resultaten grafisch uitgezet voor een gemiddeld groeiseizoen van 100 dagen.

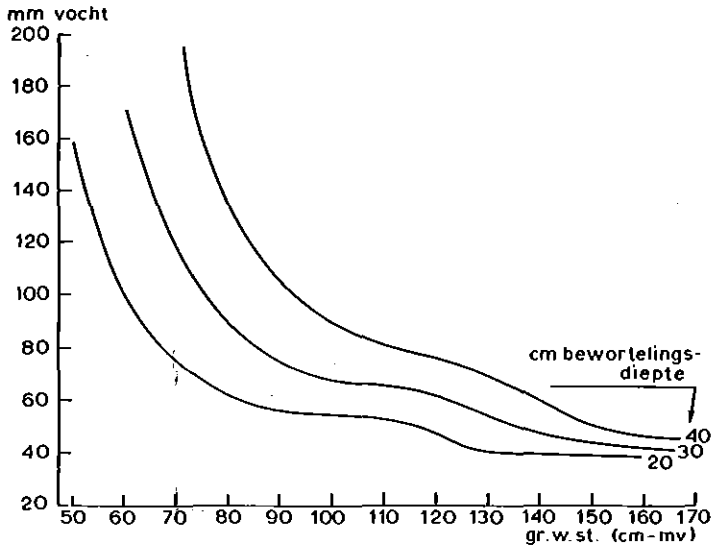

Fig. 7. Beschikbare hoeveelheid vocht in een veengrond voor een gewas met worteldiepten van respectievelijk 40, 30 en 20 cm en een lengte van het groeiseizoen van 100 dagen

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 4. Beschikbare hoeveelheden vocht in een veengrond voor een gewas met worteldiepten van respectievelijk 40, 30 en 20 cm bij verschillende grondwaterstandsdiepten gedurende twee lengten van het groeiseizoen

Veengrond met wortelzone van 40 cm

Gr.w.st.beneden mv. (cm)	70,7	76,8	79,2	82,2	86,4	92,8	97,9	106	110,9	117,7	128,5	150,2	176,4
Diepte beneden wortelzone (cm)	30,7	36,8	39,2	42,2	46,4	52,8	57,9	66,0	70,9	77,7	88,5	110,2	136,4
Opstijging bij pF=2,35 (ψ = 224)(mm.dag^{-1})	1,0	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,096	0,077	0,059	0,037	0,018	0,009
Beschikbaar vocht over 90 dagen:													
Wortelzone plus onderliggende laag	90,6	86,25	85,6	83,6	81,65	79,4	67,8	73,2	72,6	70,5	65,35	47,29	43,1
Capillaire opstijging	90	54	45	36	27	18	13,5	8,64	6,93	5,31	3,33	1,62	0,81
Totaal	180,6	140,25	130,60	119,6	108,65	97,4	90,3	81,84	79,53	75,91	68,68	48,91	43,91
Beschikbaar vocht over 105 dagen:													
Wortelzone plus onderliggende laag	90,6	86,25	85,6	83,6	81,65	79,4	67,8	73,2	72,6	70,5	63,35	47,29	43,1
Capillaire opstijging	105	63	52,5	42	31,5	21	15,75	10,08	8,09	6,2	3,89	1,89	0,96
Totaal	195,6	149,25	138,1	125,6	113,15	100,4	92,55	83,28	80,69	76,80	69,24	49,18	44,06

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 4b.

