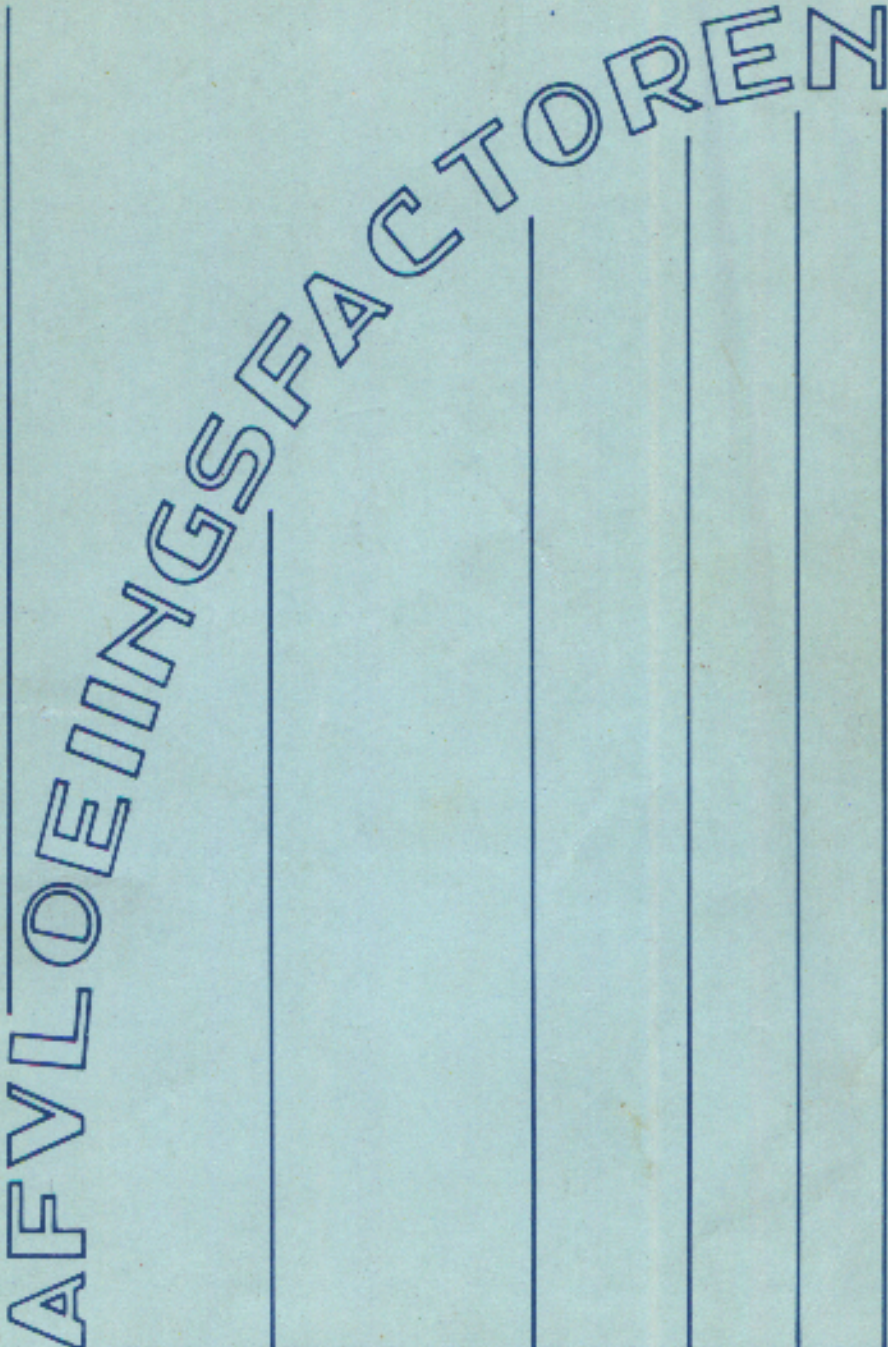


WERKGROEP

AFVLOEIINGSFACTOREN



TWEEDE INTERIMRAPPORT 1970

Tweede Interim-Rapport

van

de Werkgroep Afvloeiingsfactoren

december 1970.

6 NOV. 1974

Voorwoord	I
1 Inleiding	1
1.1 Afvoerproces	1
1.2 Enige toegepaste normen	1
1.3 Gedifferentieerde afvoernormen	4
1.4 Doel van het rapport	6
2 Het meten van enige hydrologische variabelen	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Neerslagmeting	8
2.3 Afvoermetingen	10
2.3.1 Registratie van beekpeilen	12
2.4 Verdampingsmetingen	13
2.5 Grondwaterstand en bodemvochtmetingen	14
2.6 Slotopmerkingen	15
3 Beschrijving van berekeningsmethoden	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Statistische bewerkingen van afvoergegevens	20
3.2.1 Inleiding	20
3.2.2 Keuze van de steekproef	21
3.2.3 Keuze van de frequentieverdeling	22
3.2.4 Auto-correlatie van de waarnemingsreeksen	23
3.2.5 Het homogeen maken van het waarnemings- materiaal	24
3.2.6 Representativiteit van de waarnemings- periode	24
3.2.7 Frequenties van de afvoertoppen en de dagafvoeren	25
3.2.8 Verhoudingen tussen maatgevende afvoeren	25
3.2.9 Uitbreiding van korte waarnemingsreeksen	26
3.3 Analyse van afvoergegevens met behulp van afvoer- karakteristieken	29
3.3.1 Afvoer karakteristiek	29

3.3.2	Afvoer karakteristiek en eigenschappen van het stroomgebied	32
3.4	Analyse van afvoerverlopen met traag reagerende componenten	33
3.4.1	Inleiding	33
3.4.2	Vragen	34
3.4.3	Formules	36
3.4.4	Toelichting op de vragen	38
3.4.5	Het model	43
3.5	Analyse van de verdeling van de neerslag over berging en afvoer	44
3.5.1	Principe	44
3.5.2	Een rekenmodel	45
3.5.3	Afgeleiden van de regenduurlijn	46
4	Toepassing van berekeningsmethoden	48
4.1	Bepaling van de frequenties van afvoeren met behulp van statistische methoden	48
4.1.1	Inleiding	48
4.1.2	Vaststelling van de empirische frequentie- verdeling	49
4.1.3	Extrapolatie van frequentielijnen	51
4.1.4	Kans op het overschrijden van vastgestelde maatgevende afvoeren	51
4.2	Voorspellen van afvoeren met behulp van afvoer karakteristieken	53
4.2.1	Afvoerintensiteiten met frequentie éénmaal per jaar	53
4.2.2	Afvoeren met andere frequenties	54
4.2.3	Invloed van verbetering van het stroomgebied	55
4.3	Reconstructie van afvoerverlopen met traag reagerende componenten	56
4.3.1	De neerslag	56
4.3.2	De reconstructieberekening	57
4.3.3	De uitkomsten	59

	blz.
4.4 Berekening van maatgevende afvoeren op grond van regenduurlijnen	60
4.4.1 Grootte van parameters en neerslagsommen	60
4.4.2 Enkele voorbeelden van toepassing van afgeleiden van regenduurlijnen	61
4.4.3 Technische en economische overwegingen	62
4.5 Het voorspellen van afvoeren door middel van afvoerverhoudingen	64
4.6 Evaluatie van de beschreven methoden	66
5 Richting van het afvoeronderzoek in de naaste toekomst	72
5.1 Inleiding	72
5.2 Het formuleren van de doelstelling	73
5.3 Het opstellen van een mathematisch model	74
5.4 Het economisch onderzoek	74
5.5 Samenvatting	76
6 De onderwerpen van onderzoek met de grootste urgentie	77
Literatuur	81

VOORWOORD

De "Werkgroep Afvloeiingsfactoren", die hierbij haar Tweede Interim Rapport aanbiedt, werd in 1958 ingesteld door de besturen van de Sectie voor Cultuurtechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs en de Studiekring voor Cultuurtechniek van het Koninklijk Genootschap voor Landbouwwetenschap.

De opdracht aan de Werkgroep luidde volgens de installatierede van de toenmalige voorzitter van de Sectie voor Cultuurtechniek,

ir. A.G. Wiersma:

"een onderzoek in te stellen naar de factoren waardoor de hoge afvoeren van de waterlopen in de hellende terreinen van Nederland worden bepaald.

"Het onderzoek zal dienen te omvatten:

- "1. een inventarisatie van de aanwezige gegevens;
- "2. een analyse van de gemeten afvoeren en frequenties;
- "3. een aanbeveling van maatgevende factoren voor de bestaande toestanden en voor die na de uitvoering van cultuurtechnische werken.

"Eventueel kan hieraan nog worden toegevoegd een beschouwing over afvoerfactoren in het Nederlandse poldergebied".

In deze opdracht valt de nadruk op het hydrologische proces van het tot stand komen van hoge afvoeren in de waterlopen en hierop is de samenstelling van de Werkgroep afgestemd en heeft zij haar activiteiten geconcentreerd.

Al spoedig bleek dat de studie van dit hydrologische vraagstuk veel omvattender zou moeten zijn dan aanvankelijk was geraamd. Het probleem van de relatie tussen regenval en afvoer vormt het centrale probleem in de hydrologie en juist op dit terrein heeft zich gedurende de beide laatste decennia een belangrijke ontwikkeling voorgedaan.

In haar Eerste Interim-Rapport (1963) heeft de Werkgroep getracht een overzicht te geven van de methoden die op dit terrein ter beschikking zijn gekomen. Vervolgens is aan de hand van beschikbare gegevens over regen, afvoer en fysische eigenschappen van de stroomgebieden

nagegaan, in welke mate in het buitenland ontwikkelde methoden toepasbaar zijn op de specifieke omstandigheden in Nederland, hetgeen leidde tot de opstelling van deels nieuwe methoden. Vele onderzoekers, ook buiten de Werkgroep, zijn op dit terrein actief geweest. De Werkgroep bleek een geschikt forum voor de presentatie en confrontatie van de bereikte resultaten.

In dit Tweede Interim-Rapport wordt hiervan verslag gedaan en men zou mogen stellen dat de Werkgroep aan de beide eerste punten van haar opdracht heeft voldaan.

Daarentegen zijn studies die moeten leiden tot de aanbevelingen betreffende de maatgevende factoren veel meer aan de oppervlakte gebleven. Het vaststellen van deze normen is in wezen een economisch vraagstuk waarbij het gaat om een afwegen van schade als gevolg van hoge afvoeren en kosten van voorzieningen om de schade te voorkomen of te verminderen. Hydrologische studies vormen hierbij de basis maar zijn niet voldoende om een gefundeerd antwoord op de vraag te geven.

Met het uitbrengen van het hierbij gaande rapport acht de Werkgroep de studie dan ook nog niet beëindigd.

Bij het opstellen van een programma voor verdere studie van de maatgevende factoren zal rekening moeten worden gehouden met de belangrijke veranderingen in het economische bestel die zich sedert 1958 in Nederland hebben voorgedaan en de repercussies hiervan op de waterhuishouding. In de hoofdstukken 5 en 6 wordt hierop nader ingegaan.

In de Werkgroep hebben onderzoekers van verschillende instellingen en diensten samengewerkt. De samenstelling heeft in de loop der jaren telkenmale wijzigingen ondergaan doch gebleven is de vertegenwoordiging van cultuurmaatschappijen, landbouwkundige en meteorologische onderzoeksinstituten, hogescholen, waterschappen alsmede Cultuurtechnische Dienst, provinciale- en Rijkswaterstaat.

Bij het uitbrengen van het Tweede Interim-Rapport namen de volgende leden en gasten aan de werkzaamheden deel:

prof.ir. A. Volker, voorzitter,
ir. M. Snijdelaar, secretaris,
G.W. Bloemen ing.,
ir. T. Blok,
ir. J. Bon,
ir. A.E. Brouwn,
drs. H.A.R. de Bruin,
ir. H.J. Colenbrander,
ir. J.A. van Dort,
dr.ir. A.W. de Jager,
ir. Ph. Jansen,
ir. M.H.A. Kempen,
prof.ir. D.A. Kraijenhoff van de Leur,
ir. S.J. van Kregten,
ir. Th. J. van de Nes,
ir. A. Oosterbroek,
ir. H. van Rossum,
ir. J. van Selm,
ir. W.C. Visser,
dr.ir. J. Wesseling,
dr.ir. J.W. de Zeeuw,

Daarnaast dienen de namen te worden genoemd van degenen die gedurende kortere of langere tijd aan de werkzaamheden hebben deelgenomen, te weten:

prof.dr.ir. F. Hellinga,
ir. C.C.M. Baron van Hövell van Wezeveld en Westerfliet,
drs. J.Q. Keyman,
prof.dr.ir. W.H. van der Molen,
dr.ir. Ph.Th. Stol,
ir. F.B. Veldkamp,
ir. J.A. Wajer.

Het was ondergetekende een genoegen gedurende vele jaren met
bovengenoemde onderzoekers samen te werken.

oktober 1970,

De Voorzitter van de
Werkgroep Afvloeiingsfactoren.



A handwritten signature in cursive script, reading "A. Volker", is written over a long horizontal line.

prof.ir. A. Volker.

1. INLEIDING

1.1 Afvoerproces

In het algemeen gesproken is de afvoer van water uit een gebied afhankelijk van de variatie in regenval naar tijd en plaats en van de in het gebied aanwezige bergingscapaciteit. De laatste is er oorzaak van dat niet alle neerslag tot afvoer komt. Een deel wordt gebruikt voor de aanvulling van het bodemvocht tot veldcapaciteit, een ander deel wordt geborgen in afvoerloze laagten in het terrein. De grootte ervan wordt bij een gegeven terreinsituatie in hoofdzaak bepaald door de aan de te beschouwen regenperiode voorafgaande verdamping. De berging, zoals die wordt aangetroffen in een stijging van het grondwater-niveau en in een stijging van het peil in leidingen en oppervlaktereservoirs, speelt een directe rol in het afvoerproces en deze bepaalt in feite de transformatie van een neerslagverdeling naar de tijd in een afvoerverdeling naar de tijd.

Variatie in neerslag en berging en de onderlinge beïnvloeding van verschillende bergingssystemen in een gebied, zijn er oorzaak van dat het afvoergebeuren bijzonder gecompliceerd is.

Bij het ontwerpen van waterbeheersingswerken wordt veelal uitgegaan van enkelvoudige afvoernormen gebaseerd op permanente beweging. Velen zouden dan ook liefst een uitspraak willen zien ten aanzien van de grootte van deze afvoeren, c.q. van afvloeifactor in de vorm van een enkel getal.

Bestudering van het afvoerproces en het toenemend inzicht dat ontwerp-normen afhankelijk dienen te worden gesteld van de doelstellingen van het ontwerp, leidden tot de conclusie dat het gebruik van een enkelvoudige afvloeifactor slechts in een beperkt aantal gevallen geoorloofd is.

1.2 Enige toegepaste normen

Aanvankelijk vond beekverbetering plaats op basis van één afvloeifactor voor het gehele stroomgebied. Deze steeg in de loop der jaren van 0,5 à 0,6 tot 0,9 à 1,0 l/sec.ha.

Een eerste differentiatie van deze gemiddelde normen naar gebieden

met verschil in waterbergend vermogen vond plaats in de provincie Drenthe, waar de volgende normen worden gehanteerd:

1,2 à 1,33 l/sec.ha	- voor lage veengraslanden en weinig doorlatende gronden, dalgronden met een wijkenstelsel;
0,9 à 1,0 l/sec.ha	- voor lage ontginningszandgronden, middelhoge ontginningsgronden met leem ondieper dan 80 cm;
0,6 à 0,7 l/sec.ha	- voor middelhoge ontginningsgronden en esgronden;
0,3 à 0,4 l/sec.ha	- voor bossen en stuifzandgronden.

In de dertiger jaren werd de eis gesteld, dat bij een waterbezwaar overeenkomend met de toegepaste normen nog juist geen inundatie mocht optreden.

De droogleggingseisen die bij de bovengenoemde gedifferentieerde normen worden toegepast zijn voor grasland 0,5 tot 0,7 m en voor bouwland 0,6 tot 0,8 m beneden het gemiddeld laagste maaiveld. Er wordt geen reductie op de afvoer toegepast naar gebiedsgrootte (grootste stroomgebied in Drenthe is ca. 30.000 ha).

De afvoernormen die door Blaauw en Oostra voor de provincie Noord-Brabant zijn voorgesteld verschillen weinig van die voor Drenthe; alleen wordt voor het onderscheiden van verschillen in waterbergend vermogen tegens gebruik gemaakt van de C.O.L.N.-kaartwintertoestand. Voor gebieden kleiner dan 10.000 ha gelden de volgende afvloeiingsfactoren:

Wintergrondwaterstand C.O.L.N.	Gebiedsbeschrijving	Afvloeiingsfactor
< 40 cm	lage beekdalen en polders	1,33 l/sec.ha
40 - 70 cm	lage zandgebieden	1,00 l/sec.ha
70 - 140 cm	hoge zand bouwland- gronden	0,67 l/sec.ha
> 140 cm	woeste gronden	0,33 l/sec.ha

Voor gebieden groter dan 10.000 ha wordt een reductie toegepast op de maatgevende afvoer.

De bij de maatgevende afvoeren behorende droogleggingseisen liggen in het algemeen 0,1 - 0,2 m hoger dan bij de Drentse eisen. Blaauw en Oostra berekenen de leidingen echter ook aan de hand van een tweede norm, te weten een ontwateringsdiepte bij halve maatgevende afvoer. Deze ontwateringsdiepte wordt bepaald door de drainage-eisen van de aanliggende gronden.

Voornoemde maatgevende afvoeren in combinatie met de gestelde droogleggingseisen stemmen overeen met de huidige praktijkopvattingen en komen voor een stroomgebied gemiddeld ongeveer neer op een afvloeiingsfactor van 0,9 à 1,0 l/sec.ha. De differentiatie naar verschillen in waterbergend vermogen is echter nogal arbitrair vastgesteld. Uitgangspunten hierbij zijn geweest dat de laaggelegen gronden in een stroomgebied te vergelijken zijn met polders, waarvoor een ontwerpafvoer van 11,5 mm/etm of 1,33 l/sec.ha in de praktijk goed blijkt te voldoen, en dat de hooggelegen gronden minstens de gemiddelde neerslag in de winter, 2 mm/etm of 0,23 l/sec.ha zullen afvoeren.

De laaggelegen gronden in een hellend gebied zijn echter niet zonder meer te vergelijken met polders. In een polder wordt de afvoer begrensd door de capaciteit van het gemaal en vindt berging van de niet afgevoerde hoeveelheid water over het gehele poldergebied plaats. In een hellend gebied, met een hydrologische ontsluiting, die overeenkomt met die van polders, is van een kunstmatige begrenzing in de topafvoeren vrijwel geen sprake. Uit afvoermetingen is dan ook gebleken dat in deze gebieden een afvoer van 1,33 l/sec.ha veelvuldig wordt overschreden. Anderzijds blijken de afvoeren van hooggelegen gronden (dit zijn goed doorlatende gronden met diepe grondwaterstanden en waar geen oppervlakkige afvoer voorkomt) veelal kleiner te zijn dan 0,3 l/sec.ha.

Wanneer de oppervlakteverhouding tussen de onderscheiden soorten gebieden belangrijk afwijkt van de gemiddelde situatie, kan de bovengenoemde werkwijze tot onbevredigende resultaten leiden.

1.3 Gedifferentieerde afvoernormen

Zoals in par. 1.2 is beschreven wordt bij het vaststellen van afvoernormen voor stroomgebieden al enigszins rekening gehouden met verschillen in waterbergend vermogen en met het wisselend karakter van de afvoeren. De afvoernormen die men wil hanteren zullen echter mede bepaald worden door de aard van het ontwerp, zoals dat uit de hierna volgende voorbeelden moge blijken.

a. Waterbeheersingsplan

De doelstelling van een verbeteringsplan is het beheersen van de grondwaterstand en het peil in de leidingen, of algemeen het beheersen van verschillende vormen van waterberging in een gebied. Nu is er een direkte relatie tussen toegestane c.q. mogelijke berging en af te voeren hoeveelheid water, hetgeen inhoudt dat uit de te stellen ontwerpcriteria afvoeren zullen volgen die maatgevend zijn voor de dimensionering en vormgeving van leidingen en kunstwerken.

Ten aanzien van de leidingen zijn in de eerste plaats lage, frequent voorkomende, afvoeren van belang. De diepte van de leiding dient mede te worden vastgesteld op basis van de bij deze afvoeren gewenste ontwateringsdiepte van de aangrenzende gronden. Ook bij het vaststellen van taludhellingen, het al of niet plaatsen van een be-
tuining en het nemen van maatregelen ter bestrijding van erosie van de bodem van de leiding spelen waterstanden en stroomsnelheden die voorkomen bij deze lage afvoeren een belangrijke rol.

In de tweede plaats zal men bij het dimensioneren van leidingen rekening moeten houden met het optreden van, vaak kortdurende, topafvoeren. Welke afvoer men nog binnen het profiel van de leiding wil verwerken, dient afhankelijk te worden gesteld van de schade die ontstaat bij overschrijding van de gekozen afvoer.

b. Kunstwerken

De afmetingen van duikers en stuwen worden meestal berekend bij een bepaald debiet. Men zal zich ook moeten afvragen wat er gebeurt bij hogere en lagere afvoeren. De afmetingen van duikers worden hoofd-

zakelijk bepaald door de toelaatbare opstuwing en de uitstroomsnelheid bij hoge afvoeren. Is deze laatste factor doorslaggevend dan kunnen bijzondere uitstroomvoorzieningen verantwoord zijn. Evenzo kan de constructie van een stuw en de daarbij behorende bodem- en taludbescherming mede bepaald worden door het optreden van topafvoeren, zonder dat dit leidt tot een wijziging in de afmetingen van de leiding zelf.

c. Reservoirs

Voor het dimensioneren van reservoirs, die ten doel hebben de toppen van de afvoer te reduceren, dient men minstens kennis te hebben van vorm en inhoud van de afvoertoppen. Bij de berekening beperkt men zich meestal noodgedwongen tot een maatgevend gestelde afvoertop, die afgeleid is uit waargenomen afvoeren of die door theoretische benadering is vastgesteld. Voor een volledige reservoirberekening, waarbij het gaat om de optimale verhouding tussen de afmetingen van het reservoir en die van het benedenstroomse leidingstelsel moet men kunnen beschikken over de frequentie, duur en inhoud van over- en onderschrijdingen van bepaalde afvoeren.

d. Verharde oppervlakken

De relatie tussen afvoeren van verharde oppervlakken en die van landelijke gebieden is een tot nu toe weinig bestudeerd onderwerp. Een volledige analyse van het vraagstuk vergt nauwkeurige kennis van beide afvoerprocessen. De werkgroep Afvloeiingsfactoren heeft zich alleen bezig gehouden met de afvoer uit landelijke gebieden. De afvoer van verharde gebieden vormt het onderwerp van studie van de werkgroep Afvoerfactoren Stedelijke Gebieden.

e. Wateraanvoer

Projecten die een beheersing van waterstanden in zomer en winter beogen of die mede een regeling van de waterhuishouding ten behoeve van de waterwinning ten doel hebben, vereisen een nauwkeurige analyse van het proces van berging en afvoer gedurende het gehele jaar.

1.4 Doel van het rapport

Gesteld kan worden dat het afvoergebeuren een complex verschijnsel is. Bovendien zal de aard van het ontwerp van invloed zijn op de te stellen ontwerpnormen en de methode op grond waarvan deze worden vastgesteld.

Niet altijd zal het nodig zijn het gehele afvoerproces volledig te kennen en kan men volstaan met een onderzoek dat gericht is op beantwoording van de specifieke vragen van het project. Enerzijds betekent dit dat aan het ontwerp een duidelijke formulering van het probleem dient vooraf te gaan, anderzijds zullen onderzoeksmethoden bekend moeten zijn waarmee het mogelijk is een zo goed mogelijke benadering te geven van de voor het ontwerp maatgevende afvoer(en).

Zoals dat met elk onderzoek het geval is, kan ook het afvoeronderzoek uitgebreid en uitgediept worden en is het nooit als afgesloten te beschouwen. Niettemin is het gewenst op geregelde tijden een momentopname te maken van de stand van het onderzoek. Dit te doen ten aanzien van het afvoeronderzoek in Nederland is de doelstelling van dit rapport.

2. HET METEN VAN ENIGE HYDROLOGISCHE VARIABELEN

2.1 Inleiding

De laatste jaren is op het gebied van het meten van meteorologische en hydrologische variabelen een aantal belangrijke veranderingen waar te nemen. Zo wordt, eerder dan vroeger, overgegaan tot een continue registratie van gegevens. Gefundeerde uitspraken kunnen uitsluitend op grond van nauwkeurige basisgegevens worden gedaan.

De kwaliteit van de basisgegevens wordt evenwel niet alleen door de methode van registreren bepaald. Ook het aantal meetpunten en het type instrument heeft hierop invloed. Wat dit laatste betreft is een tendens merkbaar naar nauwkeuriger apparatuur ook al brengt dit meer kosten en moeite met zich mee.

Een andere factor, die invloed heeft op de wijze van registratie, is de steeds schaarser en duurder wordende mankracht waardoor het verwerken van de gegevens steeds moeilijker en kostbaarder wordt. Het gebruik van apparatuur, waarmee de gegevens in het veld direct op ponsband kunnen worden vastgelegd, neemt dan ook sterk toe.

Met de verwerking van de gegevens is een aspect genoemd, dat steeds tegelijk met het opzetten van het meetnet moet worden bekeken. Het opzetten van een meetprogramma, waarbij niet tevens wordt aangegeven hoe de gegevens zullen worden verwerkt, is riskant en leidt dikwijls tot het zich opstapelen van onuitgewerkte gegevens en registratiebladen.

Het op verantwoorde wijze verzamelen van de basisgegevens omvat:

- het inrichten van een meetnet, afgestemd op het doel van het onderzoek;
- het controleren en het dagelijkse onderhoud van de meetapparatuur, zodat een continue waarneming is verzekerd;
- het verwerken van de waarnemingen;
- het controleren en aanvullen van de gegevens.

Op een aantal aspecten, die op het eerstgenoemde punt betrekking hebben, zal kort worden ingegaan. Het betreft onder andere de verschillende typen meetinrichtingen, het opstellen van de meetapparatuur en het bepalen van het aantal meetpunten en de ligging ervan.

In dit hoofdstuk zullen achtereenvolgens de neerslag- en afvoermetingen

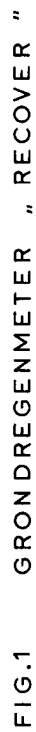
worden besproken, terwijl verder kort op enige aspecten van het meten van de verdamping, de grondwaterstand en het bodemvochtgehalte zal worden ingegaan. Aan het bepalen van geohydrologische en bodemfysische eigenschappen zal hier geen aandacht worden besteed.

2.2 Neerslagmeting

De problemen, die zich bij de meting van de neerslag voordoen, betreffen niet alleen het type meetinstrument en de opstelling ervan, maar tevens het aantal meetapparaten dat nodig is om met een bepaalde mate van nauwkeurigheid de gemiddelde neerslag over een gebied te bepalen. Het lokale karakter van vooral de regenbuien in de zomer, is uit een aantal recente onderzoeken duidelijk gebleken (DE BOER, 1968; COLENBRANDER en VERSTRAATE, 1967; COLENBRANDER en STOL, 1970). Bij een gedetailleerd hydrologisch onderzoek dient dan ook met deze lokale buien rekening te worden gehouden.

In Nederland is weinig onderzoek verricht naar de relatie tussen de nauwkeurigheid, waarmee de gebiedsneerslag kan worden berekend en het aantal neerslagstations. STOL (1967) heeft voor de Gelderse Achterhoek een studie gemaakt van de relatie tussen de dagsommen van de verschillende stations, terwijl COLENBRANDER en STOL (1970) hetzelfde deden voor het meetnet in het Leerinkbeekgebied. Uit dit laatste onderzoek werd geconcludeerd, dat bij een afstand tussen de stations van 2 à 3 km de neerslagverdeling ook tijdens zomerse regenbuien goed kan worden beschreven. Uiteraard is niet voor elke studie een dergelijk dicht meetnet vereist. De dichtheid is namelijk afhankelijk van de doelstelling van het onderzoek en de nauwkeurigheid, waarmee de andere grootheden kunnen worden gemeten. Wel zal voor verschillende hydrologische studies de dichtheid van het bestaande KNMI-net te gering zijn.

Een ander punt, dat de laatste jaren opnieuw in de belangstelling is gekomen, is de invloed van de wind op de neerslagmetingen. Onder andere DE ZEEUW (1963), COLENBRANDER en STOL (1970) en in Engeland RODDA (1967) hebben ten aanzien van dit punt onderzoeken verricht. De neerslaghoeveelheid, die gemeten wordt in regenmeters waarvan de trechterrand ongeveer op maaiveldhoogte is geplaatst (grondregenmeters) is groter dan die welke gemeten wordt in meters, waarvan de trechterrand zich op een bepaalde



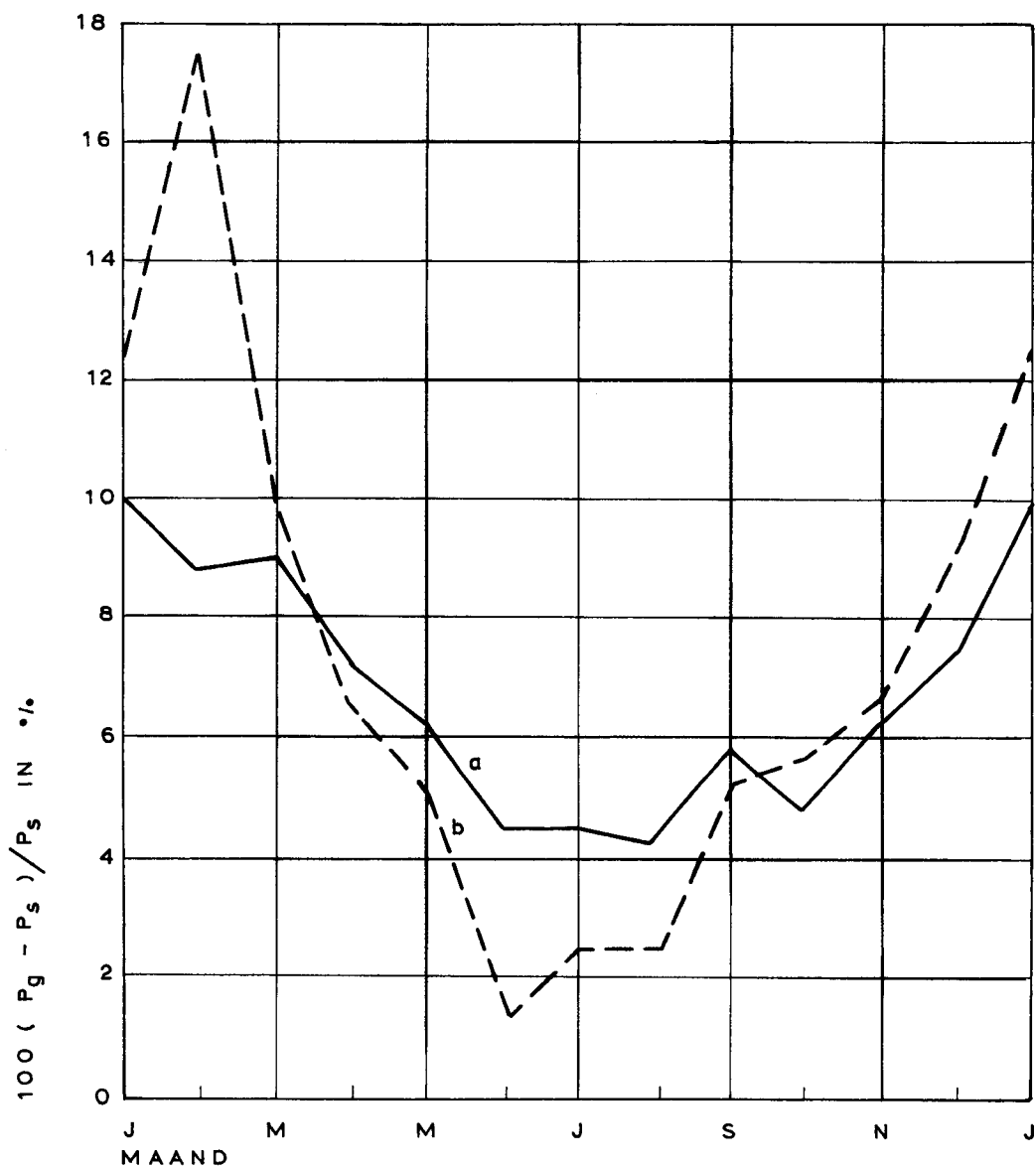


FIG. 2 HET JAARLUKS VERLOOP VAN HET VERSCHIL
TUSSEN DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN GEMETEN
IN STANDAARDREGENMETERS (P_s) EN IN GROND-
REGENMETERS (P_g);
a) GEM. VAN 3 STATIONS IN HET LEERINKBEEK-
GEBIED
b) GEM. VAN DE STANDAARDREGENMETERS IN DE
ROTTEGATSPOLDER t.o.v. EEN REGENMETER
IN ENGELSE OPSTELLING

hoogte boven maaiveld bevindt (standaardregenmeter). De belangrijkste oorzaak hiervan is de wind, die meer invloed heeft naarmate een regenmeter hoger boven maaiveld staat opgesteld. Om over regengegevens te kunnen beschikken, die op maaiveldniveau zijn geregistreerd, is een nieuw type regenmeter geconstrueerd (COLENBRANDER en VERSTRAATE, 1966). De grote opvangtrechter is op maaiveldniveau geplaatst (fig. 1). De regen wordt tijdelijk beneden maaiveld geborgen, waardoor de kans op verdamping en bevroering gering is. Doordat bovendien de gegevens in het veld reeds op ponsband worden gezet, kan de gehele verwerking ervan mechanisch geschieden.

Ook de omgeving van het regenstation is van invloed op de meting. Ten gevolge van een verschil in begroeiing (gewashoogte, bladerendek van de bomen, etc.) variëren de verschillen in neerslaghoeveelheid gemeten in grond- en standaardregenmeters (resp. P_{gr} en P_{st}) in de loop van het jaar. Voor een viertal regenstations in het Leerinkbeekgebied (COLENBRANDER en STOL, 1970) bedroeg het gemiddelde verschil in de zomer 2 à 4 % en in de winter 8 à 10 %. In fig. 2 is voor een drietal stations in dit gebied het verloop van P_{st}/P_{gr} getekend. Voor de Rottegatspolder is eenzelfde verloop getekend, maar nu uitgaande van een regenmeter in Engelse opstelling. Uit dit onderzoek is gebleken dat voor hydrologisch onderzoek het gebruik van grondregenmeters is aan te bevelen.

De neerslag verschilt niet alleen naar plaats, maar ook naar tijd. Voor verschillende detailstudies vooral in snel op de neerslag reagerende gebieden (bijvoorbeeld stedelijke gebieden) verschaffen dagsommen te weinig informatie. In deze gevallen moeten de neerslagintensiteiten per uur of zelfs per 15 of 5 minuten bekend zijn. Deze informatie kan alleen door middel van registrerende regenmeters worden verkregen. In Nederland wordt het meest gebruik gemaakt van een pluviograaf van het sifon-type. Deze wordt meestal op standaardhoogte (40 cm boven mv) opgesteld. Het blijkt, dat dit type pluviograaf vooral in de winter aanzienlijke verschillen met de standaardregenmeter te zien geeft. Berekend voor maandsommen, bedragen de verschillen met de grondregenmeter zelfs 15 à 20 % (COLENBRANDER en STOL, 1970).

