

NOTA 1143

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ICW-nota 1143
Team Integraal Waterbeheer
Centrum Water&Klimaat
Alterra-WUR december 1979

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

ONDERZOEK NAAR DE RELATIE VEGETATIE-WATERHUISHOUDING

IN HET KOMGRONDENRESERVAAT TIELERWAARD-WEST

Deelrapport 2: BEREKENING VAN ENKELE HYDROLOGISCHE GROOTHEDEN

ing. P.C. Jansen en drs. R.H. Kemmers

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
1.1. Algemeen	1
1.2. De hydrologische situatie	1
2. BESCHIKBARE GEGEVENS	2
2.1. Grondwaterstanden en slootpeilen	2
2.2. Meteorologische gegevens	4
2.3. Gewashoogten en bodembedekking	5
2.4. Gamma transmissie-metingen	5
2.5. pF-gegevens	6
2.6. De doorlatendheid	7
3. VERWERKING VAN DE GEGEVENS	9
3.1. Ondiepe grondwaterstanden	11
3.2. Diepe grondwaterstanden	14
3.3. Fluctuatie van het grondwater	16
3.4. Meetgegevens per balansperiode	21
3.5. Berekening van c en y	27
3.6. Berekening van kD en w	34
3.7. Berekening van de bergingscoëfficiënt	36
4. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	37
5. LITERATUUR	40

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

In deze nota worden, ten behoeve van het relatie-onderzoek vegetatie-waterhuishouding, resultaten van twee jaar hydrologisch onderzoek in het komgrondenreservaat 'Tielerswaard-West' beschreven. Het doel en de opzet van het onderzoek, evenals een beschrijving van het gebied worden in nota 1142 behandeld. In nota 1144 worden de vegetatie en de relatie van de vegetatie met overschrijdings-duurlijnen van grondwaterstanden besproken. In een later stadium zal het waterkwaliteitsaspect aan bod komen.

Het doel van dit onderzoek is na te gaan in hoeverre verschillen in hydrologische parameters optreden die ten grondslag kunnen liggen aan verschillen in de samenstelling van de vegetatie.

Daarnaast richt het onderzoek zich onder andere met behulp van waterbalansstudies op een aantal parameters welke van belang zijn bij de waterhuishouding van het reservaat.

1.2. De hydrologische situatie

Zowel het groeiseizoen (1 april - 1 oktober) van 1977 als van 1978 gaven, zoals uit fig. 5 blijkt, vrij normale hoeveelheden neerslag te zien. Vanaf november wordt in het gebied een open waterpeil van minstens 1.30 m +NAP nagestreefd, eventueel door het oppompen van water van buiten het reservaat. Daar er geen afwatering plaatsvindt, moet het neerslagoverschot en de opgepompte hoeveelheid water het reservaat door verdamping en via ondergrondse afstroming het gebied verlaten. Tijdens het groeiseizoen wordt het reservaat niet van water voorzien.

Uit de beschrijving van het gebied (JANSEN en KEMMERS, 1979) blijkt dat het afdekkend kleipakket een dikte heeft van 5 à 8 meter. Dit rust, ter plaatse van het reservaat, op een ongeveer 50 meter dik pleistocëen pakket dat een k_D -waarde heeft van circa $3000 \text{ m}^2/\text{etmaal}$.

2. BESCHIKBARE GEGEVENS

In april 1977 werd met het onderzoek in het reservaat gestart. Tot en met december 1978 werden door metingen in het veld een groot aantal gegevens verzameld. Voor een zo goed mogelijke aansluiting met het vegetatie-onderzoek zijn de gegevens verzameld op die plaatsen waar vegetatie-opnames worden gemaakt. Op al deze plaatsen worden de grondwaterstanden gemeten. In een aantal gevallen worden ook gewashoogten, het vochtgehalte met behulp van de gamma transmissiemethode en pF-curven bepaald. Andere gegevens die in het reservaat gemeten worden zijn het slootpeil, de neerslag en de doorlatendheid. Gegevens over de bodemgesteldheid, de waterbeheersing en het beheer zijn in nota 1142 opgenomen.

2.1. Grondwaterstanden en slootpeilen

Op grond van verschillen in bodem, grondwatertrappen (BANNINK, 1967) en hoogteverschillen, zijn een aantal grondwaterstandsbuizen geplaatst. Plaats en nummer van de buizen zijn in fig. 1 aangegeven. Bij de nummers 1, 4 en 12 wordt de stijghoogte van de diepe buis continu met een hydrograaf geregistreerd. Het filter van deze buizen reikt tot in de zandondergrond.

Om de invloed na te gaan van de onttrekkingen door een in 1959 vlak bij het reservaat opgericht drinkwaterpompstation zijn in opdracht van Staatsbosbeheer door de firma Haitjema in september 1969 vier buizen geplaatst met een lengte van 10 meter. Het filter bevindt zich op een diepte van 9 - 10 meter. Deze buizen zijn in fig. 1 met A, B, C en D aangegeven.

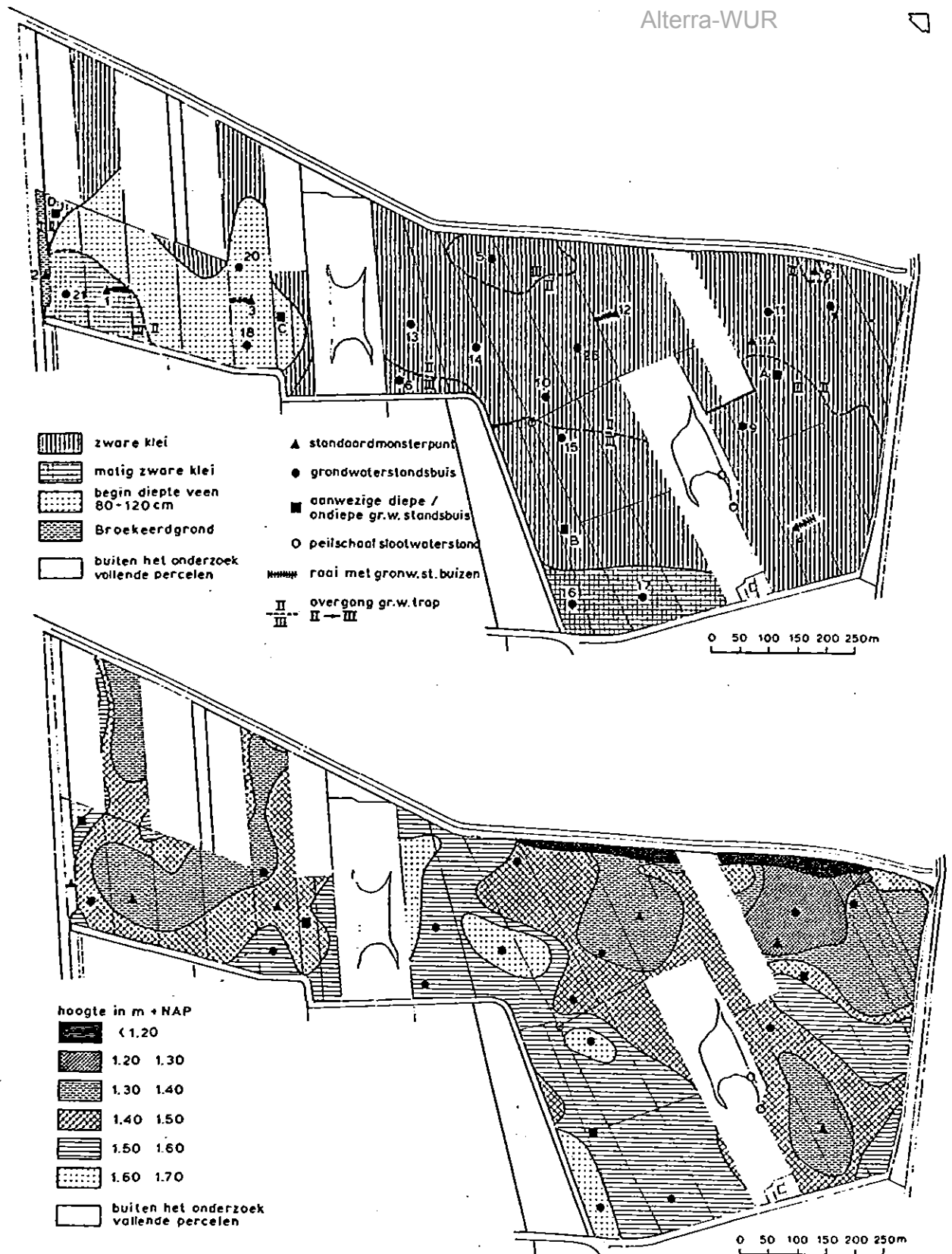


Fig. 1. Overzicht hydrologisch meetnet

Er zijn 19 verspreid staande buizen met een filterdiepte van 1,80 - 2,00 meter. In één geval zijn 9 en in drie gevallen 11 van zulke buizen in een raai dwars over een perceel geplaatst. In het midden van de raaien 1, 4 en 12 worden de ondiepe grondwaterstanden met dezelfde hydrograven als voor de stijghoogte van het watervoerend pakket continu geregistreerd. De standen in de overige buizen worden gedurende het groeiseizoen éénmaal per week waargenomen. In het winterhalfjaar worden de standen 2 x per maand gemeten.

In de loop van het onderzoek zijn er nog een aantal grondwaterstandsbuisjes met een lengte van 50 centimeter geplaatst, om de invloed van de doorlatendheid van de komkleilaag, die tot ongeveer 70 centimeter mv. reikt, na te kunnen gaan. Deze buisjes staan niet in fig. 1 aangegeven.

Het slootpeil is bekend door wekelijks een centraal in het reservaat opgesteld NAP-peilschaal af te lezen.

Van de bovenkant van alle buizen, de peilschaal en van het maai-veld naast de buizen is door meting de hoogteligging ten opzichte van NAP bekend. Het bleek dat de peilschaal 15 centimeter te hoog stond opgesteld.

2.2. Meteorologische gegevens

In het reservaat worden de neerslaghoeveelheden en -intensiteiten door een pluviograaf geregistreerd. In principe gebeurt dit het hele jaar door. Ontbrekende of onnauwkeurige gegevens in verband met vorst worden vervangen door neerslaggegevens van het neerslagstation Zaltbommel. Dit station ligt weliswaar ten zuiden van de Waal, maar het is de dichtstbijzijnde plaats waar de neerslag gemeten wordt. Om te zien of er afwijkingen tussen de gemeten hoeveelheden neerslag in het reservaat en bij Zaltbommel optreden, zijn deze voor 1977 met elkaar vergeleken. Het bleek dat, hoewel er dagen met een paar millimeter verschil waren, de jaarsom voor beide stations gelijk was.

Verder zijn voor de berekening van de gewasverdamping, de temperatuur en de relatieve vochtigheid van het weerstation Andel betrokken. Voor de kortgolvlige straling, de relatieve zonnenschijnduur en

de windsnelheid is, gezien de afstand, de som van $2/3$ van de gemeten waarden van De Bilt en $1/3$ van de gemeten waarden van Vlissingen genomen.

2.3. Gewashoogten en bodembedekking

Voor de berekening van de gewasverdamping zijn zowel de gewashoogte als de bodembedekking van belang.

De bodembedekking levert nergens problemen op, deze is overal 100%. De gewashoogten zijn gedurende het zomerhalfjaar regelmatig op de percelen waar gamma transmissie-metingen worden verricht, gemeten. Behalve de moerige strook bij buis 2 worden alle percelen na het broedseizoen gemaaid. Vlak voor het maaien is de hoogte moeilijk te bepalen omdat grote delen zijn gaan legeren.

2.4. Gamma transmissie-metingen

RYHNER en PANKOW (1969) geven een beschrijving van de techniek van dichtheids- en vochtmetingen met behulp van de gamma transmissiemethode. In het kort komt deze methode hierop neer, dat in één van de twee, op 40 centimeter van elkaar, evenwijdig opgestelde, buizen een bronnetje met gammastraling en in de andere buis op gelijke diepte een detector wordt neergelaten. De hoeveelheid doorgelaten straling is afhankelijk van de totale tussenliggende massa. Wanneer aangenomen wordt, dat de massa van de minerale delen (ρ_m) en van de organische stof (ρ_o) niet veranderen, is het verschil tussen twee metingen het gevolg van de verandering in de massa van water (ρ_w). Dit kan per bodemlaag waarvoor de meting geldt met behulp van een ijkmeting omgerekend worden tot een vochtverandering in millimeters. De metingen worden om de 10 centimeter tot een diepte van 1,30 meter verricht. In principe gebeurt dit tijdens het groeiseizoen en dan om de twee weken. Een aantal malen moest hiervan worden afgeweken omdat bijvoorbeeld het terrein onbegaanbaar was.

De plaatsen waar deze metingen werden verricht staan in fig. 1 met een driehoek aangegeven. Op grond van ervaringen die in 1977 op hydrologisch en vegetatiekundig gebied zijn opgedaan, zijn de

opstellingen bij de buizen 3 en 4 in 1978 verplaatst naar 10 en 11a.

De grondwaterstanden zijn bij deze meetopstellingen nooit dieper dan 1.20 meter weggezakt, zodat metingen in de permanent verzadigde zone mogelijk waren en als referentie konden fungeren. Kleine spanningsverschillen in de apparatuur konden aldus worden gecorrigeerd.