	Veengrond met wortelzone van 30 cm												
Gr.w.st.beneden mv.(cm)	60,7	66,8	69,2	72,2	76,4	82,8	87,9	96,0	100,9	107,7	118,5	140,2	166,4
Diepte beneden wortelzone (cm)	30,7	36,8	39,2	42,2	46,4	52,8	57,9	66,0	70,9	77,7	88,5	110,2	136,4
Opstijging bij pF = 2,35 (ψ= 224) (mm.dag^{-1})	1,0	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,096	0,077	0,059	0,037	0,018	0,009
Beschikbaar vocht over 90 dagen:													
Wortelzone plus onderliggende laag	73,15	69,5	69,1	67,5	66,05	64,3	62,15	60,60	59,9	60,5	57,5	41,29	39,35
Capillaire opstijging	90	54	45	36	27	18	13,5	8,64	6,93	5,31	3,33	1,62	0,81
Totaal	163,15	123,5	114,1	103,5	93,05	82,3	75,65	69,24	66,83	65,61	60,83	42,91	40,16
Beschikbaar vocht over 105 dagen:													
Wortelzone plus onderliggende laag	73,15	69,5	69,1	67,5	66,05	64,3	62,15	60,60	59,9	60,5	57,5	41,29	39,35
Capillaire opstijging	105	63	52,5	42	31,5	21	15,75	10,08	8,09	6,20	3,89	1,89	0,96
Totaal	178,15	132,5	121,6	109,5	97,55	85,3	77,90	70,68	67,99	66,7	61,39	43,18	40,31

In begin grasseizoen geen evenw. situatie ($V = 0$) ($V > 0$ wegzijging)
dus voorraad vocht in wortelzone groter dan hier gebruikt

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 4c.

	Veengrond met wortelzone van 20 cm												
Gr.w.st.beneden mv. (cm)	50,7	56,8	59,2	62,2	66,4	72,8	77,9	86,0	90,9	97,7	108,5	130,2	156,4
Diepte beneden wortelzone (cm)	30,7	36,8	39,2	42,2	46,4	52,8	57,9	66,0	70,9	77,7	88,5	110,2	136,4
Opstijging bij pF = 2,35 (ψ= 224)(mm.dag^{-1})	1,0	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,096	0,077	0,059	0,037	0,018	0,009
Beschikbaar vocht over 90 dagen:													
Wortelzone plus onderliggende laag	54,5	51,65	51,5	50,3	49,3	48,2	46,6	46,1	45,55	47,55	47,4	35,29	35
Capillaire opstijging	90	54	45	36	27	18	13,5	8,64	6,93	5,31	3,33	1,62	0,81
Totaal	144,5	105,65	96,5	86,3	76,3	66,2	60,1	54,74	52,48	52,86	50,73	36,91	35,81
Beschikbaar vocht over 105 dagen:													
Wortelzone plus onderliggende laag	54,5	51,65	51,5	50,3	49,3	48,2	46,6	46,1	45,55	47,55	47,4	35,29	35
Capillaire opstijging	105,0	63	52,5	42	31,5	21	15	10,08	8,09	6,20	3,89	1,89	0,96
Totaal	159,5	114,65	104,0	92,3	80,8	69,2	61,6	56,18	53,64	53,75	51,29	37,18	35,96

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

DIEPSTE EN HOOGSTE TOELAATBARE GRONDWATERSTANDEN

In Nederland zijn een aantal grondwaterstanden van proefvelden op een constant peil gebracht om na te gaan de invloed van een constant peil op de opbrengst van gewassen (FEDDES, 1971).

Omdat veranderingen in weersomstandigheden optreden, verandert de relatie tussen opbrengst en grondwaterstand van jaar tot jaar en het lijkt weinig zinvol deze vergelijking over meerdere jaren te maken. Er werd aangetoond dat voor een zekere produktie droge stof een zekere hoeveelheid water moet verdampen. Als men de maximale hoeveelheid water weet, die verdampen moet om verzekerd te zijn van een maximale produktie, kan men nagaan of onder de heersende omstandigheden, deze vereiste hoeveelheid water beschikbaar is. De beschikbaarheid van water is in elke groeiperiode gedeeltelijk bepaald door de hoeveelheid neerslag en door de hoeveelheid water die door de grond geleverd kan worden.

Zoals reeds vermeld is, is in tabel 4 een overzicht gegeven van de hoeveelheden beschikbaar water in de grond bij verschillende grondwaterstanden voor verschillende groeiperiodes.

Bij de bepaling van de hoeveelheid neerslag is gebruik gemaakt van de frequentieverdeling van 63 jaren regenval in tijdvakken van k opeenvolgende dagen te Ter Apel (KNMI tabellen, 1953). Uit deze frequentieverdeling kan men bepalen de totale hoeveelheid regen welke in een periode van k opeenvolgende dagen gemiddeld eens in j jaren minder of meer bedraagt dan de kritische waarde X.