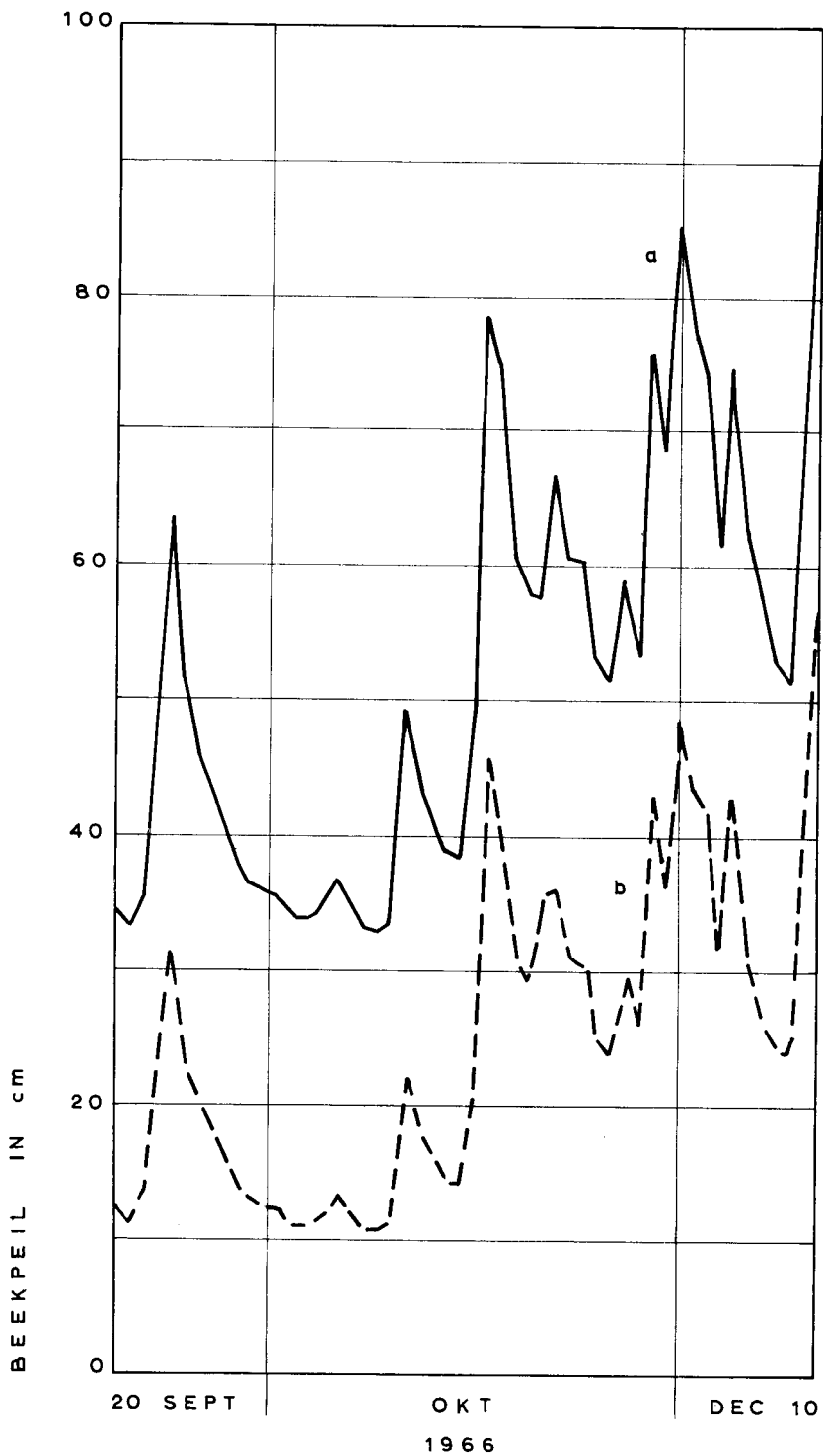


FIG.3 HET VERLOOP VAN EEN BEEKPEIL DAT STERK DOOR DE BEGROEIING IN DE BEEK WORDT BEINVLOED (a) EN HET VERLOOP VAN HETZELFDE PEIL, INDIEN GEEN BEGROEIING AANWEZIG ZOU ZIJN GEWEEST (b)

Tabel 1 Vergelijking van de op verschillende wijzen berekende afvoeren (meetpunt 13; Leerinkbeek-gebiedonderzoek)

Periode 1966	Afvoer in mm			Afvoer verhouding in %	
	Q_{1xd}^g	Q_{1xd}^w	Q_{reg}^w	$\frac{(1)}{(2)} \times 100$	$\frac{(1)}{(3)} \times 100$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1/ 6 t/m 12/ 6	0,1	0,7	0,7	14,3	14,3
13/ 6 t/m 4/ 7	5,4	19,7	23,8	27,4	22,7
5/ 7 t/m 24/ 7	5,4	34,9	40,3	15,5	13,4
25/ 7 t/m 13/ 8	0,6	14,5	14,9	4,1	4,0
14/ 8 t/m 1/ 9	4,0	22,1	30,0	18,1	13,3
2/ 9 t/m 19/ 9	0,4	4,7	4,5	8,5	8,9
20/ 9 t/m 4/10	0,3	2,0	2,3	15,0	13,0
1/ 6 t/m 4/10	16,2	98,6	116,5	16,4	13,9
5/10 t/m 28/10	39,2	19,1	18,9	205,2	207,4
29/10 t/m 14/11	55,6	8,2	8,3	678,0	669,9
15/11 t/m 25/11	155,1	30,5	30,9	377,4	372,5
26/11 t/m 8/12	161,0	43,0	43,7	374,4	368,4
9/12 t/m 16/12	113,1	38,8	38,7	291,5	292,2
17/12 t/m 29/12	126,1	51,9	53,8	243,0	234,4
30/12 t/m 7/ 1'67	73,4	31,6	34,4	232,3	213,4
5/10 t/m 7/ 1'67	683,5	223,1	228,7	306,4	298,9
1/ 6 t/m 7/ 1'67	699,7	321,7	345,2	217,5	202,7

Q_{1xd}^g (1) = uit benedenwaterstand (X_2^g) m.b.v. afvoerkrommen berekende afvoer (1 x daagse waarneming)

Q_{1xd}^w (2) = afvoer berekend uit gemeten afvoerintensiteiten (1 x daagse waarneming)

Q_{reg}^w (3) = afvoer berekend uit gemeten afvoerintensiteiten (continu geregistreeerde gegevens)

2.3 Afvoermetingen

De doelstelling van de meeste afvoeronderzoekingen is de laatste jaren sterk gewijzigd. Voorheen waren de meeste onderzoekingen voornamelijk gericht op het vaststellen van de hoge afvoeren. Thans spelen ook de middelhoge en de lage afvoeren een belangrijke rol. Dit houdt vooral verband met de studies over de waterinlaat ten behoeve van de landbouw- en de drinkwatervoorziening (direct vanuit de rivier, via spaarbekkens etc.) en de lozingsmogelijkheden van afvalwater. Overigens dient te worden opgemerkt dat het aantal meetpunten als zodanig de nauwkeurigheid van de berekening van de afvoer als geheel niet verhoogd. Hierbij komt dat de toename van de theoretische kennis en de sterk verbeterde verwerkingstechnieken het mogelijk maken de meer gedetailleerde gegevens volledig te benutten.

Vele van de tot nu toe gebruikte afvoermeetpunten en toegepaste meettechnieken zijn niet geschikt om gedetailleerde gegevens, vooral ten aanzien van de lage afvoeren, te verkrijgen omdat aan de invloed van de begroeiing te weinig aandacht is besteed. Het effect van de begroeiing op de waterstand komt duidelijk tot uiting in fig. 3 (BLOK en COLENBRANDER, 1970). Ook BON (1967) heeft onderzoek verricht naar de invloed van de begroeiing op het beekpeil, terwijl FLACH (1968) een overzicht van tot dan verrichte onderzoekingen geeft.

De begroeiing kan tot in de winter van invloed blijven omdat ze sterk van de weersgesteldheid en van het tijdstip van reinigen van de beek afhangt.

Om rekening te houden met de begroeiing wordt voor een afvoermeetpunt dikwijls met twee of drie afvoerkrommen gewerkt (voor zomer-, winter- + overgangsperioden). In de zomer kan echter een wintersituatie optreden, zodat het moeilijk is om vast te stellen in welke begroeiingstoestand de beek verkeert, of met andere woorden, welke afvoerkromme moet worden gebruikt.

Welke fouten kunnen ontstaan door niet met de werkelijke begroeiingstoestand rekening te houden, maar door de krommen toe te passen voor van te voren vastgestelde perioden, blijkt uit tabel 1 (BLOK en COLENBRANDER, 1970).

Een objectieve maat voor de begroeiingstoestand is de verhouding

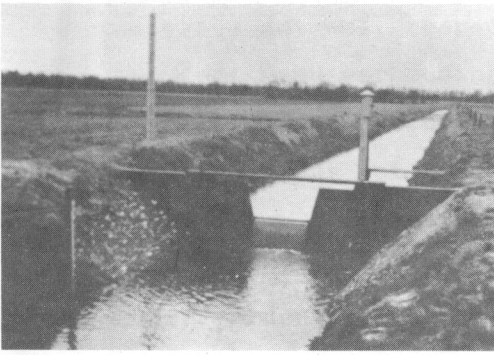
Tabel 2 Enige stuwtypen geschikt om, in leidingen met de genoemde kenmerken, de afvoer te bepalen

Type meetstuw	Leiding eigenschappen			
	afvoercapaciteit (< 1 m ³ /sec)		afvoercapaciteit (> 1 m ³ /sec)	
	verhang (> 3-5 ⁰ /oo)		verhang (> 3-5 ⁰ /oo)	
	(a)	(b)	(a)	(b)
Meetschotten				(x)
Lange V-overlaten	x	x	x	x
H-flumes		(x)		x
Parshall flumes	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾	x ¹⁾
Critical depth flumes	(x)	(x)	x	x

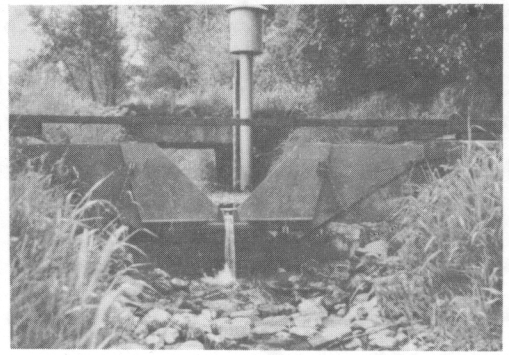
a) veel drijvend vuil

b) weinig drijvend vuil

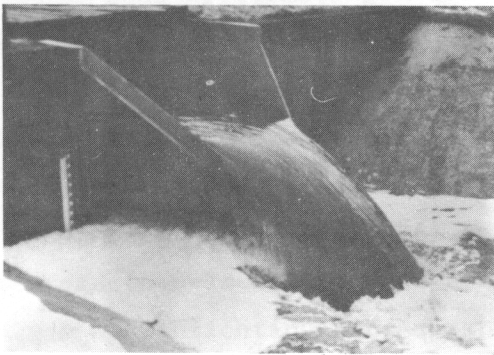
1) minder geschikt bij een sterk fluctuerende afvoer



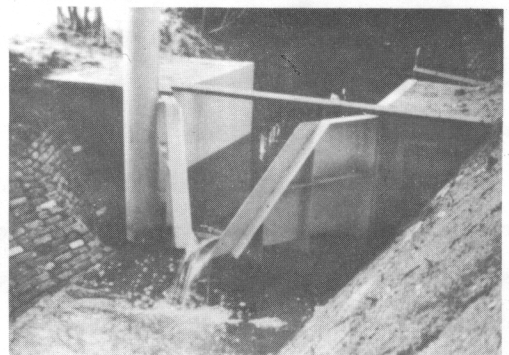
a



b



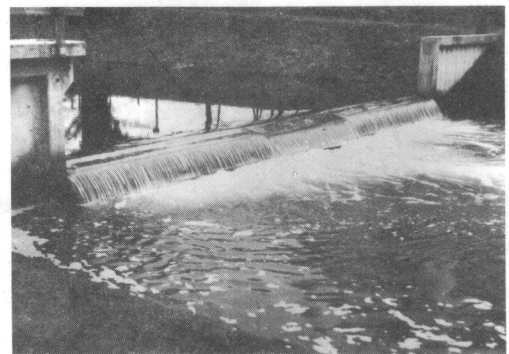
c



d



e



f

Fig.4. Enige typen afvoermeeetinrichtingen a) Cipolletti-meetschot b) Samengesteld Thomson/Cipolletti-meetschot c) Gewijzigde H-flume (max.cap.4m³/sec) d) H-flume (max.cap.900 l/sec) e) H-flume (max.cap.5m³/sec) f) Aangepaste bodemval.

tussen een peil, dat wel, respectievelijk niet door de begroeiing wordt beïnvloed. Deze verhouding kan ook worden gebruikt om bij een meetstuw de invloed van de benedenwaterstand op de afvoer in rekening te brengen, zonder dat het benedenpeil wordt geregistreerd (COLENBRANDER, 1967a en 1967b).

Een meettechniek, waarmee zowel de hoge als de lage afvoeren nauwkeurig kunnen worden bepaald, is de afvoermeting met behulp van kunstwerken. Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen het gebruik van speciaal gebouwde meetstuwen en van reeds bestaande of geprojecteerde kunstwerken, die na ijking voor de meting kunnen worden benut. Door aan deze kunstwerken kleine wijzigingen aan te brengen, worden ze dikwijls beter geschikt voor het meten van afvoeren. Het ijken van de stuwen kan geschieden door in het veld stroomsnelheidsmetingen of volumetrische afvoermetingen uit te voeren (BON, 1965); ook kunnen voor dit doel modelproeven worden uitgevoerd (PITLO, 1965).

De nauwkeurigste afvoergegevens worden echter ongetwijfeld verkregen door van speciale meetstuwen gebruik te maken. Afhankelijk van de eigenschappen van de beek (verhang, maximum en minimum afvoer; de beschikbare meetplaats etc.) en de eisen, die aan de meetgegevens worden gesteld (nauwkeurigheid, wijze van verwerking etc.) zijn verschillende typen meetinrichtingen beschikbaar. De belangrijkste hiervan zijn voor Nederlandse omstandigheden de H-flumes en de V-vormige brede overlaten. In tabel 2, die eveneens aan het rapport van BLOK en COLENBRANDER (1970) is ontleend, wordt een aantal mogelijkheden besproken terwijl van een aantal stuwen foto's zijn opgenomen. Ook in fig. 4 zijn foto's van enige stuwen gegeven. Tevens wordt in dit rapport aangegeven welke eisen aan een meetpunt moeten worden gesteld en hoe het plaatsen van de meetstuwen moet gebeuren. Ook in verschillende andere publikaties wordt op het gebruik van afvoermeetinrichtingen ingegaan (HANDBOOK, 1962; REPRESENTATIVE AND EXPERIMENTAL BASIN GUIDE, 1970; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1968).

Indien geen kunstwerken voor het meten van de afvoer kunnen worden benut, moet de afvoer uit de eerder genoemde afvoerkrommen worden berekend. Deze kunnen aan de hand van stroomsnelheidsmetingen en simultane beekpeilwaarnemingen worden opgesteld. De stroomsnelheidsmetingen dienen

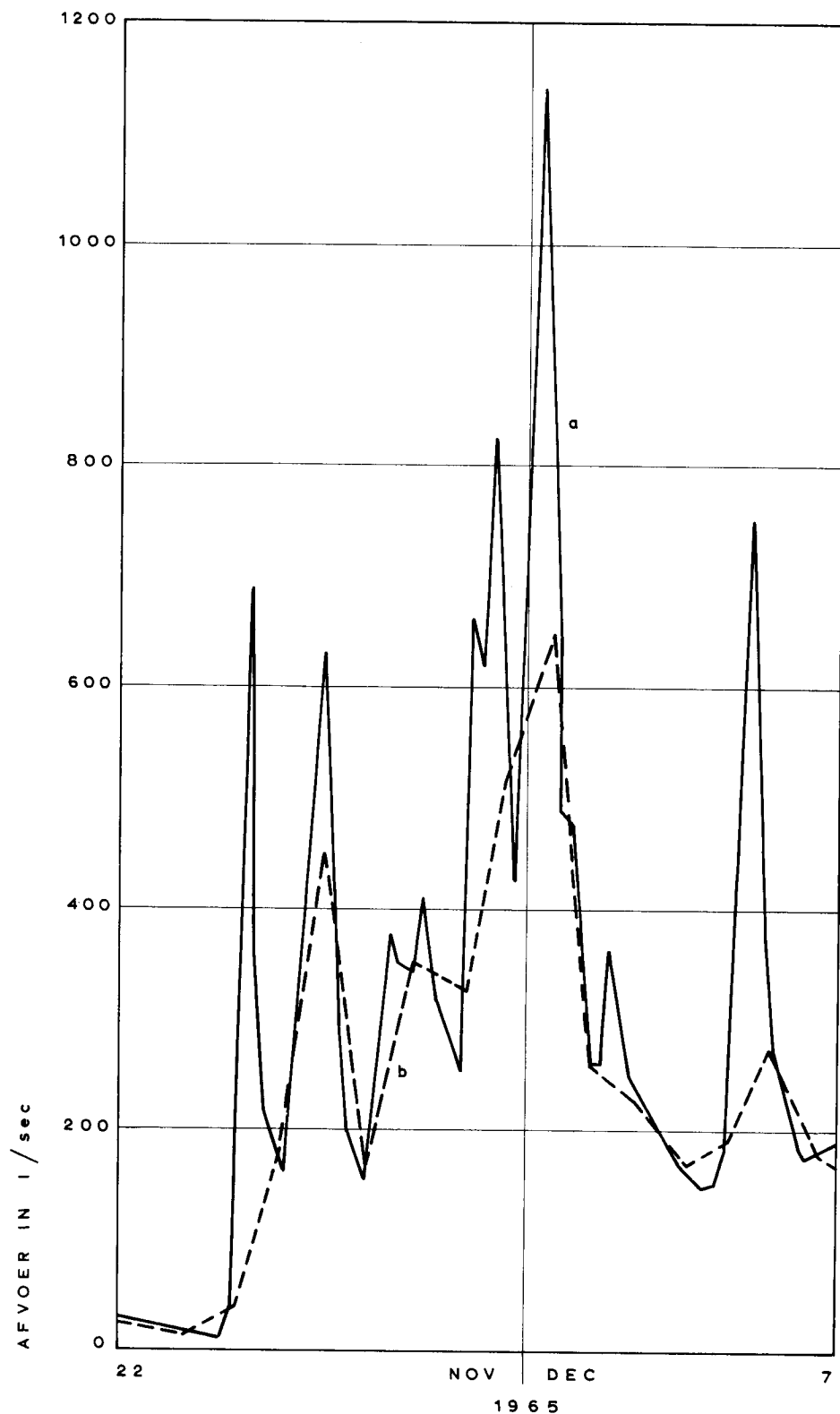


FIG.5 HET DOOR EEN PEILSCHRIJVER GEREISTREERDE VERLOOP VAN HET BEEKPEIL (a) EN HET VERLOOP SAMENGESTELD UIT EENMAAL-DAAGSE WAARNEMINGEN (b)

met zorg te worden uitgevoerd aangezien hierbij aanzienlijke fouten kunnen worden gemaakt, indien bijvoorbeeld het dwarsprofiel van de beek en het beektraject niet aan zekere eisen voldoen (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1969; WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1965). Tevens dient ook speciale aandacht aan de meetplaats te worden besteed (fixeren van het dwarsprofiel, recht toestromingskanaal etc.).

Het meten van de afvoer door het injecteren van chemische middelen of tracers is voor Nederlandse omstandigheden minder geschikt, aangezien meestal geen voldoende menging optreedt.

2.3.1 Registratie van beekpeilen

In het voorgaande is reeds op de noodzaak gewezen om in verschillende gevallen op continue registratie over te gaan. Wil men bijvoorbeeld de afvoertoppen nauwkeurig vaststellen, dan is vooral in gebieden waarin de afvoer snel op de neerslag reageert registrerende apparatuur noodzakelijk (fig. 5 en tabel 1).

Voor de continue registratie heeft men globaal gesproken de keuze uit peilschrijvers en ponsapparatuur. Met deze laatste wordt in het veld het beekpeil direct op ponsband gezet. Hierdoor wordt het mogelijk de afvoer geheel mechanisch te berekenen (COLENBRANDER, 1967a).

Uiteraard hoeft niet elk meetpunt van ponsapparatuur te worden voorzien. Indien alleen het verloop van het beekpeil van belang is en de afvoer niet of slechts incidenteel behoeft te worden berekend, kan met een peilschrijver worden volstaan. Ook kan een gemengd systeem worden gekozen, waarbij het peil, waaruit de afvoer wordt berekend, direct op ponsband wordt gezet, maar het peil, dat de afvoer slechts incidenteel beïnvloedt, door een peilschrijver wordt opgetekend. De verschillende typen peilschalen en registratiesystemen worden uitvoerig door MINDERHOUD (1969) besproken.

Indien bij een beweegbare stuw wordt gemeten, moet tevens de hoogte van de stuwkruin worden gemeten. Verandert deze slechts sporadisch, dan kan deze door periodieke waarnemingen worden vastgelegd, maar in geval van een frequente wijziging van kruinhoogte, en zeker bij een automatische stuw, dient de klepstand te worden geregistreerd.

Sinds kort is het mogelijk zonder al te hoge kosten meer gegevens

(max. 10) op één ponsband te registreren, door gebruik te maken van een zogenaamde scanner en een servosysteem. De scanner en het servosysteem kosten rond fl. 4.500,-- exclusief de kosten van de recorder. Een extra voordeel van de scanner is, dat de diverse gegevens direct na elkaar op de band worden geponst, waardoor de verwerking eenvoudiger is en mogelijke fouten door miswijzigingen in de tijd kleiner zijn.

2.4 Verdampingsmetingen

Levert het meten van afvoer en neerslag reeds vele moeilijkheden op, het meten van de verdamping in het veld is zelfs praktisch onmogelijk omdat een groot aantal factoren, waarvan de invloed moeilijk is vast te stellen, direct of indirect van invloed is. Meteorologische grootheden, zoals straling, temperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid zijn relatief gemakkelijk te bepalen, maar andere invloeden, zoals die van het bodemvochtgehalte, van het gewas (type, lengte, bodembedekking) en van de omgeving (open water, bos, houtwallen etc.) zijn moeilijk vast te stellen. De beschikbare verdampingscijfers hebben dan ook meestal betrekking op de verdamping van een vrij wateroppervlak (E_0), berekend volgens de formule van Penman. Dergelijke cijfers zijn onder andere voor een aantal KNMI-stations beschikbaar. Opgemerkt moet nog worden, dat deze E_0 -cijfers niet uit directe wind- en netto stralingsmetingen zijn berekend. MAKKINK (1967) geeft verder cijfers over de potentiële verdamping van een kort aaneengesloten grasgewas, eveneens uitgaande van de formule van Penman.

Bij de meting van grootheden, benodigd voor de berekening van de verdamping volgens Penman, is het moeilijk een meetplaats te vinden, waar geen storende invloed van de omgeving wordt ondervonden. De vraag in hoeverre de E_0 -cijfers dan ook representatief zijn of als parameter voor de werkelijke verdamping van een gebied kunnen worden gebruikt, dient steeds te worden nagegaan.

Bij vele hydrologische onderzoeken is het gewenst over verdampingscijfers voor perioden korter dan een maand te beschikken. De verdeling van de maandsommen over bijvoorbeeld 5 of 10-daagse perioden is echter een onzeker punt. Wellicht kunnen met behulp van de door BLOEMEN (1969) geconstrueerde verdampingspan de maandsommen over korte perioden

(bijvoorbeeld dagen) worden verdeeld.

In het kader van verschillende onderzoeken worden gedetailleerde verdampingsmetingen verricht (Wageningen, IJsselmeer, Hupselsebeekgebied en Salland). Deze kunnen ook voor andere studies van nut zijn. Om de potentiële verdamping voor korte perioden (bijvoorbeeld dagen) betrouwbaarder te bepalen dan tot nu toe het geval is, is het gewenst voor een dichter net van meetstations nauwkeurige metingen te verrichten onder gebruikmaking van registrerende apparatuur voor de netto straling en de windsnelheid etc.

2.5 Grondwaterstand en bodemvochtmetingen

Grondwaterstand- en bodemvochtgegevens zijn voor de meeste afvoerstudies van veel belang. In de vorm van isohypsenkaarten verschaffen de grondwaterstanden informatie over de stromingsrichting van het grondwater, over de ligging van de freatische waterscheiding, over het karakter van het leidingenstelsel (drainerend of infiltrerend) en over geo-hydrologische gebiedseigenschappen. Verder geven grondwaterdieptekaarten een indruk van de waterhuishoudkundige toestand in een gebied. De grondwaterstandveranderingen zelf vormen een redelijke parameter voor de verandering van de berging in de grond.

Het meten van de grondwaterstand levert meestal geen grote moeilijkheden op, al vereist het plaatsen van de waarnemingsbuizen de nodige zorg. De buizen moeten op een juiste wijze over het gebied worden verspreid. Hierbij moet onder andere rekening worden gehouden met de te verwachten verschillen in grondwaterdiepte, bodemgebruik en de afstand tot de ontwateringsmiddelen. Grondwaterstandwaarnemingen worden meestal tweemaal per maand uitgevoerd. Voor gedetailleerde hydrologische onderzoeken is dit veelal te weinig. In vele gevallen verdient het daarom aanbeveling de grondwaterstand continu of althans frequenter waar te nemen (COLENBRANDER, 1970).

Voor het registreren van de grondwaterstand kan dezelfde apparatuur worden gebruikt als voor de beekpeilregistratie. Het voordeel van de apparatuur waarmee de gegevens in het veld direct op ponsband kan worden gezet, komt wat minder duidelijk naar voren, omdat geen herleiding van de grondwaterstandgegevens zelf behoeft plaats te

vinden.

Een bezwaar is, dat de bij de Dienst Grondwaterverkenning TNO beschikbare gegevens niet direct mechanisch kunnen worden verwerkt, zodat de informatie die deze gegevens bevatten, maar gedeeltelijk kan worden benut. De recentelijk gestarte mechanisering van dit archief is daarom van groot belang.

De bodemvochtmetingen geven belangrijke informatie over de vochttoestand van de grond, waaruit onder andere het bergend vermogen kan worden bepaald. De nucleaire meetapparatuur is zeer geschikt om tot een diepte van 5 à 6 m beneden maaiveld het vochtgehalte te meten. Voor de bovenste 100 à 150 cm van het profiel wordt met de gamma-meetapparatuur een nog gedetailleerder inzicht in de vochtverdeling verkregen (RIJTEMA, 1969). Voor grotere diepten is deze apparatuur echter minder geschikt.

2.6 Slotopmerkingen

In het voorgaande is betoogd, dat de inrichting van een meetnet moet worden afgestemd op de doelstelling van een onderzoek. Dit geldt zowel voor het aantal op te richten meetstations als voor de wijze van registratie. In dit opzicht zijn van invloed de aard van het onderzoek, de belangen die ermee samenhangen en de nauwkeurigheid die men wenst te bereiken. Uiteraard hangt de dichtheid van het meetnet en de keuze van de apparatuur voornamelijk af van de omstandigheden in het gebied (klimaat, hydrologie, geologie, grondgebruik etc.).

Daarnaast is benadrukt, dat het opzetten van een meetprogramma niet beperkt mag blijven tot het kiezen van het aantal meetpunten en het type registratie-apparatuur, maar dat tevens dient te worden aangegeven, hoe de periodieke controle van de meetpunten moet geschieden. Verder dient vast te staan op welke manier de geregistreerde gegevens zullen worden verwerkt en hoe de controle en aanvulling van de waarnemingsreeksen zal plaatsvinden. Wordt aan een van deze onderdelen geen of onvoldoende aandacht besteed, dan zal het resultaat niet optimaal zijn en bestaat zelfs de kans, dat de hele opzet van het meetprogramma mislukt. Een overhaaste start van

een meetprogramma leidt dan ook dikwijls tot teleurstellingen. Toch zal de vrees, dat niet op de juiste wijze wordt gemeten, niet tot gevolg mogen hebben, dat het meten wordt uitgesteld. Een tijdig beginnen met meten is namelijk van groot belang.

3. Beschrijving van berekeningsmethoden

3.1 Inleiding

Indien van een gebied voldoende afvoergegevens ter beschikking staan, dan kan hierop een statistische analyse worden toegepast. Met behulp van de verkregen resultaten kan dan een voorspelling worden gedaan omtrent de in de toekomst te verwachten afvoerintensiteiten. In paragraaf 3.2 zullen de bij dergelijke studies toegepaste technieken aan een nadere beschouwing worden onderworpen. Tevens zal hierbij worden ingegaan op de aan de gegevens te stellen eisen voor wat betreft aantal en nauwkeurigheid.

In Nederland zijn slechts van een gering aantal stroomgebieden afvoergegevens over langere tijd bekend. Indien het nu gelukt om afvoergegevens die betrekking hebben op kortere tijdvakken, zodanig te analyseren dat de afvoer met voldoende nauwkeurigheid kan worden gereconstrueerd uit de gemeten neerslag, eventueel met inachtneming van de verdamping, en bepaalde gebiedsconstanten, dan is het mogelijk om de in het verleden gemeten neerslaghoeveelheden om te rekenen tot afvoeren. Aangezien neerslaggegevens over zeer lange perioden ter beschikking staan, kan men op deze wijze lange reeksen van afvoeren reconstrueren, zodat een betere grondslag voor statistische afvoerstudies wordt verkregen. De uit de analyse verkregen gebiedsconstanten geven een aanwijzing voor de grootte van de te verwachten afvoer, zodat een betere vergelijking tussen verschillende afvoergebieden mogelijk is.

Voor de analyse van afvoergegevens met behulp van gebiedsconstanten staan twee methoden ter beschikking en wel:

- a) de methode van de afvoercharacteristieken (DE JAGER, 1965);
- b) de methode van de reactiefactoren (DE ZEEUW, 1966).

De grondslag voor beide methoden vormt de niet-permanente stroming naar evenwijdige sloten of drains zoals o.a. door KRAIJENHOFF VAN DE LEUR (1958) beschreven. De oplossing voor dit stromingsgeval toont aan, dat de afvoer kan worden berekend door de neerslag van de voorafgaande periode te vermenigvuldigen met bepaalde exponentiële functies.

In het argument van de betreffende functies komt naast de tijd een gebiedsconstante voor. Deze gebiedsconstante bevat behalve de bergingsfactor van de grond de doorlatendheid, de dikte van het watervoerende pakket en de afstand tussen de ontwateringsmiddelen. Deze gebiedsconstante kan echter ook zonder meer als een rekenfactor worden beschouwd.

Bij de analyse volgens de methode van de afvoercharacteristieken wordt de afvoer opgebouwd gedacht uit een voor korte perioden constant gedachte "basisafvoer" en één of meer wisselende afvoeren.

Uit de beschikbare afvoergegevens van het stroomgebied wordt een "basisafvoer" vastgesteld, afkomstig gedacht van een bepaald deel van het gebied. Het overige deel van het gebied wordt geacht de wisselende afvoer te geven. Voor de reconstructie wordt als parameter voor de afstroming de reservoircoëfficiënt j gebruikt die wordt gedefinieerd als:

$$j = \frac{\mu L^2}{\pi^2 k D} \quad (1)$$

waarin:

j = de reservoircoëfficiënt	$[t]$
μ = de bergingsfactor van de grond	(dimensieloos)
L = de afstand tussen de ontwateringsmiddelen	$[l]$
k = de doorlaatfactor van de grond	$[l^2 t^{-1}]$
D = de dikte van het watervoerende pakket	$[l]$

Op grond van de kenmerken van het gebied worden één of meer j -waarden gekozen. De neerslag wordt nu vermenigvuldigd met een convergerende reeks van exponentiële functies waarin de gekozen j -waarde is ingevuld. Dit proces wordt herhaald met verschillende j -waarden tot het berekende afvoerverloop zo goed mogelijk overeenkomt met de waarnemingen.

De methode van de afvoercharacteristieken is speciaal gebaseerd op de analyse van afvoertoppen. Omdat slechts een gedeelte van het gehele stroomgebied meedoet aan de snelle afvoer krijgt men als afvoercharacteristieken van een gebied:

- de "basisafvoer",
- de reservoircoëfficiënt j van de snelle afvoer,
- het (maximum) percentage van de neerslag (of oppervlakte) dat aan de snelle afvoer deelneemt.

Een uitvoeriger beschrijving van deze methode wordt gegeven in paragraaf 3.3.

De methode van de reactiefactoren geeft een volledige analyse van de afvoer. De afvoer wordt uiteengerafeld in een aantal deelafvoeren, elk afkomstig van een bepaalde ontwateringseenheid waarvoor een bepaalde reactiefactor geldt. Bij reconstructie wordt het aandeel van een gebied in de totale afvoer bepaald door de op elk deelgebied gevallen neerslag te vermenigvuldigen met de bijbehorende reeks exponentiële functies waarin de reactiefactor is ingevuld.

Als reactiefactor α geldt:

$$\alpha = \frac{\sigma kD}{\mu L} \quad [t^{-1}] \quad (2)$$

waarin σ een vormfactor van de grondwaterstand is en de overige factoren dezelfde betekenis hebben als die voor de reservoircoëfficiënt.

Bij deze methode blijkt, dat in de meeste gevallen kan worden gewerkt met één enkelvoudige exponentiële functie (het lineaire reservoir).

Voor een uitvoeriger beschrijving van deze methode wordt verwezen naar paragraaf 3.4 van dit hoofdstuk.

Door BLOEMEN (1970) werd een methode ontwikkeld om de maatgevende afvoer van een gebied te bepalen indien geen afzonderlijke afvoergegevens van het gebied bekend zijn. Bij deze methode wordt uitgegaan van k -daagse neerslagsommen die in de vorm van regenduurlijnen worden gebruikt. Berekend wordt, hoe deze neerslagsommen moeten worden verdeeld over de beschikbare bergingscapaciteit van de grond en de afvoer, om te voorkomen dat een kritieke grondwaterstand vaker wordt overschreden dan een toelaatbaar aantal keren.

De berekening maakt gebruik van eenvoudige functies voor de stroming van grondwater naar de verschillende ontwateringsniveaus. De bergingscapaciteit van de grond wordt afhankelijk gesteld van de grondwaterdiepte.

De voor de methode vereiste parameters worden verkregen door een grafische of numerieke analyse van grondwaterstandsgegevens. De principes van deze methode worden uiteengezet in paragraaf 3.4 van dit hoofdstuk.

3.2 Statistische bewerkingen van afvoergegevens

3.2.1 Inleiding

Voor de dimensionering van watergangen en de daarin gelegen kunstwerken is kennis van de frequentie van de afvoeren en met name van de hoge afvoeren vereist.

Van de Nederlandse beken en riviertjes zijn meestal slechts afvoergegevens beschikbaar over een periode van 10 à 15 jaar en in een enkel geval van 20 jaar. Het is duidelijk dat deze perioden te kort zijn om zonder meer een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over afvoeren die met een zeer kleine frequentie (bijvoorbeeld van eenmaal per 100 jaar) optreden of worden overschreden.

Om hiervoor een oplossing te vinden worden de afvoeren uitgezet tegen de gecumuleerde frequenties. Door het kiezen van een geschikte, op de gekozen kansverdeling berustende schaal voor zowel de afvoeren als de frequenties komen de uitgezette punten zodanig te liggen, dat hierdoor een rechte lijn kan worden getrokken. Door deze frequentielijn te extrapoleren kunnen op een eenvoudige wijze de afvoeren die met een zeer kleine overschrijdingsfrequentie optreden worden bepaald.

Aangezien de kansverdeling, waaraan de waargenomen afvoeren voldoen nooit à priori bekend is, moeten veelal op de afvoeren verschillende bewerkingen toegepast worden en de resultaten hiervan vergeleken. De volgende, in de literatuur uitvoerig beschreven, frequentieverdelingen kunnen hierbij worden toegepast: o.a. de log-normale verdeling

de exponentiële verdeling, de verdeling van Gumbel, de verdeling van Fréchet, de verdeling Pearson III, de verdeling log-Pearson III.

Aan de gegevens moeten de volgende eisen worden gesteld:

- 1e) De waarnemingen moeten onafhankelijk van elkaar zijn.
- 2e) De beschikbare waarnemingen moeten een representatieve steekproef van de gehele populatie vormen.

Voorts kunnen de genoemde bewerkingen alleen met succes worden toegepast, indien geen belangrijke veranderingen in de hydrologische toestand van het beschouwde gebied zijn opgetreden gedurende de periode waarover de steekproef wordt genomen. Ook zijn de verkregen resultaten alleen geldig voor de toekomst, indien de hydrologische situatie ongewijzigd blijft. Zoals reeds is opgemerkt zijn meestal slechts afvoergegevens beschikbaar over een betrekkelijk korte periode (10 à 15 jaar).

Teneinde te kunnen beoordelen of de beschouwde periode representatief is, kan de neerslagfrequentie over deze periode vergeleken worden met die over een langere periode (meer dan 50 jaar).

Wanneer de waarnemingsreeks in een stroomgebied zeer kort is, kan met behulp van de in paragrafen 3.3 en 3.4 besproken methoden de reeks worden verlengd door reconstructie van de afvoer uit neerslaggegevens. Ook bestaat de mogelijkheid de reeks uit te breiden met behulp van gegevens uit een ander stroomgebied. De laatste methode wordt nader toegelicht aan de hand van de afvoergegevens van de Oude IJssel te Doesburg.