2.5. pF-g e g e v e n s

Bij de standaardmonsterpunten zijn profielkuilen gegraven. Op deze plaatsen zijn ook de gamma transmissie-metingen verricht. Uit de wanden van de buizen zijn uit de verschillende lagen tot een diepte van ongeveer 1 meter in duplo monsters genomen. Hiervan zijn de pF-waarden tot 4,2 en het volumegewicht bepaald.

Hoewel overeenkomstige lagen in de verschillende kuilen wat in dikte varieerden en er soms wat venige laagjes op wat grotere diepte voorkwamen, konden de pF-curven voor de overeenkomstige lagen van alle monsterplekken, behalve bij buis 2, worden gecombineerd. De verschillen ertussen zijn minimaal. Voor de moerige strook bij buis 2 zijn de resultaten weergegeven in fig. 2a en voor de rest van het gebied geven de curven uit fig. 2b het resultaat van de pF-bepaling weer.

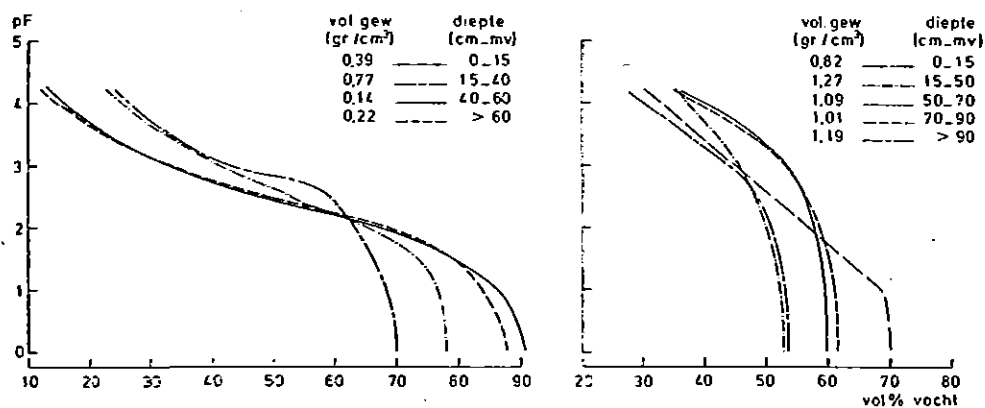


Fig. 2. pF-curven a. Perceel 2

b. Alle graslandpercelen exclusief perceel 2

Een korte beschrijving van de bemonsterde lagen is als volgt:

Fig. 2a: laag 0-15 cm: grijsbruine, venige laag met veel halvergane plantenresten

15-40 cm: lichtgrijze, zwarte en zachte klei met veenrestjes

40-60 cm: half vergaan liesgras op een laag wortels

> 60 cm: een overgang naar kleiig materiaal met veel plantenresten

Fig. 2b: laag 0-15 cm: losse, goed doorwortelde humeuze wortelzone

15-50 cm: bruine tot lichtgrijze, dichte zware klei, minder goed doorworteld

50-70 cm: lichtgrijze slappe zwarte klei

70-90 cm: donkergrijze slappe klei

> 90 cm: langzame overgang naar lichtgrijze tot bruine klei

2.6. De doorlatendheid

Voor de vaststelling van de doorlaatfactor (k) van de verschillende lagen is gebruik gemaakt van het onderzoek van VAN HOORN (1960) naar de hydrologie van het komkleigebied en een onderzoek van Stiboka naar de invloed van drainage op de verticale verzadigde doorlatendheid van kom- en knipkleigronden (BOUMA en DEKKER, 1978). Aanvullend zijn eigen metingen met behulp van de tube-methode verricht. Alle bepalingen zijn in de verzadigde zone verricht.

Voor de zodelaag (0 - 10 à 15 cm) van komkleigronden vond VAN HOORN een doorlaatfactor van 0,2 à 0,5 m/etm. Onder ongunstige omstandigheden kan door vertrapping van vee de doorlaatfactor tot minder dan 0,005 m/etm. afnemen. Behalve voor de percelen waar de buizen 15,16 en 17 geplaatst zijn wordt er slechts met wat jongvee in de nazomer, als de grondwaterstand zich minstens op 60 centimeter m.v. bevindt, nageweid.

De doorlaatfactor van deze komkleilaag is niet met behulp van de boorgatemethode te bepalen. Door het versmeren van de wanden van het boorgat zullen veel te kleine waarden worden vastgesteld.

Met ringmonsters in infiltrometers vond VAN HOORN voor de laag van 20 tot 70 centimeter een doorlatendheid van 0,02 à 0,07 m/etm., met een gemiddelde van 0,05 m/etm. BOUMA en DEKKER toonden aan, dat de doorlaatfactor onder invloed van verbeterde ontwatering toeneemt. Geheel tegen de verwachting in vonden zij in het komgrondenreservaat, waar de ontwatering niet veranderd is, voor de laag van 20 tot 45 centimeter doorlatendheden die een factor 10 groter zijn. Iets dieper (50 tot 80 centimeter) vonden zij doorlatendheden van 0,3 tot 0,5 m/etm. Voor de moerige strook bij buis 2 zijn deze doorlaatfactoren respectievelijk 0,3 en 1,3 m/etm.

De beworteling loopt niet zoals gebruikelijk is bij komkleigronden tot de slecht doorlatende laag, maar gaat door tot een diepte van soms meer dan 0,5 m. Vooral bij buis 2 zijn de wortels van Riet en Liesgras nog dieper doorgedrongen. BOUMA en DEKKER vragen zich af of deze situatie 20 jaar geleden ook al zo was en concluderen dat de komgrond van het reservaat niet representatief is voor 'ongedraïneerde komgrond'.

De scheiding met de goed doorlatende laag dieper dan 90 centimeter is scherp. Deze laag bestaat uit venige klei. Door VAN HOORN kon geen onderscheid worden gemaakt tussen de horizontale en verticale doorlatendheid in deze goed doorlatende ondergrond, mits deze niet onderbroken werd door veenlaagjes. In de ondergrond van het reservaat komen wel veendeeltjes en bij buis 2 veenlagen voor. Toch toonde eigen onderzoek aan dat tot een diepte van 2 meter geen slecht doorlatende lagen konden worden aangetoond, zodat aangenomen is, dat deze laag minstens tot deze diepte isotroop is. Van plaats tot plaats kan de doorlatendheid ervan echter aanzienlijk verschillen. VAN HOORN vond doorlatendheden van 0,5 tot enkele meters per etmaal. Op een drainageproefveld bij Hellouw, hemelsbreed op 3 km afstand van het reservaat gelegen, vond hij plaatselijke doorlatendheden van meer dan 25 m/etm. Bij een tiental eigen metingen werden op een diepte van ongeveer één meter beneden maaiveld doorlatendheden gemeten van 2 tot 9 m/etm. met een gemiddelde van 3,5 m/etm.

Samengevat zouden voor het reservaat de doorlaatfactoren uit tabel 1 kunnen gelden.

Tabel 1. Doorlaatfactoren voor de verschillende lagen

laag	diepte (m -mv.)	doorlaatfactor (m/etm.)
zodelaag	0 - 0,20	0,2 - 0,5
komkleilaag	0,2 - 0,45	0,4 - 1,0
komkleilaag	0,45 - 0,80	0,3 - 0,5
ondergrond	> 0,95	> 3,5

Deze waarden gelden niet voor de moerige strook bij buis 2. Afhankelijk van het voorkomen van veenlaagjes gelden daar waarden van 0,2 voor de wat kleiïger lagen tot 1,5 m/etm. voor sommige venige lagen.

Door uitdroging kunnen de doorlatendheden sterk toenemen. De hogere delen hebben in het voorjaar de diepste grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld. Hierdoor zal het profiel eerder uitdrogen met als gevolg een (tijdelijk) grotere doorlatendheid.

Opgemerkt dient te worden dat met name voor de komkleilaag de doorlaatfactoren erg hoog zijn.

3. VERWERKING VAN DE GEGEVENS

De intensief opgemeten grondwaterstanden zijn op verschillende manieren bewerkt. Er zijn onderlinge correlaties, grondwatertrappen, fluctuaties en veranderingen hierin berekend. Er zijn ook reeksen grondwaterstanden omgezet tot grondwaterstandsduurlijnen. Zoals in de inleiding al is vermeld, is dit onderzoek in een aparte nota (KEMMERS en JANSEN, 1979) behandeld.

Verder zijn in dit hoofdstuk waterbalansen voor een aantal plaatsen en periodes doorgerekend, waarmee een aantal hydrologische parameters bepaald kan worden.

Tabel 2. Correlatie-coëfficiënten grondwaterstanden r

10

buis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	25
1																					
2	0,91																				
3	0,96	0,91																			
4	0,97	0,89	0,97																		
5	0,92	0,90	0,92	0,93																	
6	0,95	0,82	0,94	0,97	0,90																
7	0,92	0,93	0,94	0,90	0,91	0,97															
8	0,89	0,92	0,86	0,88	0,90	0,86	0,98														
9	0,94	0,84	0,93	0,98	0,91	0,98	0,97	0,89													
10	0,89	0,91	0,89	0,91	0,97	0,83	0,87	0,87	0,82												
11	0,93	0,91	0,93	0,88	0,87	0,83	0,87	0,79	0,88	0,83											
12	0,87	0,85	0,90	0,95	0,91	0,92	0,74	0,74	0,85	0,89	0,74										
13	0,96	0,85	0,96	0,99	0,95	0,98	0,93	0,89	0,96	0,89	0,87	0,95									
14	0,79	0,85	0,84	0,87	0,92	0,83	0,73	0,76	0,82	0,91	0,67	0,95	0,88								
15	0,52	0,37	0,60	0,67	0,70	0,67	0,34	0,37	0,63	0,67	0,30	0,81	0,72	0,87							
16	0,85	0,92	0,88	0,91	0,95	0,84	0,81	0,79	0,83	0,97	0,76	0,94	0,89	0,98	0,82						
17	0,93	0,82	0,94	0,96	0,90	0,90	0,84	0,71	0,94	0,90	0,89	0,95	0,97	0,89	0,72	0,89					
18	0,82	0,80	0,89	0,88	0,84	0,91	0,79	0,73	0,92	0,79	0,71	0,90	0,89	0,88	0,83	0,92	0,93				
20	0,97	0,90	0,99	0,97	0,91	0,95	0,86	0,88	0,96	0,89	0,96	0,87	0,96	0,81	0,57	0,84	0,94	0,86			
21	0,94	0,89	0,98	0,93	0,89	0,96	0,93	0,83	0,93	0,86	0,93	0,84	0,94	0,77	0,53	0,84	0,94	0,85	0,98		
25	0,94	0,91	0,90	0,90	0,88	0,84	0,87	0,85	0,83	0,91	0,97	0,80	0,89	0,74	0,47	0,81	0,91	0,70	0,95	0,91	
sloot	0,84	0,89	0,87	0,86	0,89	0,84	0,89	0,87	0,77	0,88	0,78	0,84	0,83	0,88	0,58	0,93	0,80	0,79	0,83	0,86	0,82

3.1. O n d i e p e g r o n d w a t e r s t a n d e n

Voor het tijdvak van april tot en met oktober van 1977 zijn de grondwaterstanden van de buizen die het filter op 2 meter diepte hebben, met elkaar vergeleken. Van de dwarsraaien is steeds de middelste buis van het perceel genomen. In tabel 2 is een overzicht gegeven van alle onderlinge correlatie-coëfficiënten.

Er is in de meeste gevallen ook een goede relatie met het sloot-peil. Opvallend is, dat de grondwaterstanden van 15 maar met een paar andere buizen redelijk correleren. De slechtste correlatie bestaat er tussen 15 en 11 ($r = 0,30$). Tussen deze beide buizen zijn de andere buizen op grond van hun onderlinge correlaties volgens de meest logische volgorde ingeschat. De volgorde wordt dan: 15-14-16-10-5-18-17-12-13-4-6-9-3-20-1-21-7-8-2-25-11. Hoe beter de waargenomen fluctuaties in de verschillende buizen overeenkomen des te dichter staan de bijbehorende buisnummers bij elkaar.

Deze methode zegt echter nog niets over de diepte van het grondwater. De tijdstijghoogte diagrammen en de grondwaterstands-duurlijnen boden de mogelijkheid de door Stiboka voor dit gebied vervaardigde grondwatertrappenkaart (BANNINK, 1967) bij te stellen. Uit de zo ontstane kaart welke in fig. 3 is afgebeeld, blijkt, dat er weinig verschillende grondwatertrappen voorkomen. Behalve een laaggelegen plek in het noorden van het gebied met een gt.I hebben alle percelen een gt.II of gt.III. Bovendien is de overgang hiertussen vaak erg geleidelijk.

De eerder genoemde volgorde van buizen blijkt duidelijk een overgang van droog naar nat te zijn. Behalve 10 en 12 komt bij alle buizen tot 4 een gt III voor. De rest, behalve buis 8 met een gt I heeft een gt II.

Bij de buizen 1, 4 en 12 staan hydrograven die het grondwater-niveau continu registreren. Deze standen reageren vrij direkt op onttrekkingen van water uit de pleistocene ondergrond door het drinkwaterwinstation. Van ongeveer 6 uur 's morgens tot een uur of 10 's avonds daalt het niveau, om 's nachts weer te stijgen.