FEDDES (1971) vond voor een aardappelgewas een optimale hoeveelheid beschikbaar vocht van 310 mm ter verkrijging van een maximale opbrengst, gedurende een groeiseizoen van k = 90 dagen. Voor een groeiseizoen van k = 105 dagen, zoals bij dit onderzoek het geval was, wordt dat een hoeveelheid beschikbaar vocht van ongeveer 360 mm. Het begin van groeiseizoen van het aardappelgewas wordt gesteld op 16 mei. De hoeveelheid vocht van respectievelijk 310 mm en 360 mm moet dus geleverd worden door de kritische waarde X uit de frequentieverdeling en door een hoeveelheid vocht, die door het profiel beschikbaar moet worden gesteld. In tabel 5 zijn enige alternatieven

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

Tabel 5. Berekening van de diepste en hoogste toelaatbare grondwaterstand voor het gewas aardappelen groeiend op een veengrond voor twee lengtes van het groeiseizoen in een aantal jaren met verschillende droogtegevoeligheid

j	Risk	X	Tot.benod. hoeveelh. water	Ben.hoeveelh. vocht uit profiel	Diepste toelaatbare gr.w.st. in cm beneden mv.		
					wortelzone (cm)		
jaar	%	mm	mm	mm	20	30	40
			k=90				
2	50	203	360	157	50	61	74
5	20	157	360	203	<50	<60	68
10	10	117	360	243	<50	<60	<70
2	50	203	310	107	57	71	87
5	20	157	310	153	<50	62	74
10	10	117	310	193	<50	<60	69
			k = 105				
2	50	233	360	127	55	68	82
5	20	186	360	174	<50	61	74
10	10	147	360	213	<50	<60	68
2	50	233	310	77	73	88	118
5	20	186	310	124	55	69	83
10	10	147	310	163	50	62	75

					Hoogste toelaatbare gr.w.st. in cm beneden mv.		
					wortelzone (cm)		
					20	30	40
			k = 90				
2	50	203	360	157	50	61	74
5	20	242	360	118	55	68	83
10	10	265	360	95	60	75	95
2	50	203	310	107	57	71	87
5	20	242	310	68	72	98	129
10	10	265	310	45	118	139	167
			k = 105				
2	50	233	360	127	55	68	82
5	20	278	360	82	66	85	108
10	10	303	360	57	85	124	141
2	50	233	310	77	68	89	118
5	20	278	310	32	>160	>170	>180
10	10	303	310	7	>160	>170	>180

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

gegeven met k is respectievelijk 90 en 105 dagen en met een totale hoeveelheid vocht van respectievelijk 310 en 360 mm, voor wortelzones met dieptes van respectievelijk van 20, 30 en 40 cm. Aan de hand van fig. 7 kan men aflezen welke diepste toelaatbare grondwaterstand hoort bij de diverse benodigde hoeveelheden vocht uit het profiel.

Dezelfde methode is toegepast voor de bepaling van de hoogste toelaatbare grondwaterstand, nu echter gebaseerd op een overschrijdingskans van 1 maal in j jaren. Ook hier varieert j tussen respectievelijke 2, 5 en 10 jaren (zie tabel 5).

Als men tabel 5 bekijkt komt men tot de conclusie dat bij de verschillende alternatieven geen grote verschillen in diepste toelaatbare grondwaterstanden gevonden worden. Zo vindt men bijvoorbeeld bij k = 105, een totale benodigde hoeveelheid vocht van 360 mm, bij een wortelzone van 30 cm en bij een neerslagintensiteit die 1 maal in de 5 jaar voorkomt een diepst toelaatbare grondwaterstand van 61 cm beneden maaiveld. Indien de benodigde hoeveelheid vocht 310 mm is, vindt men een diepst toelaatbare grondwaterstand van 69 cm beneden maaiveld.