3.2.2 Keuze van de steekproef

Afhankelijk van de verschijnselen waarin men is geïnteresseerd, wordt een daarvoor representatieve steekproef genomen. Wanneer speciaal belangstelling bestaat voor de extreem hoge afvoeren, kan men alleen de hoogste afvoertoppen per jaar in beschouwing nemen. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het verdelingstype bekend is, zoals bijvoorbeeld bij de verdeling van Gumbel, zodat de uitspraken kunnen worden gekwantificeerd. Het voordeel van het werken met extremen is, dat slechts weinig gegevens bewerkt behoeven te worden. Een nadeel is

echter dat een belangrijk deel van de in de waarnemingen vervatte informatie buiten beschouwing blijft. Bovendien is het werken met extremen alleen mogelijk indien afvoergegevens beschikbaar zijn over een periode van 15 jaar, welke periode als een aanvaard minimum wordt beschouwd.

Daarnaast kan uitgegaan worden van de hoogste afvoertoppen per maand, hoewel het hierbij in mindere mate zeker is, dat deze waarnemingen onafhankelijk zijn. Veelal wordt daarom uitgegaan van alle afvoertoppen boven een bepaald niveau. Om zo goed mogelijk verzekerd te zijn van de onafhankelijkheid van de waarnemingen wordt dit niveau zodanig vastgesteld, dat gemiddeld slechts 3 tot 5 toppen per jaar boven dit niveau liggen. Het voordeel hierbij is dat het overgrote deel van de afvoertoppen onder soortgelijke hydrologische omstandigheden is voorgekomen, waardoor een zo goed mogelijke homogene reeks ontstaat.

Voor geheel andere doeleinden wordt uitgegaan van de volledige waarnemingsreeks als steekproef. Uiteraard is hierbij geen sprake van onafhankelijkheid van de waarnemingen. Met behulp van deze steekproef kan dan ook geen uitspraak worden gedaan over de kans van optreden van topafvoeren, maar wel over de tijd gedurende welke de afvoer een gegeven waarde overschrijdt.

3.2.3 Keuze van de frequentieverdeling

Voor het bepalen van de frequenties van de topafvoeren wordt voor de Nederlandse beken meestal uitgegaan van alle afvoertoppen boven een bepaald niveau. Hierbij wordt steeds gebruik gemaakt van de exponentiële verdeling. Bij de grafische voorstelling worden op de horizontale as (lineair) de afvoeren aangegeven en op de verticale as (logaritmisch) het gemiddelde aantal overschrijdingen per jaar.

Aan de exponentiële verdeling wordt de voorkeur gegeven om de volgende redenen:

- a) de exponentiële verdeling blijkt empirisch goed aan de waarnemingen te kunnen worden aangepast;

b) de exponentiële verdeling is wiskundig eenvoudiger hanteerbaar dan de andere verdelingen en de aanpassing en extrapolatie geven aanleiding tot minder willekeur, omdat deze verdeling in tegenstelling tot andere frequentieverdelingen slechts afhankelijk is van één aan de waarnemingen aan te passen parameter. Het is de enige verdeling waarvan het type niet wijzigt wanneer van een ander niveau, waarboven de afvoeren worden bewerkt, wordt uitgegaan. Ongeacht dit niveau wordt hetzelfde resultaat verkregen. Zo maakt het bijvoorbeeld bij de Oude IJssel geen verschil of van 40, 50 of 60 m³/sec wordt uitgegaan.

Aangezien een numerieke bewerking mogelijk is, kunnen de verschillende stroomgebieden onderling objectief vergeleken worden met behulp van de parameter uit de gekozen verdeling.

3.2.4 Auto-correlatie van de waarnemingsreeksen

Om de frequentieverdelingen te kunnen toepassen, moet aan de voorwaarde worden voldaan, dat de waarnemingen onafhankelijk van elkaar zijn. Bij afvoerwaarnemingen treedt tengevolge van persistentie echter wel een onderlinge afhankelijkheid tussen de gegevens op, die auto-correlatie wordt genoemd. Dit geldt met name voor de dagelijkse afvoeren. In tabel 3 is weergegeven hoe de auto-correlatie verloopt voor het meetpunt Doesburg van de Oude IJssel, indien de waarnemingsreeks ten opzichte van zichzelf een aantal dagen wordt verschoven.

Tabel 3 Auto-correlatie van de dagafvoeren van de Oude IJssel

Aantal dagen verschuiving	correlatie- coëfficiënt	aantal dagen verschuiving	correlatie- coëfficiënt
1	0,843	6	0,433
2	0,748	7	0,385
3	0,704	8	0,332
4	0,625	9	0,310
5	0,494	10	0,322

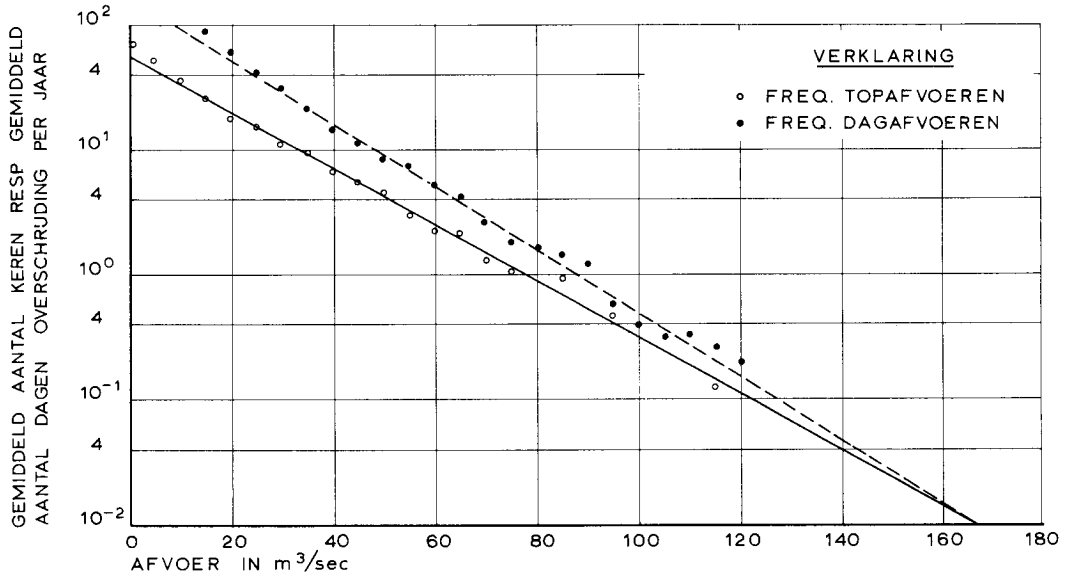


FIG. 6 OVERSCHRUDINGSFREQUENTIES VAN DE AFVOER IN DE OUDE IJSSEL BIJ DOESBURG IN DE PERIODE APRIL 1954 t/m MAART 1969

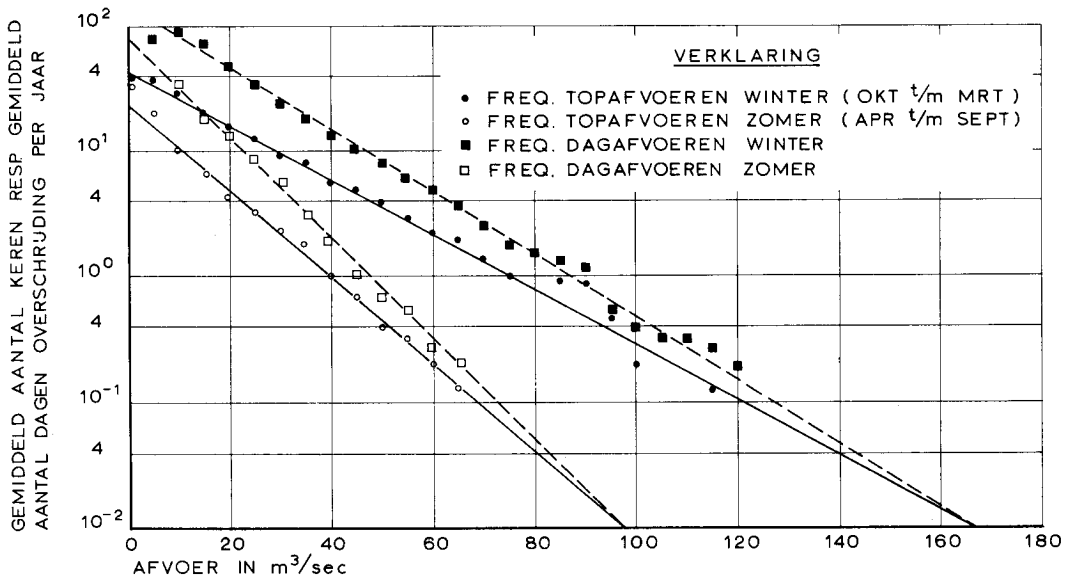


FIG. 7 OVERSCHRUDINGSFREQUENTIES VAN DE AFVOER IN DE OUDE IJSSEL BIJ DOESBURG IN DE PERIODE APRIL 1954 t/m MAART 1969

Uit tabel 3 blijkt, dat eerst bij $n = 10$ de correlatiecoëfficiënt niet meer monotoon afneemt. Bij bovengenoemd meetpunt dienen derhalve de waarnemingen minstens 10 dagen uiteen te liggen om onafhankelijk te zijn.

Het is gebleken dat de afhankelijkheid van de waarnemingen geen invloed uitoefent op de ligging van de frequentielijn. De onafhankelijkheid van de waarnemingen is echter wel van belang voor het berekenen van de betrouwbaarheidsgrenzen. In de formule voor het berekenen van deze betrouwbaarheidsgrenzen moet het aantal (onafhankelijke) waarnemingen gebruikt worden.

3.2.5 Het homogeen maken van het waarnemingsmateriaal

Wanneer wordt uitgegaan van niet homogeen waarnemingsmateriaal mag uit statistische overwegingen niet worden geëxtrapoleerd.

Teneinde het waarnemingsmateriaal meer homogeen te maken, wordt dit verdeeld in zomer- en winterwaarnemingen. Zie in dit verband ook paragraaf 4.1.2. Om een indruk te geven van het verschil, dat kan ontstaan indien de waarnemingen niet worden verdeeld in zomer- en winterwaarnemingen, is op figuur 6 een frequentieverdeling gegeven voor jaargegevens terwijl op figuur 7 deze zelfde waarnemingen zijn gesplitst in zomer- en winterafvoeren. Hierbij is van het gehele waarnemingsmateriaal uitgegaan.

3.2.6 Representativiteit van de waarnemingsperiode

Om te kunnen beoordelen of de afvoerverdeling in de beschouwde periode overeenkomt met de gemiddelde afvoerverdeling, wordt de neerslagfrequentie over dezelfde periode vergeleken met de neerslagfrequentie over een langere periode. Het feit dat vooral in het winterseizoen er vaak een goede relatie bestaat tussen de frequentieverdelingen van de neerslag en de afvoer maakt het mogelijk om te kunnen beoordelen of de afvoerverdeling in de beschouwde periode overeenkomt met de gemiddelde afvoerverdeling. Hiertoe wordt de neerslagfrequentie over dezelfde periode vergeleken met de neerslagfrequentie over een langere periode.

Als voorbeeld zijn de frequentieverdelingen voor het station

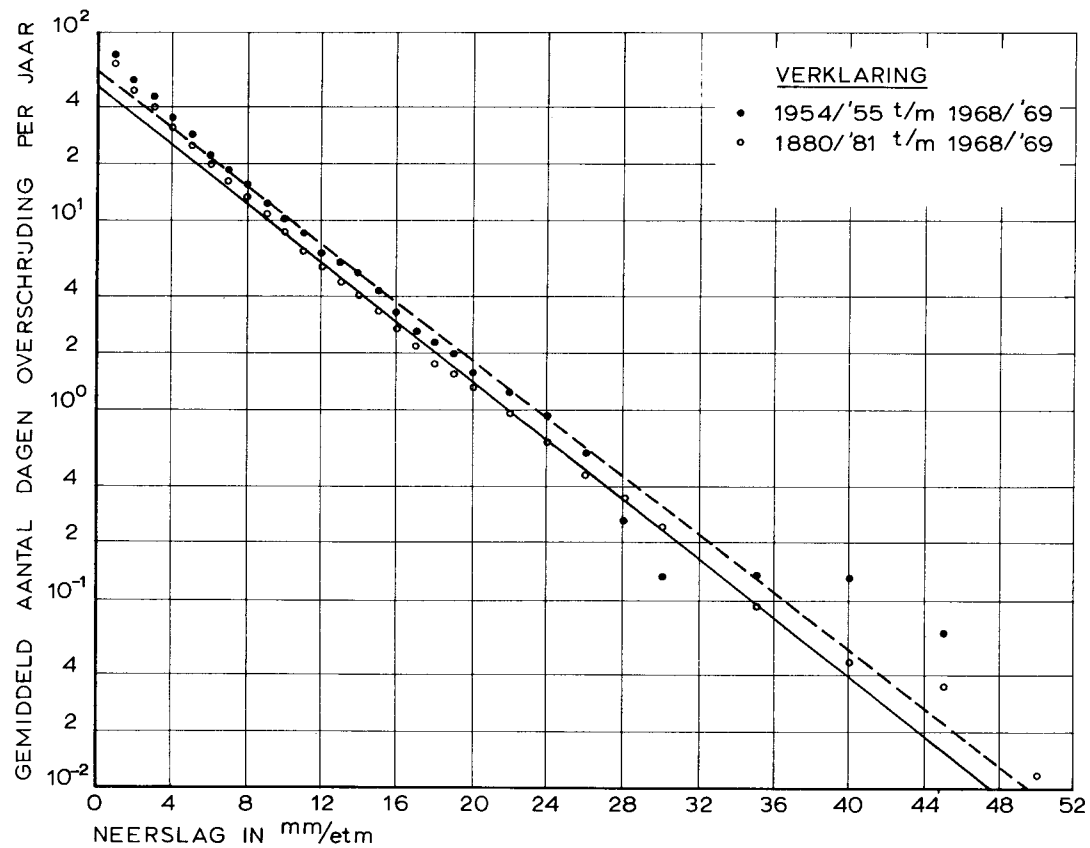


FIG. 8 NEERSLAG FREQUENTIES VAN DE MAANDEN OKTOBER t/m MAART
VAN HET STATION WINTERSWIJK

Winterswijk vergeleken van de dagneerslagen in de winter van de periode 1954 - 1969 en de periode 1880 - 1969. Op figuur 8 zijn de resultaten weergegeven. Het blijkt dat de frequentieverdelingen in de beide perioden goed overeenkomen. Geconcludeerd mag nu worden dat de van het tijdvak 1954 - 1969 bepaalde afvoerfrequenties een redelijk goed beeld zullen geven van de afvoersituatie op de Oude IJssel over een langere periode.

3.2.7 Frequenties van de afvoertoppen en de dagafvoeren

In de praktijk bepaalt men zowel frequentieverdelingen voor de topafvoeren als voor de dagelijkse afvoeren. In stroomgebieden met smalle afvoertoppen doet zich daarbij de moeilijkheid voor dat het interval tussen twee waarnemingen invloed uitoefent op de ligging van de frequentielijn van de topafvoeren. Indien bijvoorbeeld uitsluitend eenmaal daagse waarnemingen ter beschikking staan, zullen deze waarnemingen geen goed beeld geven van de opgetreden afvoertoppen. Voor de topafvoer wordt namelijk vrijwel steeds een te lage waarde verkregen (zie figuur 7). In dit soort stroomgebieden is het daarom noodzakelijk gebruik te maken van registrerende apparatuur (COLENBRANDER, 1970).

De intervallengte tussen twee waarnemingen heeft daarentegen geen invloed op de frequentielijn van de dagafvoeren. De eenmaal daags waargenomen afvoer is gemiddeld representatief voor de totale dagafvoer; de waargenomen afvoer zal in het ene geval een te hoge en in het andere geval een te lage dagafvoersom geven.

3.2.8 Verhoudingen tussen maatgevende afvoeren

Bij het ontwerpen van verbeteringsplannen wordt vaak de norm gesteld, dat enerzijds de eenmaal per jaar te verwachten winterafvoer (Q_1 -winter) bij een bepaalde drooglegging (0,50 à 0,60 m) moet kunnen worden afgevoerd, terwijl anderzijds een afvoer met een frequentie van eenmaal per 100 jaar (Q_{100} -winter) nog juist - zonder drooglegging - moet kunnen worden verwerkt.

Bovendien is een inzicht in de hoge zomerafvoeren (bijvoorbeeld

Q_{100} -zomer) van belang in verband met de afvoer van overtollig water uit regenoverstorten van rioleringen.

In de regel kan de eenmaal per jaar te verwachten winterafvoer redelijk betrouwbaar worden vastgesteld. In verband hiermee is de kennis van de verhoudingen tussen de verschillende maatgevende afvoeren van groot belang.

De bedoelde verhoudingen kunnen voor het meetpunt Doesburg in de Oude IJssel op eenvoudige wijze worden afgeleid uit de frequentielijnen op figuur 10. Zij zijn aangegeven in tabel 4.

Tabel 4 Verhoudingen tussen maatgevende afvoeren van de Oude IJssel (Doesburg)

	Q_{100} -winter/ Q_1 -winter	Q_{100} -zomer/ Q_{100} -winter
toppenfrequenties	2,3	0,6
dagfrequenties	2,0	0,6

Uit de analyse van een vijftal andere beken in Oostelijk Gelderland (BLOK, 1970) is gebleken, dat de verhoudingen tussen de maatgevende afvoeren in deze beken goed overeenkomen met die in tabel 4. Voor bedoelde beken varieert Q_{100} -winter/ Q_1 -winter voor de toppenfrequenties van 2,10 tot 2,35 en voor de dagfrequenties is de verhouding rond 2. De verhouding Q_{100} -zomer/ Q_{100} -winter ligt tussen 0,5 en 0,6.

3.2.9 Uitbreiding van korte waarnemingsreeksen

Wanneer een waarnemingsreeks van minimaal 15 jaar beschikbaar is, is het meestal mogelijk door extrapolatie een redelijk betrouwbare uitspraak te doen omtrent de kansen van optreden van hoge afvoeren. Hierbij is alleen vereist dat gedurende deze waarnemingsperiode geen belangrijke veranderingen in de hydrologische omstandigheden van het stroomgebied zijn voorgekomen.

In de meeste gevallen zijn echter slechts afvoergegevens aanwezig van enkele jaren. Deze korte waarnemingsreeksen zijn zelden representatief voor een langere periode. Bovendien is het traject

waarover moet worden geëxtrapoleerd te groot. Nu bestaat echter de mogelijkheid om korte waarnemingsreeksen uit te breiden met behulp van een langere reeks op een ander meetpunt in hetzelfde of in een ander stroomgebied, waardoor de betrouwbaarheid aanzienlijk kan worden verbeterd.

Zoals reeds in paragraaf 3.2.6 is opgemerkt bestaat er, vooral in de wintermaanden een relatie tussen afvoer en neerslag. Deze relatie is echter niet zo eenvoudig dat de afvoer rechtstreeks kan worden afgeleid uit de neerslaggegevens. Voor de relatie neerslag-afvoer wordt verwezen naar de paragrafen 3.3 en 3.4 van dit rapport. Hieruit blijkt dat o.a. de verdamping en het bergend vermogen van de grond van belang zijn. In de winterperiode heeft de verdamping over het algemeen weinig invloed. De invloed van het bergend vermogen is bovendien in deze periode geringer. Mede tengevolge hiervan treden de hoge afvoeren vrijwel uitsluitend op in de winterperiode.

Uit het voorgaande blijkt dat het meestal niet zonder meer mogelijk is om korte afvoerreeksen te verlengen met behulp van regencijfers. Voor het verlengen van deze reeksen kan echter vaak gebruik worden gemaakt van het verband tussen de afvoeren op twee meetpunten, omdat dit aanzienlijk nauwer is.

De enige voorwaarde waaraan dan moet worden voldaan is dat de neerslagfrequentie in beide stroomgebieden redelijk overeenkomt. Daar de neerslagverdeling van de meeste stations in Nederland weinig verschilt, wordt meestal wel aan deze voorwaarde voldaan. Bovendien kan dit eenvoudig worden gecontroleerd door het opstellen van de neerslagfrequenties voor de in de stroomgebieden gelegen stations.

Het uitbreiden van korte waarnemingsreeksen wordt nu aan de hand van enkele voorbeelden toegelicht. Hierbij wordt als volgt te werk gegaan.

Van het stroomgebied A, waarvan slechts over een korte periode gegevens beschikbaar zijn, wordt de frequentieverdeling van de afvoeren opgesteld.

Van het stroomgebied B wordt deze verdeling over dezelfde periode eveneens bepaald. De beide frequentieverdelingen worden uitgezet op enkel-logaritmisch papier. Bij iedere afvoerintensiteit in het stroom-

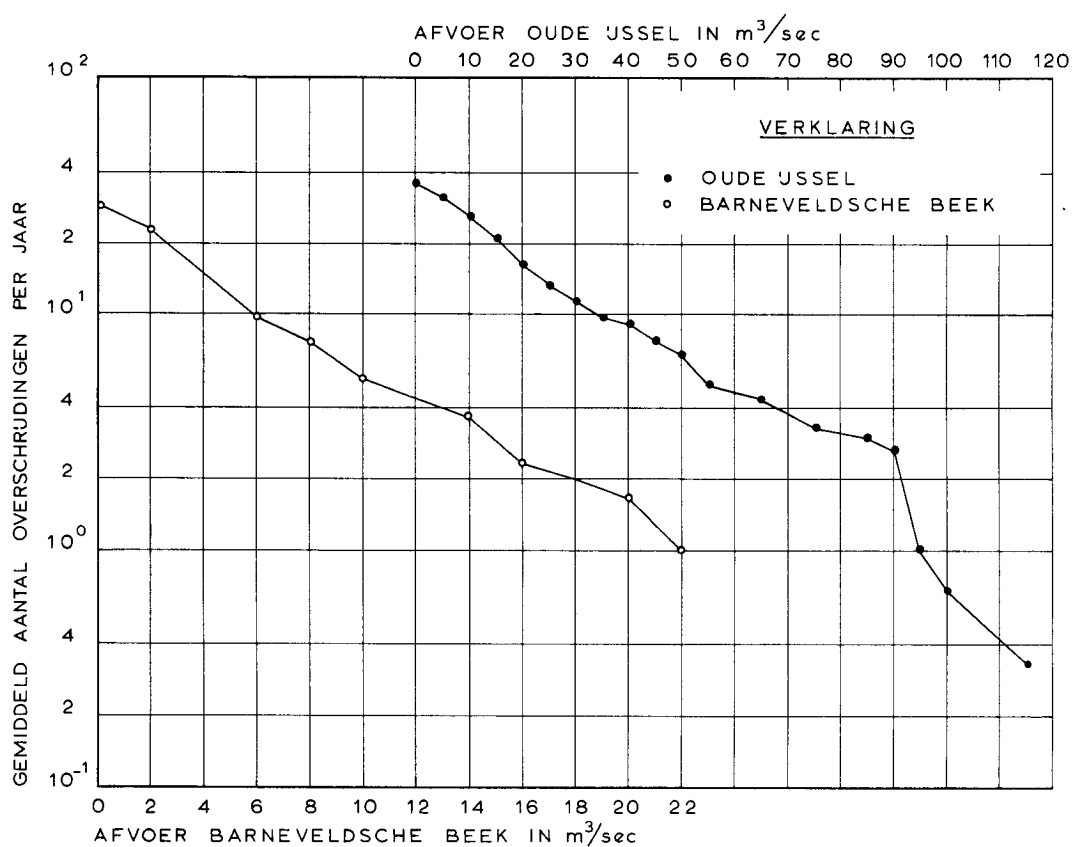


FIG. 9^a FREQUENTIES VAN DE TOPAFVOEREN IN DE WINTERS 1964/'65 t/m 1967/'68

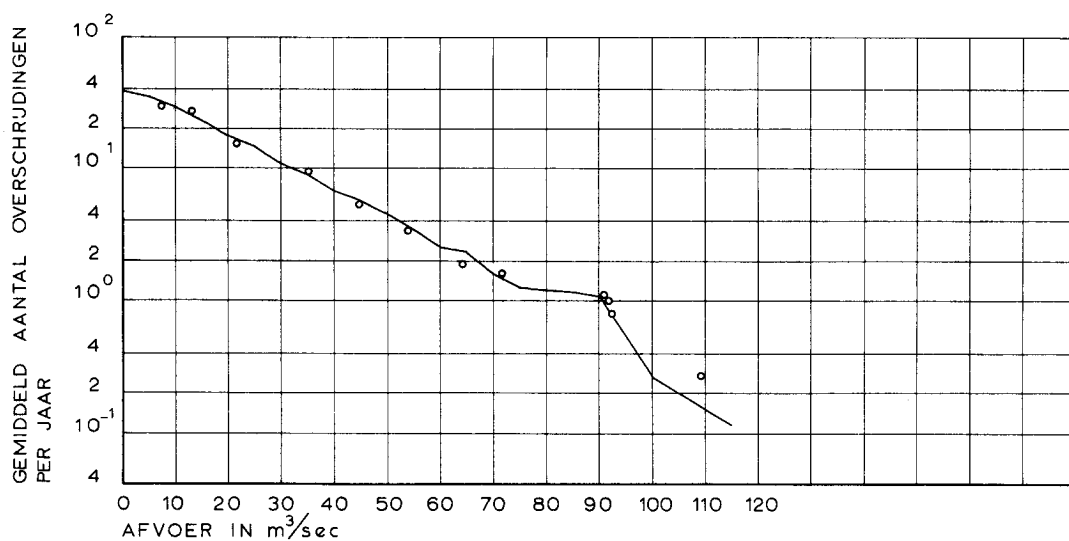


FIG. 9^b FREQUENTIES VAN DE TOPAFVOEREN IN DE OUDE USSEL BIJ DOESBURG IN DE
WINTERS 1954/55 t/m 1966/67
BEREKEND UIT AFVOERGEDEGENS BARNEVELDSCH E BEEK

gebied B, kan de bijbehorende afvoerintensiteit in het stroomgebied A worden afgelezen, door uit te gaan van dezelfde overschrijdingsfrequentie.

Hierna wordt voor de lange waarnemingsperiode (stroomgebied B) de frequentieverdeling opgesteld. Door het vervangen van de afvoerintensiteiten van gebied B door de bijbehorende afvoerintensiteiten van gebied A, wordt de frequentieverdeling van het stroomgebied A, over de lange periode gevonden.

Deze methode werd toegepast op een aantal meetpunten waarvan relatief lange waarnemingsreeksen beschikbaar waren, waardoor het mogelijk werd de methode te controleren.

Teneinde uit te kunnen gaan van zo ongunstig mogelijke omstandigheden is voor de voorbeelden zoals deze zijn weergegeven in de figuren 9 en 10 een periode gekozen (1964/65 t/m 1966/67) waarbij de neerslagverdeling sterk afwijkt van de gemiddelde neerslagverdeling.

Voor de berekening van de toppenfrequenties is als vergelijkend stroomgebied gekozen het stroomgebied van de Barneveldsche Beek, een gebied dat sterk afwijkt van dat van de Oude IJssel.

Figuur 9a geeft de frequentieverdelingen van beide gebieden voor de periode 1964/1967. In figuur 9b is de frequentieverdeling van de Oude IJssel over de periode 1954/1967 weergegeven. De punten in deze figuur geven de frequentieverdeling zoals deze uit vergelijking met de Barneveldsche Beek werd gevonden.

Voor de dagfrequenties is als vergelijkend stroomgebied genomen het stroomgebied van de Mark, een gebied dat ver is verwijderd van dat van de Oude IJssel. De lijn in figuur 10 geeft de frequentieverdeling van dagafvoeren van de Oude IJssel over de periode 1954/1967 weer. De punten geven de frequentieverdeling die op analoge wijze werd gevonden uit de frequentieverdeling van de Mark.

De via deze methode vastgestelde frequentieverdelingen komen zeer goed overeen met de reeds aanwezige frequentieverdelingen.

Het is gebleken, dat voor het op deze wijze opstellen van toppenfrequenties minimaal een waarnemingsperiode van 3 jaar nodig is en dat voor de dagfrequenties eventueel kan worden volstaan met gegevens over 1 à 2 jaar.

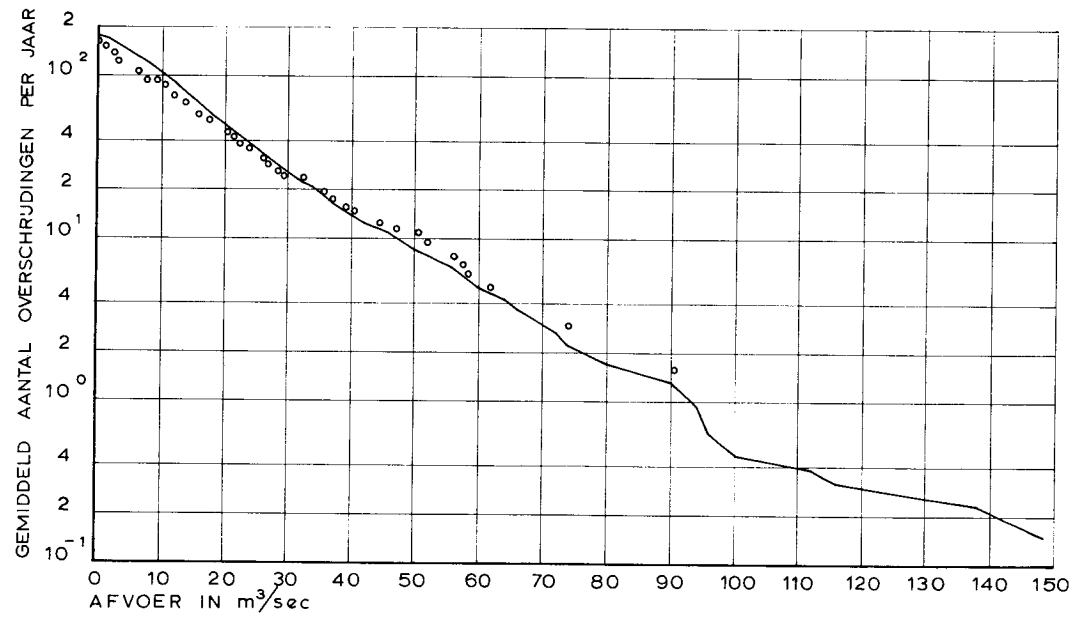


FIG. 10 FREQUENTIES VAN DE DAGAFVOEREN IN DE OUDE IJSEL BIJ DOESBURG IN DE WINTERS 1954/'55 t/m 1966/'67 BEREKEND UIT AFVOERGEGEVENS MARK

Uiteraard zal men bij een praktische toepassing het vergelijkend stroomgebied zo dicht mogelijk kiezen bij het stroomgebied waarover men een frequentieverdeling wenst op te stellen.

3.3 Analyse van afvoergegevens met behulp van afvoer karakteristieken

3.3.1 Afvoer karakteristiek

De methode van de afvoer karakteristieken, waarvan de principes uitvoerig door DE JAGER (1965) zijn beschreven, is gebaseerd op analyse van regen- en afvoercijfers gedurende korte regenrijke perioden in de winter. Uitgangspunt voor dit onderzoek is geweest na te gaan op welke wijze in verschillende stroomgebieden een gegeven neerslagverdeling wordt getransformeerd in een afvoerverloop, vanaf het moment dat de voorafgaande verdamping niet meer van invloed is op het afvoerproces. De verdamping gedurende de regenperioden in de winter wordt verwaarloosd. De methode geeft geen informatie over afvoeren in droge winterperioden en evenmin over afvoeren in de zomer.

Onder bovenvermelde omstandigheden blijkt het afvoerverloop van verschillende stroomgebieden met voldoende nauwkeurigheid te kunnen worden gekarakteriseerd door een gedurende de afvoerperiode vrijwel constante basisafvoer (basis-winterafvoer), met daarop gesuperponeerde kortdurende afvoertoppen. Deze afvoertoppen zijn een gevolg van het zogenaamde snelle afvoerproces. De vorm van de toppen wordt bepaald door de regenverdeling en de bergingseigenschappen van het betreffende stroomgebied. Als parameter voor de berging en de afstroming wordt de reservoircoëfficiënt of j-waarde genomen, die als fysische grootheid is voorgesteld door KRAIJENHOFF VAN DE LEUR (1958) voor grondwaterstroming bij ontwatering naar twee evenwijdige sloten (zie paragraaf 3.1).

Voor de analyse van het afvoergebeuren dient men in de eerste plaats te beschikken over een zo nauwkeurig mogelijke registratie van de afvoer en van de neerslag gedurende één of meer regenrijke perioden. Daarnaast zijn voor het interpreteren van de af te leiden afvoer karakteristieken gebiedsgegevens nodig, zoals zal blijken in paragraaf 3.3.2.

Het afvoerverloop dient bij voorkeur continu te worden geregistreerd. Bij de analyse wordt gewerkt met een gemiddelde neerslag over het betreffende stroomgebied. Deze wordt bepaald aan de hand van gegevens van de regenstations van het KNMI, aangevuld met eigen waarnemingen in het stroomgebied. De laatste dienen continu te worden geregistreerd om van de gemiddelde gebiedsneerslag een verdeling naar de tijd te kunnen maken.

Het in de berekening te hanteren tijdsinterval is afhankelijk van de reactiesnelheid van de afvoer op veranderingen in de neerslag. Hoe kleiner men het tijdsinterval kiest, hoe groter de kans dat de neerslagintensiteit over het interval als constant mag worden beschouwd, maar ook hoe geringer de kans dat deze over het gehele gebied gelijk is. Voor de meeste Nederlandse stroomgebieden ligt het te kiezen tijdsinterval bij de reconstructie van afvoerverlopen tussen de 3 en 12 uur, met uitzondering van zeer grote stroomgebieden en langzaam verlopende afvoerprocessen waar met een tijdsinterval van 24 uur kan worden volstaan. Voor verharde oppervlakken zal het berekeningsinterval echter ongetwijfeld nog kleiner zijn dan 3 uur.

Voor het bepalen van de karakteristieke j -waarde(n) van een stroomgebied worden de gemeten afvoerintensiteiten, in mm's per tijdsinterval, op transparant tegen de tijd uitgezet. Met de computer wordt uit de waargenomen neerslagcijfers voor een serie j -waarden de afvoer berekend en op dezelfde schaal weergegeven. Het transparant met de gemeten afvoeren wordt op de grafieken van de berekende afvoeren gelegd en de resultaten vergeleken.

Om beide lijnen goed te laten samenvallen moet soms een verschuiving in horizontale en/of verticale richting worden toegepast. Verschuiving in horizontale richting duidt op de aanwezigheid van translatie; de verschuiving in verticale richting vertegenwoordigt òf een constante basisafvoer òf een constant inzijgingsverlies.

Vaak blijkt, met name in samengestelde stroomgebieden, dat slechts een gedeelte van de met een bepaalde j berekende afvoer in rekening kan worden gebracht. Dit wil zeggen dat slechts een bepaald percentage van de neerslag of de neerslag van een deel van het gebied in de betreffende periode volgens die j -waarde tot afvoer komt.

De j-waarde en het gedeelte van het gebied of van de neerslag die het afvoerverloop bepalen worden vastgesteld door de afvoervolumes, de hoogte der afvoertoppen en de dalingssnelheden van de getekende afvoerverloopp lijnen visueel met elkaar te vergelijken.

Uit een groot aantal analyses van afvoerverlopen blijkt dat de gevonden j-waarde voor verschillende perioden per stroomgebied nage-nog constant is. Daarmee is een karakterisering van de eigenschappen van het betreffende stroomgebied verkregen. Het percentage van de neerslag waarmee wordt gerekend, ook te interpreteren als het per-cen-tage van de oppervlakte van het stroomgebied dat aan de snelle afvoer bijdraagt, is echter niet constant. Bij toename van de regensom in de winter neemt het gebied dat aan de snelle afvoer deelneemt toe, maar bereikt waarschijnlijk een maximum waarde. Deze toename is een gevolg van het stijgen van de grondwaterstanden, waardoor sloten in hoger ge-legen gronden eveneens direkt aan het snelle afvoerproces deelnemen.

De afvoeranalyse resulteert in een drietal componenten, die te-zamen de afvoer karakteristiek vormen:

- het (maximum) percentage van de neerslag, dat aan de snelle afvoer deelneemt;
- de reservoircoëfficiënt voor de snelle afvoer, waarmee de transfor-matie van regenval in afvoer kan worden berekend;
- de basiswinterafvoer, die gedurende een regenperiode vrijwel constant is.

In figuur 11 is het resultaat van een afvoeranalyse voor een deel van het stroomgebied van De Regge (3150 ha) weergegeven. De bijbehorende afvoer karakteristiek luidt:

60 % van het gebied reageert volgens een reservoircoëfficiënt ter grootte van 0,5 dag (of $j = 1,5$ tijdvak van 8 uur), terwijl de basis-winterafvoer 0,4 mm per 8 uur is. Hiervoor wordt de notatie gebruikt: $60 \% j \ 1,5 \ (\underline{8 \text{ uur}}) + 0,4 \text{ mm}/\underline{8 \text{ uur}}$.