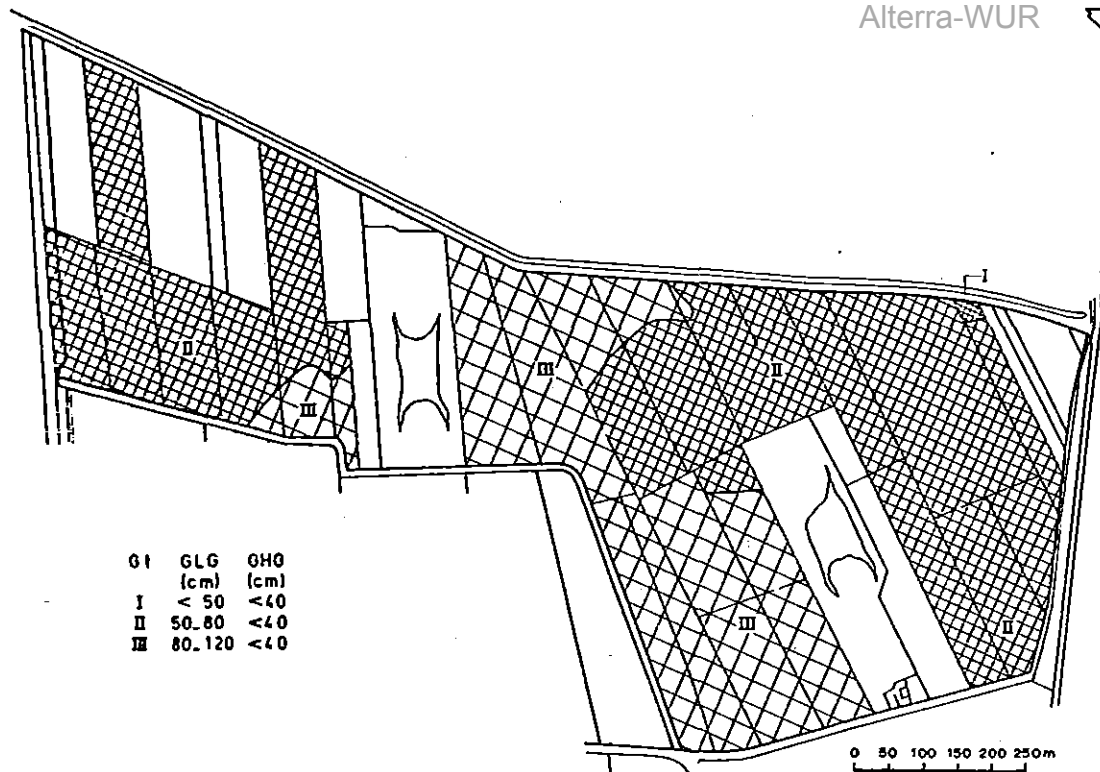


Fig. 3. Grondwatertrappenkaart gebaseerd op grondwaterstandswaarnemingen van 1977 en 1978

Navraag bij het station leerde dat overdag veel meer water wordt gewonnen dan 's nachts. De fluctuaties zijn het duidelijkst waar te nemen tijdens regenarme periodes in de zomer en zijn dan bij buis 12 5 à 6 cm, bij buis 4 3 à 4 cm en bij buis 1 1 à 2 cm. Het drinkwater wordt gewonnen uit de pleistocene ondergrond. De verticale afstand van het filter van de buizen in het reservaat tot deze laag bedraagt zo'n 5 meter. Dat het grondwaterniveau in zo'n sterke mate op het oppompen reageert, kan alleen als de doorlatendheid groot is of als er een goed contact langs de er vlak naast geplaatste diepe grondwaterstandsbuis met de zandondergrond bestaat. Zoals uit hoofdstuk 2.6 bleek is de doorlatendheid beneden 1 meter erg groot, gemiddeld 3,5 m/etm.

Bij deze bewerking van de grondwaterstanden zijn alleen de gegevens van de buizen die het filter op 2 meter diepte hebben, gebruikt. Volgens VAN HOORN (1960) zijn waarnemingen in ondiepere buizen onbetrouwbaar, omdat het boorgat in de komkleilagen versmeerd wordt.

Desondanks blijkt dat als er tussen de buizen met het filter op 0,5 en op 2,0 meter potentiaal-verschillen optreden, deze op een neer-
 waarts gerichte stroming duiden. Er kon geen schijnspiegel worden
 aangetoond. De indringingssnelheid van de ondoorlatende laag is dus
 groter dan de neerslagintensiteit. In tegenstelling tot veel diep
 ontwaterde percelen treedt er onder natte omstandigheden geen plas-
 vorming op. In het reservaat wordt de zodelaag dan ook nauwelijks
 verdicht door betreding.

Er zijn de laatste decennia onder invloed van verbeterde ont-
 en afwatering, drinkwaterwinning en de inrichting als natuurreservaat
 mogelijk veranderingen in de grondwaterstand van het reservaat op-
 getreden. Door het ontbreken van gegevens is het moeilijk na te gaan
 hoe de vroegere situatie precies geweest is. Belangrijk is wel, dat
 de grote ontwateringsdiepte zoals die 's winters voor de omringende
 landbouwgebieden wordt nagestreefd, niet van toepassing is voor het
 reservaat. Hier wordt dan juist water ingelaten om zo de oude
 situatie te benaderen.

Door de opnamen te rangschikken naar overeenkomsten en verschil-
 len wordt het mogelijk groepen te onderscheiden die vegetatiekundige
 overeenkomsten vertonen (KEMMERS en JANSSEN, 1979).

Tussen deze volgorde, de bijbehorende hoogtes in meters +NAP en
 de gemiddelde grondwaterstand in het groeiseizoen ten opzichte van
 het maaiveld zijn de correlatiecoëfficiënten bepaald. Een overzicht
 hiervan staat in tabel 3.

Tabel 3. Correlatiecoëfficiënten (r) tussen de volgorde van vegeta-
 tie opnamen, de maaiveldshoogte en de gemiddelde grond-
 waterstand tijdens het groeiseizoen ten opzichte van het
 maaiveld

	Volgorde van vegetatie- opnamen	Maaiveldshoogte t.o.v. NAP
Maaiveldshoogte t.o.v. NAP	0,89	
Gemiddelde grondwaterstand tijdens het groeiseizoen t.o.v. het maaiveld	0,88	0,87

Met de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van NAP tijdens het groeiseizoen bestonden geen correlaties. Wel valt op dat de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van NAP in deze periode in het noordoosten en wat minder duidelijk in het zuidwesten van het gebied ongeveer 1 decimeter hoger liggen dan in de rest van het gebied. Wellicht is dit het gevolg van de grondwateronttrekkingen, door het pompstation uit het midden van het reservaat.

Samenvattend blijkt dus dat de volgorde van de vegetatieopnamen sterk correleert met de maaiveldshoogte en de grondwaterstand in de zomerperiode ten opzichte van het maaiveld.

3.2. Diepe grondwaterstanden

De hydrograven, opgesteld bij de buizen 1, 4 en 12, registreren ook het grondwaterpotentiaal in het pleistocene pakket. De dagelijkse fluctuaties, veroorzaakt door het drinkwater winstation zijn bij 1 en 4 veel groter dan in het holocene pakket. Bij buis 1 bedraagt de fluctuatie zo'n 7 centimeter en bij 4 zo'n 20 centimeter. Buis 12 die het dichtst bij een winput is opgesteld (400 meter) geeft soms een amplitude van hooguit 3 centimeter. Meestal geeft deze buis echter geen amplitude te zien.

Uit wekelijkse waarnemingen blijkt dat de standen van elk van de drie diepe buizen, dus ook buis 12, onderling goed correleren:

$$1 \text{ diep} - 4 \text{ diep} = 0,81$$

$$4 \text{ diep} - 12 \text{ diep} = 0,83$$

$$12 \text{ diep} - 1 \text{ diep} = 0,93$$

De potentialen van de diepe en de bijbehorende ondiepe buizen hebben, ondanks in fase overeenkomende fluctuaties, toch kleine correlatie-coëfficiënten.

De Waal, waarvan de afstand tot het reservaat hemelsbreed $3\frac{1}{2}$ kilometer bedraagt, reikt weliswaar tot in het pleistocene pakket maar heeft slechts een kleine invloed op de potentiaal van het diepe grondwater in het reservaat. (Werkgroep I, 1962).

In het reservaat bedraagt het verschil in potentiaal tussen tijden met hoge en tijden met lage rivierstanden maximaal 50 centimeter, en wel van 0,25 tot 0,75 meter +NAP. Vergelijking van de potentialen van de drie buizen ten opzichte van NAP leert, dat deze bij 4 en 12 gemiddeld 10 centimeter hoger zijn dan bij buis 1. De stromingsrichting van het diepe grondwater zal dus zuid tot west zijn. Dit klopt met het isohypsenpatroon zoals dat geschetst is in deelrapport 8 van 'De waterbehoefte van de Tielerwaard-West' (Werkgroep I, 1962).

De buizen A, B, C en D, die vanaf 1969 worden waargenomen geven een soortgelijk beeld, maar dit is veel minder duidelijk en wordt bovendien verstoord doordat het filter van buis B op slechts enkele tientallen meters van een aantal winputten is geplaatst.

De hierbovengenoemde isohypsenkaart dateert van 6-2-1961 toen het waterwinbedrijf ruim 2½ jaar in bedrijf was. In 1960 is er 1 190 000 m³ onttrokken (mondelinge mededeling Cogrowa). Dit biedt de mogelijkheid om die situatie met een recentere te vergelijken. In 1977 was de onttrekking sterk toegenomen maar na de stichting van een waterwinbedrijf te Maasdriel is de vergunning voor de maximale onttrekking teruggebracht van 10 000 000 tot 7 000 000 m³/jaar. Voor de vergelijking van de stijghoogtes uit het watervoerend pakket zijn steeds de waarnemingen uit de eerste helft van februari gebruikt. Op 6-2-1961 varieerde de potentiaal van 1,50 m +NAP in het oosten tot 1.10 m +NAP in het westen van het gebied. Uit de gegevens van Staatsbosbeheer blijkt dat na 1969 de verschillen tussen het oosten en westen kleiner zijn geworden. Verder blijft de stijghoogte van 1969 tot en met 1975 in februari gemiddeld 0,4 m + NAP met een afwijking van maximaal 15 centimeter. Dit is 90 centimeter lager dan in 1961. De winters van 1977 - 1978 en van 1978 - 1979 gaven echter een duidelijke stijging te zien. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in een grotere wegzijging als gevolg van een hoog opgezet peil in beide winters en verminderde onttrekking van drinkwater. Het niveau bleef echter altijd nog zo'n 75 centimeter lager dan in 1961. De kwelsituatie van voor deze tijd is dan ook veranderd in een wegzijgingssituatie. Alleen op een paar lage delen kan zomers nog wat kwel optreden.

3.3. Fluctuatie van het grondwater

Afgezien van bodemfysische en bodemchemische gevolgen zullen verschillen in fluctuaties van het grondwater tijdens het groeiseizoen mogelijk samen kunnen hangen met verschillen in de samenstelling van de vegetatie. In fig. 4 zijn naast de minimale en maximale ook de gemiddelde standen uitgezet. Het betreft hier de gemiddelde standen van de groeiseizoenen van 1977 en 1978. Behalve voor de percelen van de buizen 2 en 8 fluctueert het grondwater in het reservaat in het groeiseizoen tussen de 70 en 85 cm. De variatie hierin is te gering om conclusies aan te kunnen verbinden.

Uit deze figuur blijkt ook dat het grondwater bijna overal, onafhankelijk van de hoogteligging van het maaiveld tot 0,5 m +NAP wegzakt.

De hoogste standen tijdens het vegetatie seizoen vertonen meer variatie. De percelen 2,8 en 11 staan dan blank, terwijl op de percelen 12, 14, 15, 16 en 18 de standen duidelijk lager zijn dan de overigen. De nummers van de buizen uit fig. 1 zijn hier gebruikt om de bijbehorende percelen aan te duiden. Deze laatste percelen blijken ook de laagste c-waarden te hebben (zie 3.5). De infiltratie zal voor deze percelen tijdens natte perioden dan ook groter zijn dan voor de rest van het gebied. Met bijvoorbeeld een potentiaalverschil tussen de ondiepe en diepe grondwaterstand van 0,8 m en een c-waarde van 74 etmalen bedraagt de infiltratie 1,1 cm/etm., terwijl voor percelen met een c-waarde van 259 etmalen bij een potentiaalverschil van 1,0 m de infiltratie 0,4 cm/etm. bedraagt. De c-waarde voor perceel 12 is wat hoger, maar desondanks zijn de hoogste standen ook vrij laag.