Als hoogste toelaatbare grondwaterstand bij k = 105, een totale benodigde hoeveelheid vocht van 360 mm, bij een wortelzone van 30 cm en bij een neerslagintensiteit van 1 maal in de 5 jaar vindt men een diepte van 85 cm beneden maaiveld. Bij een benodigde hoeveelheid vocht van 310 mm vindt men een hoogst toelaatbare grondwaterstand van dieper dan 170 cm beneden maaiveld.

Deze betrekkelijk kleine variatie bij de diepst toelaatbare grondwaterstand en de grote verschillen bij de hoogst toelaatbare grondwaterstand vindt zijn oorzaak in de vorm van de curven van fig. 7. Bij bijvoorbeeld een grondwaterstandswijziging van 60 tot 70 cm beneden mv. vindt men bij een wortelzone van 30 cm dikte een vochtverandering van ongeveer 180 mm tot 120 mm = 60 mm, echter bij een verandering in grondwaterstand van 120 tot 130 cm beneden mv. vindt men een vocht verandering van 61 mm tot 54 mm = 7 mm.

Wanneer we de neerslag gaan bekijken die in 1972 gemeten is in het proefgebied komen we tot de conclusie dat 1972 een zeer nat jaar is geweest. De neerslag bedroeg namelijk 319 mm. Volgens de KNMI

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

frequentie tabellen komt deze neerslag minder dan 1 maal in de 62,5 jaar voor. (Overschrijdingskans is kleiner dan 1,6%). In een dergelijk jaar is het dus van belang dat de grondwaterstand diep zit.

Naar aanleiding van verdampingsberekeningen kwam men op een reële verdamping in 1972 gedurende het groeiseizoen van 310 mm. Indien we dat vergelijken met de hoeveelheid neerslag van 319 mm die in dezelfde tijd gevallen is, blijkt dat de neerslag de verdampingsvraag heeft kunnen compenseren. We zullen in dit natte jaar 1972 dus weinig invloed van de grondwaterstand mogen verwachten. In fig. 8 is de gemiddelde grondwaterstand in het infiltratiegebied gedurende het groeiseizoen van 1972 uitgezet. Deze bedroeg gemiddeld genomen ongeveer 115 cm beneden mv. De grondwaterstand in het 'nul'object was in dat groeiseizoen gemiddeld circa 180 cm beneden mv.

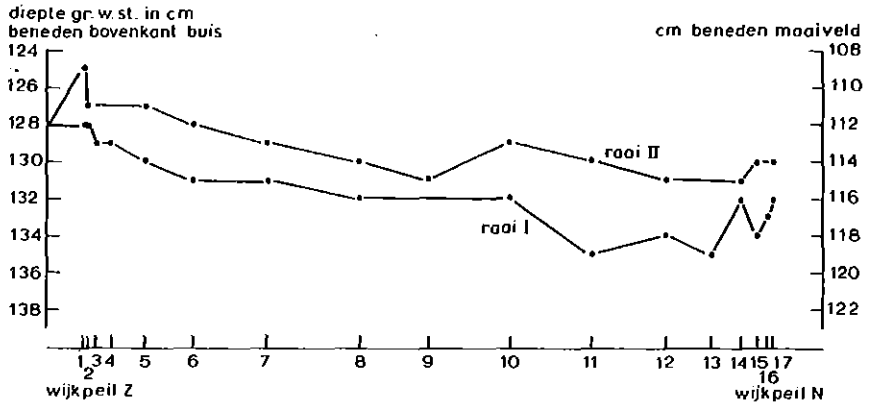

Fig. 8. Gemiddelde grondwaterstand in de raaien I en II van het proefperceel gedurende het groeiseizoen 1972

Uit de proefoogsten blijkt nu dat de opbrengst op het nulobject met de diepere grondwaterstand zelfs lichtelijk hoger (ongeveer 8%) was, dan op het infiltratieobject met de hogere grondwaterstand. Hieruit blijkt dus duidelijk dat in dit natte jaar 1972 een verhoging van 180 - 115 = 65 cm van de grondwaterstand geen opbrengstverhogende invloed heeft gehad. Het lichte opbrengstverschil tussen de beide objecten is waarschijnlijk te herleiden tot plaatselijke verschillen in profielopbouw en een mogelijk te hoge grondwaterstand in het infiltratieobject.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

SAMENVATTING

In het kader van het onderzoek naar de invloed van een verhoogde grondwaterstand (door middel van het opzetten van wijkpeilen) op de opbrengst van gewassen is het infiltratie object 'De Runde' in de veenkoloniën aangelegd.