In het begin van de beschouwde periode is de gemeten afvoertop kleiner dan de berekende. Dit is een gevolg van verdamping in de voor-afgaande droge periode en/of een aanwezige bergingscapaciteit, waar-door in het begin een deel van de neerslag niet deelneemt aan het (snelle) afvoerproces.

3.3.2 Afvoer karakteristiek en eigenschappen van het stroomgebied

De vraag dient te worden gesteld welke relaties bestaan tussen de componenten van de afvoer karakteristiek en de gebiedseigenschappen. Immers wanneer deze relaties kunnen worden vastgesteld, is het mogelijk de afvoer karakteristiek uit de gebiedseigenschappen af te leiden en kunnen eventuele veranderingen in deze eigenschappen worden vertaald in veranderingen in de componenten van de afvoer karakteristiek.

Uit het tot nu toe verrichte onderzoek kan worden afgeleid dat het maximum percentage dat van de neerslag tot afvoer komt sterk samenhangt met de grootte van het gebied waarin de grondwaterstanden tot in of dichtbij het maaiveld kunnen stijgen. Voorwaarde is dat in dit gebied ontwateringsmiddelen voorkomen die een snelle afvoer mogelijk maken. In zwaar lemige gronden zijn het alleen de sloten/greppels die een indicatie geven voor het gebied met snelle afvoer. Gebleken is, dat aan de hand van de C.O.L.N.kaarten van de wintertoestand en de grondwatertrappenkaarten, zoals deze door de Stichting voor Bodemkartering worden vervaardigd, en aan de hand van een verkenning van het terrein meestal wel een goede benadering van het maximum percentage kan worden verkregen.

In een gebied variëren de bergingsmogelijkheden meestal sterk. Het is daardoor moeilijk de j-waarde enkel aan de hand van gebiedseigenschappen vast te stellen. Door ervaring met afvoeranalyses en door de onderlinge vergelijking van onderzochte stroomgebieden kan men in sommige gevallen de j-waarde met redelijke nauwkeurigheid schatten. In gebieden met oppervlakkige afvoer wordt de grootte van de j-waarde hoofdzakelijk bepaald door de terreinhelling. In gebieden met overwegend grondwaterafvoer is de j-waarde af te leiden uit de kD-waarde en de slootafstand.

Overigens heeft in veel stroomgebieden het percentage van de neerslag dat aan de snelle afvoer bijdraagt een grotere invloed op het berekenen van de afvoeren (zie paragraaf 4.2) dan de nauwkeurigheid waarmee de j-waarde kan worden geschat.

Er is tot nu toe nog geen duidelijke relatie gevonden tussen gebiedseigenschappen en de grootte van de basiswinterafvoer. Overigens heeft de laatste een geringe invloed op de hoogte van een afvoertop.

De orde van grootte van de basiswinterafvoer bedraagt 0,5 à 1 mm/dag. Men kan deze vaststellen door enige dagen na een regenperiode de afvoer te meten.

Vooralsnog blijft het gewenst de afvoer karakteristiek vast te stellen uit een analyse van gemeten afvoeren en neerslagen. De aard van de analysetechniek en de mogelijkheid de componenten van de afvoer karakteristiek te verifiëren aan gebiedsgegevens, maakt het mogelijk de afvoermetingen te beperken tot een aantal regenrijke perioden in de winter. Naarmate meer stroomgebieden geanalyseerd zijn, kunnen betere schattingen van de afvoer karakteristiek worden gemaakt.

Is de afvoer karakteristiek van een stroomgebied eenmaal vastgesteld, dan kan deze gebruikt worden bij het bepalen van een voor het ontwerp maatgevende afvoergolf en van maatgevende afvoerintensiteiten. In paragraaf 4.2 wordt hierop nader ingegaan.

3.4 Analyse van afvoerverlopen met traag reagerende componenten

3.4.1 Inleiding

In de internationale literatuur wordt het zoeken van het verband tussen neerslag en afvoer veelal ondergebracht in de categorie "system investigations" (zie o.a. AMOROCHO en HART, 1964). Binnen deze categorie worden twee soorten van methoden onderscheiden: "general system analysis" en "general system synthesis".

Bij de eerste wordt tevoren een passend geachte vergelijking gekozen, waarvan de parameters vervolgens door toepassing van een wiskundige vereffenings- en optimaliseringsprocedure zodanig worden vastgesteld, dat de geconstateerde afvoer zo goed mogelijk uit de gemeten neerslag volgt.

Onder "general system synthesis" verstaat men een werkwijze met een model dat wordt opgebouwd als een ketting van deelmodellen (met de noodzakelijk geachte terugkoppelingen) die elk voor zich een bepaald proces vertegenwoordigen op de weg tussen neerslag en lozingspunt.

Deze gebruikelijke methoden impliceren alle een zekere mate van paternalisme ten aanzien van het beschouwde afvoergebied, omdat het gedrag van het gebied dan dient te passen in het tot model gekristalliseerde gedachtenpatroon van de onderzoeker.

Een andere benadering is, dat men de karakteristieken van het afvoergebied zoveel mogelijk inbouwt in het model waartoe de onderzoeker zich beperkt tot het vinden van het antwoord op een aantal vragen die het gebied betreffen. Deze werkwijze is toegepast in de hier te beschrijven methode, die slechts kort zal worden aangeduid onder verwijzing naar het proefschrift waarin zij werd ontvouwd (DE ZEEUW, 1966). Alleen over punten, ten aanzien waarvan de gedachten zich inmiddels verder ontwikkeld hebben, zal wat uitvoeriger worden gesproken.

Van een dergelijke aanpak mag in de eerste plaats worden verwacht, dat enerzijds een voor het beschouwde gebied karakteristiek model zal ontstaan, waarin alle aspecten van wezenlijk belang hun uitdrukking vinden, terwijl anderzijds niet relevante bijzonderheden van zelf op de achtergrond blijven.

In de tweede plaats mag men verwachten dat de onderdelen van een aldus verkregen model in zodanige mate op de werkelijkheid betrokken zijn, dat zij geïnterpreteerd kunnen worden in termen van dimensies en fysische eigenschappen van het afvoergebied. Een dergelijke interpretatie blijkt inderdaad vaak op treffende wijze mogelijk.

3.4.2 Vragen

Enige ervaring met het analyseren van afvoergebieden van uiteenlopend karakter, heeft geleerd dat het zeer goed mogelijk is hun afvoerpatroon te beschrijven met behulp van exponentiële functies. De karakteristieken van elk gebied komen daarin tot uiting middels de constanten uit de exponenten van deze functies, de reactiefactoren. Deze ervaring voert tot een lijst van vragen, die later zullen worden toegelicht. De vragen zijn te verdelen in drie groepen.

In de eerste plaats, die over het verzamelen en controleren van de uitgangsgegevens. Deze vragen zijn:

- a welk(e) van de beschikbare neerslagstations moet(en) worden gekozen;
- b welke verdampingscijfers moeten in verband met deze keuze in rekening worden gebracht;
- c is het afvoerverloop voldoende betrouwbaar gemeten en
- d bestaat er zekerheid dat de gekozen begrenzing van het afvoergebied geen oncontroleerbare hoeveelheden oppervlaktewater doorlaat?

In de tweede plaats de vragen betreffende de eigenlijke analyse:

e is er kwelwinst of inzijgingsverlies, zo ja.

e.1 hoe groot is dit kwelverschil?

f treedt oppervlakte-afvoer op, zo ja,

f.1 hoe groot is zijn reactiefactor,

f.2 hoe hangt het deel van de gemeten neerslag, dat oppervlakkig afstroomt, samen met de aan de afvoertoppen voorafgaande weerkundige toestand,

f.3 over welke intervallengte kan deze neerslag het best worden gemiddeld?

g zijn de doorlopende verdampingsoverschotten in de zomer in overeenstemming met de tijdstippen waarop de herfstafvoeren gaan toenemen, zo niet,

g.1 hoe luiden de verbanden om de verdampingsoverschotten te corrigeren,

g.2 zijn deze correcties zo belangrijk dat het berekende kwelverschil daardoor verandert?

h treedt grondwaterafvoer op, zo ja,

h.1 hoeveel grondwaterreservoirs zijn er te onderscheiden,

h.2 hoe groot zijn hun reactiefactoren,

h.3 met welk type formule kunnen de reacties het best worden beschreven,

h.4 over welke intervallengte kan de effectieve neerslag het best worden gemiddeld?

i hoe groot zijn de oppervlakte-aandelen van de onderscheiden grondwaterreservoirs,

i.1 zijn deze aandelen constant, zo niet,

i.2 hoe is hun verband met het afvoerverloop?

j is er verschil tussen de berging aan het begin en aan het einde van de analyseperiode, zo ja,

j.1 is dit verschil zo groot dat het berekende kwelverschil herziening behoeft?

In de derde plaats de vragen betreffende de evaluatie van de resultaten:

k stemt de frequentieverdeling van de berekende afvoeren overeen met die van de waargenomen afvoeren?

l hoe zijn de gevonden parameters (reactiefactoren, oppervlakte-aandelen, kwelverschil) in verband te brengen met wat in het veld gemeten kan worden?

3.4.3 Formules

De grondwaterstroming is in het algemeen aan twee soorten weerstanden onderworpen, aan te duiden als horizontale weerstand in de kavel zelf, en intreeweerstand rond het ontwateringsmiddel. De beschrijving van de invloed van beide weerstanden tezamen voert tot gecompliceerde en voor praktisch gebruik onaantrekkelijke formules. De door Hooghoudt beschreven stationaire stromingstoestand kon door hem worden teruggebracht tot een vorm met alleen horizontale stroming, door de laagdikte waarin de stroming plaatsvindt, te reduceren tot een equivalentlaagdikte d , als het ware het totaal van beide weerstanden verdelend over de halve kavelbreedte (HOOGHOUDT, 1940).

Voor niet-stationaire gevallen kan vereenvoudiging alleen worden verkregen door bij de afleiding één van beide weerstanden buiten beschouwing te laten. Men gaat dan uit van hetzij de bovenste, hetzij de onderste tekening van figuur 12 als geschematiseerde toestand. De bovenste situatie, met alleen intreeweerstand, voert tot de evenredige formule

$$q_n = q_{n-1} \cdot e^{-\alpha t} + P_n (1 - e^{-\alpha t}) \quad (3)$$

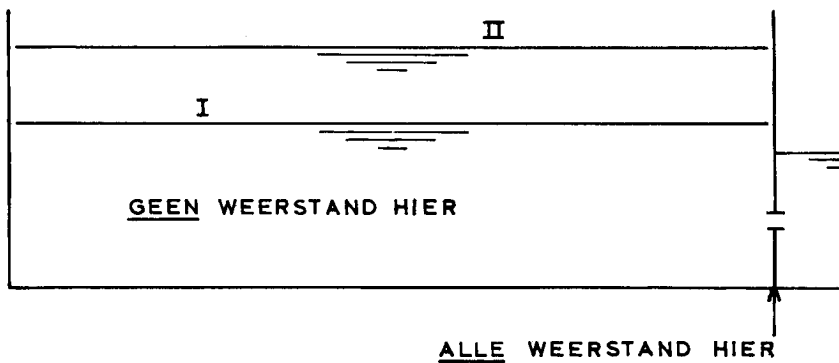
waarmee de afvoerintensiteit q_n aan het einde van het n^{de} interval (ter lengte t) berekend kan worden uit de afvoerintensiteit aan het einde van het voorgaande interval en de effectieve neerslag P_n in het beschouwde interval en α de reactiefactor (p. 24 e.v.)^{x)}.

Deze oplossing impliceert de evenredigheid

$$q_n = \alpha R_n \quad (4)$$

tussen afvoerintensiteit en afvoerbare berging R_n op hetzelfde tijdstip. Combinatie van (3) en (4) levert:

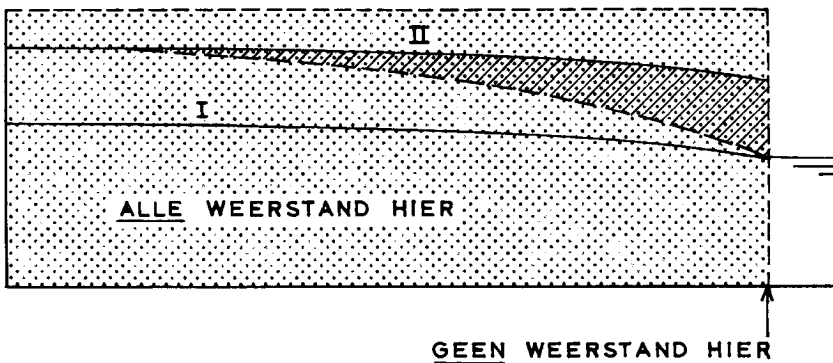
^{x)} bladzijnummers uit DE ZEEUW, 1966.



A WORDT BESCHREVEN DOOR DE EVENREDIGE FORMULE



B TOESTAND IN HET VELD



C WORDT BESCHREVEN DOOR DE REEKS VAN BOUSSINESQ

FIG.12 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET STROMINGSPROBLEEM

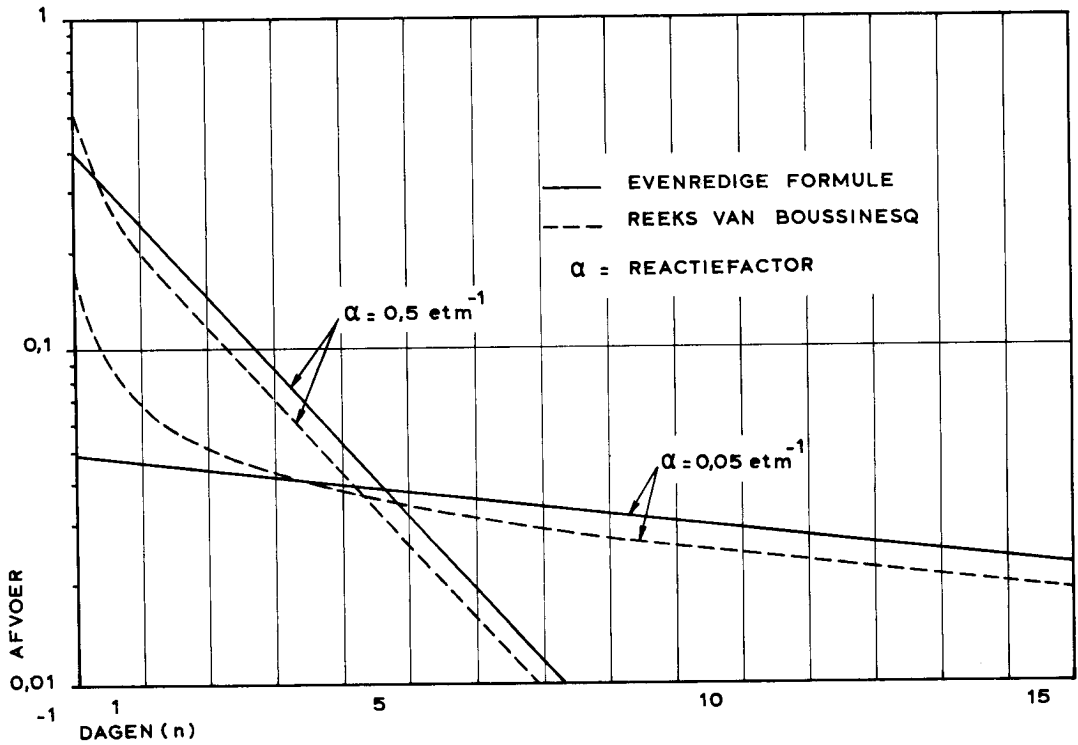


FIG.13 UITPUTTINGSVERLOOP VAN DE AFVOER BEREKEND MET VERSCHILLENDE FORMULES .
 DE AFVOER IS UITGEDRUKT IN FRACTIES VAN DE NEERSLAG .
 DE NEERSLAG OP DE DAG $n = -1$ IS GELIJK ÉÉN .

$$R_n = R_{n-1} \cdot e^{-\alpha t} + P_n \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} \quad (5)$$

hetgeen leidt tot de mogelijkheid de afgevoerde hoeveelheid Q_n per interval te berekenen uit

$$Q_n = R_{n-1} + P_n - R_n \quad (6)$$

Formules (5) en (6) vinden toepassing bij de analyse en reconstructie van de afvoerverlopen van bemalen gebieden (p. 69 e.v.). Maalstaten leveren immers uitsluitend hoeveelheden per interval. De situatie van figuur 12c, met alleen horizontale weerstand, leidt tot een oplossing, waarbij in de constanten van de vergelijkingen (3) en (5) de eenvoudige e-machten vervangen zijn door de reeksen van Boussinesq. Voor deze toestand gaf KRAIJENHOFF VAN DE LEUR (1958) een aantal formules, waarbij hij het symbool j introduceerde als reciproke van α (p. 25 e.v.).

Het verschil in uitkomst van beide opvattingen wordt geïllustreerd door figuur 13. De evenredige formule geeft bij enkellogarithmische afbeelding de dalende delen van het afvoerverloop als rechte lijnen. Voor het geval, waarbij de intreeweerstand ontbreekt, zijn deze lijnen in het begin gebogen. Pas na enige tijd, afhankelijk van de waarde van de reactiefactor, worden ze recht. Bij veldgegevens wordt dit soort lijnen hoogst zelden en dan nog slechts in verzwakte vorm aangetroffen.

In het veld plegen beide soorten weerstanden tezamen op te treden, zoals in figuur 12b is aangeduid. Op theoretische en experimentele gronden kan worden aangetoond dat de regelmatig naar rechts toenemend gekromde waterspiegels van figuur 12c al bij betrekkelijk geringe intreeweerstanden een duidelijk vlakkere vorm aannemen en derhalve gaan lijken op die van figuur 12a. De evenredige formule geeft de beste benadering wanneer bij een betrekkelijk intensief ontwaterde kavel (α 0,5 etm⁻¹) de intreeweerstand een vierde van de totale weerstand uitmaakt. Bij kleinere reactiefactoren gebeurt dit al eerder.

Hier komt nog bij dat doorgaans een tijdelijk gestegen waterstand in het ontwateringsmiddel zal bijdragen aan de afremming van de aanvanke-lijk sterker dan evenredige grondwaterstroming. Een en ander betekent dat in de praktijk kan worden volstaan met de evenredige formules.

De vraag werd nog niet beantwoord, welke waarde aan de vormfactor in formule (2) moet worden toegekend. Zij bedraagt, zoals in formule (1) vermeld, volgens Boussinesq π^2 of 9,87; voor het zuiver evenredige geval wordt afgeleid $\sigma = 8$. In de praktijk zullen meestal waarden tussen 8 en 9 gelden, wanneer de equivalentlaagdikten volgens Hooghoudt worden toegepast.

3.4.4 Toelichting op de vragen

ad. a De keuze van de neerslagstations zal in paragraaf 4.3 worden behandeld.

ad. b In verband met de geringe nauwkeurigheid van de algemeen beschikbare neerslagcijfers is het bij het type onderzoek dat hier beschreven wordt, niet noodzakelijk grote aandacht aan de verdamping te besteden. Het blijkt dat overal in Nederland in combinatie met gegevens van normale KNMI-regenmeters (van na 1946) voor elk jaar dezelfde verdampingscijfers met goed gevolg kunnen worden toegepast, nl. die volgens Elink Sterk - van Everdingen (p. 55 e.v.).

ad. c en d Deze vragen behoeven hier geen toelichting (p. 50 e.v.).

ad. e Om een analyseerbare afvoerverlooplijn te verkrijgen moeten in de eerste plaats invloeden van buitenaf worden uitgeschakeld. Wat de neerslag betreft, is dit eenvoudig te verwezenlijken door perioden zonder (effectieve) neerslag te kiezen. Het uitschakelen van eventuele kwelinvloed is minder gemakkelijk. Het gaat hierbij immers om een voortdurende, onzichtbare toestroming naar of, hetgeen bij hellende afvoergebieden het meeste voorkomt, wegstroming uit het gebied.

De oplossing wordt gevonden door de analyseperiode zo te kiezen dat de afvoerintensiteit aan begin en einde ongeveer gelijk is, in de hoop dat ditzelfde dan ook zal gelden voor de berging. Vervolgens wordt over deze periode de totale afvoer $\sum Q_n$ bepaald evenals het totaal van de effectieve neerslag $\sum P_n$. Is er geen verschil, dan is het afvoerverloop, zoals dat werd gemeten, direct voor analyse geschikt. Is er wel verschil, dan wordt dit door de lengte van de analyseperiode gedeeld en uitgedrukt als constante gemiddelde intensiteit. Wanneer $\sum Q_n - \sum P_n < 0$ (inzijgingsverlies) dan wordt de waargenomen afvoerverlooplijn voor analyse geschikt

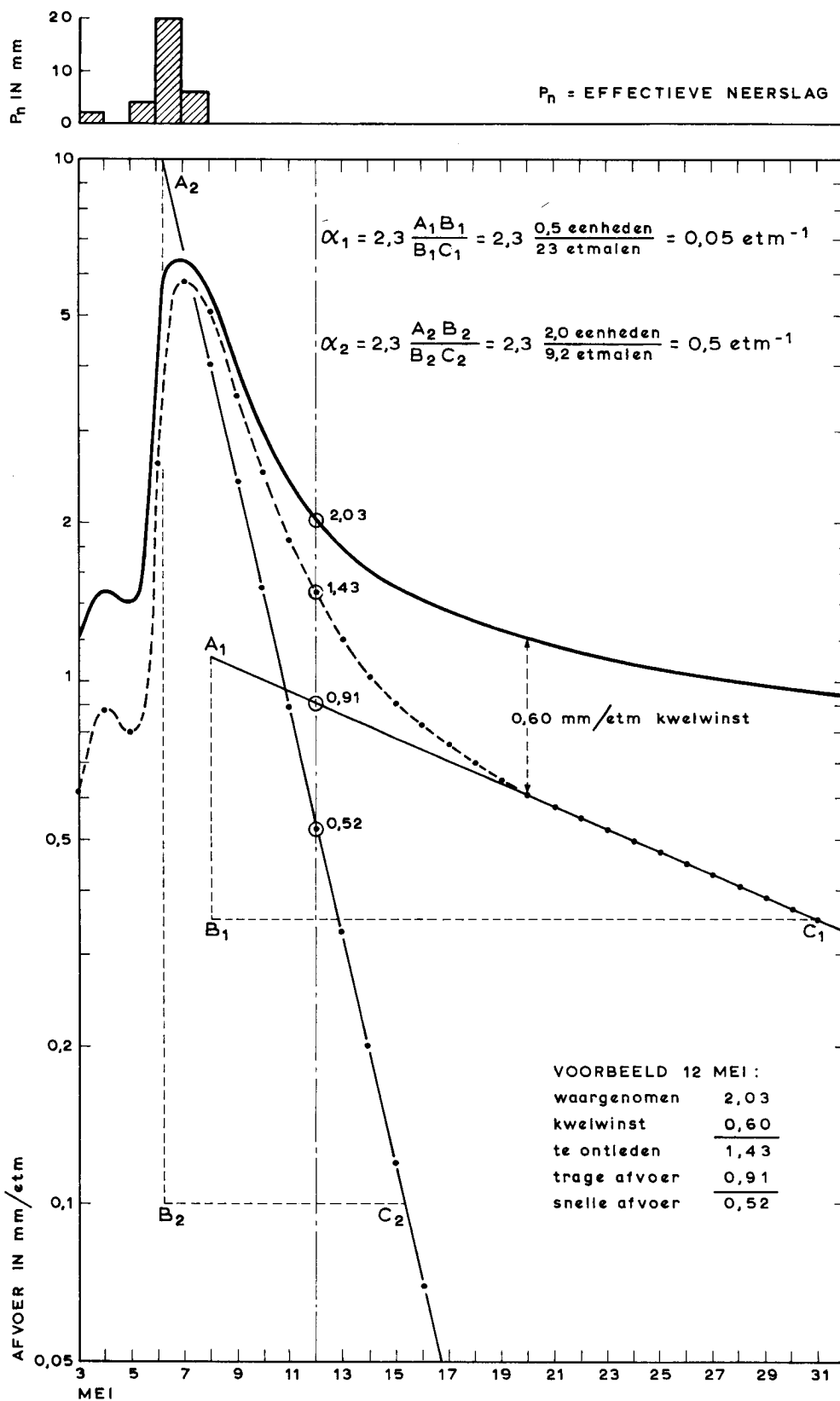
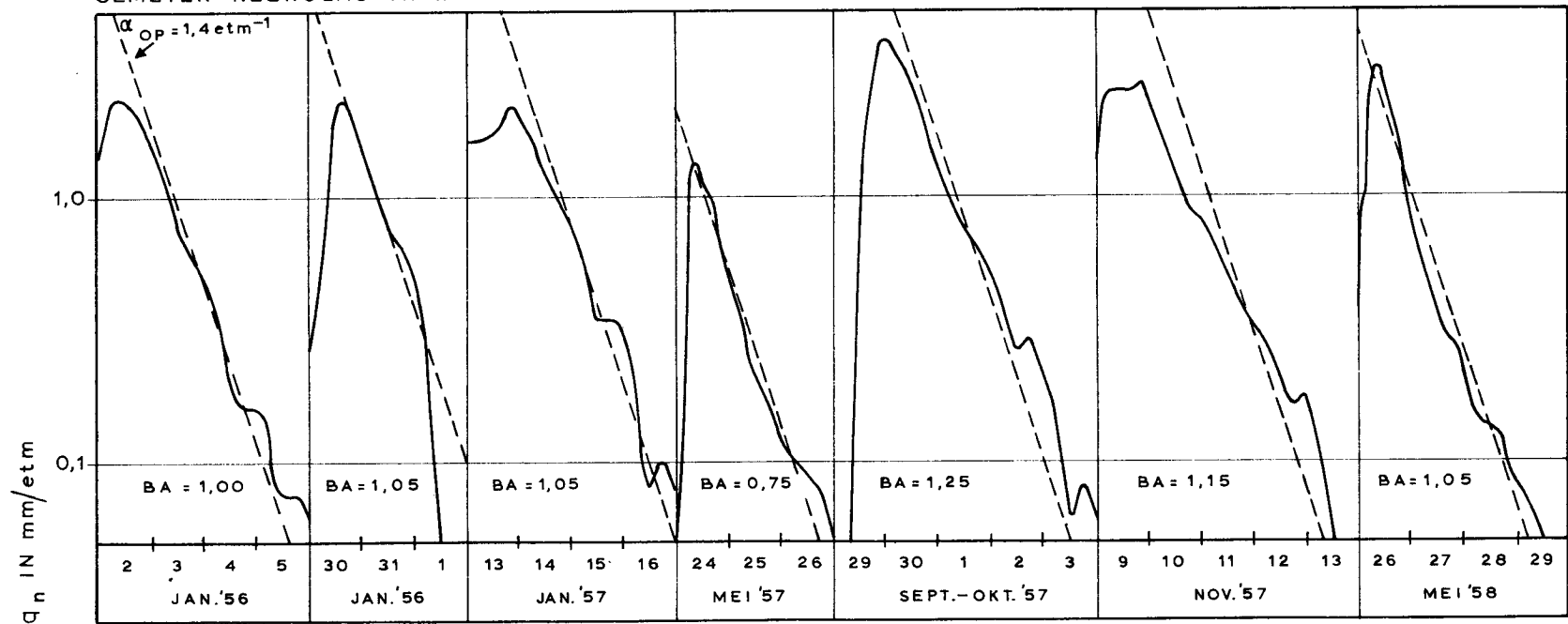


FIG. 14 VOORBEELD VAN ONTLEDING VAN EEN AFVOERVERLOOP

14,1	1,6	0,0	0,1	14,9	1,4	0,0	18,0	2,3	0,0	0,1	21,2	0,0	0,0	11,8	20,0	0,1	0,0	0,0	20,2	6,0	0,3	0,0	0,0	18,9	0,1	0,2	0,0
------	-----	-----	-----	------	-----	-----	------	-----	-----	-----	------	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----

GEMETEN NEERSLAG IN mm



BASISAFTREK (BA) IN mm/etm

FIG.15 VASTSTELLING VAN DE REACTIEFACTOR α VAN DE OPPERVLAKTE-AFVOER IN DE GEUL
TE SCHIN OP GEUL (30500 ha)

gemaakt door de gehele lijn met het constante gemiddelde te verhogen, bij $\sum Q_n - \sum P_n > 0$ (kwelwinst) te verlagen (p. 64).

Met nadruk zij gesteld dat men niet mag verwachten dat een analyse, gebaseerd op een niet van kwelinvloed gezuiverd afvoerverloop interpreteerbare parameters zal opleveren.

Figuur 14 toont het beginsel van de ontleding van een afvoerverloop. Waargenomen werd de dik getrokken kromme. De kwelwinst werd op $0,60 \text{ m.etm}^{-1}$ bepaald. Na aftrek hiervan ontstaat de stippellijn die uitloopt in een rechte, waarvan de helling de bijbehorende reactiefactor aanwijst. Naar links verlengd toont deze lijn hoe de trage afvoer onder de top verliep. Het verschil tussen beide lijnen wordt vervolgens uitgezet en geeft de rechte A_2C_2 , die de snelle reactiefactor levert.

ad. f Deze vraag wordt bevestigend beantwoord wanneer in het afvoerverloop gedurende de zomer toppen voorkomen van dezelfde orde van grootte als de wintertoppen (p. 47). Deze toppen kunnen gemakkelijk van de afvoerverlooptlijn worden afgesneden.

Enkellogaritmische afbeelding levert dan de reactiefactor van de oppervlakte-afvoer. Figuur 15 geeft als voorbeeld oppervlakte-afvoertoppen van de Geul te Schin op Geul. Met basisaftrek wordt bedoeld de hoogte op de afvoerverlooptlijn, waarboven de toppen werden afgesneden. De dagelijkse afvoerschommelingen worden veroorzaakt door de watermolen van Wijlre (p. 98).

Voor vraag f. 2 blijkt het antwoord, nu de reactiefactor bekend is, ook uit het afvoerverloop te kunnen worden afgeleid. Een voldoende nauwkeurig recept voor de verdeling van de gemeten neerslag tussen oppervlakte-afvoer en grondwaterafvoer kan worden gegeven. De inhoud van dit recept hangt af van de ontwikkeling van de weersomstandigheden van drie aan een afvoertop voorafgaande dagen (p. 98 e.v.).

In verband met de vragen f. 3 en h. 4 moet er op worden gewezen dat de afvlakking, d.w.z. de middeling van het neerslagpatroon over een bepaalde intervallengte, in het model een wezenlijke betekenis heeft. Zij simuleert de afvlakking die de neerslagverdeling o.a. in de zakwaterfase ondergaat (p. 59 e.v.). Te korte berekeningsintervallen veroorzaken te sterke schommelingen in het berekende afvoerverloop, te lange doen het te ongenueanceerd blijven. Dit verschijnsel vertoont gelukkig een zodanige tolerantie dat in de meeste gevallen met intervallen van één dag kan worden

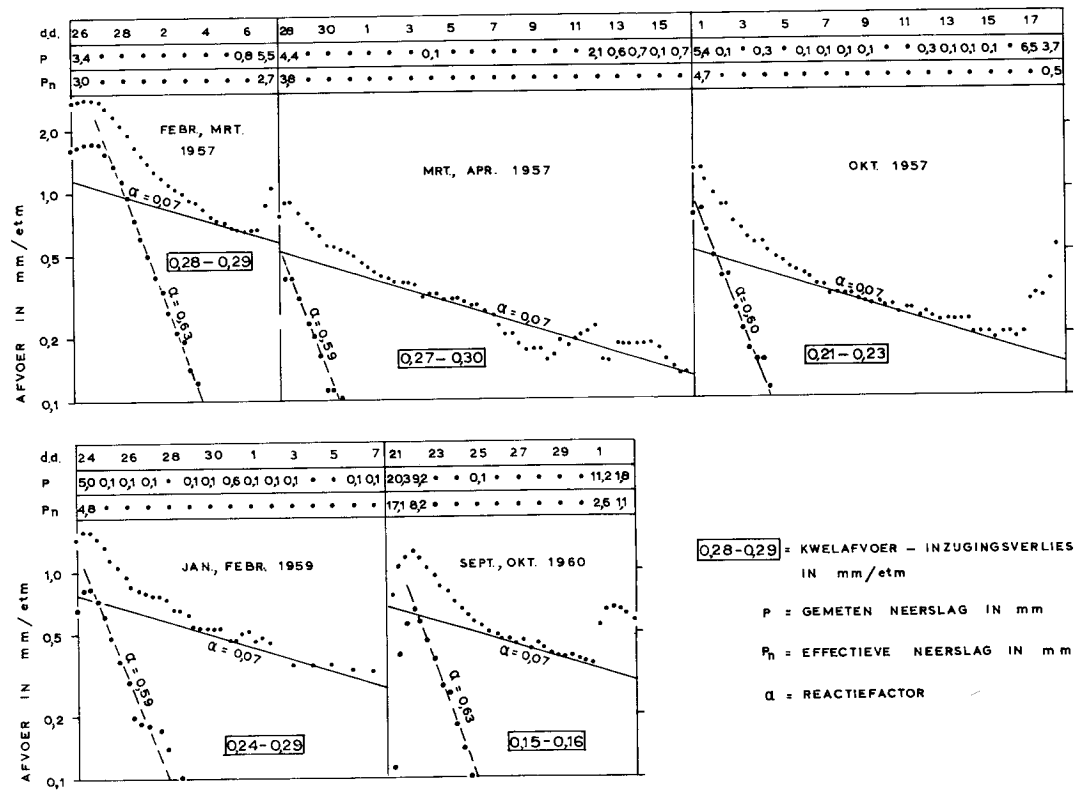


FIG. 16 VASTSTELLING REACTIEFACTOREN VAN GRONDWATERRESERVOIRS IN HET STROOMGEBIED VAN DE KLEINE DOMMEL (19100 ha)

gewerkt, zodat de normale dagelijkse neerslagcijfers voor de afvoerberekening bruikbaar zijn (p. 61 e.v.). Uitzonderingen blijven echter mogelijk (p.17 en p. 38).

ad. g Eensdeels door onnauwkeurigheden in de neerslag en de verdamping, anderdeels door de afremming van deze laatste ten gevolge van uitdroging van het gebied in de zomer, valt soms de toeneming van de waargenomen herfstafvoer op een vroegere datum dan die waarop het gesommeerde verdampingsoverschot in de neerslag- en verdampingsboekhouding is gecompenseerd en waarop dus de afvoer in de berekening weer zou gaan toenemen. Indien dit het geval is, kan op eenvoudige wijze een correctie worden aangebracht (p. 58 e.v.). Wordt een correctie toegepast dan dient deze in acht te worden genomen bij de sub. e besproken vaststelling van het kwelverschil.

ad. h Het afvoerverloop dat over blijft na een eliminatie van de oppervlakte-afvoer bevat een of meer typen van grondwaterafvoer.

Met name in hellende gebieden komt het vaak voor dat ondanks de correctie voor kwelverschil geen rechte lijnstukken ontstaan. Wanneer namelijk de reactie van het op één na langzaamste reservoir zo traag is, dat dit in droge perioden niet uitgeput raakt, wordt de lijn van het traagste reservoir nooit zuiver gevonden en kan dus op enkellogaritmisch papier geen rechte worden gevonden.

De kleinste reactiefactor zal in zo'n geval schattenderwijs gezocht moeten worden, eventueel met een blik op formule (2). De geschatte waarde is te toetsen door een globale berekening van deze traagste afvoer (bijvoorbeeld met neerslagmaandcijfers) en een voorlopige schatting van zijn oppervlakte-aandeel. Proberenderwijs komt men zo tot een aanvaardbare oplossing (p. 83 e.v., p. 102 e.v.), waarna de berekende traagste afvoeren van de waarnemingen worden afgetrokken. De verdere ontleding kan dan op de normale manier verlopen.

Dat het afvoerverloop inderdaad de vraag beantwoordt hoeveel reservoirs er onderscheiden dienen te worden, wordt voor het stroomgebied van de Kleine Dommel in figuur 16 aangetoond. Hier werd een enkele reactiefactor van omstreeks $0,5 \text{ etm}^{-1}$ voor de met sloten doorsneden delen verwacht. Onmiskenbaar blijken er echter twee reactiefactoren in het spel, waarvan de ene (0,63) duidelijk slaat op de redelijk ontwaterde

dalbodems en de andere (0,07) kan worden toegekend aan een vrij groot gebied met een inadequaat slotenstelsel.