Uit de continue registratie van de diepe en ondiepe standen op dit perceel bleek, dat de diepe standen slecht en de andere standen goed reageren op het onttrekken van water uit de zand-ondergrond door het waterwinbedrijf. Hieruit blijkt, zoals al in 3.1 werd verondersteld, dat de afsluiting tussen de diepe en ondiepe buis slecht is. Tijdens periodes met hoge grondwaterstanden zal de infiltratie hier groter zijn. Als in de (na-)zomer het potentiaalverschil tussen diep en ondiep klein is, zal er nauwelijks

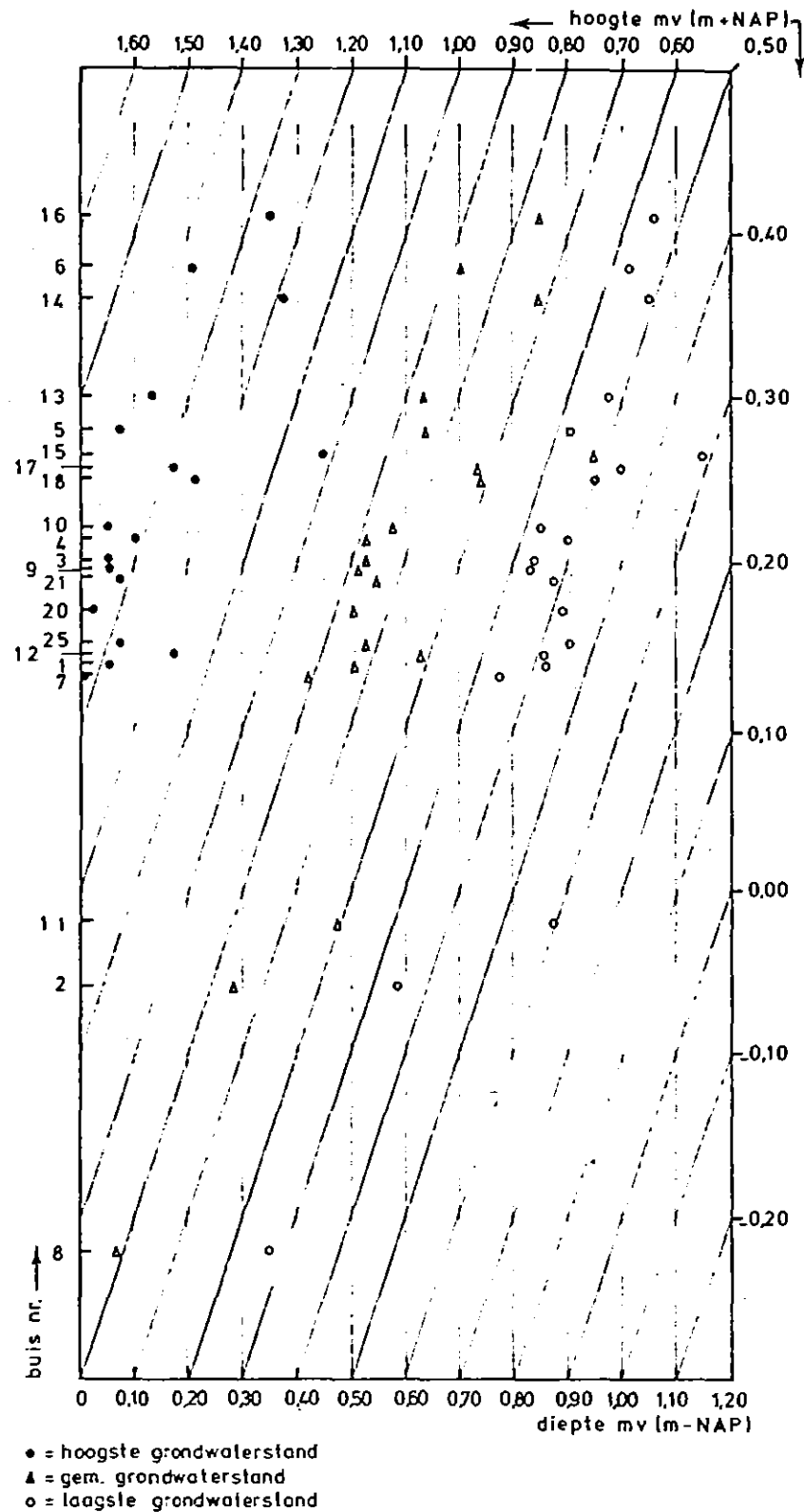


Fig. 4. Hoogste, gemiddelde en laagste grondwaterstanden tijdens het groeiseizoen ten opzichte van maaiveld en NAP

kwel of infiltratie optreden. Zoals uit fig. 4 blijkt, wijkt de diepste grondwaterstand dan niet af van het gemiddelde.

In fig. 4 waren de grondwaterstanden van de vegetatie seizoenen van 1977 en 1978 gemiddeld. In 1978 bleven de standen echter veel langer hoog. In fig. 5 staan voor het meetstation Andel naast de hoeveelheden neerslag voor 1977 en 1978 ook de normale hoeveelheden. Hierin valt op dat juli 1977 wat te droog is, augustus veel te nat en september en oktober weer veel te droog zijn geweest. Gemiddeld vertoonde de neerslag in de winter en het groeiseizoen in 1977 een normaal beeld.

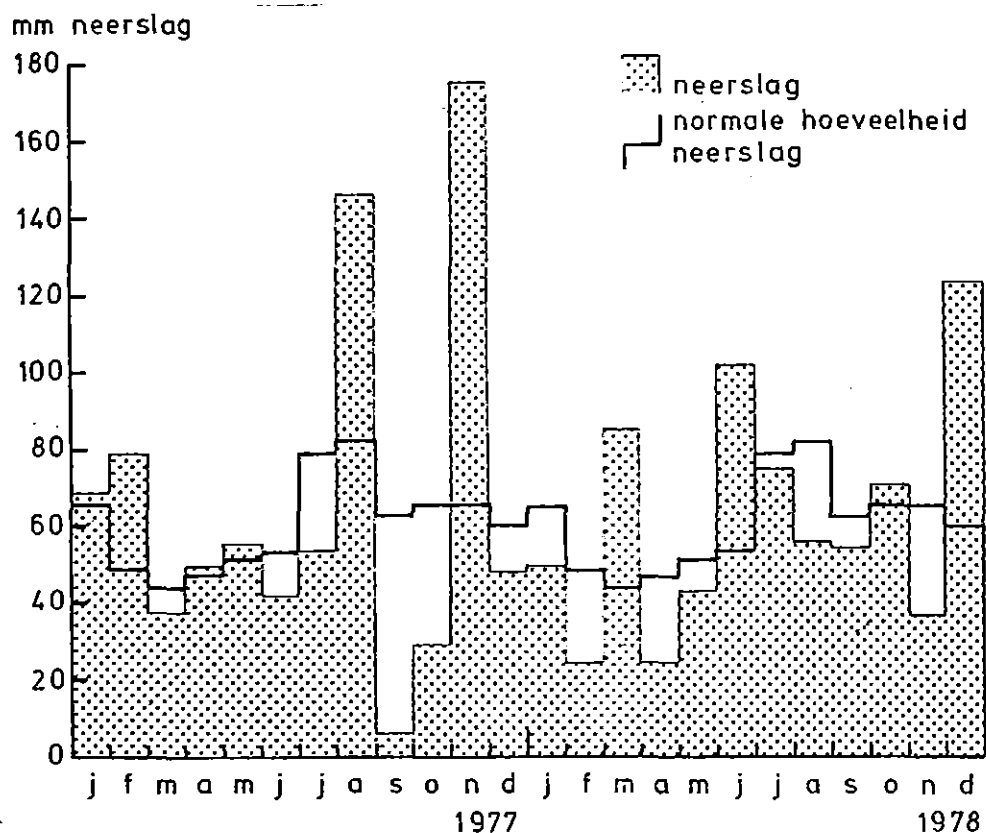


Fig. 5. Neerslag en normale hoeveelheid neerslag voor Andel

De grote hoeveelheid neerslag in november, het ingepompte water in de winter van 1977-1978 en de 85 millimeter neerslag in maart maakten, dat het slootpeil tot half mei van 1978 hoog bleef.

Het verloop van het slootpeil vanaf april 1977 staat in fig. 6.

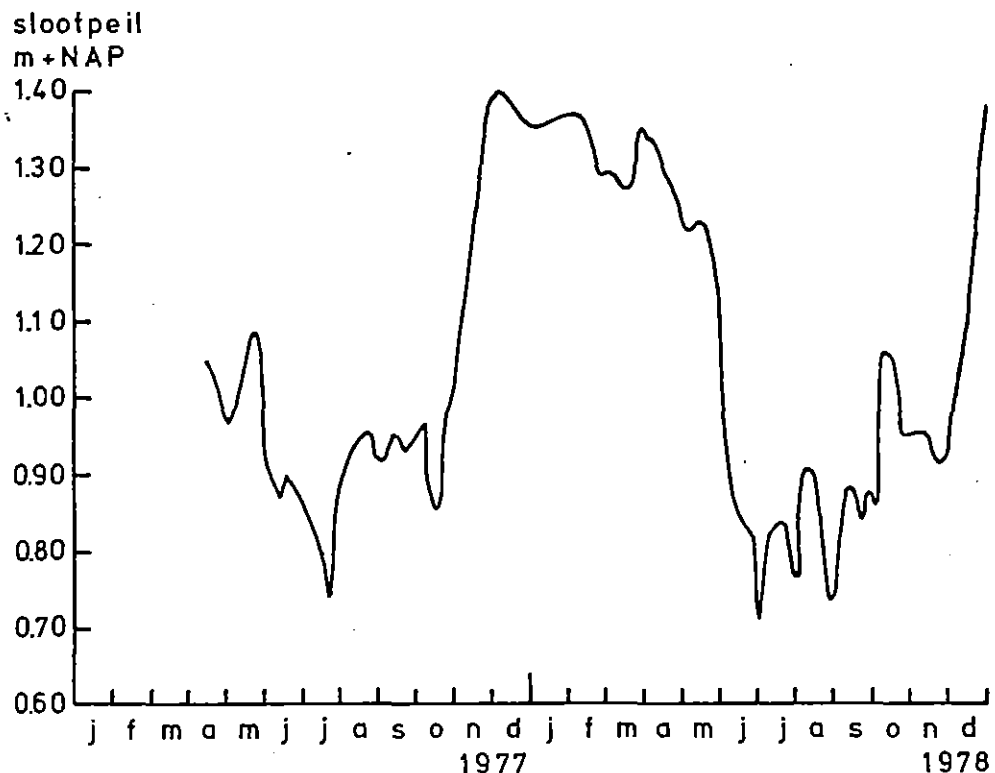


Fig. 6. Slootpeil in het komgrondenreservaat ten opzichte van NAP

Om te zien welke invloed dit heeft op de grondwaterstanden zijn in fig. 7 de hoogste en laagste standen van de vegetatieperiodes van 1977 en 1978 evenals de standen die de helft van deze periodes overschreden worden met elkaar vergeleken. Dit is gedaan voor de dwarsdoorsnede van perceel 1 om tegelijk ook zo'n situatie te kunnen bekijken. Zowel de laagste als de hoogste standen verschillen in 1977 en 1978 weinig van elkaar. Het grondwater zakt ook hier weg tot 0,5 m +NAP, terwijl het verschil tussen de diepste en ondiepste standen behalve aan de slootkanten, eveneens 0,8 meter bedraagt. In 1977 was het hoogste slootpeil wat lager dan in 1978. Pas dan kunnen de greppels een wat drainerende functie hebben. Bij een nog lager slootpeil neemt deze functie weer af omdat greppels dan niet meer in open verbinding met de sloot staan.

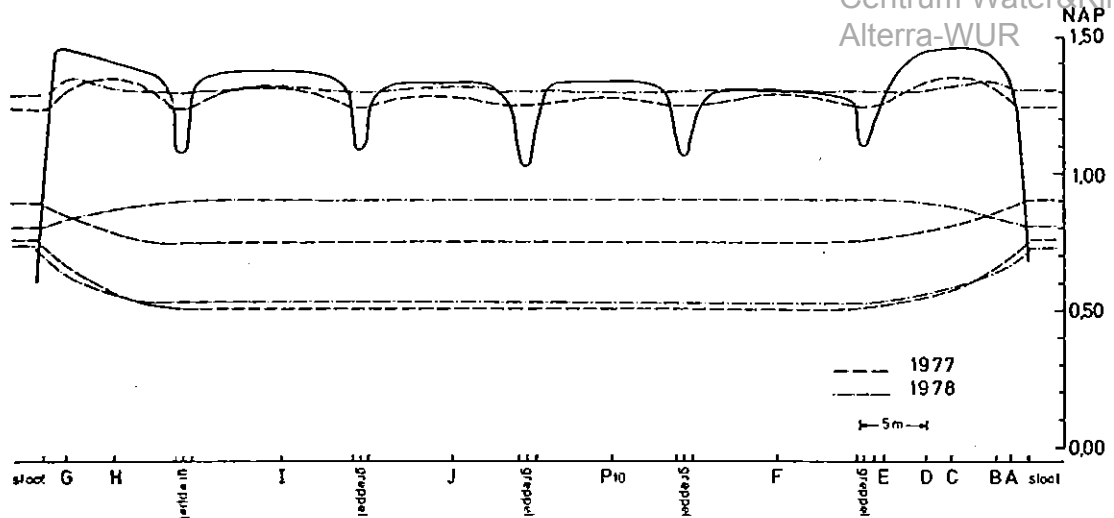


Fig. 7. Dwarsdoorsnede van perceel 1 met de hoogste en laagste grondwaterstand en grondwaterstanden die de helft van de vegetatieperiode worden overschreden

Tussen de standen die de helft van de vegetatieperiode worden overschreden is wel een duidelijk verschil. In 1978 is deze stand 15 centimeter hoger, terwijl er afvoer naar de sloot optreedt. In 1977 was er toen al sprake van infiltratie vanuit de sloot.