Omdat de weersomstandigheden in ieder seizoen wisselen is niet uitgegaan van een direct verband tussen grondwaterstand en gewas-opbrengst. Onderzocht is welke hoeveelheid beschikbaar water nodig is om aan een bepaalde verdampingsvraag te voldoen. Een maximale produktie is namelijk pas mogelijk, indien voldoende water beschikbaar is ten behoeve van de verdamping.

Aan de hand van deze gewenste hoeveelheid beschikbaar water werden de diepst toelaatbare en hoogst toelaatbare grondwaterstanden voor het gewas aardappelen berekend. Hierbij vonden we voor de diepst toelaatbare grondwaterstand waarden van 61 - 69 cm - mv. en voor de hoogst toelaatbare grondwaterstanden waarden van 85 - dieper dan 170 cm - mv.

Aangetoond kon worden dat 1972 een zeer nat jaar was, de gevallen hoeveelheid neerslag komt maar minder dan 1 maal in 62,5 jaar voor. Te verwachten is dan ook dat in dit natte jaar de invloed van de grondwaterstand op de opbrengst van het gewas gering is.

Uit de frequentieberekeningen werd gevonden dat de hoogst toelaatbare grondwaterstand dieper moest zijn dan 170 cm - mv., terwijl de grondwaterstand in het infiltratiegebied ongeveer 115 cm -mv. was. Uit gemeten opbrengstverschillen tussen het infiltratie-object (grondwaterstand 115 cm) en het nul-object (grondwaterstand 180 cm) werd deze tendens ook bevestigd. De opbrengsten op het nul-object met de diepere grondwater bleken hoger te zijn dan op het infiltratie-object met de hogere grondwaterstand.

ICW-nota 911
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR

LITERATUUR

FEDDES, R.A., 1969. Beregeningsprogramma's. Meded.Dir.Tuinb. 32,10/11: 440-453. Verspr.Overdr. ICW 105

_____ 1971. Water, heat and crop growth. Meded. Landbouwhogeschool Wageningen 71-12. pp. 184

_____ en M.G. VAN STEENBERGEN, 1973. Infiltratie proefveld 'De Groeve', Nota ICW Wageningen 735

GREEN, R.E. en J.C. COREY, 1971. Calculation of Hydraulic Conductivity: A further evaluation of some predictive methods. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 35: 3-8

KNMI, 1958. Frequenties van k-daagse neerslagsommen op Nederlandse stations. 13. Ter Apel, 1891-1953

MOLEN, W.H. VAN DER. Stroming in de onverzadigde zone. Dictaat Landbouwhogeschool Afd. Cultuurtechniek

RIJTEMA, P.E., 1965. An analysis of actual evapotranspiration. Centrum voor Landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie, Pudoc, Wageningen

VISSER, W.C., 1958. De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Rapp. Comm. Onderz. Landb.waterhuish. Nederland TNO

WESSELING, J., 1957. Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Versl.Landb.k. Onderz. 63.5. Pudoc, Wageningen

_____ en K.E. WIT, 1966. An infiltration method for the determination of the capillary conductivity of undisturbed soil cores, In: Water in the unsaturated zone (P.E. Rijtema en H. Wassink). Symp.Proc.Unesco/IASH 1969.

WIEBING, R. en G.P. WIND, 1963. Verbetering van veenkoloniale grond. Verspr. Overdr. ICW 10

WIND, G.P., 1955. A field experiment concerning capillary rise of moisture in a heavy clay soil. Neth.J. Agric.Sci. 3, 1: 60-69

_____ 1965. Ontwatering van verbeterde en onverbeterde veenkoloniale grond. Nota ICW 291