Ter vaststelling van de juiste hoogte t.o.v. de logschaal van de waarnemingen (bovenste puntenreeksen) werd in figuur 16 eerst een verhoging met $0,30 \text{ mm.etm}^{-1}$ (eerder vastgesteld inzigingsverlies) aangebracht en vervolgens een verlaging ten bedrage van de globaal berekende afvoer van het traagste reservoir, aangemerkt als kwelafvoer. De totale verplaatsing in neerwaartse richting is voor elke afbeelding gegeven in de omlijste getallen (p. 84 e.v.).

Ter verduidelijking zij opgemerkt dat met kwelafvoer een verschijnsel wordt bedoeld dat zich binnen het afvoergebied afspeelt (diepe grondwaterstroming van hoge naar lage delen van het gebied) en dat derhalve bijdraagt aan de bij het lozingspunt geconstateerde gebiedsafvoer. Wat eerder als kwelverschil werd aangemerkt passeert daarentegen, zoals gezegd, de gekozen waterscheiding onzichtbaar.

Vraag h. 3 is in paragraaf 3.4.3 al beantwoord; vraag h. 4 werd in verband met f. 3 al genoemd.

ad. i In werkelijkheid krijgt elk grondwaterreservoir de volledige effectieve neerslag te verwerken. Het biedt grote voordelen zich in de berekening bij deze werkelijkheid aan te sluiten. Het alternatief zou zijn: elk reservoir een tevoren vastgesteld aandeel van de neerslag toe te delen. Dit zou niet alleen een weinig natuurlijke nabootsing opleveren, maar het blijkt ook rekentechnisch aanzienlijke bezwaren mee te brengen (p. 48).

Het invoeren van de complete effectieve neerslag in elk grondwaterreservoir betekent dat de berekende afvoeren gereduceerd moeten worden van mm.etm^{-1} over de reservoiroppervlakte tot mm.etm^{-1} over het gehele afvoergebied. De reductiefactoren voor de onderscheiden reservoirs, die tezamen uiteraard gelijk aan één dienen te zijn, blijken, de oppervlakte-aandelen van de reservoirs voor te stellen.

Oppervlakte-aandelen komen vaak variërend uit de afvoerverlopen van met name hellende gebieden te voorschijn. Hun variaties blijken dan te kunnen worden gerelateerd aan de berekende afvoer van het traagste reservoir (p. 85 e.v.).

Dit verschijnsel moet in verband worden gezien met de evenredigheid

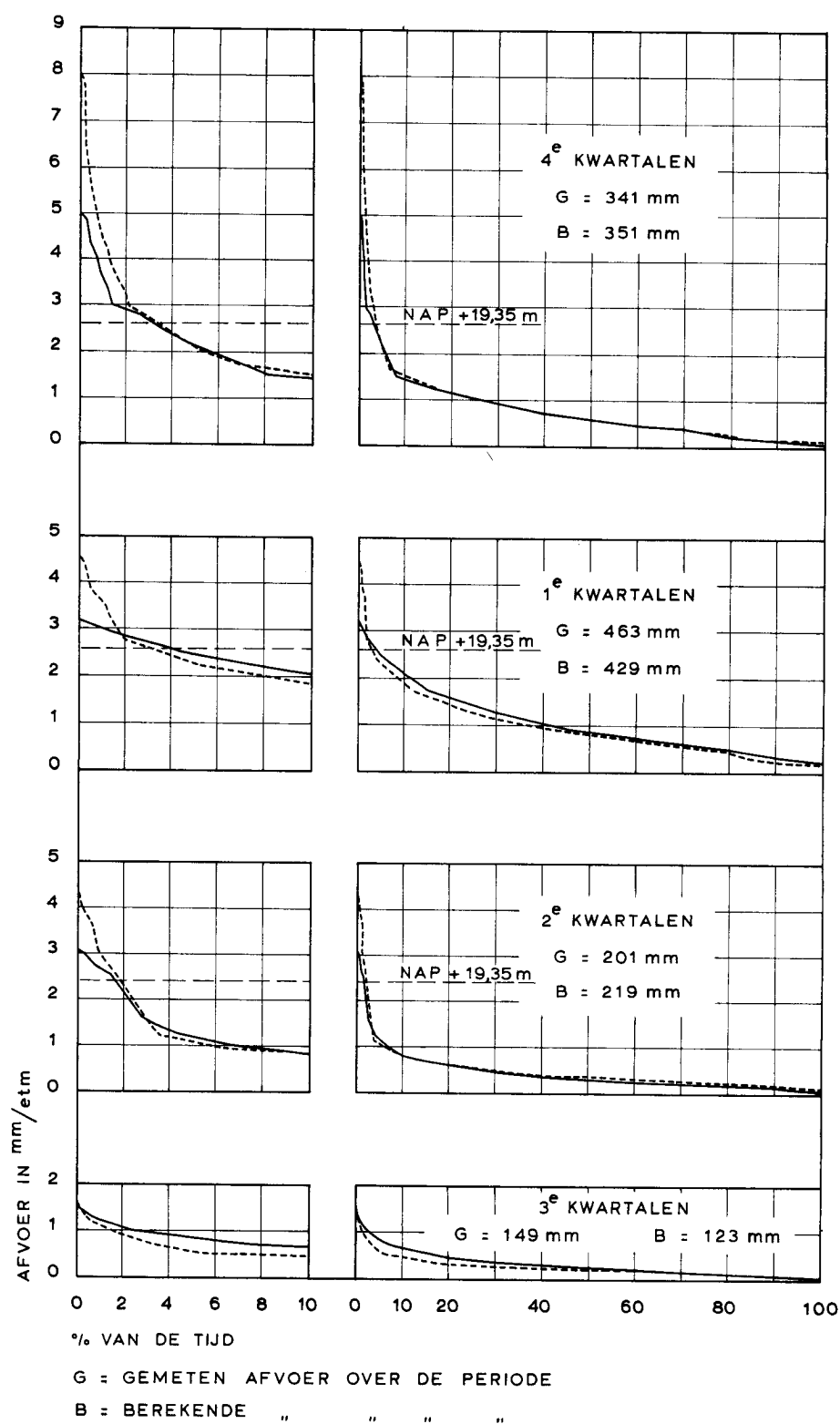


FIG. 17 OVSCHRIJDINGSFREQUENTIES VAN GEMETEN (—) EN BEREKENDE (-----) AFVOEREN VAN DE KLEINE DOMMEL OVER DE PERIODE 10-11-'56 — 1-11-'61.

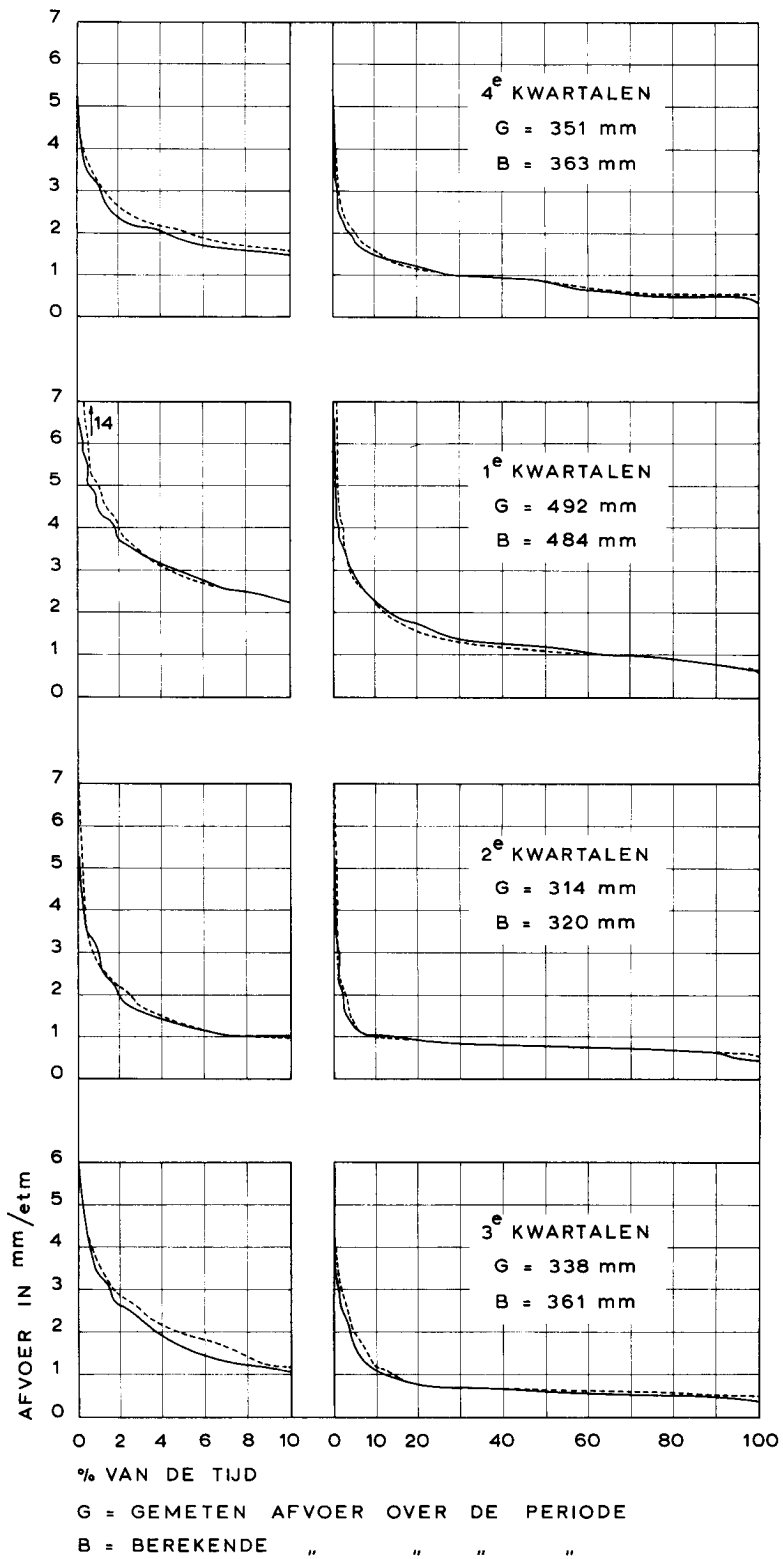


FIG.18 OVSCHRIJDINGSFREQUENTIES VAN GEMETEN (—) EN BEREKENDE (-----) AFVOEREN VAN DE GEUL OVER DE PERIODEN 1-1-55-1-11-58 EN 5-6-59-15-12-59.

die bestaat tussen deze afvoer en de grondwaterspiegelhoogte. Bij hoge grondwaterstand zijn sommige sloten die anders droog staan, watervoerend. Hun omgeving behoort daarom afwisselend tot een reservoir met grote α (bij volle sloten) en tot een reservoir met kleine α (bij droge sloten).

ad. j Nu de reactiefactoren en oppervlakte-aandelen bekend zijn en tevens de berekende afvoeren aan begin en einde van de analyseperiode, kunnen volgens vergelijking (4) de inhouden van de reservoirs op beide momenten worden vastgesteld en daarmee het totale bergingsverschil voor het afvoergebied. Meestal komt hier geen herziening van belang uit voort voor het kwelverschil.

ad. k Gezien de onzekerheden, ook wat zijn ruimtelijke verdeling betreft, in de gemeten neerslag is het zinloos te streven naar een berekend afvoerverloop dat de waarnemingen van moment tot moment dekt. Tussen beide afvoerbeelden zullen onvermijdelijk aanzienlijke discrepanties blijven bestaan. Het streven is er daarom op gericht een zodanige frequentieverdeling van berekende afvoeren te verkrijgen dat deze in goede overeenstemming is met die van de waarnemingen.

De figuren 17 en 18 zijn voorbeelden van verkregen eindresultaten. Van dagen met ontbrekende waarnemingen zijn ook de berekende waarden weggelaten.

Men ontdekt vooral bij de Kleine Dommel in de 1e, 2e en 4e kwartalen discrepanties voor de hoogste afvoeren. Deze zijn te wijten aan de beperkte transportcapaciteit van de rivier. Bij een waterhoogte van NAP + 19,35 m treedt de rivier buiten zijn oevers, zodat waarnemingen boven ca. 2,5 mm/etmaal minder betrouwbaar zijn.

Ten aanzien van figuur 18 kan nog worden opgemerkt dat de veel te hoge top (14,00 mm) in de eerste kwartalen, in de berekening is ontstaan door het onbekend zijn van het afsmeltingsverloop gedurende de zware sneeuwperiode van februari en maart 1955.

ad. l Reactiefactoren kunnen met formule (2) gecontroleerd worden aan de hand van fysische grootheden en afmetingen. Oppervlakte-aandelen zijn op de kaart te achterhalen.

3.4.5 Het model

De uitkomsten van een analyse worden tenslotte samengevat in de karakteristiek van het gebied, die in zijn algemene vorm luidt:

$$q_t = m_a \cdot q_a + m_b \cdot q_b + \dots + q_{opp} \pm \text{kwelverschil} \quad (7)$$

waarin q_t de totale gebiedsafvoer voorstelt, de m -waarden de oppervlakte-aandelen ($m = 1$; de grondwaterreservoirs vullen immers tezamen het gehele gebied op), de overige q -waarden de berekende afvoeren van de onderscheiden reservoirs met als laatste eventueel q_{opp} , de oppervlakte-afvoer.

Alle relevante componenten van het gebied zijn hierin vermeld.

De volgende bijzonderheden mogen bij een karakteristiek niet ongenoemd blijven:

- de nauwkeurige begrenzing van het gebied,
- de gebruikte regenmeters en verdampingscijfers,
- de reactiefactoren van de onderscheiden reservoirs,
- eventueel het voorschrift om het aandeel van de gemeten neerslag bestemd voor oppervlakte-afvoer te bepalen,
- het verband tussen m -waarden en de berekende traagste afvoer,
- het verband voor eventuele aanpassing van doorlopende verdampingsoverschotten,
- de lengten van toe te passen berekeningsintervallen, voor zover kleiner (bij zeer grote reactiefactoren) of groter dan het etmaal (bij reactiefactoren $< 0,001 \text{ etm}^{-1}$).

In verband met dit laatste verdient het wellicht nog aanbeveling de te verwachten orden van grootte van reactiefactoren aan te duiden (p. 120). Voor oppervlakte-afvoer is deze gebonden aan de gebiedsoppervlakte en loopt van 700 etm^{-1} voor enkele tientallen aren stadsplein via 200 etm^{-1} voor $0,5 \text{ ha}$ hellend bouwland tot $0,3 \text{ etm}^{-1}$ voor een afvoergebied ter grootte van een derde van Nederland. Deze afhankelijkheid van de oppervlakte geldt niet, althans niet in merkbare mate voor grondwaterreservoirs. Goed ontwaterde landbouwgebieden komen in de buurt van $0,3$ tot $0,7 \text{ etm}^{-1}$. Waar de ontwatering niet adequaat is, wordt vaak een reactiefactor van $0,05$ tot $0,07 \text{ etm}^{-1}$ gevonden. In complexen hoge gronden zonder sloten is

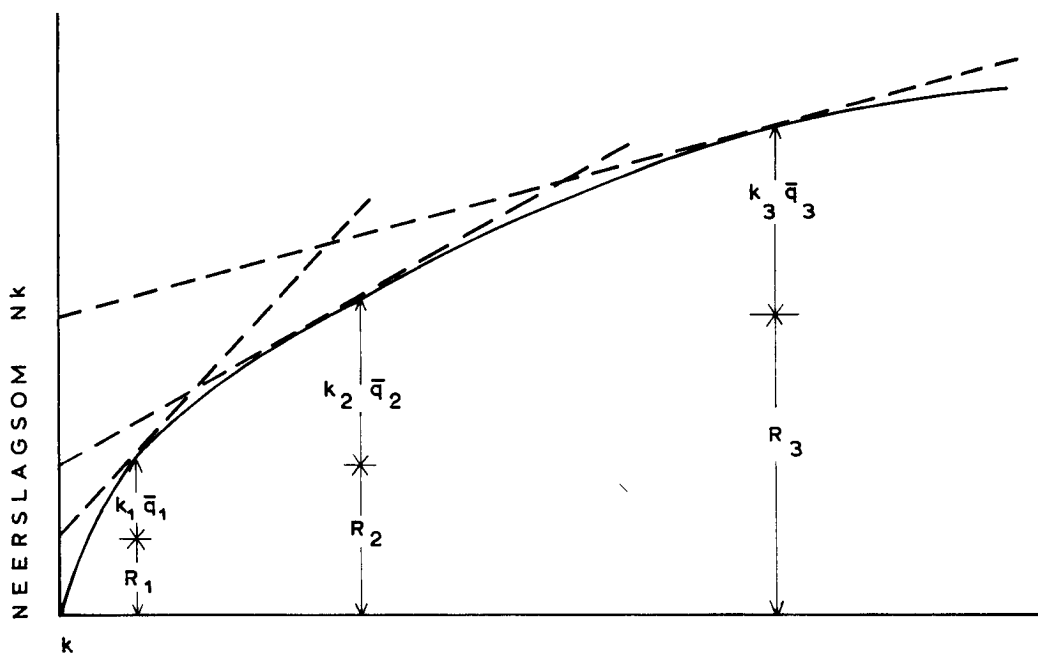


FIG. 19 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN EEN
REGENDUURLIJN MET HET PRINCIPE VAN DE
AFLEIDING VAN DE IN FIGUUR 20 WEERGEGEVEN
SAMENHANG TUSSEN DE BERGINGS-
CAPACITEIT R EN DE GEMIDDELTE DAGAF-
VOER $\bar{q}$ IN k -DAGEN

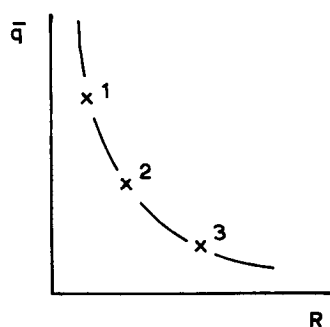


FIG. 20 DE UIT DE REGENDUURLIJN IN FIGUUR 19 AFGE-
LEIDE SAMENHANG TUSSEN DE BERGINGS-
CAPACITEIT R_i EN DE GEMIDDELTE DAGAF-
VOER $\bar{q}_i$

$0,003 \text{ etm}^{-1}$ een veel voorkomende waarde. Soms komt men nog een factor tien lager uit, maar dan is er al nauwelijks meer sprake van een verloop van de afvoer met de seizoenen.

3.5 Analyse van de verdeling van de neerslag over berging en afvoer

3.5.1 Principe

Als van een gebied de ontwateringstoestanden verbeterd moeten worden, dan dienen in eerste instantie de afvoernormen (ook wel maatgevende afvoeren genoemd) voor het verbeteringsplan vastgesteld te worden. Het bepalen van de afvoernormen op basis van in het niet-verbeterde gebied gemeten afvoeren, is in beginsel niet consequent. De maatgevende afvoer zowel als de bijbehorende drooglegging kan echter worden berekend als functie van het neerslagoverschot, het bergend vermogen en de doorlatendheidseigenschappen van de grond en van de hydrologische ontsluiting van het gebied. Uitgangspunt bij de berekening is de hoogst toelaatbare grondwaterstand en de toegestane overschrijdingskans (BLOEMEN, 1970).

Voor elke willekeurige herhalingsstijd kan de samenhang tussen tijdvaklengte en neerslagsom grafisch worden weergegeven; de verkregen krommen worden regenduurlijnen genoemd. In figuur 19 is een dergelijke regenduurlijn weergegeven.

Van de gevallen neerslag wordt een deel in de grond geborgen. Een bepaalde bergingscapaciteit van de grond (R_i) kan in figuur 19 worden aangegeven door een punt op de ordinaat. Vanuit dit punt kan een raaklijn aan de regenduurlijn worden getrokken. De tangens van de hoek die de raaklijn maakt met de abscis geeft aan hoe groot de gemiddelde dagafvoer ($\bar{q}_i$) moet zijn gedurende het aantal dagen dat door de abscis van het raakpunt wordt aangegeven. Door de karakteristieke vorm van de regenduurlijn kan, bij een toenemende bergingscapaciteit (R_2, R_1) volstaan worden met een afnemende gemiddelde dagafvoer ($\bar{q}_2, \bar{q}_1$). In figuur 20 is voor de regenduurlijn uit figuur 19 het verband weergegeven tussen bergingscapaciteit en gemiddelde dagafvoer.

Er bestaat ook een verband tussen de gemiddelde dagafvoer en de drooglegging omdat deze bij een bepaalde hydrologische ontsluiting gecorreleerd is met de bergingscapaciteit. Daarom kan uit de gegeven regenduurlijn een samenhang worden afgeleid tussen de maatgevende afvoer en de drooglegging. De kromme die deze samenhang weergeeft wordt de afgeleide van de regenduurlijn genoemd en is van het type zoals in figuur 20 is aangegeven. Uit de kromme kan worden afgeleid dat wanneer de drooglegging kleiner wordt de bergingscapaciteit in de grond eveneens afneemt. Wanneer eenzelfde hoogst toelaatbare grondwaterstand wordt aangehouden, zal de maatgevende afvoer en dus ook de ontwaterings-snelheid dienovereenkomstig moeten toenemen.

3.5.2 Een rekenmodel

De bij elkaar behorende maatgevende afvoer en hoogste grondwaterstanden kunnen worden berekend door ervan uit te gaan dat de kritieke neerslagsom N_k over de berging R en de afvoer $Q = \sum_1^n q_i$ moet worden verdeeld volgens

$$N_k = R + p_1 \bar{k}q_1 + p_2 \bar{k}q_2 + \dots + p_n \bar{k}q_n \quad (8)$$

Hierin geeft p_i aan gedurende welk deel van de k -daagse periode de afvoer q_i plaatsvindt. De index i geeft de afvoer naar verschillende slootpeilen en de oppervlakte-afvoer weer. Voor zover het zeer langzame, weinig veranderlijke grondwaterstromingen betreft, die het waterbezwaar van een gebied zowel kunnen verkleinen als vergroten, is het vervangen van de functie voor deze stroming door een constante een toelaatbare vereenvoudiging. Voor oppervlakte-afvoer zijn nog geen bruikbare functies beschikbaar. De grondwaterstromingen naar de verschillende sloten en leidingen (c.q. drains) kunnen worden beschreven als functie van de hoogte van het grondwater ten opzichte van het betreffende peil met bergings- en afvoerconstanten hierin als parameters. De drooglegging kan worden berekend als de parameters voor de verschillende stromingen bekend zijn of bekend worden verondersteld. Bovendien kan worden berekend hoe groot de maatgevende afvoeren zijn die bij de berekende droogleggingen behoren.

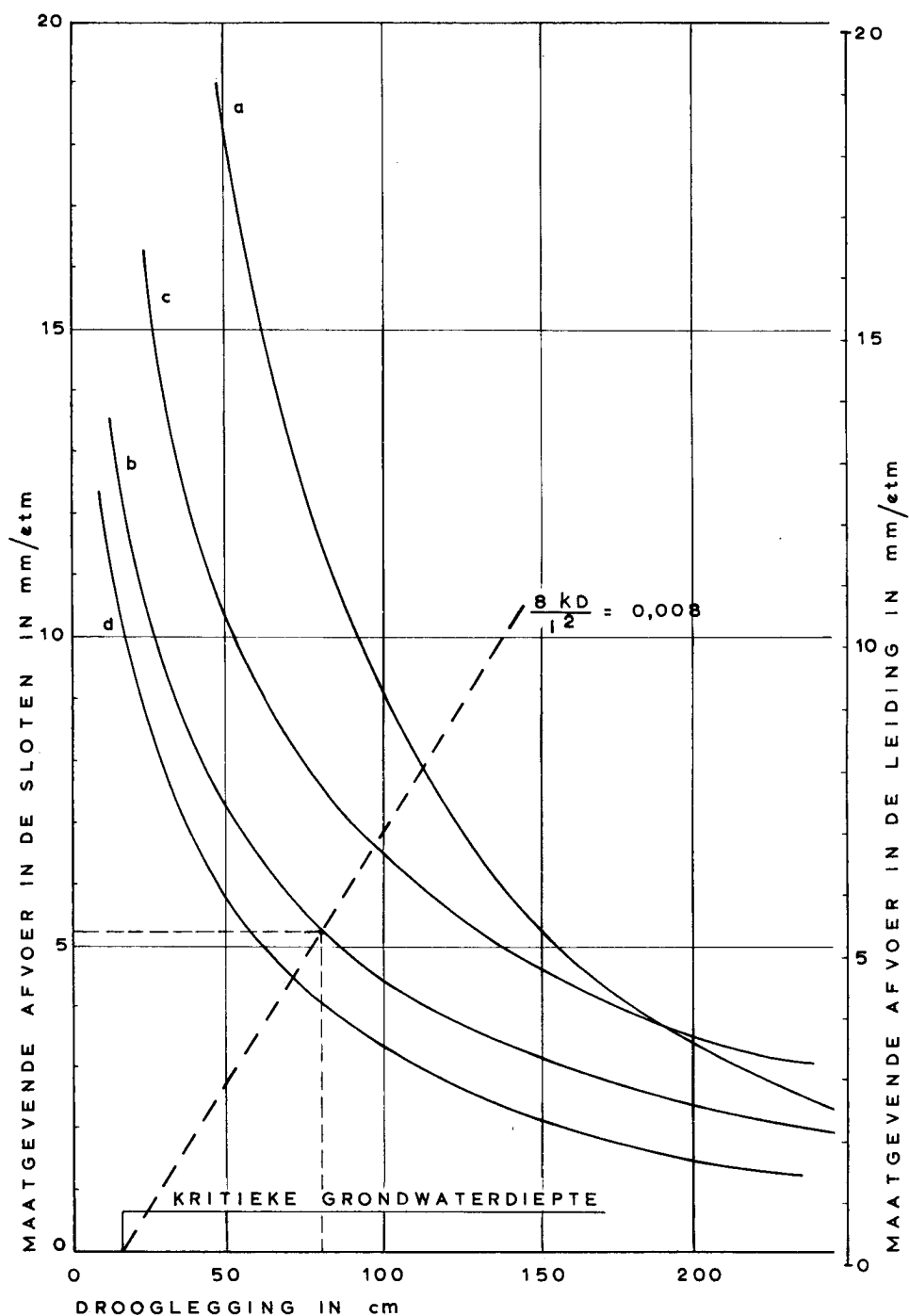


FIG. 21 VERSCHILLENDE AFGELEIDEN VAN REGENDUURLIJNEN, BEREKEND MET PARAMETERS VOOR EEN AFVOER- GEBIED VAN MIDDELHOGE ZANDGRONDEN

- a. VOOR 1 JANUARI, HERHALINGSINTERVAL 1x IN 10 JAAR
- b. IDEM , HERHALINGSINTERVAL 1x IN 1 JAAR
- c. ALS b , MET ONGUNSTIGE BERGINGSEIGENSCHAPPEN
- d. VOOR 1 FEBRUARI, VERDER ALS b

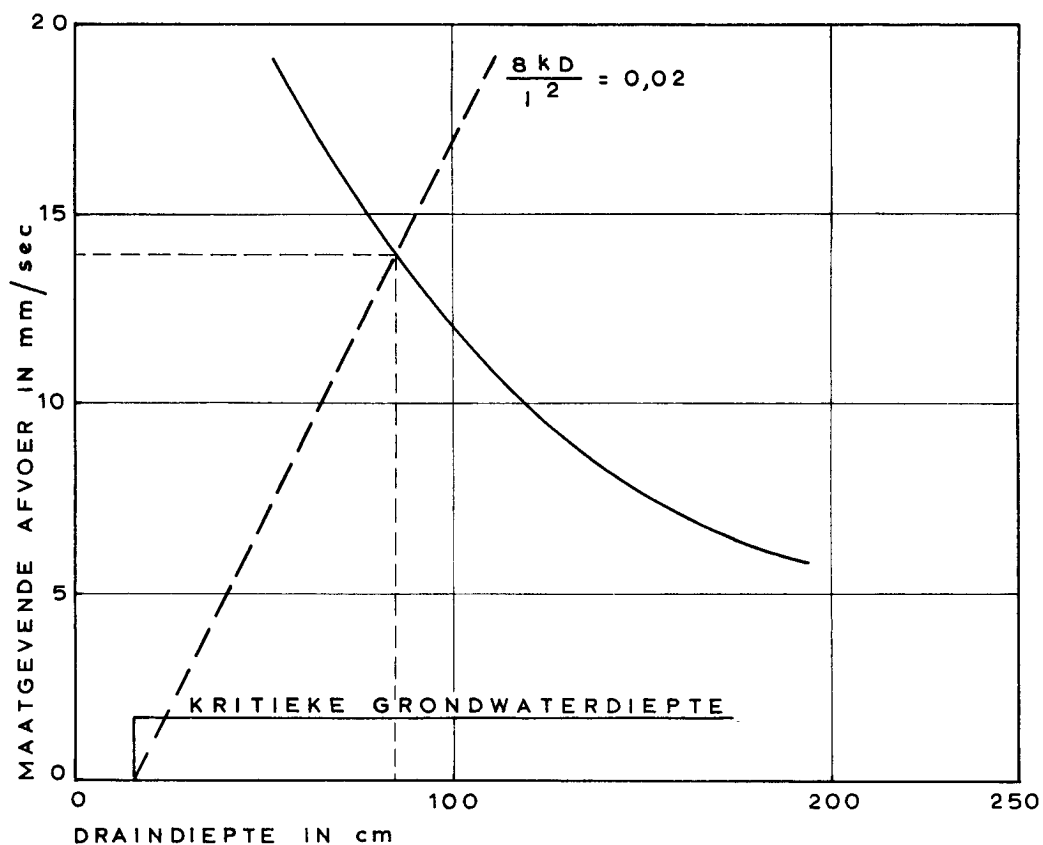


FIG. 22 DE AFGELEIDE VAN DE REGENDUURLIJN, BEREKEND MET PARAMETERS VOOR GEDRAINEERDE KLEIGRONDEN OP NOORD-BEVELAND.

Voor deze berekening is een geprogrammeerd rekenmodel beschikbaar.

Het uitgangspunt van de berekening van de maatgevende afvoer is de toelaatbaar geachte herhalingstijd van het overschrijden van de kritieke grondwaterstand en het daarbij behorende peil in de sloten. De grootte van de kritieke neerslagsom in vergelijking (8) wordt mede bepaald door de keuze van deze herhalingstijd. Verdampingsverliezen kunnen in rekening worden gebracht.

3.5.3 Afgeleiden van de regenduurlijn

De in 3.5.2 bedoelde berekeningen, uitgevoerd met neerslagsommen voor oplopende k-waarden met dezelfde herhalingstijd, leveren afgeleiden van de gegeven regenduurlijn op. Figuur 21 laat enige voorbeelden zien van afgeleiden die zijn berekend voor een afvoergebied met middel-hoge zandgronden. De grondwaterstroming vindt hier plaats naar sloten en naar een grote leiding, terwijl een klein wegzijgingsverlies optreedt. Door de geringe drainerende werking van de leiding is de maatgevende afvoer hiervan slechts weinig hoger dan die van de sloten. Het type van de afgeleiden is zoals in figuur 20, maar er bestaan verschillen tussen de coördinaten van de verschillende afgeleiden. De afgeleide a in figuur 21 geldt voor een herhalingstijd van de overschrijding die tienmaal zo groot is als de herhalingstijd voor de afgeleide b. Door de hogere neerslagsommen, die behoren bij een langere herhalingstijd, ligt ook de afgeleide hoger. Ook door een kleinere bergingscapaciteit aan het begin van de k-daagse periode wordt de afgeleide naar hogere waarden voor maatgevende afvoer en drooglegging verschoven. De afgeleide c in figuur 22 is uit dezelfde neerslagsommen en met dezelfde parameters berekend als de afgeleide b; alleen de bergingsconstanten hadden lagere waarden. Seizoenschommelingen in neerslagintensiteit kunnen invloed hebben op de ligging van de afgeleide. De afgeleiden b en d zijn voor dezelfde herhalingstijd en met dezelfde parameters berekend, maar respectievelijk uit regenduurlijnen voor k-daagse perioden beginnend op 1 januari en 1 februari. Als gevolg van landelijke verschillen in neerslagregime kunnen de afgeleiden van regenduurlijnen eveneens veranderen. Daarvan is echter in figuur 21 geen voorbeeld gegeven.

Omdat maatgevende afvoer en drooglegging bij ontbreken van oppervlakte afvoer door afvoer- en bergingsconstanten aan elkaar zijn gebonden, kunnen ze niet onafhankelijk van elkaar worden vastgesteld. De constructie van afgeleiden van regenduurlijnen is daarom al in een vroeg stadium van voorbereiding van een verbeteringsplan van belang.

4. Toepassing van berekenings methoden

4.1 Bepaling van de frequenties van afvoeren met behulp van statistische methoden

4.1.1 Inleiding

Voor de bepaling van maatgevende afvoeren dient men een inzicht te hebben in de frequenties waarmee afvoeren optreden. Voor landelijke gebieden kiest men als ontwerpaafvoer vaak de afvoer die gemiddeld eenmaal per tien jaar optreedt, terwijl voor stedelijke gebieden en kunstwerken de ontwerprequentie meestal wordt verhoogd tot gemiddeld eenmaal in de honderd jaar.

Voor het uitvoeren van een statistische bewerking moeten afvoercijfers beschikbaar zijn. Deze cijfers kunnen worden verkregen o a. uit het verband tussen waterstand en afvoer in vrijstromende waterlopen en via de ijkkrommen van meetstuwen.

Zoals uit paragraaf 3.2 is gebleken, kan voor de bepaling van de afvoerfrequenties met succes gebruik worden gemaakt van de exponentiële verdeling.

Het feit of aan de voorwaarde voor onafhankelijkheid van de waarnemingen al of niet is voldaan had in de onderzochte gevallen geen aantoonbare invloed op de ligging van de frequentielijn. Het is om deze reden dat in de praktijk gebruik kan worden gemaakt van alle waarnemingen, mits deze waarnemingen tot eenzelfde populatie behoren.

Omdat de betrouwbaarheid van de uitkomsten van deze statistische bewerking afhankelijk is van de lengte van de afvoerreeks en deze des te geringer wordt naarmate het aantal beschikbare gegevens kleiner is, moet gestreefd worden naar een zo lang mogelijke reeks van waarnemingen.

In de praktijk worden frequentielijnen afgeleid voor de topafvoeren en voor de dagafvoeren. De frequentielijn voor de topafvoeren verstrekt informatie over de frequentie waarmee bepaalde niveaus worden overschreden. Dit is van belang uit een oogpunt van veiligheid. Het bepalen van de gemiddelde duur van de overschrijdingen met behulp van de frequentielijn voor de dagafvoeren en die voor de topafvoeren, zoals hier en daar wel gebeurd, heeft weinig zin omdat de hieruit verkregen waarden weinig

Tabel 5

JAAROVERZICHT VAN WATERSTANDEN IN DE DINKEL BIJ DE ROTERMANSBRUG

PEILSCHAAL NUMMER : 1

STROOMGEBIED : Dinkel

STROOM : Dinkel

JAAR 1956

NULPUNTSHOOGTE = N.A.P. - 2 cm

POST : Rotermansbrug

WATERSTANDEN IN cm														TJDSTIP VAN WAARNEMING														7.00 h			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
JAN.	3256 MIN.	3304 3204	3300	3212	3222 MAX.	3204 3376	3234	3206	3216 GEM.	3216 3266	3226	3238	3306	3252	3258	3238	3228	3216	3218	3222	3283	3308	3338	3376	3363	3353	3298	3356	3308	3262	3216
FEB.	3208 MIN.	3208 3139	3193	3178	3168 MAX.	3162 3208	3161	3161	3158 GEM.	3156 3154	3154	3149	3146	3146	3146	3145	3145	3146	3145	3144	3144	3142	3142	3142	3140	3140	3139	3139	3142		
MRT.	3338 MIN.	3348 3163	3366	3386	3393 MAX.	3382 3393	3348	3338	3286 GEM.	3252 3246	3239	3227	3228	3221	3212	3213	3212	3204	3204	3206	3215	3206	3205	3196	3186	3186	3180	3174	3166	3164	3163
APR.	3158 MIN.	3158 3146	3146	3155	3148 MAX.	3176 3268	3150	3156	3156 GEM.	3146 3168	3158	3160	3173	3268	3266	3225	3198	3192	3171	3178	3172	3158	3154	3146	3148	3148	3148	3152	3146	3146	
MEI	3166 MIN.	3147 3118	3142	3130	3136 MAX.	3144 3166	3143	3136	3133 GEM.	3128 3130	3127	3128	3133	3133	3140	3134	3127	3128	3128	3118	3128	3122	3122	3121	3122	3125	3119	3119	3119	3119	3119
JUN.	3118 MIN.	3120 3118	3118	3118	3118 MAX.	3118 3276	3118	3120	3123 GEM.	3146 3146	3148	3276	3256	3176	3174	3198	3166	3166	3147	3146	3140	3140	3130	3130	3128	3142	3132	3130	3130	3128	
JUL.	3123 MIN.	3126 3118	3118	3120	3125 MAX.	3128 3364	3128	3122	3118 GEM.	3128 3219	3170	3176	3176	3218	3271	3338	3362	3340	3318	3328	3364	3342	3284	3238	3308	3280	3244	3222	3198	3202	3182
AUG.	3174 MIN.	3290 3150	3262	3258	3196 MAX.	3192 3290	3188	3178	3178 GEM.	3158 3195	3156	3178	3172	3168	3162	3160	3174	3174	3160	3174	3164	3158	3154	3150	3172	3206	3276	3286	3272	3238	3238
SEP.	3208 MIN.	3190 3144	3166	3216	3218 MAX.	3200 3266	3216	3192	3194 GEM.	3188 3195	3180	3228	3258	3248	3230	3190	3186	3174	3168	3158	3150	3154	3148	3144	3146	3146	3190	3258	3266	3248	
OKT.	3228 MIN.	3304 3174	3324	3300	3254 MAX.	3252 3324	3256	3240	3228 GEM.	3228 3237	3220	3206	3188	3188	3188	3186	3182	3174	3298	3298	3258	3256	3230	3218	3216	3212	3192	3226	3236	3278	3298
NOV.	3262 MIN.	3228 3158	3216	3220	3244 MAX.	3240 3282	3228	3224	3218 GEM.	3204 3215	3198	3224	3224	3216	3220	3224	3210	3198	3188	3190	3184	3178	3160	3158	3158	3208	3282	3258	3262	3254	
DEC.	3254 MIN.	3238 3178	3240	3240	3238 MAX.	3280 3338	3268	3254	3240 GEM.	3234 3242	3234	3270	3328	3338	3318	3292	3270	3242	3230	3228	3228	3236	3230	3232	3228	3188	3186	3178	3178	3190	3198
JAAR	MIN.	3118			MAX.	3393																									

OPMERKINGEN: Extra waarneming dd. 5-3-1956 = N.A.P. + 3396 cm om 18.00 h.