Uit de dwarsdoorsnede van perceel 1 blijkt ook dat het perceel aan de randen het hoogste is, wat het gevolg is van het uitgraven van de sloten. Daar bij de hoogste grondwaterstanden aan de randen slechts een lichte opbolling optreedt zijn deze standen ten opzichte van het maaiveld hier dan ook het diepst. De volgorde van de vegetatie-opnames die dwars op de percelen zijn gemaakt komen overeen met de hoogste grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld, welke sterk samenhangt met de maaiveldshoogte ten opzichte van NAP. Dit werd in 3.1 reeds geconcludeerd voor de verspreid staande buizen en de daarbij behorende vegetatie-opnames. Op één perceel, waar de meeste hydrologische grootheden gelijk zijn, zal deze relatie duidelijker zijn.

In tabel 4 staan ter illustratie naast het volgordenummer van de vegetatie-opnames de hoogte in meters +NAP. De opnames 1i en 1j zijn niet verwerkt en opname 1b is in een greppel gemaakt. De hoogte van het maaiveld is het gemiddelde van een aantal waarnemingen bij iedere plek.

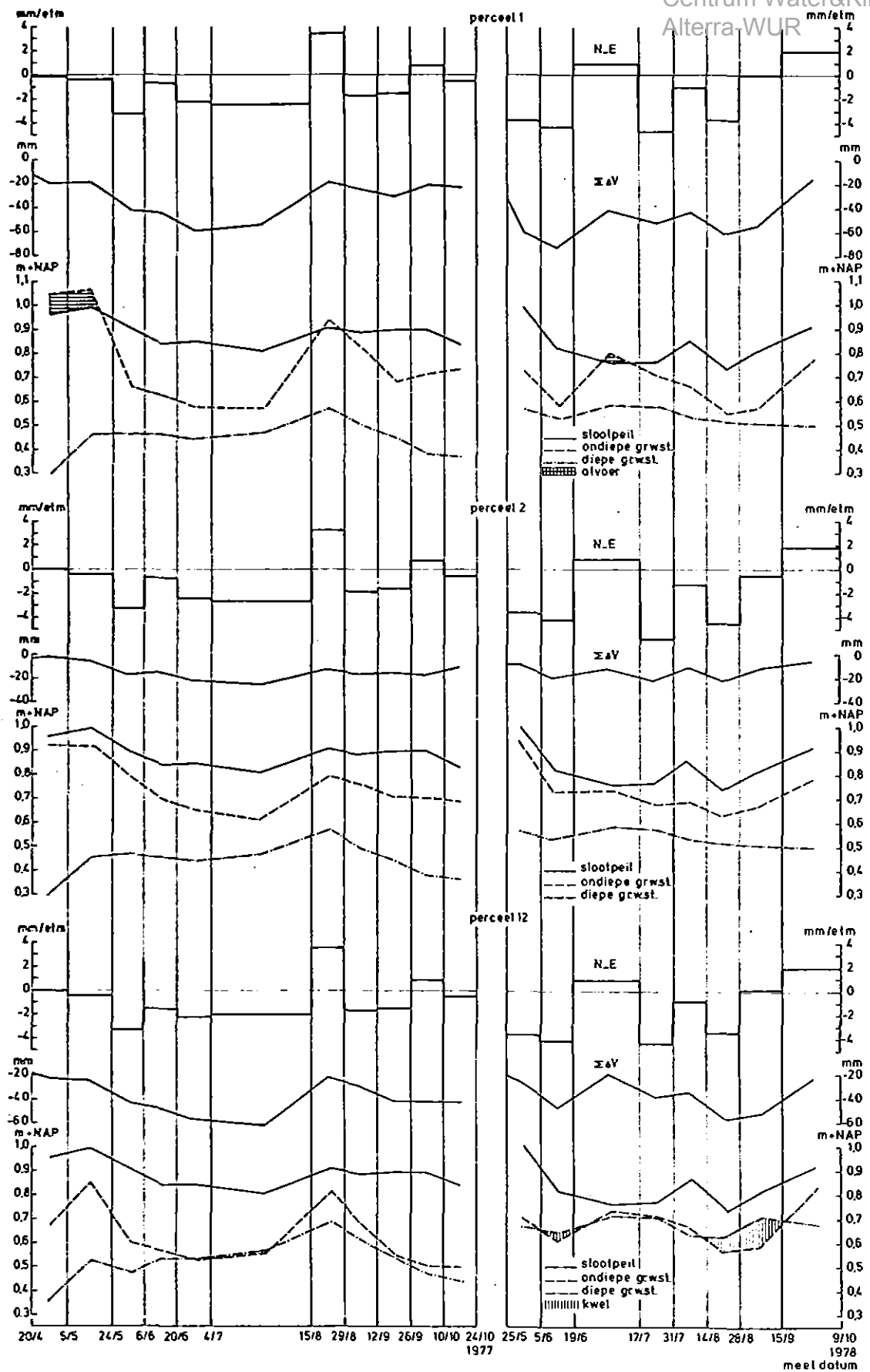
Tabel 4. Relatie tussen de volgorde van de vegetatie-opnames,
 de maaiveldshoogte en de hoogste grondwaterstanden in
 het groeiseizoen.

Volgorde vegetatie- opname volgens tabel in nota 1144	Gem.hoogte van het maaiveld t.o.v. NAP (m)	Gem. hoogste stand t.o.v. het mv. in het groeiseizoen '77/'78 (mm)
11 - 4	1,08	+ 13
1e - 23	1,27	+ 1
1f - 25	1,30	0
1 - 42	1,34	3,5
1a - 49	1,37	4,0
1d - 51	1,44	8,5
1c - 53	1,46	8,5
1b - 55	1,43	7
1h - 60	1,42	6
1g - 63	1,47	10

Samenvattend kan worden gesteld, dat de verschillen in duur
 waarover de verschillende standen worden overschreden wel afhanke-
 lijk zijn van verschillen in onder andere neerslagverdeling en
 peilbeheer, maar de hoogste en de diepste standen nauwelijks. De
 hoogste standen ten opzichte van het maaiveld zijn, voor zover
 tot nu kan worden bekeken, afhankelijk van de hoogte van het maa-
 veld en de c-waarden van het afdekkend pakket.

3.4. Meetgegevens per balansperiode

In fig. 8 staan meetgegevens voor percelen waar gamma transmissie-
 metingen zijn uitgevoerd, per balansperiode uitgezet. Als balansperiode
 is de periode tussen twee gamma transmissiemetingen genomen. Voor
 zo'n periode kan de waterbalans doorgerekend worden. Met de hele
 balansperiode wordt de periode tussen de eerste en laatste meting
 in een groeiseizoen bedoeld.



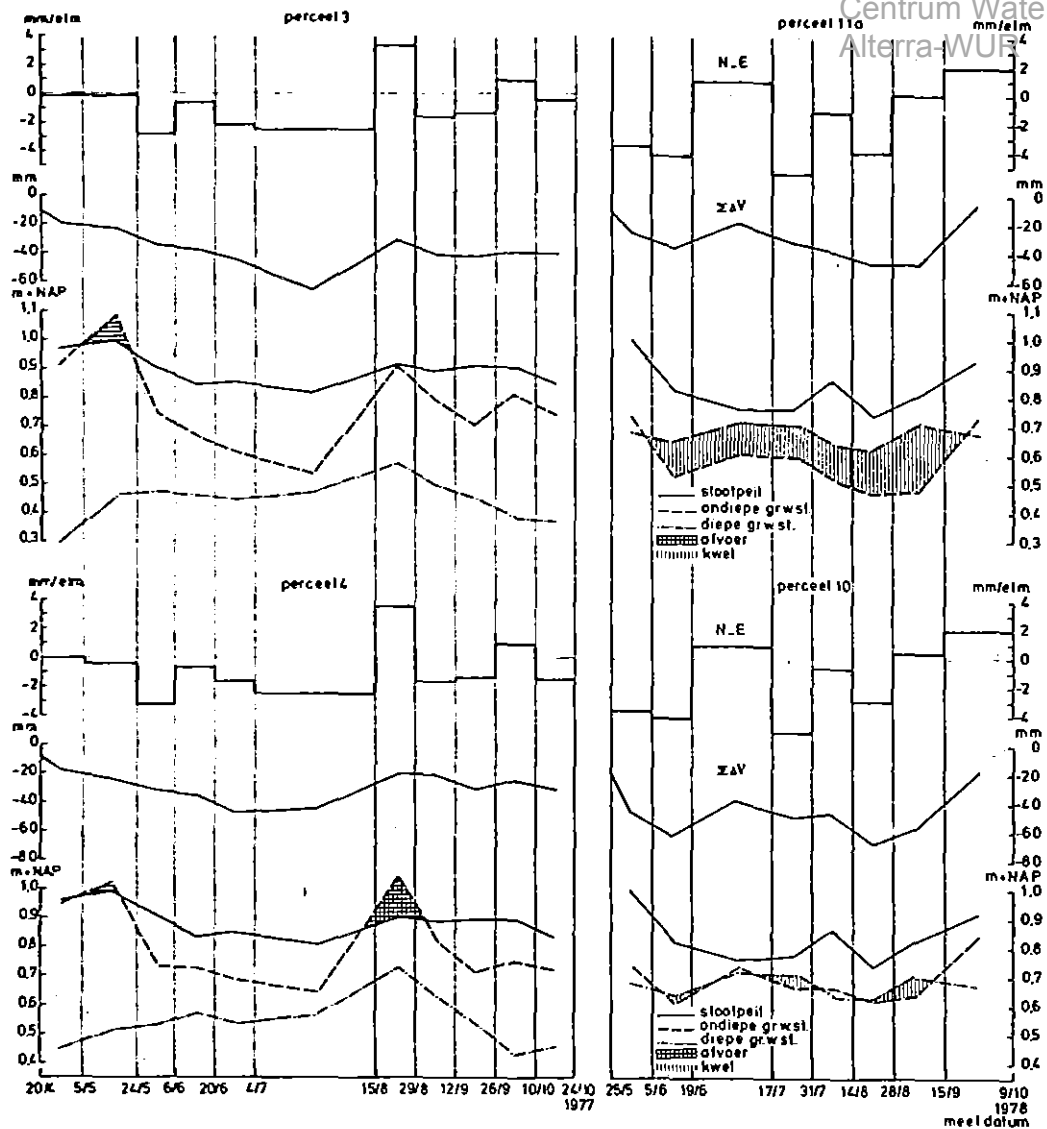


Fig. 8. Neerslagoverschot, vochtonttrekking, slootpeil en grondwaterstanden per balansperiode

De potentiële gewasverdamping is empirisch bepaald volgens RIJTEMA (1965). Hierin konden geen noemenswaardige reducties worden aangetoond door hoge grondwaterstanden of vochttekorten in de wortelzone. Volgens RIJTEMA (mondelinge mededeling) treden er voor de vegetatie in het komgrondenreservaat alleen reducties in verdamping op als de zuigspanning in de wortelzone boven de pF-waarde 3.1 uitkomt. Dan kan gebruik gemaakt worden van de reductie-formule:

$$\frac{\psi - 20\,000}{1260 - 20\,000}$$

waarin de zuigspanning in centimeters is uitgedrukt. Hierin moet $\psi > 1260$ (pF 3.1) en $< 20\,000$ centimeter (pF 4.3) zijn.

De reductie wordt berekend door het gemiddelde te nemen van de reducties per laag van 10 centimeter van de wortelzone.

De werkelijke verdamping is het produkt van de potentiële verdamping en de bovengenoemde reductiefactor. Deze verdamping is onder andere bij de berekening van de waterbalans (3.5) gebruikt.

Tabel 5 geeft een overzicht van de potentiële verdamping en de reducties die optreden door vochttekorten in de wortelzones.

Komgronden staan bekend als droogtegevoelig. De hoeveelheid neerslag en de verdeling hiervan over het groeiseizoen van 1977 en van 1978 had tot gevolg dat dit in het reservaat gedurende deze periodes niet tot uiting is gekomen. Voor overeenkomstige balansperiodes van de verschillende buizen werden nagenoeg gelijke verdampingen berekend, met als gevolg dat ook de term N-E in de figuren 8 a t/m g overeenkomen. Alleen perceel 2 wijkt soms wat af. De gesommeerde vochtonttrekking van het profiel (zie 2.4) vertoont meer variatie, hoewel dat in de figuren niet opvalt. Er zijn onderschrijdingsduurlijnen voor de hele balansperiode van 1977 en van 1978 samengesteld. Dit is gedaan volgens de methode die in nota 1144 (KEMMERS en JANSEN, 1979) beschreven staat. De lijnen staan in fig. 9.

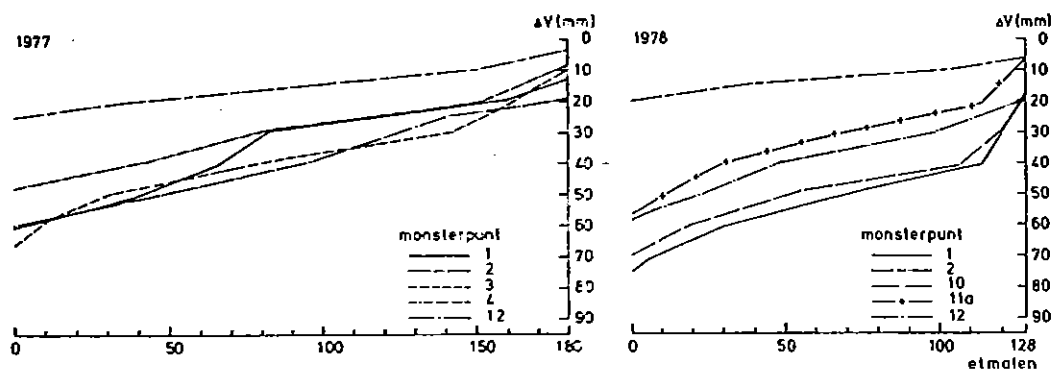


Fig. 9. Onderschrijdingsduurlijnen van gesommeerde vochtveranderingen per balansperiode

Uit de figuren kan worden afgelezen hoeveel dagen van het groeiseizoen een bepaalde hoeveelheid vocht wordt onderschreden.

Tabel 5. Overzicht van de gemiddelde potentiële verdamping per etmaal en reductiefactoren door vochttekorten in de wortelzone per balansperiode voor de standaardmonsterpunten

1977												
Datum	20/4	5/5	24/5	6/6	20/6	4/7	15/8	29/8	12/9	26/9	10/10	24/10
monster- punt	poten- tiële ver- dam- ping (mm/ etm)	re- duk- tie fak- tor										
1	1,81	3,19	3,83	2,41	3,22	3,75	2,22	1,97	1,51	1,39	0,69	
2	1,76	3,21	3,84	2,46	3,40	3,98	2,46	2,23	1,67	1,56	0,83	
3	1,84	3,00	3,46	2,39	3,23	3,76	2,28	2,02	1,47	1,37	0,69	
4	1,76	3,09	3,75	2,40	3,27	3,71	2,06	1,94	1,44	1,31	0,69	
12	1,76	3,21	3,85	2,42	3,21	3,28	0,99 2,12	1,98	1,51	1,40	0,69	
1978												
Datum	22/5	5/6	19/6	17/7	31/7	14/8	28/8	15/9	9/10			
monster- punt												
1	3,98	4,93	2,57	5,47	2,66	3,91	2,54	1,25				
2	3,88	4,83	2,61	6,66	2,97	4,79	3,03	1,35				
10	3,88	4,77	0,99 2,60	5,93	2,39	3,28	0,97 2,29	0,92 1,17				
11a	3,91	4,94	2,59	6,28	2,83	4,22	2,48	1,25				
12	3,96	4,83	2,57	5,20	2,51	3,70	2,44	1,23				

In 1978 hebben de lijnen een steiler verloop. Dat komt niet omdat de periode in 1978 korter was, maar omdat de hoeveelheid vocht in de bodem in 1978 door een andere neerslagverdeling en verdamping sneller en sterker wisselde, zoals ook in fig. 8 te zien is. Behalve perceel 1 drogen de percelen allemaal gelijkmatig uit. Vooral in 1978 hebben de duurlijnen, behalve 2 en 12, bovenin een hol verloop. Dit duidt op een snelle af- en toename van de hoeveelheid vocht bij hoge grondwaterstanden, hier in voor- en najaar. Perceel 1 blijft in 1978 een voorsprong houden na in het voorjaar snel vocht uit het profiel te hebben verloren. Gezien de lagere ligging ten opzichte van NAP van het maaiveld van de percelen 2 en 11 drogen deze het minst uit. Het verloop van de lijnen van buis 12 is wat afwijkend. Er is hier sprake van een wat bolle vorm. Mogelijk is de door BOUMA en DEKKER gevonden grote doorlatendheid van dit perceel hier de oorzaak van. Het grondwater zakt hier dan in het voorjaar eerder weg, wat ook een grotere vochtafname tot gevolg heeft.

In fig. 8 zijn ook de diepe en de ondiepe grondwaterstanden en het slootpeil ten opzichte van NAP uitgezet. In één oogopslag valt nu te zien in welke periodes er kwel en in welke afvoer optreedt. Bij perceel 11 treedt vrij constant en bij de percelen 10 en 12 af en toe een kwelsituatie op. Bij de percelen 1, 3 en 4 treedt soms wat afvoer op. Afgezien van perceel 11 kan worden gesteld dat er gedurende het groeiseizoen infiltratie vanuit de sloten en wegzijging naar de ondergrond plaatsvindt.

Een andere methode om de hoeveelheid vocht aan te geven staat in fig. 10a. Hierin zijn de minimale en maximale waargenomen hoeveelheden vocht voor de verschillende percelen aangegeven.

In fig. 10b staat voor perceel 2 en voor de rest van het gebied het volumepercentage vocht dat in de wortelzone aanwezig is bij het verwelkingspunt (pF 4,2), de zuigspanning waarboven reductie in de potentiële verdamping optreedt (pF 3,1) en bij veldcapaciteit (pF 2,0). Deze percentages zijn ontleend aan de pF-curven uit 2.5. Aangenomen is, dat voor de hele wortelzone dezelfde pF-waarden gelden. In de praktijk zal dit niet voorkomen.

Uit de vergelijking van de figuren 10a en 10b blijkt dat er in het groeiseizoen van 1977 en 1978 weinig vocht onttrokken is.

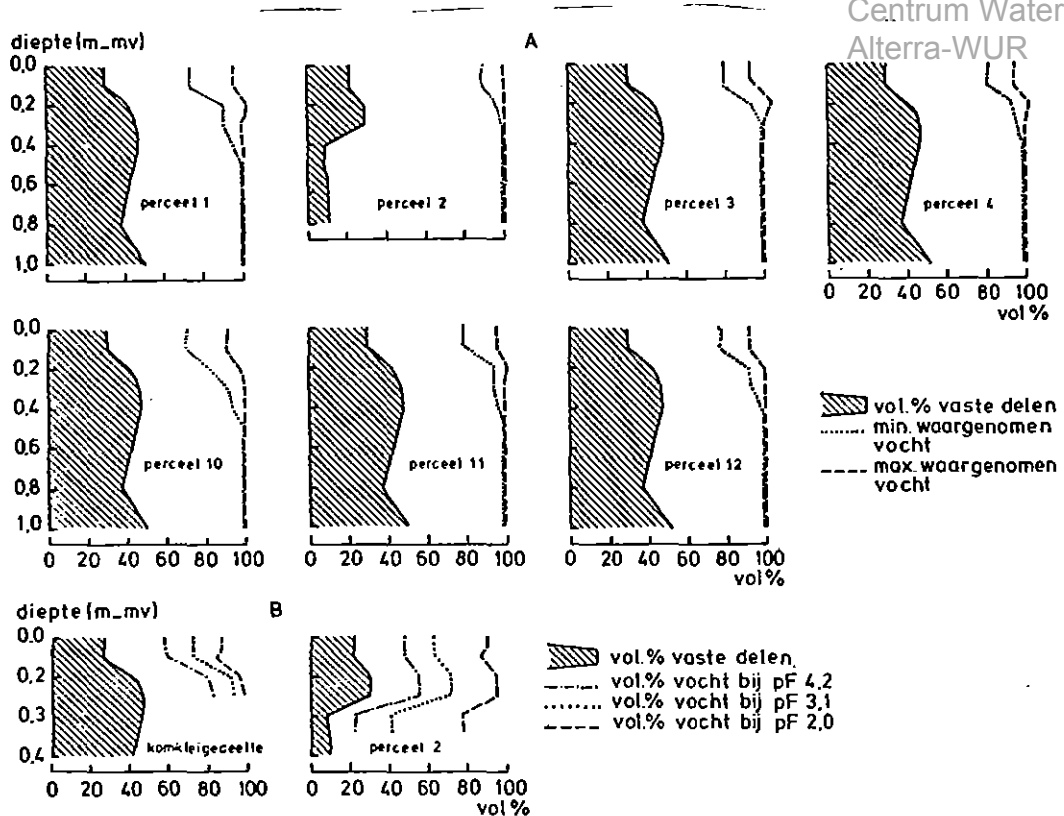


Fig. 10. Volume percentages vaste delen en vocht

- a. minimale en maximale waargenomen vochtgehaltenes tijdens het groeiseizoen van 1977 of 1978
- b. vochtgehaltenes bij pF 2,0, 3,1 en 4,2 voor de wortelzone van het komkleigedeelte en van perceel 2

De hoeveelheid beschikbaar vocht in het komkleigedeelte is klein. Tijdens droge periodes in het groeiseizoen zijn vochttekorten in deze bodem zeer wel mogelijk. De som van de maximaal waargenomen hoeveelheid vocht in fig. 10a overschrijdt op 20 centimeter soms de 100%, omdat de hoeveelheid vaste delen op deze diepte niet nauwkeurig bekend is.

3.5. B e r e k e n i n g v a n c e n y

De waterbalansvergelijking voor een periode kan als volgt worden weergegeven:

$$N - E - \Delta V = A - K$$

waarin:

N = neerslag (m)

E = werkelijke verdamping (m)

ΔV = verandering van de vochtinhoud van het profiel (m)

A = afvoer (m)

K = kwel (m)

Voor de afvoer geldt:

$$A = \frac{h_x - h_{s1}}{y} \quad (2)$$

waarin:

h_x = stijghoogte van het ondiepe grondwater (m +NAP)

h_{s1} = slootpeil (m +NAP)

y = drainageweerstand (etm.)

Voor de kwel geldt:

$$K = \frac{h_d - h_x}{c} \quad (3)$$

waarin:

h_d = stijghoogte van het diepe grondwater (m +NAP)

c = verticale weerstand van het afdekkend pakket (etm.)

De grondwaterspiegel loopt gedurende de onderzochte periodes tot enkele meters uit de slootkant horizontaal, zodat bij de berekening van K aangenomen is, dat het potentiaal-verschil tussen de diepe en ondiepe staat voor een heel perceel gelijk is.

Van iedere balansperiode zijn N , E en ΔV door meting of berekening bekend. Verder zijn h_d , h_x en h_{s1} bekend. Uit twee verschillende periodes van eenzelfde plek zijn de onbekende c en y op te lossen. Voor een periode 1 en een periode 2 volgt uit (1), (2) en (3)

$$c = \frac{\left(\frac{h_{x_1} - h_{sl_1}}{h_{x_2} - h_{sl_2}} \right) \times (h_{d_2} - h_{x_2}) - (h_{d_1} - h_{x_1})}{- \left(\frac{h_{x_1} - h_{sl_1}}{h_{x_2} - h_{sl_2}} \right) \times (N_2 - E_2 - \Delta V_2) + (N_1 - E_1 - \Delta V_1)}$$

en

$$y = \frac{\frac{h_{x_1} - h_{sl_1}}{h_{d_1} - h_{x_1}}}{c} + (N - E - \Delta V)$$

Omdat slechts van een zevental plaatsen ΔV en E bekend zijn en deze onderling weinig verschillen, zijn deze waarden gemiddeld en representatief geacht voor het hele gebied. Uitzondering hierop vormen de waarden voor plek 2.

Omdat $N-E-\Delta V$ (m) erg klein is, neemt de betrouwbaarheid van c en y toe als de periodes langer genomen worden. Er is gerekend met de gemiddelde waarden van de balansperiodes over het gehele seizoen van 1977 en 1978. In een paar gevallen zijn de uitkomsten onwaarschijnlijk. De oorzaak hiervan is voornamelijk terug te voeren op waarnemingsfouten. Vooral instabiele balansperiodes, bijvoorbeeld tijdens en na regenbuien, zijn niet erg betrouwbaar. Om over meer waarnemingen te kunnen beschikken zijn groepen met ieder drie buizen gevormd op grond van de in 3.1 gevonden grote overeenkomst in grondwaterstanden. De uitkomsten van de berekeningen zijn in tabel 6 weergegeven.

De volgorde van de buizen, die overeenkomt met een overgang van droog naar nat, blijkt ook overeen te komen met een toenemende waarde van c . Met y bestond op grond van de bovengenoemde volgorde van buizen geen verband. Gemiddeld is y op deze wijze berekend: 73 etmalen.

Een verklaring voor het feit dat de c -waarde toeneemt met de gemiddelde hoogte van het freatisch vlak tijdens de balansperiode zou, omdat het bodemprofiel in het hele reservaat voorzover bekend nagenoeg overal gelijk is, gedeeltelijk veroorzaakt kunnen worden doordat bij hogere grondwaterstanden een groter deel van de slechtst doorlatende lagen in de c -waarde verdisconteerd is. De volgorde van de vegetatie-

Tabel 6. Gegevens voor de berekening van c en y uit de waterbalansen van 1977 en 1978

Buis	1977			1978			c	y
	$h_x - h_{sl}$	$h_d - h_x$	N-E- ΔV	$h_x - h_{sl}$	$h_d - h_x$	N-E- ΔV		
15								
14	-0,352	-0,066	-0,0011	-0,255	-0,018	-0,0012	74	177
16								
10								
5	-0,230	-0,199	-0,0011	-0,164	-0,097	-0,0012	108	78
18								
17								
12	-0,262	-0,148	-0,0011	-0,193	-0,060	-0,0012	126	115
13								
4	waarnemingen te onwaarschijnlijk; valt af							
6	-0,103	-0,307	-0,0011	-0,080	-0,176	-0,0012	181	37
9								
3								
20	-0,153	-0,310	-0,0011	-0,128	-0,187	-0,0012	259	67
1								
21								
7	-0,091	-0,316	-0,0011	-0,070	-0,158	-0,0012	240	38
8								
2								
25	-0,241	-0,183	-0,0011	-0,208	-0,040	-0,0012	471	162
11								
Gem.	-0,205	-0,216	-0,0011	-0,159	-0,124	-0,0012	126	73

opnames (nota 1144), die goed overeenkomt met de bovengenoemde volgorde van buizen, geeft eenzelfde toename van de c-waarde, hoewel iets minder duidelijk.