Tabel 6

KLASSEN VAN DE DAGELIJKSE WATERSTANDEN

Stroomgebied: Dinkel Stroom : Dinkel Post : Rotermansbrug winter 1955 - 1956							Peilschaalnr. : 1 Meetpunt : A Oppervlak : 24720 ha
Water-stand in cm t.o.v. NAP	1955		1956			SOM	Water-stand in cm t.o.v. NAP
	nov.	dec.	jan.	febr.	maart		
94 - 90					I	1	94 - 90
89 - 85					I	1	89 - 85
84 - 80					I	1	84 - 80
79 - 75			I	1		1	79 - 75
74 - 70							74 - 70
69 - 65					I	1	69 - 65
64 - 60			I	1		1	64 - 60
59 - 55			I	1		1	59 - 55
54 - 50			I	1		1	54 - 50
49 - 45					II	2	49 - 45
44 - 40							44 - 40
39 - 35			I	1	II	2	39 - 35
34 - 30							34 - 30
29 - 25		I	1			1	29 - 25
24 - 20		I	1			1	24 - 20
19 - 15							19 - 15
14 - 10		I	1			1	14 - 10
09 - 05			III	3		3	09 - 05
04 - 00		I	1	II	2	3	04 - 00
3300							3300
99 - 95		I	1	I		2	99 - 95
94 - 90					I	1	94 - 90
89 - 85			I	1		1	89 - 85
84 - 80		I				1	84 - 80
79 - 75		I	1			1	79 - 75
74 - 70							74 - 70
69 - 65							69 - 65
64 - 60			I	1		1	64 - 60
59 - 55			II	2		2	59 - 55
54 - 50		II	I	1	I	4	54 - 50
49 - 45		II				2	49 - 45
44 - 40			I	1		1	44 - 40
39 - 35			II	2	I	3	39 - 35
34 - 30		I	I	1		2	34 - 30
29 - 25			II	2	II	4	29 - 25
24 - 20		I	II	2	I	4	24 - 20
19 - 15		II	III	5	I	8	19 - 15
14 - 10		I	1		III	4	14 - 10
09 - 05		I	I	1	II	7	09 - 05
04 - 00		II	I	1	III	5	04 - 00
3200							3200
99 - 95		II	2		I	3	99 - 95
94 - 90		I	1	I		2	94 - 90
89 - 85					II	2	89 - 85
84 - 80					I	1	84 - 80
79 - 75				I	1	1	79 - 75
74 - 70					I	1	74 - 70
69 - 65				I	I	2	69 - 65
64 - 60				III	II	5	64 - 60
59 - 55	II	2	III	2		7	59 - 55
54 - 50	II	2	II	1		5	54 - 50
49 - 45	III	4		III III	8	12	49 - 45
44 - 40	III II	7	II	II II	7	16	44 - 40
39 - 35	III III	9		II	2	11	39 - 35
34 - 30	III I	6	II			8	34 - 30
SOM	30	31	31	28	31	151	

Tabel 7

FREQUENTIES VAN DE DAGELIJKSE WATERSTANDEN

Stroomgebied: Dinkel Stroom : Dinkel Post : Rotermansbrug											winters 1951/52 - 1960/61				Peilschaalnr. : 1 Meetpunt : A Oppervlakte : 24720 ha			
Water-stand in cm t.o.v. NAP	51/52	52/53	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	59/60	60/61	Σ FREQ.		Σ FREQ. 10	AFVOER		Water-stand in cm t.o.v. NAP		
											←	↓		Q in l/sec	Q in l/sec.ha			
24 - 20 19 - 15 14 - 10 09 - 05 04 - 00 3400										1	1	1	0,1	34430 31690 29140 26750 24530	1,39 1,28 1,17 1,08 0,99	24 - 20 19 - 15 14 - 10 09 - 05 04 - 00 3400		
99 - 95 94 - 90 89 - 85 84 - 80 79 - 75 74 - 70 69 - 65 64 - 60 59 - 55 54 - 50 49 - 45 44 - 40 39 - 35 34 - 30 29 - 25 24 - 20 19 - 15 14 - 10 09 - 05 04 - 00 3300			1	1	1	3	1				4	5	0,5	22460 20590 18760 17100 15560 14150 12830 11620 10510 9850 9560 9270 8990 8710 8430 8160 7820 7620 7360 7100	0,90 0,83 0,76 0,69 0,63 0,57 0,52 0,47 0,42 0,40 0,39 0,37 0,36 0,35 0,34 0,33 0,32 0,31 0,30 0,29	99 - 95 94 - 90 89 - 85 84 - 80 79 - 75 74 - 70 69 - 65 64 - 60 59 - 55 54 - 50 49 - 45 44 - 40 39 - 35 34 - 30 29 - 25 24 - 20 19 - 15 14 - 10 09 - 05 04 - 00 3300		
99 - 95 94 - 90 89 - 85 84 - 80 79 - 75 74 - 70 69 - 65 64 - 60 59 - 55 54 - 50 49 - 45 44 - 40 39 - 35 34 - 30 29 - 25 24 - 20 19 - 15 14 - 10 09 - 05 04 - 00 3200	2	1	1	4	2	2	2	3	2	2	19	231	23,1	6840 6590 6340 6090 5850 5610 5370 5140 4910 4690 4470 4260 4050 3840 3640 3440 3240 3050 2860 2680	0,28 0,27 0,26 0,25 0,24 0,23 0,22 0,21 0,20 0,19 0,18 0,17 0,16 0,16 0,15 0,14 0,13 0,12 0,11	99 - 95 94 - 90 89 - 85 84 - 80 79 - 75 74 - 70 69 - 65 64 - 60 59 - 55 54 - 50 49 - 45 44 - 40 39 - 35 34 - 30 29 - 25 24 - 20 19 - 15 14 - 10 09 - 05 04 - 00 3200		
99 - 95 94 - 90 89 - 85 84 - 80 79 - 75 74 - 70 69 - 65 64 - 60 59 - 55 54 - 50 49 - 45 44 - 40 39 - 35 34 - 30 29 - 25 24 - 20 19 - 15 14 - 10 09 - 05 04 - 00 3100	2	5	6	6	3	6	3	2		7	40	865	86,5	2500 2330 2160 2000 1840 1690 1540 1400 1260 1130 1000 883 768 660 557 461 372 291 217 151	0,10 0,09 0,09 0,08 0,07 0,07 0,06 0,06 0,05 0,05 0,04 0,04 0,03 0,03 0,02 0,02 0,01 0,009 0,006	99 - 95 94 - 90 89 - 85 84 - 80 79 - 75 74 - 70 69 - 65 64 - 60 59 - 55 54 - 50 49 - 45 44 - 40 39 - 35 34 - 30 29 - 25 24 - 20 19 - 15 14 - 10 09 - 05 04 - 00 3100		
SOM	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	1510							

overeenkomst met de werkelijkheid vertonen. Wanneer uitsluitend eenmaal daagse waarnemingen beschikbaar zijn, verdient het gebruik van de frequentielijn van de dagafvoeren de voorkeur. Als continu geregistreerde afvoeren voorhanden zijn, kan beter gewerkt worden met de frequentielijn van de topafvoeren (zie ook paragraaf 3.2.7).

4.1.2 Vaststelling van de empirische frequentieverdeling

De procedure voor het vaststellen van de frequentieverdeling zal worden uitgewerkt voor het meetpunt Rotermansbrug in het stroomgebied van de Dinkel. Voor dit stroomgebied staan de waterstanden ter beschikking, waargenomen om 7.00 h 's morgens, van 1950 tot heden (zie tabel 5). Voor het voorbeeld is hieruit de periode 1951 t/m 1960 gekozen.

Omdat de waarnemingsreeks zoveel mogelijk homogeen moet zijn, is een onderverdeling gemaakt tussen de zomer en de winter. Deze scheiding ligt voor de hand omdat de omstandigheden in de zomer af zullen wijken van die in de winter.

Voor de winterperiode is genomen de periode november tot en met maart, omdat de frequentieberekening over die periode nagenoeg dezelfde uitkomst te zien gaf als de frequentieberekening over de perioden december tot en met maart en december tot en met februari. Werd ook oktober bij de winter gevoegd dan kwamen de uitkomsten veel lager te liggen. Het is daarom beter oktober, evenals april buiten beschouwing te laten omdat deze maanden een overgangskarakter hebben.

De waterstandshoogten worden verdeeld in intervallen van 5 cm (zie tabel 6). De per winter gevonden waterstandsklassen worden vervolgens overgebracht op een verzamelstaat (tabel 7). Sommering in horizontale richting en vervolgens in verticale richting levert de cumulatieve overschrijdingsfrequentieverdeling.

Het begrip frequentieverdeling wordt algemeen gedefinieerd als onderschrijdingsfrequentie (P). De overschrijdingsfrequentie ($1-P$) is hiermee volledig bepaald. In deze paragraaf zal met de frequentieverdeling de overschrijdingsfrequentie worden bedoeld.

Om vergelijking met andere meetpunten in hetzelfde stroomgebied waarvan de lengten van de waarnemingsreeksen verschillend zijn, mo-

OVERZICHT UITGEVOERDE METINGEN							
NR	DATUM	WATER- HOOGTEN AAN PS. IN m + N A P	AFVOER IN l/sec	NR	DATUM	WATER- HOOGTEN AAN PS. IN m + N A P	AFVOER IN l/sec
1	16-1-'51	33.67	• 1 640 0	29	17-8-'54	34.10	+ 2 650 0
2	25-1-'51	32.37	• 4 520	30	18-8-'54	33.91	+ 1 750 0
3	30-1-'51	31.91	• 2 240	31	19-8-'54	33.52	+ 924 0
4	4-7-'51	31.20	+ 675	32	23-8-'54	32.77 ⁵	+ 525 0
5	4-7-'51	31.20	+ 675	33	24-8-'54	33.21	+ 725 0
6	28-8-'51	31.12	+ 200	34	25-8-'54	33.23	+ 707 0
7	30-8-'51	31.07 ⁵	+ 245	35	26-8-'54	33.15 ⁵	+ 742 0
8	2-10-'51	31.07	• 250	36	30-8-'54	32.39	+ 340 0
9	15-11-'51	31.37	• 920	37	31-8-'54	32.16	+ 224 0
10	16-1-'52	32.81 ⁵	• 6250	38	1-9-'54	31.93	+ 256 0
11	5-3-'52	31.88	• 2040	39	2-9-'54	31.82	+ 158 0
12	29-5-'52	31.18	+ 500	40	3-9-'54	31.78	+ 144 0
13	26-6-'52	31.24	+ 540	41	24-9-'54	31.56 ⁵	+ 1420
14	27-10-'52	31.34	• 750	42	8-10-'54	33.83	• 1920 0
15	8-12-'52	31.65	• 1460	43	9-10-'54	33.52 ⁵	• 1223 0
16	26-2-'53	32.07	• 3040	44	2-11-'54	32.02	• 269 0
17	27-2-'53	31.99	• 2850	45	5-4-'55	31.96	• 257 0
18	21-4-'53	31.36 ⁵	• 765	46	11-11-'55	31.38	• 910
19	22-4-'53	31.17	• 355	47	7-3-'56	33.51	• 1458 0
20	17-6-'53	31.13	+ 365	48	8-3-'56	33.13	• 908 0
21	5-11-'53	31.09	• 275	49	19-4-'56	31.73	• 171 0
22	5-11-'53	31.09	• 265	50	20-6-'56	31.40 ⁵	+ 830
23	5-11-'53	31.09	• 220	51	26-9-'56	31.42 ⁵	+ 930
24	8-3-'54	33.27	• 9690	52	27-9-'56	31.96 ⁵	+ 2630
25	9-3-'54	32.92	• 6750	53	13-12-'56	33.18	• 9090
26	5-4-'54	32.72	• 6200	54	21-3-'59	33.16 ⁵	• 8860
27	6-4-'54	32.24	• 3660	55	24-8-'60	32.06	+ 2540
28	16-8-'54	34.05	+ 2 270 0	56	13-12-'60	32.49	• 4775

- + ZOMERMETING
- WINTERMETING
- OVERGANG (APRIL EN OKTOBER)

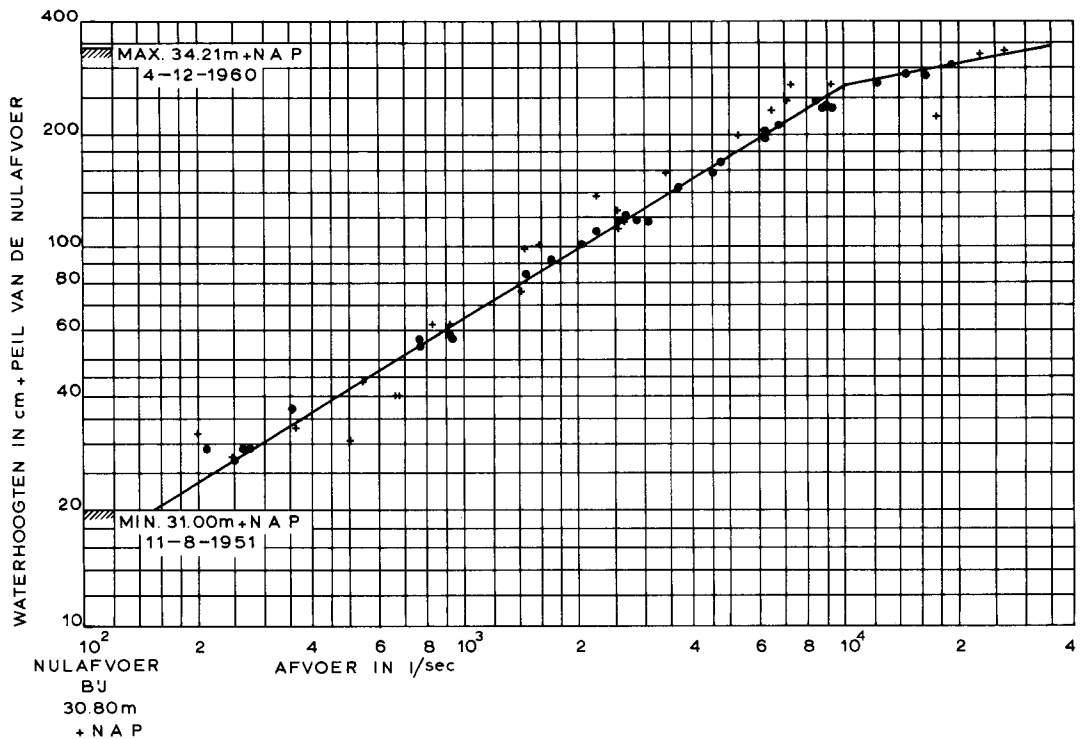


FIG. 23 VERBAND TUSSEN WATERSTAND EN AFVOER BIJ DE ROTERMANSBRUG IN DE DINKEL

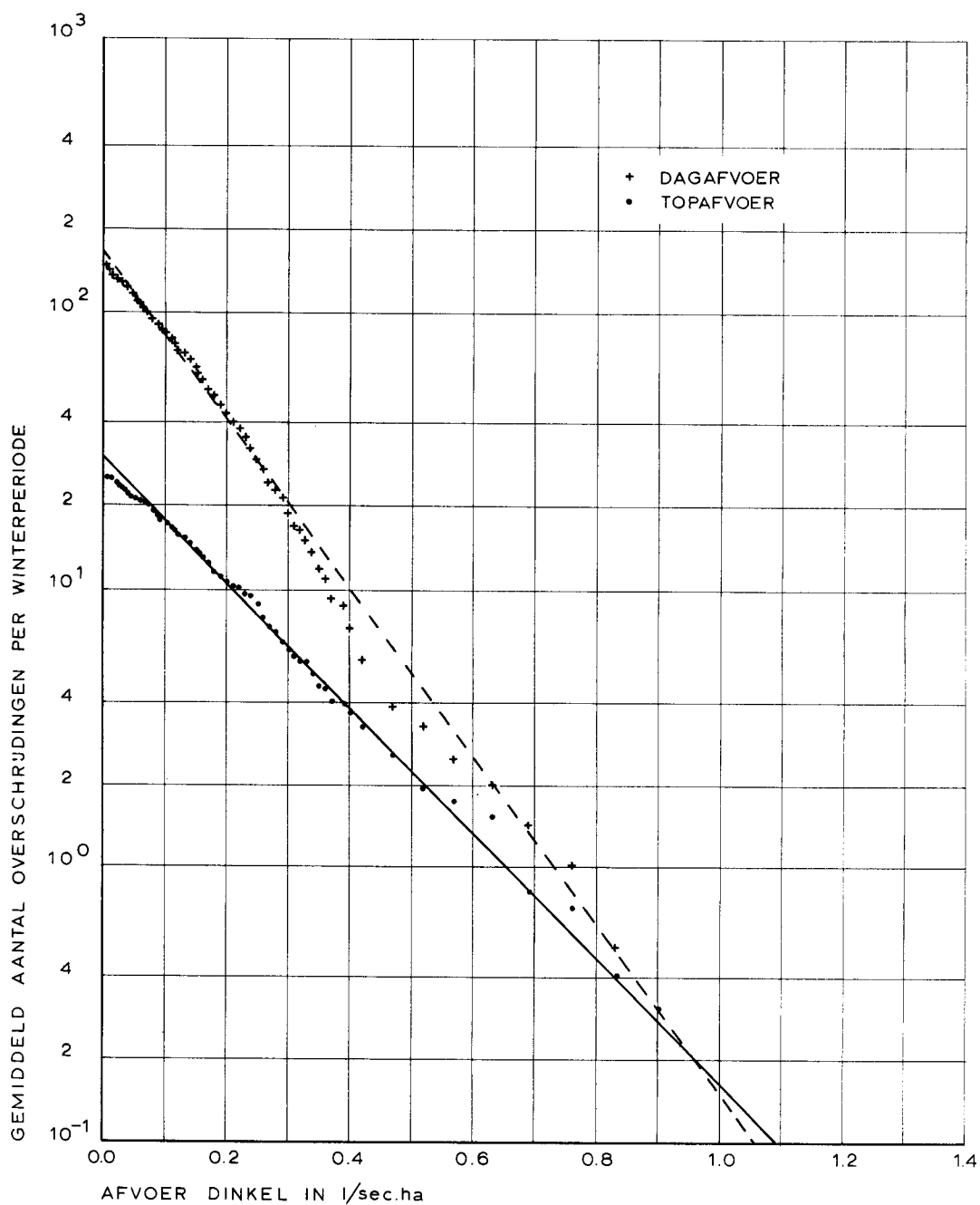


FIG. 24 OVERSCHRJDINGSFREQUENTIES VAN DE AFVOER IN DE DINKEL BIJ DE ROTERMANSBRUG IN DE WINTERPERIODEN 1951/52 t/m 1960/61

gelijk te maken, wordt de verkregen frequentieverdeling der waterstanden teruggebracht op de gemiddelde verdeling per jaar. Om dezelfde reden worden de waterstanden met behulp van de afvoerkromme (figuur 23) omgerekend in afvoeren, uitgedrukt per eenheid van oppervlak. Bestaat er voor een gekozen periode geen eenduidig verband tussen beekpeil en afvoer dan zullen de waterstanden eerst door middel van de diverse afvoerkrommen in afvoeren moeten worden omgezet, waarna van deze afvoeren de frequentieverdeling kan worden bepaald.

Grafisch kan de frequentieverdeling op enkellogaritmisch papier door een rechte worden benaderd. Op de verticale as, die logaritmisch is onderverdeeld, wordt de frequentie uitgezet; op de horizontale as, met een lineaire onderverdeling is de afvoer per eenheid van oppervlak aangegeven (figuur 24).

De frequentieverdeling voor de topafvoeren wordt op analoge wijze afgeleid. Bij het tellen van de toppen kunnen zich moeilijkheden voordoen. Doordat afvoergolven van dicht op elkaar volgende regenbuien elkaar gedeeltelijk kunnen overlappen, kan in sommige gevallen twijfel over het werkelijke aantal toppen ontstaan. In dergelijke gevallen wordt door vergelijking met het aantal buien getracht het juiste aantal afvoergolven te bepalen (figuur 25).

Nadat het aantal toppen in de verschillende intervallen is vastgesteld, kan op dezelfde wijze als dat bij de dagelijkse afvoeren is gebeurd een frequentieverdeling voor de afvoertoppen worden bepaald (tabel 8).

Ook deze frequentieverdeling kan op enkellogaritmisch papier worden weergegeven en worden benaderd door een rechte, met uitzondering van enkele van de hoogste en van de allerlaagste topafvoeren (figuur 24).

De topafvoeren met de kleinste frequenties vallen niet op de rechte omdat deze in feite in de beschouwde periode van 10 jaar, niet thuishoren en dus een geringere frequentie van voorkomen hebben dan uit de beschikbare waarnemingen volgt.

Vaak valt het bij de beschouwing van een frequentielijn voor de topafvoeren op dat in het gebied van de kleinere frequenties een sterke afbuiging van de rechte optreedt. Dit is het rechtstreekse gevolg van inundaties in het bovengelegen stroomgebied.

Dat de frequenties bij de laagste afvoeren van de rechte afwijken,

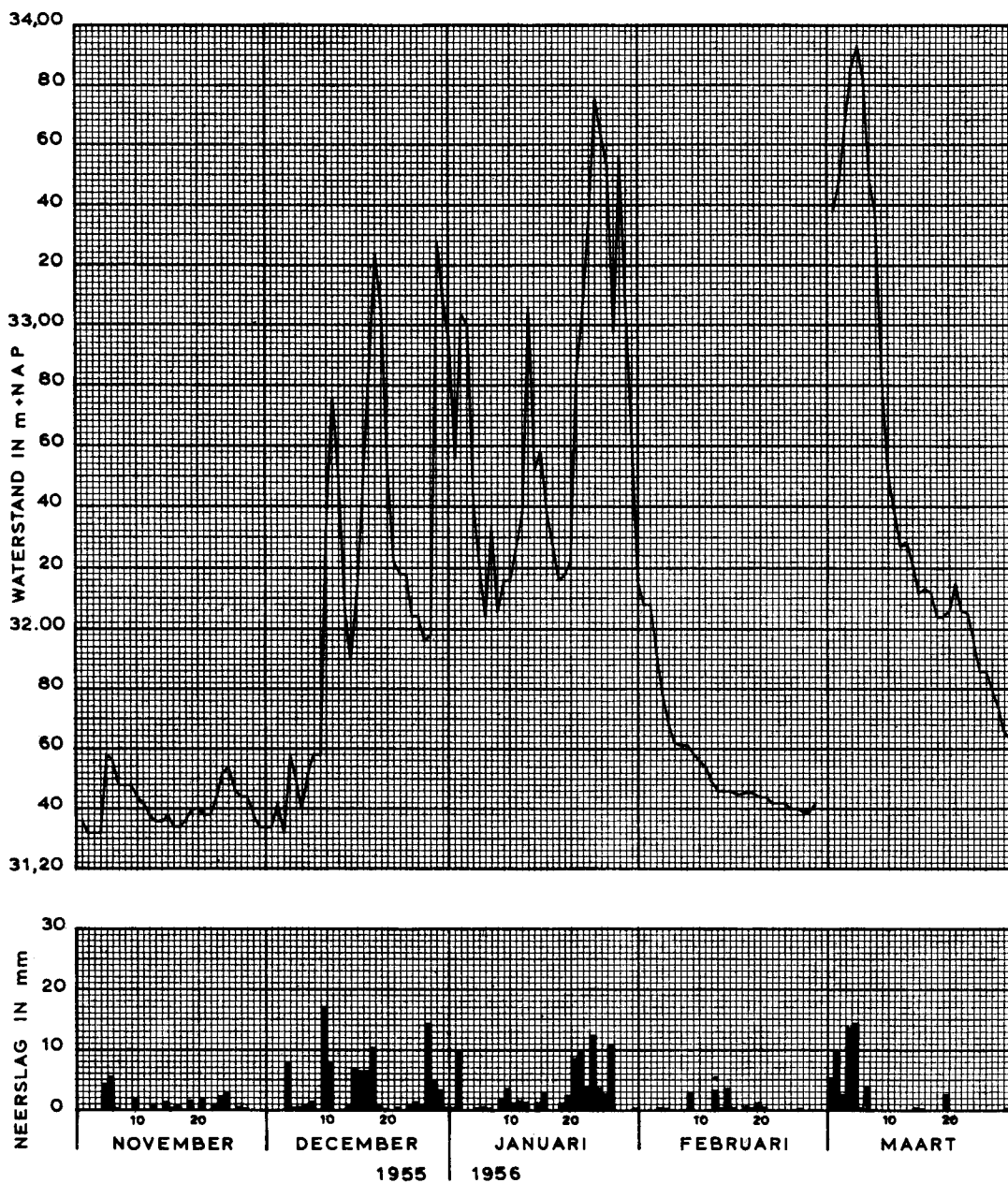


FIG.25 WATERSTANDSVERLOOPLIJN IN DE DINKEL BIJ DE ROTERMANSBRUG EN DE NEERSLAG TE WELPELO IN DE WINTERPERIODE 1955/'56 .

wordt voornamelijk veroorzaakt door het sterk wisselende bergend vermogen van de grond onder drogere omstandigheden. Lage beekpeilen gaan veelal gepaard met lage grondwaterstanden, waarbij de bergingsmogelijkheden groot zijn. Na een regenbui treedt dan niet een zichtbare verhoging van de waterspiegel op. De afwijkingen tussen de waargenomen en de door de rechte voorgestelde te verwachten frequenties bij de lage afvoeren kunnen ook geweten worden aan de hiervoor vermelde moeilijkheden bij het onderscheiden der toppen.

Het zijn deze systematische afwijkingen die uit het waarnemingsmateriaal, dat over bijvoorbeeld 10 jaar werd verzameld, moeten worden verwijderd. Indien ze toch in de frequentieverdeling worden opgenomen, moeten ze bij de bepaling van de rechte buiten beschouwing blijven.

4.1.3 Extrapolatie van frequentielijnen

Doordat de exponentiële frequentieverdeling der topafvoeren, zowel als die der dagafvoeren, uitgezet op enkellogaritmisch papier kunnen worden benaderd door een rechte is de extrapolatie erg eenvoudig. Men moet daarbij echter bedenken dat elke uitspraak, die gebaseerd is op een steekproef een zekere mate van onbetrouwbaarheid heeft. De betrouwbaarheid is om de eerder genoemde redenen groter in het centrum van de verdeling en kleiner daar verder vanaf. Verder bestaat de mogelijkheid dat de extreem hoge afvoeren die slechts zelden zullen optreden een andere frequentieverdeling hebben dan de lagere afvoeren. Omdat juist deze afvoeren over korte waarnemingsperioden vaak ontbreken, kan de op lagere afvoeren gebaseerde uitspraak een grote fout vertonen. Uitbreiding van het waarnemingsmateriaal maakt het mogelijk over de frequentieverdeling der hogere topafvoeren andere informatie te krijgen.

4.1.4 Kans op het overschrijden van vastgestelde maatgevende afvoeren

Wanneer één maatgevende afvoer is vastgesteld bijvoorbeeld de afvoer met een herhalingstijd van 10 jaar, dan kan men zich afvragen wat nu de kans is dat deze afvoer ook werkelijk in de gevonden periode zal worden bereikt of overschreden.

Deze kans kan worden bepaald met behulp van het Binomium van Newton, of indien het aantal waarnemingen in de steekproef groot is met behulp van de Poissonverdeling, zijnde de limiet van de verdeling volgens het Binomium van Newton.

De kans volgens de Poissonverdeling is;

$$P(\underline{r} = r) = \frac{m^r}{r!} e^{-m} \quad (r = 0, 1, 2, \dots) \quad (9)$$

Hierin is:

P = overschrijdingskans

r = aantal malen dat in een periode van gegeven lengte een bepaald niveau (topafvoer) wordt overschreden.

m = mathematische verwachting = gemiddelde aantal malen dat deze afvoer in een periode van gelijke lengte wordt overschreden.

In het geval dat $m = 1$, d.w.z. in het geval dat de gevonden maatgevende afvoer gemiddeld éénmaal in een periode van 10 jaar wordt bereikt of overschreden, worden voor verschillende waarden van r de volgende kansen P gevonden.

	$P(\underline{r} = r)$
$r = 0$	0,36788
$r = 1$	0,36788
$r = 2$	0,18394
$r = 3$	0,06131
$r = 4$	0,01533
$r = 5$	0,00306
$r = 6$	0,00051

Ter illustratie van deze tabel wordt een periode van 1000 jaar beschouwd, dus 100 perioden van 10 opeenvolgende jaren. Van deze 100 perioden zal in gemiddeld $100 \times 0,36788 = 37$ van deze perioden van 10 jaar deze maatgevende afvoer (of dit niveau) niet worden bereikt. Eveneens in gemiddeld 37 van deze perioden van 10 jaar zal het peil van de afvoertop slechts éénmaal worden overschreden. De kans dat in een periode van 10 jaar dit niveau gemiddeld tweemaal zal worden overschreden ($r = 2$), daalt reeds tot 18 %. In gemiddeld 6 van deze perioden

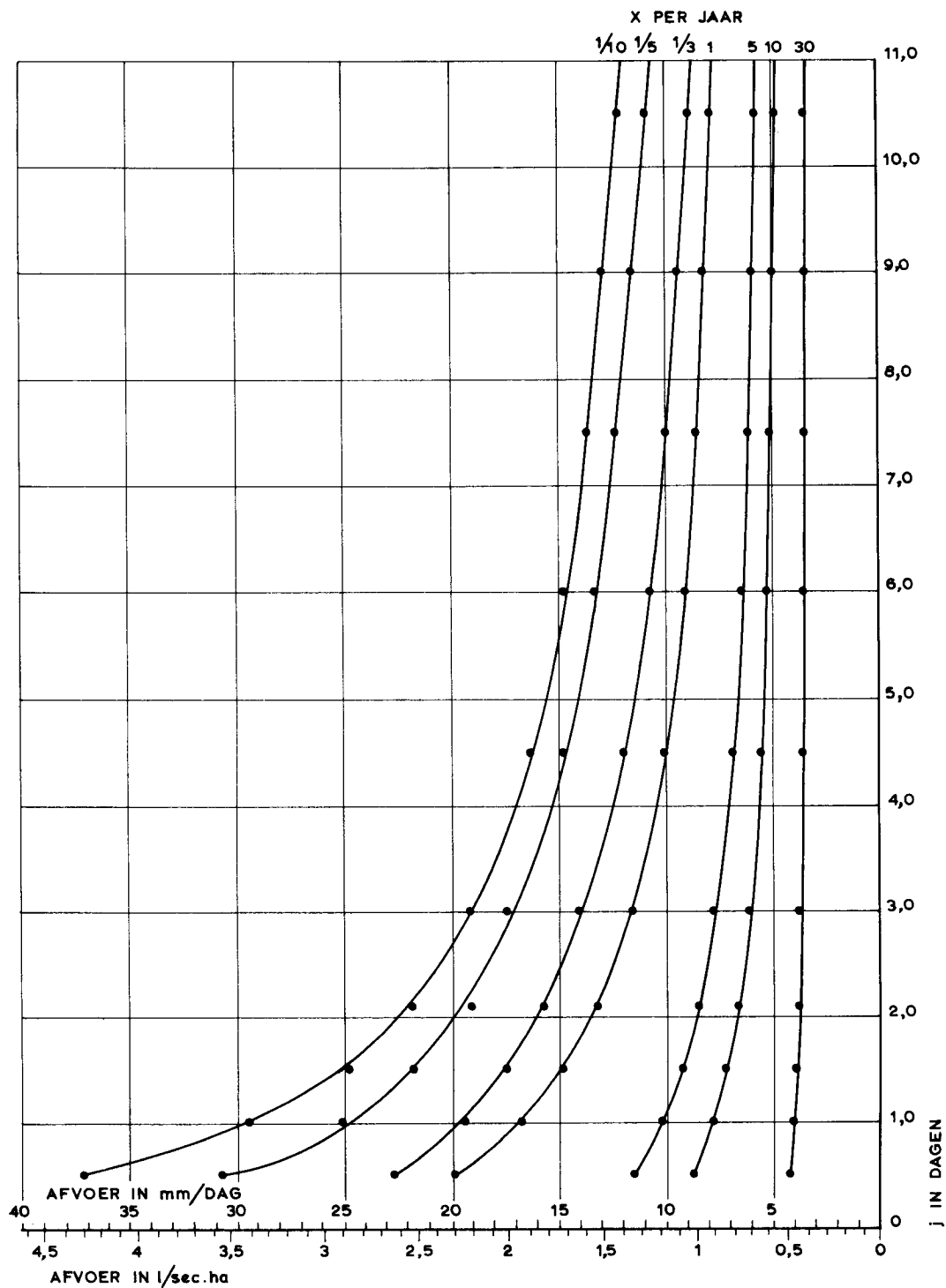


FIG. 26 FREQUENTIEDIAGRAM VOOR DE AFVOER, BEREKEND VOOR VERSCHILLENDE j -WAARDEN UIT DE DAGSOMMEN VAN DE NEERSLAG TE UTRECHT IN DE MAANDEN OKTOBER $\frac{1}{m}$ MAART OVER DE JAREN 1913 TOT 1963

zal het niveau dat behoort bij de maatgevende afvoer driemaal worden overschreden. Tenslotte bestaat er gemiddeld 1,5 % kans dat het betreffende niveau in een periode van 10 jaar viermaal zal worden overschreden.

4.2 Voorspellen van afvoeren met behulp van afvoer karakteristieken

4.2.1 Afvoerintensiteiten met frequentie éénmaal per jaar

Met behulp van de afvoer karakteristiek (zie paragraaf 3.3) is het mogelijk om uit een gegeven regenverdeling het daarbij behorende afvoerverloop te berekenen. Deze werkwijze kan bijvoorbeeld toegepast worden wanneer voor een ontwerp inhoud, hoogte en duur van een afvoertop bekend moeten zijn.

Het probleem splitst zich dan toe op het vaststellen van een maatgevende regenverdeling.

Om meer informatie te verkrijgen over de voorgekomen afvoeren over een lange reeks van jaren, zijn door DE JAGER (1965) de te Utrecht geregistreerde dagsommen van de regenval gedurende de maanden oktober t/m maart over een periode van 50 jaar (1913 - 1963) met een aantal j-waarden doorgerekend. Van de op deze wijze berekende afvoerintensiteiten zijn de frequenties bepaald. De resultaten zijn weergegeven in figuur 26. Daaruit kan voor een bepaalde j-waarde worden afgeleid, welke afvoer bijvoorbeeld gemiddeld éénmaal per jaar wordt bereikt of overschreden. Zijn de afvoer karakteristieken van een gebied bekend dan kan de afvoer van het stroomgebied, die met een bepaalde frequentie wordt bereikt of overschreden, met behulp van deze figuur worden vastgesteld.

Gebleken is, dat de op bovengenoemde wijze berekende afvoeren met een frequentie van éénmaal per jaar vrij goed overeenkomen met de waarden die uit een statistische analyse van meerjarige afvoerwaarnemingen zijn verkregen. Tabel 9 geeft hiervan enige voorbeelden.

Tabel 9 Afvoerfrequenties van enkele stroomgebieden bepaald uit metingen en berekend met behulp van afvoer karakteristieken

Gebied	Oppervlakte	Afvoer éénmaal per jaar	
		metingen	afvoer karakteristieken
Aaltense Slinge	4943 ha	1,4 l/sec.ha	1,35 l/sec.ha.
Aaltense Slinge	8631 ha	1,15 l/sec.ha	1,35 l/sec.ha
Dinkel	7125 ha	1,04 l/sec.ha	1,00 l/sec.ha
Dinkel	24740 ha	0,76 l/sec.ha	0,72 l/sec.ha
Dinkel	39865 ha	0,76 l/sec.ha	0,78 l/sec.ha
Donge	14845 ha	0,45 l/sec.ha	0,47 l/sec.ha

De gevonden overeenstemming is van statistische aard en is niet fysisch af te leiden. Immers bij de berekening volgens de afvoer karakteristieken zijn alle dagregensommen van oktober t/m maart in rekening gebracht en is de invloed van verdamping buiten beschouwing gelaten; bovendien is gerekend met het maximum percentage voor de snelle afvoer, dat niet altijd zal optreden. Anderzijds zijn de afvoerintensiteiten te laag berekend omdat de regenval is afgevlakt tot dagsommen, terwijl voor het afleiden van afvoer karakteristieken vaak regenverdelingen over perioden van 4 tot 12 uur moeten worden gebruikt. Het effect van deze factoren blijkt elkaar dus min of meer op te heffen.

4.2.2 Afvoeren met andere frequenties

Uit onderzoek van de Rijkswaterstaat blijkt dat er voor bijna alle stroomgebieden een vrijwel constante verhouding bestaat tussen afvoeren die met een frequentie van éénmaal per 10 jaar en éénmaal per jaar optreden, Q_{10}/Q_1 . Voor afvoertoppen bedraagt deze verhouding ongeveer 1,67. De frequentie-analyse van afvoeren berekend uit 50 jaar dagregenvallen geeft een verhouding in dezelfde orde van grootte. Enkele veel voorkomende j-waarden zijn vermeld in tabel 10.

Tabel 10 Afvoerverhouding Q_{10}/Q_1 voor verschillende j-waarden

j-waarde	Q_{10}/Q_1
0,5 dag	1,87
1,0 dag	1,75
1,5 dag	1,69
2,1 dag	1,67
3,0 dag	1,66
4,5 dag	1,62

Deze vrijwel constante verhouding is verklaarbaar, wanneer de afvoeren een negatief exponentiële verdeling bezitten. Voor de verhouding geldt dan:

$$Q_{10}/Q_1 = 1 + \frac{1}{\log n} \quad (10)$$

waarin n het aantal waarnemingen per jaar is.

Uit het voorgaande blijkt dat met behulp van de methode van de afvoer karakteristieken op vrij snelle wijze een reële indicatie kan worden verkregen van de hoogte van afvoeren die gemiddeld éénmaal per jaar voorkomen en dat ook afvoeren met andere frequenties vrij goed kunnen worden benaderd. Bovendien is het met deze methode mogelijk de inhoud van afvoertoppen bij een gegeven neerslagverdeling te bepalen.

Voor het ontwerpen van waterbeheersingsplannen zou men ook $2 Q_1$ als maatgevende afvoer kunnen nemen, bijvoorbeeld als afvoer waarbij geen inundaties mogen optreden en waarop de kunstwerken dienen te worden gedimensioneerd. Deze afvoer komt bij benadering éénmaal in de 50 à 100 jaar voor. Gezien tabel 10 en op grond van ervaringen in de praktijk lijkt het waarschijnlijk, dat men voor zeer snel reagerende gebieden $2,5 Q_1$ in plaats van $2 Q_1$ moet nemen.

4.2.3 Invloed van verbetering van het stroomgebied

De in het gebied aan te brengen wijzigingen c.q. verbeteringen zijn van invloed op de afvoer karakteristiek. Bij het ontwerp zal men

rekening moeten houden met de afvoer karakteristiek na verbetering.

De in een gebied bij hoge afvoeren voorkomende inundaties vormen het verloop van de snelle afvoer. Door bij de analyse deze vervorming niet in rekening te brengen, wordt reeds een j-waarde verkregen die geldt voor afvoer zonder inundaties.

Gebieden met van nature hoge grondwaterstanden, kunnen door ontsluiting aan het snelle afvoerproces gaan bijdragen. De daardoor veroorzaakte stijging van het percentage snelle afvoer kan door middel van verkenning van het gebied en aan de hand van het verbeteringsplan globaal worden vastgesteld. Ontsluiting van hoge gronden met diepe grondwaterstanden zal daarentegen het afvoerregiem slechts weinig beïnvloeden.

Verlaging van de ontwateringsbasis, gepaard gaande met een vergroting van de slootafstand, doet de bergingsmogelijkheden in de grond toenemen. De daaruit voortvloeiende vergroting van de j-waarde en dus verlaging van de afvoertop, is langs theoretische weg, aan de hand van kD-waarde en slootafstand, te berekenen. In gebieden met hoofdzakelijk afvoer via ondiepe sloten of greppels, in lemige gronden of aan de voet van een helling, zal vergroting van de hoofdleidingen het afvoer verloop weinig beïnvloeden.

4.3 Reconstructie van afvoerverlopen met traag reagerende componenten

4.3.1 De neerslag

In paragraaf 3.4.4 werd naar deze paragraaf verwezen voor de toelichting op de keuze van in de analyse te gebruiken neerslagstations. Deze keuze vindt haar motivering in de gewenste betrouwbaarheid van de beoogde reconstructieberekening. Gesteld kan worden dat de keuze in zoverre onbelangrijk is, dat de gebreken van de gebruikte neerslaggegevens bij de analyse automatisch in de karakteristiek tot uitdrukking komen. Dit betekent echter dat bij de reconstructie, wil deze tot juiste uitkomsten leiden, neerslagcijfers met dezelfde gebreken moeten worden gebruikt (p. 53 e.v.)^{x)}.

^{x)} bladzijnummers uit DE ZEEUW, 1966.

Wordt daarentegen de berekening gebaseerd op andere, of anders opgestelde neerslagmeters dan de in de analyse gebruikte, dan zal dit meestal inhouden dat in de berekening neerslagwaarden worden ingevoerd, die grotere tekorten t.o.v. de gevallen neerslag vertonen dan waar het model rekening mee houdt. De berekeningsuitkomsten zullen dan niet alleen over de gehele linie naar evenredigheid te laag uitvallen, maar bovendien zullen de berekeningsmechanismen ontregeld raken.

Voor de analyse betekent dit, dat bij het beantwoorden van de in paragraaf 3.4.2 sub a gestelde vraag de eis moet gelden: een voor de analyse te kiezen neerslagstation moet gedurende de gehele beoogde reconstructieperiode in zo min mogelijk gewijzigde vorm hebben bestaan.

Alle andere overwegingen ten aanzien van de keuze vallen hierbij in het niet. Het is niet uitgesloten dat op grond van het voorgaande een buiten het te bestuderen gebied gelegen station de voorkeur verdient.

4.3.2 De reconstructieberekening

In paragraaf 3.4.5 werd de karakteristiek van een afvoergebied besproken. Deze karakteristiek verdiept niet alleen het inzicht in het afvoerpatroon van het gebied, maar opent ook de mogelijkheid zijn afvoerhistorie te reconstrueren. Voor elk van de in vergelijking (7) onderscheiden reservoirs wordt het afvoerverloop afzonderlijk berekend volgens formule (3).

De berekening verloopt stap voor stap, waarbij $t = 1$, d.w.z.: de reactiefactor wordt uitgedrukt in de intervallengte. Het volgende schema geeft dan de reeks van afvoerintensiteiten geldend voor de einden van de achtereenvolgende intervallen (p. 25):

$$\begin{aligned} q_1 &= q_0 \cdot e^{-\alpha} + P_1 (1 - e^{-\alpha}) \\ q_2 &= q_1 \cdot e^{-\alpha} + P_2 (1 - e^{-\alpha}) \end{aligned} \tag{11}$$

enz.

De reeks van geborgen hoeveelheden volgt een overeenkomstig schema

dat kan worden afgeleid uit vergelijking (5).

Om een reconstructieberekening te kunnen beginnen moet q_0 , de afvoerintensiteit van het reservoir op het aanvangstijdstip van de berekeningsserie, bekend zijn. Vooral wanneer kleine reactiefactoren in het spel zijn en dus neerslagen van lang voor het aanvangstijdstip meedoen, zou dit, volgens formule (11) uitgevoerd, een moeizame arbeid worden. Een kortere weg, die tot het beoogde doel leidt, wordt geboden door:

$$q_0 = \frac{1 - e^{-\alpha}}{e^{-\alpha}} \cdot \sum_{n=-1}^{n=-\infty} P_n \cdot e^{n\alpha} \quad (12)$$

waarin n het intervalnummer, teruggellend in het verleden, negatieve waarden heeft. Het voordeel van deze werkwijze is hierin gelegen dat, voor het verkrijgen van een voldoende nauwkeurige uitkomst, berekening met het etmaal als interval beperkt kan blijven tot 20 dagen. Verder terug in de tijd kunnen gemiddelde neerslagcijfers per dekade worden ingevoerd. Heeft men zo twee maanden volgemaakt (20 dagen + 4 dekaden) dan kan de neerslag verder per maand constant worden gerekend, tot het eerste half jaar vol is. Nog verder in het verleden opgetreden neerslag kan als constant gemiddelde per kwartaal worden toegepast (p. 40 e.v.).

De neerslag wordt voor alle intervallengten in mm.etm^{-1} uitgedrukt, α -waarden daarentegen dienen overeen te stemmen met de intervallengte. Zo is bijvoorbeeld de reactiefactor per maand 30 maal zo groot als die per dag.

Nadat voor alle onderscheiden reservoirs de q_0 -waarden zijn berekend, begint de eigenlijke reconstructie. Zij verloopt als volgt:

Speelt de oppervlakte-afvoer een rol, dan wordt eerst aan de hand van het daarvoor bij de karakteristiek vermelde voorschrift het neerslagaandeel dat oppervlakkig afstroomt, uit de gemeten neerslag afgezonderd en met de relevante reactiefactor volgens vergelijking (11) tot het oppervlakte-afvoerverloop verwerkt.

De rest van de gemeten neerslag komt met de verdamping in een doorlopende boekhouding waarvan de dagelijkse saldi, voorzover groter

dan nul, als effectieve neerslagen gelden (p. 58 e.v.). Eventueel voorgeschreven correcties (die niet voor elk grondwaterreservoir dezelfde hoeven te zijn) worden aangebracht aan de zomerse verdampingsoverschotten, waarna voor elke grondwaterreactiefactor de serie P_n -waarden vaststaat. Volgens vergelijking (11) worden de series q_n -waarden verkregen.

Indien de oppervlakte-aandelen variabel zijn, dan worden zij bepaald uit de samenhang met het traagste afvoerverloop. Met behulp van de gevonden m -waarden worden de q_n -waarden met behulp van vergelijking (7) omgerekend tot mm.etm^{-1} over het gehele afvoergebied.

4.3.3 De uitkomsten

Dat, zoals in paragraaf 3.4.4 werd betoogd, de reconstructieberekening niet tot een conforme afbeelding van het opgetreden afvoerverloop leidt, is niet bezwaarlijk. In paragraaf 3.1 werd uiteengezet dat het de bedoeling van de reconstructie is, de grondslag te verbreden voor statistische afvoerstudies, die zich juist baseren op frequentieverdelingen. Deze laatste vormen, zoals gezegd, het wezenlijke eindresultaat van de beschreven werkwijze.

Bij de bespreking van de figuren 17 en 18 van paragraaf 3.4 werd tevens gewezen op het feit dat de reconstructieberekening niet wordt beïnvloed door beperkingen die aan afvoermaxima worden gesteld door de lozingscapaciteit of de transportcapaciteit van de hoofdwaterlopen. Wat berekend wordt, had afgevoerd kunnen worden, indien de afvoercapaciteit van de leidingen voldoende groot was geweest.

Belangwekkend is tevens dat een volledige karakteristiek van een gebied het mogelijk maakt de gevolgen van wijzigingen in dat gebied te voorspellen. Een dergelijke wijziging zal veelal een intensivering van de ontwatering betekenen in bepaalde gedeelten. Het zal niet moeilijk zijn de onderlinge verhouding van de oppervlakte-aandelen aan de nieuwe toestand aan te passen. Bij het schatten van de mate waarin reactiefactoren groter zullen worden, kan formule (2) steun geven.

Bestaat de verbetering alleen uit het verruimen van hoofdwaterlopen, dan zal het algemene afvoerverloop daarvan geen merkbare in-

vloed ondergaan. Alleen de afvoertoppen die in de berekening boven de opgetreden afvoeren uitgaan, zullen minder vertraging gaan onder- vinden.

Het bouwen van kassencomplexen of het aanbrengen van andere ver- harde oppervlakken kan oppervlakte-afvoer introduceren in gebiedsde- len waar deze van nature ontbreekt. Het is dan een zeer eenvoudig type van oppervlakte-afvoer omdat interceptie- en inzijgingsver- liezen er nauwelijks een rol bij zullen spelen. Een verband tussen het eraan toe te kennen neerslagaandeel en de voorafgaande weersom- standigheden behoeft daarom niet te worden overwogen. De reactie- factor zal in het algemeen zo groot zijn, dat hij in het kader van dagelijkse afvoerberekeningen op oneindig gesteld kan worden, het- geen betekent dat voor de verharde oppervlakte de dagafvoer eenvou- dig gelijk kan worden genomen aan de dagneerslag.

Tot zover enkele voorbeelden van het voorspellen van de gevol- gen van ingrepen in het afvoergebied. Naarmate men er beter in slaagt inzicht te verkrijgen in het afvoerverloop zullen deze voorspellingen aan betrouwbaarheid winnen.

4.4 Berekening van maatgevende afvoeren op grond van regenduur- lijnen

4.4.1 Grootte van parameters en neerslagsommen

Bij de voorbereiding van een verbeteringsplan kunnen afgeleiden van regenduurlijnen worden geconstrueerd voor de voorwaarden, die in het betreffende gebied worden aangetroffen.

Verschillende van de parameters in het rekenmodel van paragraaf 3.5.2 kunnen gedurende het jaar echter andere waarden aannemen. De overschrijdingskans van de kritieke grondwaterdiepte zal 's zomers doorgaans kleiner moeten zijn dan 's winters en deze kans bepaalt de grootte van de kritieke neerslagsommen.

De parameters voor bergingscapaciteit en grondwaterstroming kunnen worden bepaald door bestudering van de reactie van de grond- waterbeweging op de neerslag en de verdamping (BLOEMEN, 1966, 1970). Hetzelfde geldt voor de intensiteit van de kwelstroom (BLOEMEN, 1968).

Over het algemeen zullen de grondwaterstandsbuizen van de Dienst Grondwaterverkenning TNO hiervoor kunnen worden gebruikt. Naar een landbouw-economisch criterium voor de overschrijding van een kritieke grondwaterdiepte is nog weinig onderzoek verricht (SIEBEN, 1964). Vooralsnog zal hiervoor een aanname moeten worden gedaan. De waterdiepten in sloten en leidingen, die in het rekenmodel voorkomen, krijgen de waarden die daarvoor in het verbeteringsplan worden gesteld.

De kritieke neerslagsommen, met een gegeven overschrijdingskans, kunnen worden gevonden door vereffening van de frequenties van k-daagse neerslagsommen, die voor een 25-tal neerslagstations door het KNMI zijn gepubliceerd. Het zou beter zijn uit te gaan van frequentieverdelingen, waarbij een bepaalde hoeveelheid neerslag over een zekere voorafgaande periode als variabele is gegeven, maar deze ontbreken nog.

Aangezien het nodig kan zijn om ook grote k-waarden in de beschouwingen te betrekken, kan de verdamping in principe niet worden verwaarloosd. Frequentieverdelingen van neerslag minus verdamping ontbreken. Daarom zal er voorlopig mee moeten worden volstaan dat de kritieke neerslagsommen worden verminderd met de meest waarschijnlijke verdampingshoeveelheden.

4.4.2 Enkele voorbeelden van toepassing van afgeleiden van regenduurlijnen

Omdat verschillende parameters in de in paragraaf 3.5.2 bedoelde berekeningen met het seizoen veranderende waarden kunnen hebben, zal men afgeleiden van regenduurlijnen voor verschillende data en voor de daarbij aangenomen overschrijdingskansen moeten construeren.

Als voorbeeld werden voor een afvoergebied met middelhoge zandgronden in de Achterhoek de afgeleiden van de regenduurlijnen berekend voor de eerste dag van elke maand. Voorafgaand aan de berekening werden de voor het gebied geldende waarden van de parameters in het rekenmodel vastgesteld en een geschikte overschrijdingstolerantie van de hoogst toelaatbare grondwaterstand en het hoogwaterpeil in de sloten gekozen. In figuur 21 zijn de curven b en d twee van de berekende afgeleiden. Van de twaalf afgeleiden, lag die voor januari het hoogste en dit is

dus de meest kritieke maand. Daarom is deze afgeleide (b in figuur 21) als uitgangspunt voor verdere beschouwingen gekozen.

In het plan voor de verbetering van de afwatering van het betreffende gebied gaat men uit van een drooglegging van 0,5 à 0,6 meter en een maatgevende afvoer van 8,6 mm/etm. Als een gemiddelde drooglegging van 55 cm wordt aangehouden dan volgt uit de afgeleide b in figuur 21 dat hierbij een maatgevende afvoer van 7,0 mm/etm behoort. Men moet echter wel bedenken dat de afgeleide van de regenduurlijn gemiddelde dagafvoeren geeft. De afvoer over kortere perioden zal dus hoger kunnen liggen.

Een ander voorbeeld heeft betrekking op kleigronden in polders op Noord-Beveland, die in het verleden zijn gedraineerd op 50 cm diepte en met 20 meter drainafstand. De gemalen van de betreffende polders hebben een capaciteit van 11 mm/etm. Bestudering van de grondwaterbeweging als reactie op regenbuien leverde de parameters in het rekenmodel op waarmee werd berekend dat bij een overschrijdingstolerantie van éénmaal per jaar november de kritieke maand was. De afgeleide voor deze maand is in figuur 22 gegeven.

Deze gronden zijn voor een bevredigende ontwatering volledig afhankelijk van een buisdrainage. Het slootpeil is van geen belang zolang de drainuitmondingen niet onder water komen. De drooglegging is daarom in feite identiek aan de draindiepte. Gaat men uit van een drainafstand van 20 m dan moet om te voldoen aan de ontwateringseis de draindiepte opnieuw worden vastgesteld. Daarvoor kan worden uitgegaan van de ontwateringssnelheid. Deze wordt bepaald door de doorlatendheid k , de dikte D van het pakket en de drainafstand L . In figuur 22 kan deze grootte worden afgelezen met behulp van de rechte lijn $\frac{8 \text{ kD}}{L^2} = 0,02 \text{ etm}^{-1}$. Het snijpunt van deze lijn met de afgeleide van de regenduurlijn geeft aan dat de draindiepte 85 cm moet zijn, waarbij de maatgevende afvoer 14 mm/etm. is.

4.4.3 Technische en economische overwegingen

In die gevallen waarin hoofdzakelijk grondwaterafvoer optreedt, zijn door de onderlinge afhankelijkheid van maatgevende afvoeren en drooglegging de technische en economische kanten van een verbeterings-

plan of een drainage-advies van belang.

In het geval van het afvoergebied met middelhoge zandgronden dat in paragraaf 4.4.2 als voorbeeld werd genomen, blijkt dat een drooglegging van 55 cm niet past bij de verwachte ontwateringssnelheid van 8,6 mm/etm. De werkelijke snelheid kan in figuur 21 met behulp van de rechte $\frac{8 \text{ kD}}{L^2} = 0.008 \text{ etm}^{-1}$ worden afgelezen. Bij een overschrijdingsfrequentie van éénmaal per jaar bedraagt de maatgevende afvoer 5,2 mm/etm bij een drooglegging van 80 cm.

Handhaving van een drooglegging van 55 cm heeft tot gevolg dat de kritieke grondwaterdiepte veel vaker wordt overschreden dan éénmaal per jaar. Teneinde een grotere drooglegging te bereiken, kunnen verschillende alternatieven worden opgesteld, die in technisch en economisch opzicht zeer verschillend zijn; diepere sloten of meer sloten of zelfs meer wateroverlast.

Ook in het voorbeeld van de gedraineerde kleigronden op Noord-Beveland vindt men drie alternatieven. Het bleek al dat bij de bestaande drainafstand de maatgevende afvoer veel hoger wordt dan de capaciteit van de gemalen. Een grotere wateroverlast dan men als criterium voor de berekening nam, zal het gevolg zijn. Men kan echter de drainage ook aan de gemalen aanpassen. Uit figuur 22 blijkt dan dat bij een afvoer van 11 mm/etm een draindiepte van 110 cm vereist zou zijn. De grotere draindiepte schept een grotere bergingscapaciteit die de daling van de ontwateringssnelheid compenseert. Deze is echter omgekeerd evenredig met het kwadraat van de drainafstand. Daarom zal bij daling van de maatgevende afvoer van 14 naar 11 mm/etm niet alleen de draindiepte moeten worden vergroot van 85 naar 110 cm maar zal ook de drainafstand moeten toenemen. Aangezien de parameter voor de ontwateringssnelheid daalt van $\frac{8 \text{ kD}}{L^2} = 0,02 \text{ etm}^{-1}$ naar $0,0116 \text{ etm}^{-1}$ kan de drainafstand worden vergroot tot

$$\sqrt{\frac{0,02}{0,0116}} \times 20^2 = 26 \text{ meter.}$$

In het algemeen kan uit de beide voorbeelden worden geconcludeerd dat kritieke grondwaterdiepte, overschrijdingsfrequentie, maat-

gevende afvoer en drooglegging een samenhangend geheel vormen.

Deze vier ontwerpcriteria kunnen niet onafhankelijk van elkaar worden gewijzigd zonder de technische en economische aspecten van het plan aan te tasten.

Wel kunnen met behulp van de in paragraaf 3.5 behandelde reken-techniek en uitgaande van verschillende ontwerpnormen alternatieven worden berekend ten einde tot een optimalisering van het plan te geraken. Overleg vooraf over wat landbouwtechnisch en civieltechnisch verwezenlijkt zou moeten en wat landbouweconomisch verwezenlijkt kan worden, is daarbij van groot belang.

4.5 Het voorspellen van afvoeren door middel van afvoerverhoudingen

Het schatten van afvoeren van een gebied door deze te vergelijken met gelijksoortige gebieden waarin meer over de afvoeren bekend is, is een riskante zaak.

De grootte en vorm van het stroomgebied en de daarin voorkomende verdeling van hoge en lage gronden alsmede verschillen in grondsoort, ontwateringsdiepte en terreinhelling beïnvloeden in sterke mate de op het lozingspunt optredende afvoer (BON, 1968).

Van veel gebieden is weinig of niets bekend over de daarin voorkomende afvoeren. Wil men toch voor een groot gebied in één of enkele jaren over de afvoer van de diverse deelgebieden geïnformeerd zijn, dan kan een methode gevolgd worden die te vergelijken is met die welke wordt toegepast bij het maken van fluctuatiediagrammen van grondwaterstanden. In het stroomgebied wordt dan een aantal meetpunten gekozen, waar op dezelfde dagen afvoer- en/of peilmetingen worden verricht. Enkele meetpunten kunnen worden voorzien van continu registrerende apparatuur. Zodra van een meetpunt de afvoerkromme bekend is, kan verder worden volstaan met peilmetingen. Daarbij moet echter worden bedacht dat de afvoerkromme regelmatig geijkt moet worden.

In de volgende fase van het onderzoek worden de afvoeren van ieder meetpunt tegen die van een ander meetpunt uitgezet waardoor

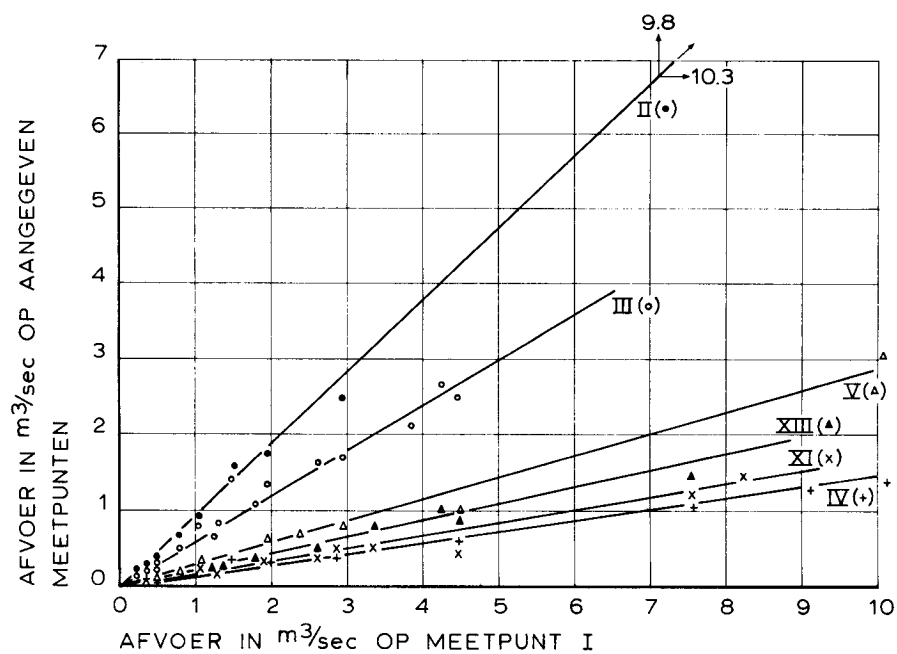
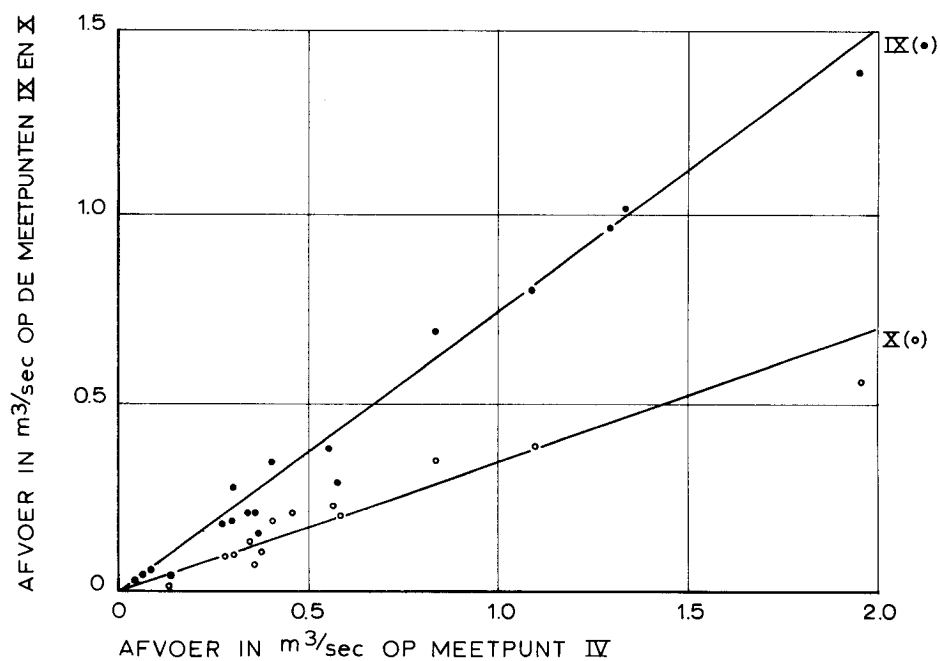


FIG. 27 CORRELATIE TUSSEN DE AFVOEREN OP DIVERSE MEETPUNTEN IN DE LUNTSCHE BEEK

verhoudingslijnen worden gevonden. Een dergelijk onderzoek heeft o.a. plaatsgevonden in het gebied van de Luntersche Beek (BON, 1967), waarvan het resultaat is weergegeven in figuur 27.

In dit vrij kleine gebied (5700 ha) reageert de afvoer direct op de gevallen neerslag.

In grote stroomgebieden met afwisselend hellende en vlakke gronden en waarin inundatie en wegzijging voorkomt, is er vrijwel geen verband te vinden tussen de regen en de topafvoer, vooral niet wanneer in enkele opeenvolgende dagen buien vallen. Dit blijkt uit een onderzoek in de Gelderse Achterhoek (gebiedsgrootte ca. 60.000 ha). De plaats van de meetpunten is weergegeven in figuur 28.

In figuur 29 zijn de geregistreeerde peilen van verschillende meetpunten uitgezet tegen die van meetpunt V_4 , in de Veengoot bij Vorden. Hierbij zijn zo goed mogelijk de peilen genomen die door dezelfde neerslag werden veroorzaakt. Dit houdt in dat de peilen niet gelijktijdig behoeven te zijn opgetreden. Het diagram laat zien dat de verkregen lijnen niet alle recht zijn. De gebogen lijnen voor de meetpunten V_1 en V_2 duiden op een afvoerreductie ten opzichte van meetpunt V_4 bij hoge afvoeren. Een versnelde peilverhoging ten opzichte van V_4 komt echter ook voor, zoals op het meetpunt Y_2 .

Door gebruik te maken van in de loop der tijd gecorrigeerde afvoerkrommen zijn de peilen omgezet in afvoeren. Het hieruit resulterende afvoerdiagram (figuur 30) laat de afvoerverhoudingen zien ten opzichte van het meetpunt V_4 . Ook hier blijkt op een aantal punten een relatieve afvoerreductie op te treden, terwijl op andere meetpunten een versnelde afvoer optreedt. Zo treedt bij een verdubbeling van de afvoer op het meetpunt V_4 bijna een verdrievoudiging op van de afvoer op meetpunt A_5 . In het terrein worden de gebieden met een geringe afvoermeerdering meestal gekenmerkt door het optreden van inundaties.

Van de meetpunten waar alleen incidentele metingen werden verricht, is het niet zonder meer mogelijk van de topafvoeren een fluctuatiediagram op te stellen, omdat het tijdstip van meten vrijwel nooit met dat van de topafvoer overeenkwam. Door vergelijking van de gemeten peilen met die van de registratiestroken van boven-en benedenstroomse punten, kan echter een vrij nauwkeurige schatting van de top-

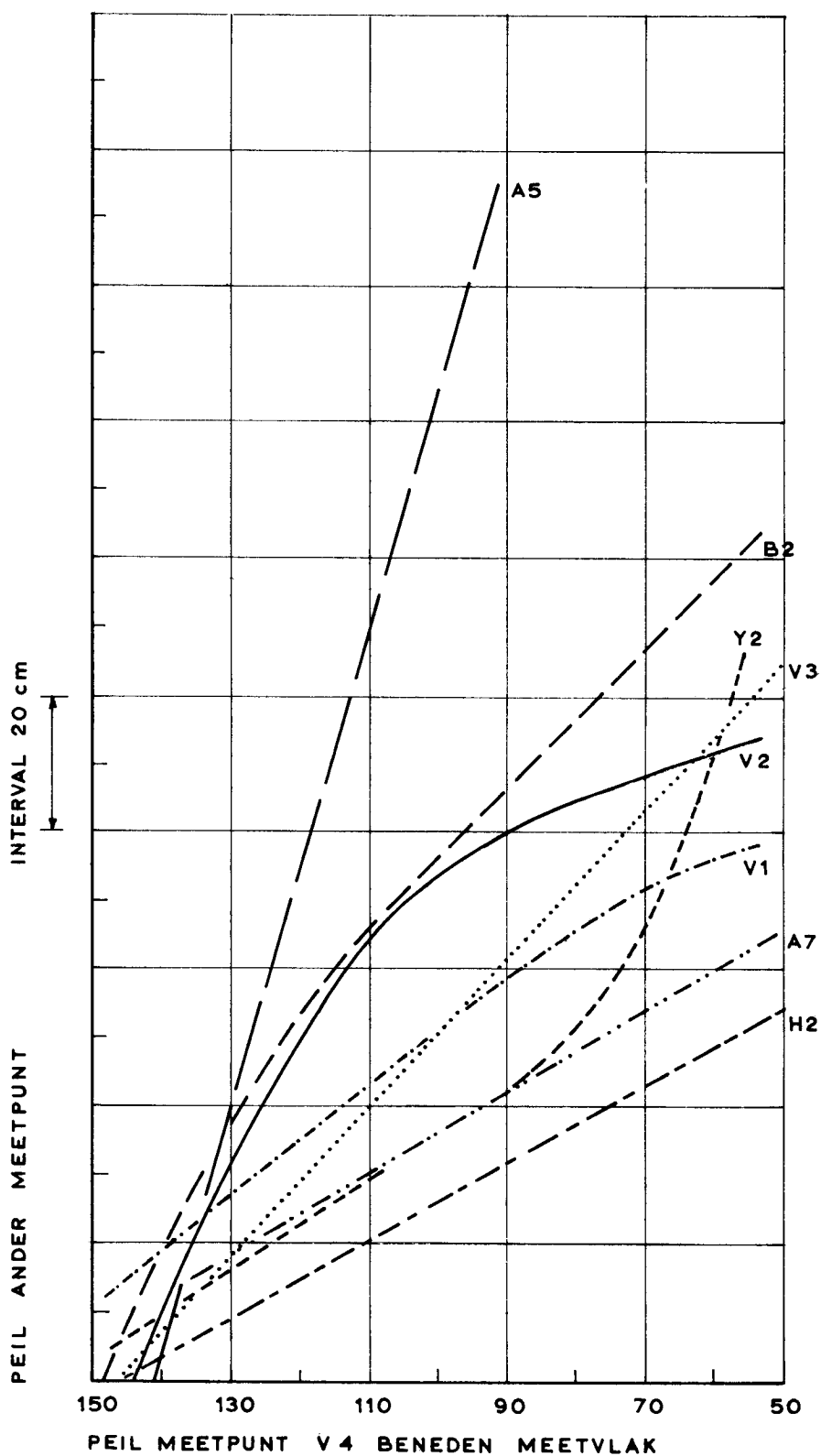


FIG. 29 PEILVERHOUDINGEN TUSSEN DIE VAN MEETPUNT V 4 EN ANDERE MEETPUNTEN.

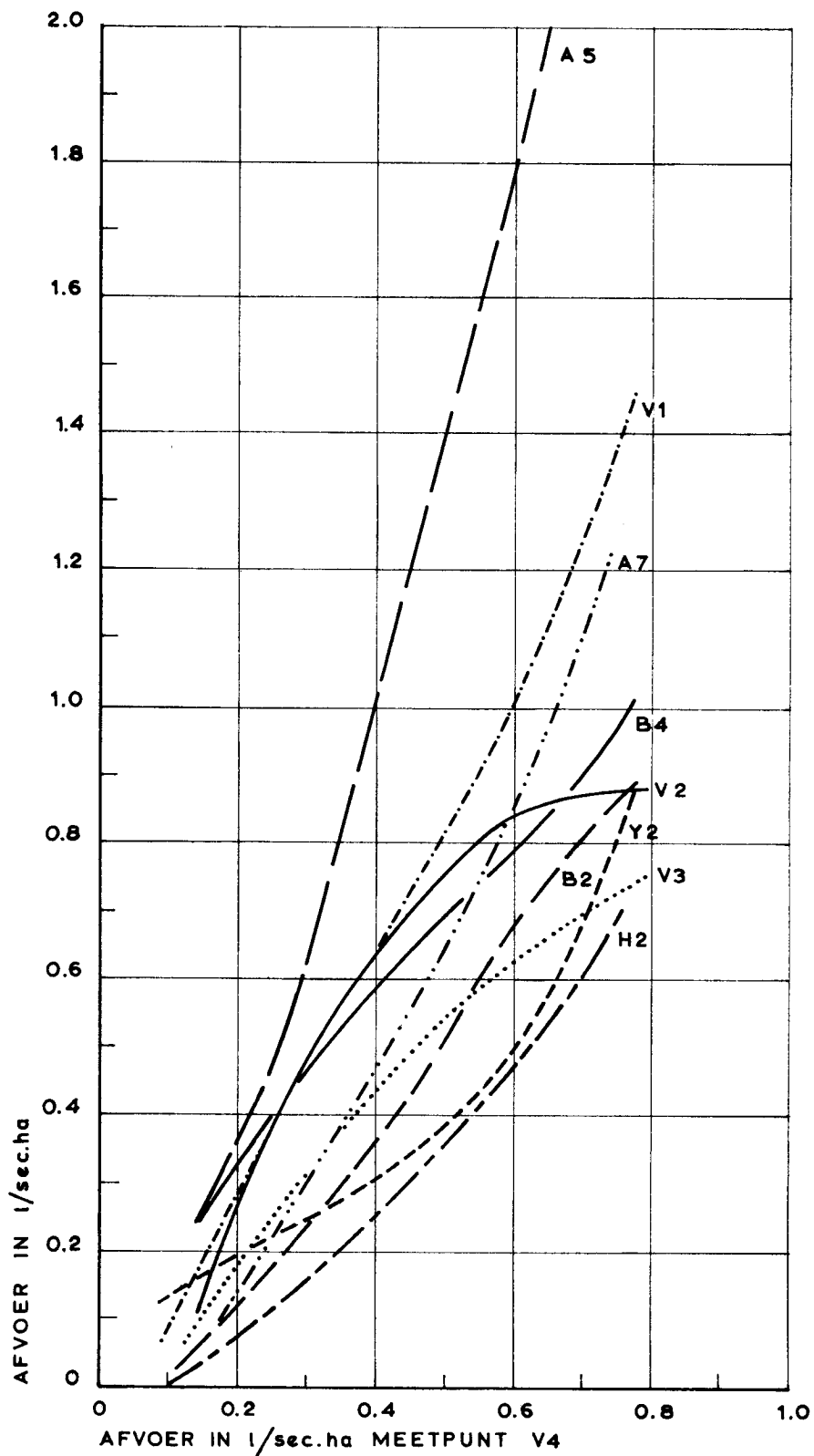


FIG. 30 AFVOERVERHOUDINGEN TUSSEN DIE VAN MEETPUNT V4 EN ANDERE MEETPUNTEN.

afvoeren worden gemaakt.

Op bovenomschreven wijze verkrijgt men een redelijk inzicht in de verhouding van afvoeren op verschillende punten. Wanneer nu van een van de meetpunten afvoermetingen zijn verzameld over een langere periode (10 à 20 jaar), dan kan hiervoor de frequentieverdeling worden vastgesteld waaruit een afvloeingsfactor kan worden bepaald. Met behulp van de afvoerverhoudingsdiagrammen, kunnen dan ook voor de andere meetpunten de frequentieverdelingen en afvloeingsfactoren worden gevonden.

Wanneer in het gebied van een meetpunt waarvan de afvoer over een langere tijd bekend is (referentiepunt), inundatie optreedt dan zullen in de frequentiegrafiek de hogere afvoeren niet meer op de rechte lijn liggen, die door de overige punten getrokken kan worden. Dergelijke afwijkingen van de rechte lijn zullen zich meestal slechts voordoen bij afvoeren welke minder dan éénmaal per jaar optreden. De door extrapolatie van de frequentielijn gevonden afvoeren zullen echter wel optreden, wanneer het afvoer- en ontwateringsstelsel zodanig is ingericht, dat geen inundaties meer kunnen optreden.

Wordt nu op het referentiepunt een verruiming van het profiel aangebracht, zodat geen inundaties meer voorkomen, dan zal bij eenzelfde peil een veel grotere afvoer optreden.

Als men nu met behulp van de afvoerverhoudingsdiagrammen de afvoeren voor de andere meetpunten bepaalt dan komt men voor deze punten op te grote afvoeren. Het is daarom gewenst om in het geval van inundatie op het referentiepunt te werken met de peilverhoudingsdiagrammen in plaats van met de afvoerverhoudingsdiagrammen om de afvloeingsfactoren voor de andere meetpunten vast te stellen.

4.6 Evaluatie van de beschreven methoden

In de voorgaande paragrafen is een aantal methoden beschreven om een ontwerpnorm voor beekverbeteringsplannen vast te stellen.

Deze methoden zijn:

- a de statistische methode, waarbij de ontwerpnorm wordt vastgesteld uit de frequentieverdeling van afvoeren;

- b de methoden van de afvoercharacteristieken en van de reactiefactoren. Uit de analyse van een korte reeks van afvoergegevens worden voor het betreffende gebied enkele kenmerkende parameters vastgesteld. Vervolgens wordt de afvoer uit het verleden gereconstrueerd met behulp van bekende neerslaggegevens;
- c de methode van de regenduurlijn. Hierbij wordt uitgegaan van een gekozen neerslagfrequentie. De ontwerpnorm wordt vervolgens vastgesteld door bij een te stellen kritieke grondwaterstand de neerslag te verdelen over berging en afvoer;
- d de methode van de afvoerverhoudingen. Door het uitvoeren van afvoermetingen op een groot aantal plaatsen in het gebied worden verhoudingscijfers voor de afvoer van de verschillende deelgebieden verkregen.

Voor toepassing van al deze methoden dient men te beschikken over hydrologische gegevens als afvoeren, peilen, grondwaterstanden en neerslagcijfers. Behalve wellicht neerslagcijfers zijn deze gegevens meestal niet aanwezig op het moment dat met het ontwerpen van verbeteringsplannen wordt begonnen. Men zal zich dan af gaan vragen, welke gegevens alsnog moeten en kunnen worden verzameld om een redelijke basis voor een verbeteringsplan te verkrijgen.

Zowel het aantal en de aard van de gegevens als het tijdvak waarover zij beschikbaar zijn, zijn bepalend voor de keus van de toe te passen methode voor de bepaling van de ontwerpnormen en de betrouwbaarheid van het verkregen resultaat.

Wanneer men niet over meetgegevens kan beschikken, kunnen de gedifferentieerde afvoer- en droogleggingsnormen, zoals deze in de provincies Noord-Brabant en Drenthe worden toegepast, dienen als uitgangspunt. Deze normen stemmen redelijk overeen met de thans gangbare praktischeisen voor de in genoemde provincies voorkomende verhoudingen. Ze leiden echter tot minder goede resultaten in sterk hellende gebieden en in gebieden met slecht doorlatende lagen ondiep in het profiel. Ook wanneer het aandeel van de hoge of dat van de lage gronden sterk overweegt, kunnen minder juiste gevolgtrekkingen worden gemaakt.

De statistische methode geeft een goed inzicht in het regime van min of meer natuurlijke waterlopen. Als grondslag voor verbeteringswerken is zij goed bruikbaar als deze werken het regime weinig of niet beïnvloeden. Dit geldt vooral voor hoofdwaterlopen in hellende gebieden, voor hoofdwaterlopen met een relatief klein gebied dat rechtstreeks op deze leidingen afwatert en voor bemalen gebieden. Zij zal ook toegepast kunnen worden voor de vaststelling van dijkhoogten en voor kanalisering van hoofdwaterlopen. Voorts is zij bruikbaar voor de bepaling van de te verwachten minimumafvoer en als basis voor reservoirbeheer. Voor kleinere waterlopen is zij minder geschikt, omdat verbetering doorgaans een te grote ingreep in de hydrologische situatie zal inhouden.

De gegevens waarmee gewerkt wordt, dienen homogeen te zijn. D.w.z. dat in het tijdvak waarop zij betrekking hebben geen noemenswaardige veranderingen in het gebied mogen zijn opgetreden. De betrouwbaarheid van de extrapolatie van de gevonden frequentielijnen naar extreem hoge of extreem lage afvoeren hangt af van de lengte van de waarnemingsreeks. Voor het onderhavige probleem blijkt een periode van 15 jaar voldoende te zijn.

Voorts verdient het aanbeveling zomer- en winterafvoeren apart te verwerken, waarbij de overgangsmaanden april en oktober bij voorkeur buiten beschouwing dienen te worden gelaten.

Frequentieverdelingen worden doorgaans opgesteld voor topafvoeren en voor dagelijkse afvoeren. De eerste dienen bekend te zijn als veiligheidsoverwegingen voorop staan. De laatste kunnen worden toegepast als een zekere droogleggingseis wordt gesteld bij een grotere afvoerfrequentie.

Beschikt men niet over afvoergegevens van een lange reeks van jaren, dan kan getracht worden de frequentieverdeling van de afvoeren van dat gebied te vinden met behulp van een langere reeks gegevens uit een ander gebied. Voor de topafvoeren dient men dan tenminste over gegevens van 3 jaar te beschikken; voor dagelijkse afvoeren kan men volstaan met gegevens van het betrokken gebied over 1 à 2 jaar.

Een tweede mogelijkheid is de afvoer te reconstrueren uit neerslagcijfers. Hiertoe staan de methode van de afvoercharacteristieken

en die van de reactiefactoren ter beschikking. De eerste methode beperkt zich hoofdzakelijk tot de topafvoeren in de winterperiode. Voor de toepassing dient men minstens te beschikken over de afvoeren gedurende een winterperiode. De resultaten kunnen gebruikt worden voor de bepaling van de frequentieverdeling van topafvoeren.

Met de methode van de reactiefactoren kunnen afvoeren over het gehele jaar worden gereconstrueerd. Voor de toepassing dient men dan ook wel te beschikken over afvoercijfers gedurende minstens een geheel jaar en regencijfers over een langere periode. De resultaten van de reconstructie geven een frequentieverdeling van de afvoeren die niet veel af zal wijken van de werkelijk opgetreden verdeling.

De methode van de afvoerverhoudingen kan een nuttige aanvulling geven op de statistische methode, vooral omdat de laatste meestal op slechts één of enkele punten kan worden toegepast. De methode geeft in een relatief korte tijd een goed inzicht in de verschillen in afvoer tussen de meetpunten. Ze vergt de nodige aandacht wat betreft de keuze van de meetpunten en de bepaling van de afvoerkrommen. Voor een goed resultaat verdient het aanbeveling zoveel mogelijk gebruik te maken van registrerende apparatuur. In gebieden waar inundatie optreedt, verdient het werken met frequenties van peilen inplaats van met frequenties van afvoeren de voorkeur, omdat na verbetering van het profiel de afvoer doorgaans aanmerkelijk groter zal worden bij hetzelfde peil.

Beschikt men in het geheel niet over afvoergegevens, dan opent de methode van de regenduurlijnen de mogelijkheid gebruik te maken van grondwaterstandsgegevens en regencijfers die voor vrijwel elk gebied ter beschikking staan bij de Dienst Grondwaterverkenning TNO en het KNMI.

Bij deze methode worden neerslagen, bergings- en doorlatendheidseigenschappen van de grond gekoppeld aan de toekomstige gewenste ontwateringstoestand. De laatste wordt uitgedrukt in een overschrijdingsfrequentie van de grondwaterstand die samenhangt met de slootafstand en de drooglegging bij maatgevende afvoer.

Bergings- en doorlatendheidseigenschappen van de grond kunnen het best worden bepaald uit de analyse van grondwaterstandsgegevens.

Hoewel het in principe mogelijk is, ook oppervlakte-afvoeren in rekening te brengen, kon de methode tot nu toe alleen worden toegepast in gebieden met uitsluitend grondwaterafvoer. De methode houdt geen rekening met de stromingsverschijnselen in de open leidingen.

De vrij ingewikkelde analyses eisen de nodige vakkennis. Als groot voordeel mag genoemd worden dat althans een deel van deze analyses kan worden uitgevoerd met elektronisch rekentuijg.

In het voorgaande is reeds opgemerkt, dat de statistische methode zich alleen leent voor die omstandigheden waar verbeteringsplannen het regime weinig beïnvloeden, terwijl de methode van de regenduurlijnen de toekomstige hydrologische toestand in rekening brengt. Het laatste is ook mogelijk met de reconstructiemethoden. Indien het namelijk lukt de afvoer karakteristieken, respectievelijk de reactiefactoren voor de toekomstige toestand vast te stellen, dan kan de te verwachten afvoer uit neerslaggegevens worden berekend.

Voor de methode van de afvoer karakteristieken, is voor een aantal j -waarden de frequentie van de afvoer berekend, zodat direct een inzicht in de te verwachten afvoer kan worden verkregen, zij het dan dat deze afvoeren aan de lage kant zullen zijn in gebieden waarin de afvoer snel op de neerslag reageert. De reden hiervoor is dat de gegeven frequenties betrekking hebben op dagneerslagcijfers. Met behulp van elektronisch rekentuijg kunnen de afvoerfrequenties echter snel voor kortere perioden worden bepaald mits passende neerslagcijfers aanwezig zijn.

Voor sterk hellende gebieden of gebieden met ondoorlatende lagen op geringe diepte die snel reageren op de regenval, zullen de afvoer karakteristieken weinig veranderen. Voor andere gevallen dient echter op basis van ervaring en schatting de toekomstige j -waarde te worden vastgesteld.

Het laatste geldt in nog sterkere mate voor de methode van de reactiefactoren, omdat hierbij vaak verschillende gebieden worden onderscheiden, elk met hun eigen reactiefactor. Omdat bij deze methode de gehele afvoer en niet alleen de topafvoeren in de beschouwing

wordt betrokken, is de analyse ingewikkelder. Het is dan ook toe te juichen dat de reconstructie thans is geautomatiseerd. Voor de analyse is deze mogelijkheid niet aanwezig. De oorzaak hiervan is de grotere gecompliceerdheid.

Uit het voorgaande blijkt wel, dat voor een betrouwbare uitspraak over de ontwerpaafvoer gegevens aanwezig moeten zijn. Vroegtijdig beginnen met meten is dan ook in alle gevallen gewenst. Dit temeer, omdat de verzamelde gegevens tevens kunnen dienen om de bestaande toestand objectief vast te leggen. Verder kunnen zij gebruikt worden voor de analyse van het hydrologisch gebeuren in het gebied. Het verzamelen van gegevens dient echter weloverwogen en doelbewust te gebeuren. Maar al te vaak worden metingen verricht die later niet meer gebruikt kunnen worden.

5. RICHTING VAN HET AFVOERONDERZOEK IN DE NAASTE TOEKOMST

5.1 Inleiding

Van de 750 mm regen die gemiddeld in Nederland vallen, verdampen er ca. 450 mm en moeten er 300 mm door het ontwateringssysteem worden afgevoerd. Het afvoeronderzoek wordt tot nu toe dan ook beheerst door de gedachte van het kwijtraken van het materiaal water, dat in overmaat aanwezig is en dus geen waarde heeft.

Het valt te verwachten, dat in komende decennia het huishoudelijke en het industriële watergebruik zo zal toenemen, dat water niet langer waardeloos zal zijn. Een grotere onttrekking van grondwater dan tot nu toe het geval is zal een verlaging van de grondwaterstand en een daarmee gepaard gaande vermindering van de capillaire opstijging tot gevolg hebben.

In het westen van het land is door verzilting en vervuiling het water reeds lange tijd schaars en moet men water aanvoeren, in bergboezems opslaan en in duingebieden tot infiltratie brengen. Men mag aannemen dat de grens tussen het westen met watergebrek en het oosten met een overmaat aan water geleidelijk naar het oosten zal verschuiven, zodat zich over 15 tot 20 jaar in het gehele land waterconserveringsproblemen voor zullen doen.

Men zal zich dan ook niet meer hoofdzakelijk moeten richten op het met zo weinig mogelijk kosten afvoeren van het water, maar zijn aandacht moeten verplaatsen naar conservering en kwaliteitsbeheersing. Niet de afvloeiingsfactor zal dan van primair belang zijn, maar het retentievermogen van het gebied.

Wat thans in beekverbeteringen wordt geïnvesteerd zal nog niet zijn afgeschreven op het moment dat het doel van de verbetering niet meer primair de afvoer betreft maar de waterconservering. Men zal er dan ook op toe moeten zien, dat de werken die men thans maakt, in de toekomst door nieuwe werken niet waardeloos zullen worden. Door de verandering van doelstelling zal het verkrijgen van een goed inzicht in het probleem van waterbehoud noodzakelijk zijn,

wil men tijdig richtlijnen voor de nieuwe werken op kunnen stellen en een economisch gerechtvaardigde keuze uit de mogelijkheden kunnen maken.

5.2 Het formuleren van de doelstelling

Het afvoeronderzoek zal nadrukkelijk als onderdeel van een gecompliceerder geheel moeten worden opgevat. Het gehele probleem van de waterconservering zal zo spoedig mogelijk geformuleerd moeten worden, opdat men in de komende jaren rekening zal kunnen houden met het meest doelmatig toepassen van de steeds schaarser wordende hulpbron water.

Wateroverlast en -tekort hebben beide economische en sociale gevolgen. De eerste zijn in een geldswaarde uit te drukken, de laatste doorgaans niet.

Het nadelig economische effect van wateroverlast voor de landbouw komt tot uiting in de opbrengst, de ontregeling van de bedrijfsvoering, het verval van de bodemstructuur en de uitspoeling van voedingszouten. De schade, die verkeer en bewoning van wateroverlast hebben, zijn al moeilijker in een bepaalde geldswaarde aan te geven.

De gevolgen van wateroverlast voor de aantrekkelijkheid van het landschap, zowel uit recreatief als uit biologisch oogpunt zijn niet of zeer moeilijk in geld uit te drukken, maar het laat zich aanzien dat zij bij toenemende welvaart een steeds belangrijker betekenis krijgen.

Bij een watertekort ontstaan er eveneens nadelen voor de landbouw. Deze nadelen zullen nog groter worden als ook onttrekking van grondwater voor drinkwaterdoeleinden plaats moet hebben. De optredende schade is dan alleen te beperken als voor de drinkwatervoorziening tot kostbaardere winningsmethoden wordt overgegaan, zoals het toepassen van spaarbekkens, het tot infiltratie brengen van water van elders, het reinigen van rivierwater, recirculatie van afvalwater, ontzouting, distillatie enz.

Om de gevolgen van een eventueel watertekort te voorkomen kan

men ook waterconservering toepassen. Het zal dan van belang zijn om zo groot mogelijke retentiebekkens aan te leggen en deze te combineren met de reguleringsmaatregelen in de beken. Het hydrologisch onderzoek dat hiervoor nodig is zal zich niet tot de afvoer kunnen beperken. Naast de problemen die zich voordoen bij de beekverbetering in de huidige betekenis van het woord zal men zich bezig moeten houden met het geven van de juiste plaats van bergboezems, drinkwaterwinningsmiddelen, afvalwaterzuiveringsinstallaties en recreatieve voorzieningen in het ontwerp. Het ontwerp zal zodanig moeten zijn dat bij uitvoering de aantrekkelijkheid van het landschap niet achteruitgaat.

Het onderzoek zal door de onderzoekers en de ontwerpers samen moeten worden uitgevoerd. Een deel van de vragen zal uit de praktijk moeten komen, een ander deel uit het onderzoek. De praktijk zal de formulering van de doelstelling op zich moeten nemen. Het opstellen van rekenmodellen en het ontwikkelen van toetsingsmethoden hiervoor zal tot de taak van de onderzoekers behoren.

5.3 Het opstellen van een mathematisch model

Dat men de gecompliceerde relaties die zich in de toekomst voor zullen doen in waterhuishoudingsprojecten met mathematische modellen zal moeten aanvatten, lijkt zonder meer vast te staan. Noch de complicaties die moeten worden opgelost, noch de vele uren die zonder mathematische hulpmiddelen zouden moeten worden besteed aan het ontwerp, lijken een andere werkwijze toe te laten.

Het ontwerpen van een plan zal uit drie gedeelten bestaan. Allereerst komt het samenstellen van het model. Daarna zal men het model aan de werkelijkheid moeten toetsen. Tenslotte zal men met het model bepaalde ontwerpen doorrekenen, een werktechniek die de naam simulatie heeft gekregen. Met deze simulatietechniek kan men nagaan welk ontwerp economisch het meest aantrekkelijk zal zijn.

5.4 Het economisch onderzoek

Het waterhuishoudkundig onderzoek wordt vaak zoveel mogelijk op een fysische basis opgebouwd, terwijl de economische aspecten weinig

aandacht krijgen. Toch is het zinvol om zich af te vragen of bij beekverbetering een grotere afvoercapaciteit moet worden nagestreefd. Van belang is of de beek zal worden opgestuwd in droge tijden, en welk stuwbeheer tot de optimale oplossing leidt. Daarnaast zal het van belang zijn te kunnen voorspellen wat de invloed van het opstuwen van de beek op de afvoer en op de grondwaterstand is.

Het economisch onderzoek kan door zijn begrip voor baten en kosten reeds sterk in de richting van volledigheid werken, maar de toepassing op een waterhuishoudkundig project is vaak niet zonder meer mogelijk. Zo heeft drinkwater wel een prijs maar geen duidelijke marktwaarde. Drinkwaterwinning uit grondwater is het minst kostbaar en in hygiënisch opzicht het meest betrouwbaar. Wordt drinkwater aan een andere bron onttrokken dan wordt vaak alleen het kostenverschil bekeken en worden mogelijke baten niet in rekening gebracht.

Een ander economisch aspect is het optreden van tegengestelde belangen. Een bergboezem die ontworpen is om afvoertoppen op te vangen, werkt het beste bij een zo klein mogelijke watervoorraad. Zou men de watervoorraad in dit reservoir ook als drinkwater willen gebruiken, dan zal men het daarentegen zo vol mogelijk wensen. Het probleem wordt dan een optimaal evenwicht tussen de beide belangen te vinden. Ook hier zal het ontwerpen van een model een eerste stap naar een praktisch hanteerbare oplossing moeten zijn.

Bij de economische beoordeling van een ontwerp, hangt behalve van de hoogte van de kosten en baten, veel af van de nauwkeurigheid waarmee deze kunnen worden bepaald. De invloed van de nauwkeurigheid kan zo groot zijn, dat een ontwerp dat op grond van marginale kosten en baten wel zou kunnen worden uitgevoerd, op grond van de te geringe nauwkeurigheid in de vaststelling hiervan moet worden afgewezen. Een mathematisch model is daarom waardevol, omdat daaraan een inzicht in de nauwkeurigheid kan worden ontleend.

Uit het voorgaande moge volgen dat hoewel het soms de hydrologische factoren zijn die de vorm van het ontwerp bepalen, dit

onder andere omstandigheden de economische of rekentechnische aspecten kunnen zijn. Omdat vooraf niet te voorspellen valt welk aspect de doorslag zal geven, dienen alle facetten aandacht te krijgen. Men heeft hiermee een geheel ander argument voor de noodzaak van toepassing van een vollediger rekenmodel dan het gebruikelijke gekregen.

5.5 Samenvatting

Overziet men het onderzoek naar de afvloeiingsfactoren in zijn geheel, dan zal het in de toekomst een ander karakter aannemen. Men mag veronderstellen, dat het bepalen van enkele parameters, zoals de afvloeiingsfactor er een is, onvoldoende zal zijn. Men zal een rekensysteem moeten ontwerpen dat het verband legt tussen de afvoer, de grondwaterstand, de regenval, de verdamping en het bergend vermogen van het gebied, zodat de afvoer beschreven kan worden als het resultaat van een volledige waterbalans.

Het valt te verwachten, dat in gebieden met grondwater van goede kwaliteit de drinkwaterwinning van meer belang zal worden dan de landbouwwaterhuishouding, die overigens op de meeste plaatsen in ons land vrij goed is geregeld.

De gecompliceerde probleemstelling zal het gebruik van rekenmodellen vereisen, welke modellen door vereffening aangepast dienen te worden aan de lokale situatie. Het via modellen oplossen van het economisch optimale ontwerp zal in de komende jaren de nodige aandacht vragen. Van belang zal daarbij vooral zijn, dat de opstellers van het rekenmodel voldoende van vereffeningstechnieken en economie op de hoogte zijn om over het geheel van de opzet een oordeel te kunnen geven. De gedachte, dat men voor elk onderdeel een specialist dient aan te trekken, miskent het meest nijpende vraagstuk en wel de moeilijkheid van het samenstellen van alle onderdelen tot een samenhangend geheel. Niet de specialist is de man die deze problemen op zal kunnen lossen, maar de generalist die in staat is alle praktische en wetenschappelijke facetten te overzien. Het zal van het grootste belang zijn, mensen met deze breedte van kennis - een kennis die mogelijk minder diep is dan die van de specialist - op de leiden.

6. DE ONDERWERPEN VAN ONDERZOEK MET DE GROOTSTE URGENTIE

De doelstelling van het afvoeronderzoek is op het ogenblik aan het veranderen. Was tot voor kort de bepaling van de afvloeiingsfactor voldoende, thans krijgen allerlei andere facetten steeds meer betekenis. Het onderzoek zal zich dan ook op een meervoudige doelstelling moeten richten. Door de opgedane ervaring met het opstellen van rekenmodellen en het oplossen daarvan met de computer is een mogelijkheid voor het oplossen van deze meervoudige problemen ontstaan. Het is van belang dat de Werkgroep kan beschikken over de middelen tot het uitvoeren van een dergelijk onderzoek naar alle gevolgen van wijzigingen in een gebied op de afvoerverhoudingen. Dit geldt zowel voor een nadere analyse van de oorzaak van langdurige lage of kortdurende hoge afvoeren als voor het vaststellen van de technische en economische gevolgen daarvan. Omdat in het model elke parameter veranderd kan worden, kan men in een dergelijke berekening de parameters van voor en van na de verbetering invullen en zo het resultaat van de ingreep leren kennen.

Een zeer gewenste uitbreiding van de bestaande kennis ligt op het punt van het economische onderzoek. Voor de landbouwschade, zowel ten aanzien van de opbrengsten als ten aanzien van de bedrijfsvoering, is reeds verkennend werk gedaan. Ten aanzien van de begaanbaarheid en de toegankelijkheid van het land onder natte omstandigheden moet nog het nodige worden gedaan.

Verder zal de invloed van zware regens en grote afvoeren op afvalwaterzuivering moeten worden onderzocht. De ongewenste afvoer van onvoldoende gezuiverd rioolwater bij zware regens wordt steeds sterker als een bezwaar gevoeld en door de te verwachten toename van het aantal zuiveringsinstallaties voor afvalwater zal de aandacht meer gericht moeten worden op de relatie tussen afvoer en vervuiling van de beek.

De waterhuishouding zal voor alle aspecten van de samenleving steeds belangrijker worden. Reeds thans is van belang dat de problemen van de waterhuishouding zoals die over 20 à 30 jaar hier te lande zullen liggen nader worden gekwantificeerd.

Deze problemen zouden eerst in een beschrijvend, maar daarna zo snel mogelijk in een mathematisch model dienen te worden vastgelegd. Men krijgt dan meer inzicht in het type van de vraagstukken, die zullen moeten worden opgelost. Meestal zal het probleem bestaan uit het omvormen van een reeds goed beheerst onderwerp tot een onderdeel van een rekenmodel voor een meervoudig probleem.

Opgemerkt mag worden, dat de landbouwwaterhuishouding in Nederland wel zo goed wordt beheerst, dat van verbetering geen groot voordeel is te verwachten. Men zal steeds meer gevallen ontmoeten waar een of andere ingreep sub-optimale toestanden in de landbouwwaterhuishouding teweegbrengt en waar men de mate van schade wil kennen. Wat men thans ten behoeve van de landbouw zou moeten onderzoeken is allereerst de relatie tussen het beekpeil en het grondwaterpeil. Over dit verband is duidelijk te weinig bekend. Het onderzoek zal een antwoord moeten geven op de vraag wat men van een verbeterde afvoer door of een opstuwung in de hoofdbeek mag verwachten voor de grondwaterpeilbeheersing. Van belang is vooral hoe het peil van de hoofdbeek doordringt in de verste vertakkingen van het niet onder schouw vallend stelsel van perceelsloten. Het scheppen van grotere afvoermogelijkheden heeft alleen zin, wanneer de gemiddelde grondgebruiker de afvoer uit eigen grond voldoende verzorgt.

Verder is in dit opzicht de aanvoer van water door de regen van belang. Een inzicht zal gewenst zijn in de configuratie van de regens, onderscheiden naar de typen van frontale regens en onweersbuien. Heftige regens bestrijken veelal maar een klein areaal. Dit heeft tot gevolg dat aan kleine gebieden een hogere afvloeiingsfactor toegekend moet worden dan aan grote gebieden die niet in hun geheel door dergelijke regens worden overdekt.

Bij de verdere ontwikkeling in de waterhuishouding zal de waterconservering een steeds belangrijker rol gaan spelen. Hierbij beïnvloeden problemen van landbouw, drinkwatervoorziening en afvalwaterlozing elkaar. Naarmate meer eisen aan de zuivering van afvalwater worden gesteld, zal men meer en grotere bergboezems moeten hebben.

In directe samenhang met de conservering moet men de mogelijkheid van aanvoeren van oppervlaktewater naar een gebied bezien. Onderzocht zal moeten worden, of een dergelijke gebiedsinfiltratie economisch verantwoord is, waarbij de wateraanvoer tegelijk zal dienen te worden beoordeeld naar zijn waarde voor de landbouwwaterbeheersing en naar zijn waarde voor de waterwinning.

Reeds thans zal moeten worden overwogen of in een gebied stuwen en aanvoersloten zo kunnen worden ontworpen dat de opmaling in het gebied met niet te veel moeite achteraf te realiseren valt. Men zal deze werkwijze moeten beschouwen als een optimalisering van het gebruik van het beschikbare water. Het is vooral de combinatie van beekverbetering met drinkwatervoorziening die een tot dusverre niet overwogen mogelijkheid vormt tot het maken van werk met werk, wat economisch gunstig is.

Het zal allereerst van belang zijn de beekafvoer te combineren met de onttrekking van grondwater ten behoeve van de drinkwaterwinning en deze beide aspecten in de waterbalans te combineren, dus met de regen, de verdamping, de grondwaterstroming en de berging. Genoemd werd reeds de behoefte aan een berekeningsmodel dat de invloed van het beekpeil op het grondwaterpeil vastlegt. In de grondwaterstroming die samen met de beekafvoer de waterbalans sluitend maakt, vindt men een belangrijke aanwijzing omtrent het samenspel tussen beekafvoer en winbaar water. De betekenis van bergboezems voor de afvoerregulering en de waterwinning werd reeds als urgent onderwerp van nadere studie genoemd.

Tenslotte is het van belang na te gaan of men door een andere tracerings van de beek het water naar plaatsen kan laten vloeien waar in het terrein een zekere bergingsmogelijkheid aanwezig is om zodoende een vertraging van de afstroming te bereiken. Onderzocht zal moeten worden of in de voorzomer wellicht zoveel water in de landbouwgronden kan worden geborgen dat men in de nazomer water kan onttrekken zonder schade aan de landbouw te veroorzaken. Hiervoor zullen de kans op heftige zomerregens en de minimale eisen die de gewassen stellen ten aanzien van de grondwaterstand nauwkeurig tegen elkaar afgewogen moeten worden. De mogelijke baten voor de waterwinning zullen moeten worden verminderd met de eventuele verliezen aan landbouwopbrengst.

Van belang zal zijn in gezamenlijk overleg een overzicht van de meest urgente problemen op te stellen die met de huidige kennis oplosbaar zijn. Daarbij zal het model voor de waterconservering voorop moeten staan. In dit model zullen dan alle deelproblemen moeten passen. Van belang is dat men inzielt, dat het gebruikelijke, alleen op afvoer gerichte onderzoek in een snel tempo begint te verouderen, en dat men zich op een samenvattend onderzoek, dat het gehele afvoerprobleem behelst, zal moeten richten. Alleen op deze wijze zal men een inzicht kunnen krijgen in de mogelijkheden van combinatie van afvoerverbetering en waterwinning die men in de komende decennia in de plannen vertegenwoordigd zal willen zien. Dit onderzoek zal thans moeten worden gestart om op het moment dat het probleem urgent is een oplossing te hebben.

LITERATUUR

- Amorocho, J. and Hart, W.E. 1964 A critique of current methods in hydro-logic systems investigations. Transactions of the American Geophysical Union 45: 307-321.
- Bloemen, G.W. 1966 The calculation of evapotranspiration from groundwater depth observations. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO. Verslagen en mededelingen nr. 12 's-Gravenhage.
- 1968 Determination of constant rate deep recharge or discharge from groundwater level data. Journal of Hydrology. Vol. 6 no. 1.
- 1969 A rainfall and evaporation recorder with high accuracy. Nota Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding nr. 495.
- 1970 Een berekening van maatgevende afvoeren, onafhankelijk van gemeten afvoeren. Nota Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding nr. 570.
- 1970 Berging, afvoer en verdamping in de Gelderse Achterhoek volgens grondwaterstandsanalyse. Rapport Hydrologisch onderzoek in het Leerink-beekgebied van de commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden. Deelrapport 9.
- Blok, T. en Colenbrander H.J. 1970 Afvoermetingen in kleine stroomgebieden; Rapport Hydrologisch onderzoek in het Leerink-beekgebied van de commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden. Deelrapport 6.
- Boer, J.H. de 1968 Buien boven het Deltagebied, deel I en II. Meteorologische Dienst van de Koninklijke Luchtmacht.

- | | | |
|--|-------|--|
| Bon, J. | 1965 | Enkele hulpmiddelen voor de debietmeting bij stuwen.
Cultuurtechnisch Tijdschrift 5, 2. |
| - | 1967 | De bepaling van de k_M voor het ontwerpen van leidingen. Waterschapsbelangen 52, 21. |
| Colenbrander, H.J. | 1967a | De invloed van de begroeiing op de afvoer-capaciteit van de beek.
Cultuurtechnisch Tijdschrift 6, 5. |
| - | 1967b | Wasserstandsregistrierung auf Lochstreifen und deren automatische Verarbeitung.
Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen Sonderheft. |
| - | 1970 | Waarneming en bewerking van grondwaterstand- en bodemvochtgegevens;
Rapport Hydrologisch onderzoek in het Leerink-beekgebied van de commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouw-gronden. Deelrapport 8. |
| Colenbrander, H.J.
en
Verstraate, J.M.I. | 1966 | Een registrerende grondregenmeter, waarvan de gegevens automatisch kunnen worden verwerkt.
Cultuurtechnisch Tijdschrift 6, 3: 83-93. |
| - | 1967 | Zomerimpressie. Het grillige gedrag van een zomerse regenbui.
Tijdschrift Koninklijke Nederlandse Heide-maatschappij 87, 3: 95-114. |
| Colenbrander, H.J.
en Stol, Ph.Th. | 1970 | Neerslag en neerslagverdeling naar plaats en tijd.
Rapport Hydrologisch onderzoek in het Leerink-beekgebied van de commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouw-gronden. Deelrapport 5. |
| Flach, A.J. | 1968 | Invloed van de begroeiing op de stromingsweer-stand in open waterlopen.
Cultuurtechnisch Tijdschrift 7, 5. |
| | 1962 | Handbook 224. Field Manual for research in Agri-cultural Hydrology. |

- Hooghoudt, S.B. 1940 Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond nr. 7. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 46: 515-707.
- 1968 Measurement of liquid flow in open channels by notches, weirs and flumes (Iso/TC 113/WG 2), van de International Organization for Standardization.
- 1969 Collection of data for determination of errors in measurement of liquid flow by velocity area methods. Recommendation R 1088 van de International Organization for Standardization.
- Jager, A.W. de 1965 Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 658
- Kraijenhoff van de 1958 A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoircoefficient. De Ingenieur 70 B 87-94.
- Leur D.A.
- Makkink, G.F. en 1967 De potentiële verdamping van kort gras en water. Mededelingen van het Instituut voor Biologisch en Scheikundig Onderzoek van Landbouwgewassen nr. 348.
- Heemst, H.D.J. van
- Minderhoud, P. 1969 Verzamelen en verwerken van waterstand- en neerslaggegevens. Dienst Waterhuishouding Rijkswaterstaat.
- Pitlo, R.H. 1965 Modelonderzoek van enkele meetschotten en H-flumes. Cultuurtechniek 4.
- 1970 Experimental and Representative Basins guide van de Working Group on experimental and representative basins. UNESCO. International Hydrological Decade.

- Rijtema, P.E. 1969 The calculation of non-parallelism of gamma-excess tubes, using soil sampling data.
Technisch Bulletin Instituut voor Cultuur-techniek en Waterhuishouding nr. 67.
- Rodda, J.C. 1967 The systematic error in rainfall measurement. Institute of Water Engineers. 21, 2: 173-177.
- Sieben, W.H. 1965 Het verband tussen ontwatering en opbrengst bij de jonge zavelgronden in de Noordoostpolder. Van zee tot land nr. 46. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Zwolle.
- Stol, Ph.Th. 1967 Dagelijkse neerslaghoeveelheden in de Gelderse Achterhoek in verband gebracht met de onderlinge afstand van de plaats van meting.
Nota Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding nr. 426.
- 1965 Guide to hydrometeorological practices.
World Meteorological Organization no.168 - TP 82.
- Zeeuw, J.W. de 1963 Over de werkelijkheidsbenadering van gemeten neerslagen.
Landbouwkundig Tijdschrift 75, 14: 815-832.
- 1966 Analyse van het afvoerverloop van gebieden met hoofdzakelijk grondwaterafvoer.
Mededelingen Landbouwhogeschool 66 - 5 en Proefschrift, Wageningen.

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**