Een andere methode om c en y te bepalen is langs grafische weg, eveneens met de waterbalansformule:

$$N-E-\Delta V = A-K \text{ (mm)}$$

waarin A en K onbekend zijn.

$A-K$ kan geschreven worden als (PANKOW, 1976):

$$A-K = \left(\frac{1}{y} + \frac{1}{c}\right) h_x - \frac{1}{y} h_{s1} - \frac{1}{c} h_d$$

Als h_d en h_{s1} constant zijn, dan bestaat er een lineair verband tussen $A-K$ en h_x .

Om over meer gegevens te kunnen beschikken zijn van de buizen 1, 3, 4, 10, 11 en 12 $A-K$ en h_x van de meeste balansperiodes uit 1977 en 1978 tegen elkaar uitgezet (fig. 11a). De gegevens van buis 2 wijken nogal af. $A-K$ en h_x hiervan zijn in fig. 11b tegen elkaar uitgezet.

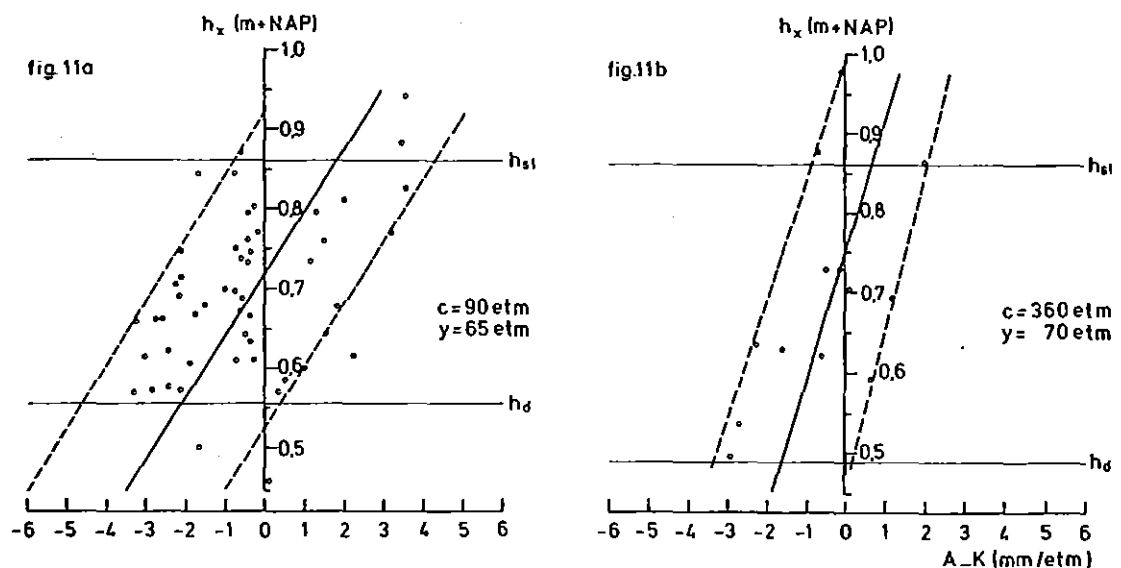


Fig. 11. Het verband tussen $A-K$ en de grondwaterstand h_x met h_{s1} als gemiddeld slootpeil en h_d als gemiddelde stijghoogte van het diepe grondwater

In beide figuren zijn een aantal gegevens van balansperiodes waarin de ondiepe grondwaterspiegel snel stijgt of daalt weggelaten.

Bij een dalende grondwaterspiegel treedt namelijk een onderschatting en bij een stijgende grondwaterspiegel een overschatting van de waarde van A-K op.

De grondwaterstanden in beide figuren zijn gecorrigeerd aan de hand van de in fig. 12 gevonden relatie met de vochtafname.

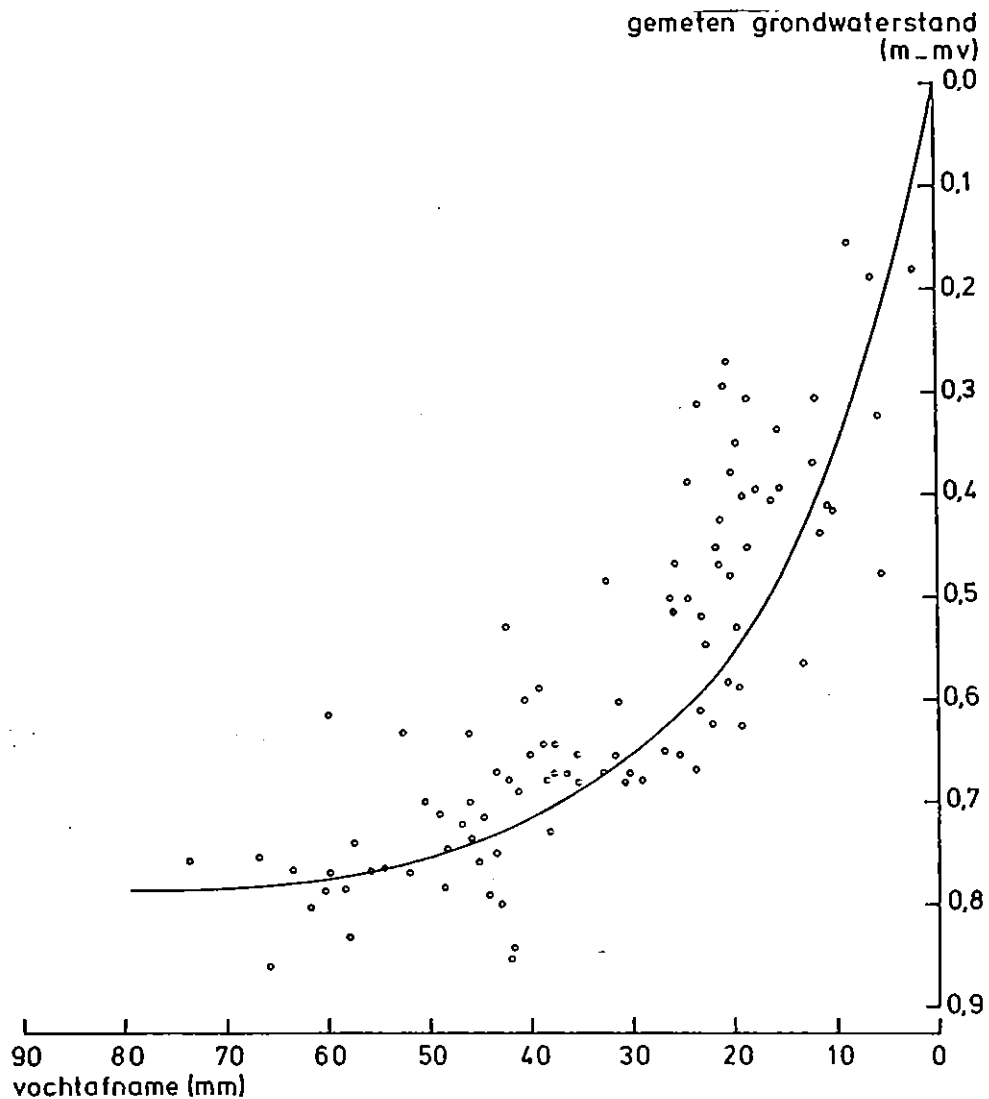


Fig. 12. Verband tussen het vochtdeficiet in het profiel en de grondwaterstand h_x

De vochtafnames zijn ontleend aan de y -metingen (2.4). Voor h_x is de waarde genomen die volgens de getrokken lijn in fig. 12 bij de vochtafname hoort.

Als in fig. 11 h_x gelijk is aan h_{s1} , dan is de afvoer A gelijk aan nul. De positieve of negatieve kwel is dan op de x-as af te lezen.

Met de bijbehorende h_x en h_d kan dan c uit $K = \frac{h_d - h_x}{c}$ berekend worden.

De berekening van y gaat op gelijke wijze. Alleen moeten in dat geval h_d en h_x aan elkaar gelijk zijn. Dan is K nul en uit de bijbehorende A , h_x en h_{sl} kan dan y uit $A = \frac{h_x - h_{sl}}{y}$ berekend worden.

Voor de buizen 1, 3, 4, 10, 11 en 12 geldt een waarde voor c van 90 etmalen en voor y van 65 etmalen. Voor buis 2 een c van 360 en een y van 70 etmalen. De spreiding van de gegevens is nogal groot, wat de betrouwbaarheid van de gevonden waarden kleiner maakt.

Een overzicht van de berekende waarden wordt gegeven in tabel 7.

Tabel 7. Overzicht van de berekende waarden voor c en y

	1e methode	2e methode	
perceel	1,2,3,4,10,11,12	1,3,4,10,11,12	2 1,2,3,4,10,11,12
c (etm.)	74-471, gem. 126	90	360 gemiddeld 129
y (etm.)	37-177, gem. 73	65	70 gemiddeld 66

Uit een pompproef die in de zestiger jaren ten behoeve van het drinkwaterwinbedrijf is uitgevoerd, volgt een c -waarde van 214 etmalen. Deze waarde is hoger dan de beide bovengenoemde gemiddelden, maar het is niet bekend in hoeverre deze voor het reservaar geldt. De gemiddelde waarden via de eerste en tweede methode komen wel overeen.

Uit $K = \frac{h_d - h_x}{c}$ kan nu de kwel berekend worden. Dit is gedaan als gemiddelde voor de hele balansperiode van 1977 en 1978. Alleen bij 15 treedt kwel op. De grootste infiltratie werd voor perceel 16 berekend, $\bar{K} = -2,3$ mm/etm. Voor perceel 11 kon gemiddeld geen infiltratie of kwel worden aangetoond. De volgorde van de percelen van de grootste infiltratie naar kwel is als volgt:

16,5,6,10,13,18,9,21,20,3,4,8,1,7,14,17,2,12,25,11 en 15. 's Winters zal de infiltratie groter worden omdat h_d niet veel verandert en h_x toeneemt.

Bij onderzoek naar de chemische samenstelling van het grondwater is deze volgorde wellicht bruikbaar. Met de vegetatie is geen relatie te vinden.

De verticale doorlatendheid k_v uit 2.6 kan nu ter controle berekend worden met $c = \frac{D}{k_v}$. Uitgaande van $D = 8$ m en een c van 74 tot 259 etmalen wordt k_v 0,11 tot 0,03 m/etm. Dit is aanzienlijk kleiner dan de doorlatendheden welke genoemd zijn in 2.6. De oorzaak is moeilijk vast te stellen. Enerzijds kunnen de doorlaatfactoren, zoals door BOUMA en DEKKER gemeten, te groot zijn, anderzijds kunnen er veenlaagjes of andere slecht doorlatende laagjes in de laag van 2 tot 8 à 9 meter beneden maaiveld voorkomen.

3.6. B e r e k e n i n g v a n kD e n w

Als aangenomen wordt, dat op 5 m van de sloot de grondwaterstand niet meer beïnvloed wordt door de slootweerstand, kan de kD -waarde voor een perceel berekend worden uit de stromingsvergelijking (PANKOW en RIJTEMA, 1970):

$$A = \frac{(h_1 - h_2) \cosh \frac{x_1}{\sqrt{kDc}}}{\frac{x_2^2}{2kD} \left\{ \frac{2kDc}{x_2^2} (\cosh \frac{x_2}{\sqrt{kDc}} - 1) \right\} - \frac{x_1^2}{2kD} \left\{ \frac{2kDc}{x_1^2} (\cosh \frac{x_1}{\sqrt{kDc}} - 1) \right\}}$$

hierin is:

A = de afvoer (m/etm)

h_1 = grondwaterstand bij de meetopstelling (m +NAP)

h_2 = grondwaterstand 5 m uit de sloot (m +NAP)

x_1 = afstand van de meetopstelling tot het midden van het perceel (m)

x_2 = halve perceelsbreedte min 5 m (m)

Daar alleen van de percelen waar de buizen 1, 3, 4 en 12 grondwaterstanden over de hele breedte van het perceel worden gemeten, zijn alleen hier de kD - en w -waarden van berekend. De berekeningen zijn uitgevoerd met gemeten en berekende gegevens uit de balansperiode van 1977.

Als de kD -waarde bekend is kan de radiale slootweerstand berekend worden (ERNST, 1962):

$$y = \frac{l^2}{8kD} + wl$$

hierin is:

l = perceelsbreedte (m)

w = radiale slootweerstand etm/m

Voor y is 65 etmalen genomen, berekend via de 2e methode in 3.5. Daar er geen afsluitende lagen tot een diepte van 2 meter beneden maaiveld konden worden aangetoond is bij de berekening van $k_{hor.}$ uit kD , aangenomen dat $D = 1$.

Een overzicht van de uitkomsten van bovenstaande berekeningen staan in tabel 8.

Tabel 8. De breedte, kD -waarde, drainageweerstand, radiale slootweerstand en de horizontale doorlatendheid voor een aantal percelen

Perceel	l (m)	kD (m ² /etm)	y (etm)	w (etm/m)	$k_{horz.}$ (m/etm)
1	72	15	65	0,3	0,8
3	72	14	65	0,3	0,8
4	57	10	65	0,4	0,7
12	100	25	65	0,2	1,0

In alle gevallen is de kD -waarde, gezien het feit dat het hier om zware klei gaat, groot. De radiale weerstand is erg klein. VAN HOORN vond voor een aantal percelen in de buurt bij Hellouw ook erg kleine waarden (VAN HOORN, 1960, tabel 5). Afgezien van de betrouwbaarheid is de variatie in uitkomsten in bovenstaande tabel zo klein, dat er geen conclusies aan kunnen worden verbonden ten aanzien van de verklaring van de variatie in de vegetatie. Bovendien is de variatie in de vegetatie midden op deze percelen klein. In de vegetatietabel van nota 1144 staan deze opnames dan ook dicht bij elkaar.

Als aangenomen wordt dat w voor alle percelen gemiddeld 0,3 etm/m en kD $0,8 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{etm}$ is, dan kan voor ieder perceel y uit $y = \frac{1^2}{8kD} + w$ berekend worden. Met bovenstaande gegevens wordt y gelijk aan 0,93 l. Op deze wijze wordt y wel grof bepaald, maar bij het opzetten van een model kan deze waarde wellicht nuttig zijn.

Voor iedere balansperiode van 1977 en 1978 is voor de percelen 1,2,3,4,10,11 en 12 A-K bepaald. Dit is gelijk aan $N-E+\Delta V$ (zie ook fig. 8).

De waarde A-K is gelijk aan de flux door het freatisch vlak. Deze flux kan ook uit opstijgingscurven bepaald worden (RIJTEMA, 1969). De grondwaterstand en de vochtspanning aan de onderkant van de wortelzone moeten dan bekend zijn.

De standaardgrond 'Basin clay' van RIJTEMA komt wel overeen wat de pF-curve betreft. De doorlatendheid hiervan is echter minstens een factor honderd kleiner. Dit is dan ook waarschijnlijk de reden dat de waarden voor A-K niet overeenkomen. 'Silty clay' geeft betere overeenkomsten. De pF-curven ervan komen echter niet goed overeen, evenals de doorlatendheid, die te klein blijft.

In 2.6 werd al geconcludeerd, dat wat de doorlatendheid betreft weinig overeenkomst met komklei bestaat. Door het bovenstaande wordt dit nog eens bevestigd.

3.7. B e r e k e n i n g v a n d e b e r g i n g s c o e f f i - c i e n t

Daar de profielopbouw in het hele reservaat min of meer gelijk is, konden de pF-curven voor de percelen 1,3,4,10,11 en 12 samengevoegd worden. Alleen perceel 2 wijkt af. Uit de pF-curven kan de bergingscoëfficiënt berekend worden. De bergingscoëfficiënt (μ) kan worden gedefinieerd als:

$$\mu = \frac{\text{verandering vochtinhoud v/h profiel (mm)}}{\text{verandering van de grondwaterstand (mm)}}$$

In de tabellen 9 en 10 is de berekening van de bergingscoëfficiënten voor perceel 2 en voor de rest van het gebied uitgevoerd aan de hand van de in 2.5 gegeven pF-curven. Voor perceel 2 is uitgegaan van

Tabel 9. Berekening van de bergingscoëfficiënt voor de percelen
1,3,4,10,11 en 12

Hoogte boven gem.			
diepste gr.w.st. (cm)	pF	$\Delta\theta$	$\bar{\Delta\theta}$ (mm)
80	1,90	70,0 - 58,5 = 11,5	11,25
70	1,85	70,0 - 59,0 = 11,0	8,75
60	1,78	61,5 - 55,0 = 6,5	4,00
50	1,70	52,5 - 51,0 = 1,5	1,50
40	1,60	52,5 - 51,0 = 1,5	1,25
30	1,48	56,5 - 55,5 = 1,0	0,75
20	1,30	60,0 - 59,5 = 0,5	0,25
10	1,00	61,0 - 61,0 = 0,0	0,00
0	-	61,5 - 61,5 = 0,0	
			27,75

$$\mu = \frac{27,75}{800} = 0,0347$$

Tabel 10. Berekening van de bergingscoëfficiënt voor perceel 2

Hoogte boven gem.			
diepste gr.w.st. (cm)	pF	$\Delta\theta$	$\bar{\Delta\theta}$ (mm)
40	1,60	78,0 - 72,0 = 6,0	5,25
30	1,48	78,0 - 73,5 = 4,5	3,75
20	1,30	70,0 - 67,0 = 3,0	2,50
10	1,00	70,0 - 68,0 = 2,0	1,00
0	-	79,0 - 79,0 = 0,0	
			12,50

$$\mu = \frac{12,50}{400} = 0,0313$$

een grondwaterstandsval van 0 - 40 cm -mv. en voor de rest van het gebied van 0 - 80 cm -mv. In beide gevallen is ervan uitgegaan dat het vochtgehalte overeenkomt met het evenwichtsvochtgehalte. Deze hoeveelheid afgetrokken van de hoeveelheid in verzadigde toestand levert $\Delta\theta$ (zie tabel 9 en 10).

In tabel 9 is te zien dat in de humeuze bovengrond de grootste hoeveelheid vocht kan worden geborgen. Voor perceel 2 geldt dit niet. Ondanks verschil in profielopbouw tussen perceel 2 en de rest van het gebied zijn de bergingscoëfficiënten nagenoeg gelijk, respectievelijk 0,0313 en 0,0347.

De bergingscoëfficiënt kan ook berekend worden uit:

$$\mu = \frac{\text{neerslag (mm)}}{\text{grondwaterstandsstijging (mm)}}$$

Dit moet gedurende zeer korte perioden in de winter gemeten worden. Doordat de grondwaterstand in het reservaat 's winters zeer hoog blijft, is deze methode hier niet bruikbaar.

4. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Ten behoeve van het relatieonderzoek vegetatie-waterhuishouding in het Komgrondenreservaat 'Tielerwaard-West' is er in het reservaat hydrologisch onderzoek verricht. Het doel is verschillen te signaleren waarmee variatie in de samenstelling van de vegetatie verklaard kan worden. In eerste instantie is hierbij gedacht aan ruimtelijke verschillen omdat het reservaat een eigen waterbeheersing heeft waarmee gepoogd wordt de vroegere situatie te continueren.

Van 21 verspreid door het gebied opgestelde grondwaterstandsbuizen met een filterdiepte van 1,80 - 2,00 m beneden maaiveld zijn van de grondwaterstandsgegevens van het groeiseizoen van 1977 de onderlinge correlatie-coëfficiënten bepaald (tabel 2). Over het algemeen zijn deze coëfficiënten hoog ($r > 0,80$).

De grondwatertrappenkaart vertoont weinig variatie. Slechts een klein deel van het gebied heeft een gt I, de rest een gt II of gt III.

De doorlatendheid van komkleilagen bedraagt over het algemeen

enkele millimeters per etmaal. Uit onderzoek van BOUMA en DEKKER (1978) en eigen onderzoek bleek, dat de doorlatendheid van deze laag in het reservaat vele malen groter is, gemiddeld 0,5 m/etm.

De stijghoogte van het water uit het watervoerend pakket is sinds 1961 met zeker 0,75 m afgenomen. Dit heeft tot gevolg gehad dat de oorspronkelijk aanwezige kwelsituatie veranderd is in een wegzijgings-situatie. Samen met de goede doorlatendheid van het afdekkend klei-pakket maakt dit, dat vooral in de winter, als het peil in het reservaat hoog wordt opgezet, de infiltratie aanzienlijk is. De oorzaak van de afname van de stijghoogte in het watervoerend pakket moet deels gezocht worden in een sinds 1959 toenemende winning van water uit dit pakket door een nabij gelegen drinkwaterwinbedrijf. De invloed van de Waal op de stijghoogte van dit pakket is ter plaatse van het reservaat klein.

De fluctuaties van het grondwaterniveau tijdens het groeiseizoen bedragen maximaal 0,85 m. Ondanks verschillen in hoogteligging van het maaiveld daalt dit vlak tot 0,5 m +NAP. Deze hoogteverschillen zijn er wel de oorzaak van dat de hoogste standen verschillen vertonen. Onder andere neerslagverdeling en het peilbeheer zijn verantwoordelijk voor de duur waarmee bepaalde grondwaterstanden bereikt of overschreden worden. Het niveau van de hoogste en laagste grondwaterstanden zijn hier minder afhankelijk van.

Voor de verspreid over het gebied opgestelde grondwaterstands-buizen blijkt, dat tussen de gemiddelde grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld tijdens het groeiseizoen, de bijbehorende maaivelds-hoogtes en de volgorde van vegetatieopnames (KEMMERS en JANSEN, 1979) onderling goede correlaties bestaan ($r = 0,86 - 0,88$). Voor de situatie dwars op de percelen correleren de hoogst waargenomen grondwaterstanden tijdens het groeiseizoen beter (tabel 4).

Het effect van het niveau van de hoogste standen kan tot uiting komen in de bodemtemperatuur de mineralisatie en de aeratie van de bodem. Deze effecten dienen nader onderzocht te worden.

Met y-metingen kan de vochtverandering in het profiel worden bepaald. Samen met pF-gegevens kan dan de gemiddelde zuigspanning in de bodem worden berekend. Tijdens de droogste periodes van de groeiseizoenen van 1977 en 1978 kwam de pF-waarde slechts een enkele

maal boven de 3,1 uit. Boven deze waarde treden er reducties in de potentiële verdamping op. Dat is in het reservaat tijdens de onderzochte periodes nauwelijks gebeurd, ondanks het feit dat komklei droogtegevoelig is. Bij minder neerslag en een andere verdeling ervan zullen er wel vochttekorten optreden.

De potentiële verdamping is berekend volgens RIJTEMA (1965). Met de eventuele reducties hierop zijn deze verdampingscijfers gebruikt in de waterbalansformule: $N - E - \Delta V = A - K$. Hieruit zijn op twee manieren de waarde voor de weerstand van het afdekkend pakket (c) en de drainageweerstand (y) bepaald. Deze bedroegen gemiddeld respectievelijk 126 en 65 etmalen.

De kD-waarde is met behulp van een afvoerformule (PANKOW en RIJTEMA, 1970) en de radiale slootweerstand w uit $y = \frac{1^2}{8kD} + w1$ (ERNST, 1962) bepaald. Voor zware klei is de kD-waarde nogal groot, 10-25 m²/etm. De horizontale doorlatendheid is ook groot, gemiddeld 0,8 m/etm. De radiale slootweerstand bedraagt gemiddeld 0,3 etm/m.

De bergingscoëfficiënt bedraagt voor de moerige strook bij buis 2 0,0313 en voor de rest van het gebied 0,0347 bij een daling van de grondwaterstand van respectievelijk 40 en 80 centimeter.

De variatie van deze constanten over het reservaat is te klein of te onnauwkeurig om er conclusies ten aanzien van de variatie in de vegetatie mee te kunnen verklaren. Uitzondering hierop vormt de c-waarde waarmee wel een samenhang bestaat.

5. LITERATUUR

- BANNINK, J.F., 1967. De bodemgesteldheid van het natuurreservaat 'Komgronden Tielerwaard', Stiboka rapport no. 709
- BOUMA, J. en L.W. DEKKER, 1978. De invloed van drainage en verbeterde ontwatering op de verticale verzadigde doorlatendheid van komklei- en knipkleigronden. Stiboka, rapport no. 1416
- ERNST, L.F., 1962. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij de aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Pudoc, Wageningen
- HOORN, J.W. VAN, 1960. Grondwaterstroming in komgrond en de bepaling van enige hydrologische grootheden in verband met het ontwateringssysteem. Pudoc, Wageningen
- JANSEN, P.C. en R.H. KEMMERS, 1979. Onderzoek naar de relatie vegetatie-waterhuishouding in het komgrondenreservaat Tielerwaard-West, deelrapport 1: Beschrijving van het gebied en opzet van het onderzoek, ICW nota 1142
- KEMMERS, R.H. en P.C. JANSEN, 1979. Onderzoek naar de relatie vegetatie-waterhuishouding in het komgrondenreservaat Tielerwaard-West, deelrapport 3: Overschrijdingsduurlijnen van grondwaterstanden en de invloed van het grondwaterregiem op de vegetatie. ICW nota 1144
- PANKOW, J., 1976. Waterbalansonderzoek aan twee graslandpercelen bij het waterwinstation Fikkersdries. ICW nota 926
- _____ en P.E. RIJTEMA, 1970. De resultaten van het waterbalansonderzoek in 1968 voor de objecten met een constant slootpeil in Hoenkoop. ICW nota 567
- RYHINER, A.H. en J. PANKOW, 1969. Soil moisture measurement by the gamma transmission method. ICW Technical Bulletin 66
- RIJTEMA, P.E., 1969. Soil moisture Forecasting. ICW nota 513
- _____ 1965. An analysis of actual evapotranspiration. Pudoc, Wageningen
- WERKGROEP I, 1962. De waterbehoefte van de Tielerwaard-West. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht