

NN31545.0570

NOTA 570^{II}

7 augustus 1970

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

EEN BEREKENING VAN MAATGEVENDE AFVOEREN,
ONAFHANKELIJK VAN GEMETEN AFVOEREN

G.W. Bloemen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-
delen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking.

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0672 7669

11 FEB. 1998

170832

I N H O U D

	Blz.
1. Inleiding	1
2. De afgeleiden van regenduurlijnen	2
3. De constructie van de afgeleiden van een regenduurlijn	4
4. Het principe van een rekenmodel	5
5. Een rekenmodel voor samengestelde afstroming	8
6. Grote verscheidenheid in afgeleiden van regenduurlijnen	10
7. Bepaling van de parameters in vergelijking (9)	11
8. De constructie van regenduurlijnen	13
9. Onafhankelijke berekening van draandiepte en maatgevende afvoer in gedraineerde gebieden	14
10. Berekening van de maatgevende afvoer voor een middelhoog zandgebied	17
11. Enige aanvullende opmerkingen en conclusies	20
LITERATUUR	21

1. I n l e i d i n g

Men kan zich afvragen of het meten van afvoeren in een niet verbeterd gebied een aanvaardbare basis vormt voor het vaststellen van de afvoernormen, die bij verbetering van de ontwatering moeten worden toegepast, zonder gebruik te maken van andere, van gegeven afvoeren onafhankelijke methoden. De gemeten afvoeren zullen immers sterk zijn gebonden aan de bestaande ontwateringstoestand en het feit alleen al dat de behoefte aan verbetering hiervan bestaat wijst erop dat de afvoeren, als gevolg van de verbetering, zullen kunnen veranderen. Ook gemeten grondwaterstanden behoeven niet bepalend te zijn voor de grootte van de maatgevende afvoer. Ze geven alleen de behoefte aan verbetering van de ontwatering aan.

Onafhankelijk van bestaande afvoeren of ontwateringstostanden kunnen afvoernormen worden berekend als de eisen van gewas en bedrijf - beschreven door een hoogst toelaatbare grondwaterstand en de frequentie waarmee deze mag worden overschreden - bekend verondersteld worden. De hoogte en de frequentie van de grondwaterstanden hangt namelijk af van de bergings- en doorlatendheidseigenschappen van de grond, van de hydrologische ontsluiting van het gebied, die men verwezenlijkt en van de plaatselijke intensiteit van neerslag en verdamping. In bijzondere gevallen kan kwel en dergelijke nog van invloed zijn. Dit principe is al eerder aangegeven (DE ZEEUW, 1954).

Hier wordt een rekenmodel besproken, dat de hiervoor genoemde factoren betreft in een bepaling van de samenhang tussen de in een gebied beschikbare berging en de noodzakelijke afvoer. De berekening blijft beperkt tot situaties waarin hoofdzakelijk grondwaterafvoer optreedt en kan dus niet worden toegepast in gebieden waar zich oppervlakteafvoer voordoet, die niet het gevolg is van inundatie door stijging van het grondwater tot aan het maaiveld.

Bij de berekening is als kleinste tijdseenheid één etmaal genomen en de maatgevende afvoer is in millimeters per etmaal berekend. Gedu-

rende kortere tijdsinvallen zullen afvoertoppen van grotere intensiteit met daarbij behorende slootpeilen kunnen optreden.

2. De afgeleiden van regenduurlijnen

Als oppervlakte-afvoer van geen betekenis is, dan is de afvoer alleen afhankelijk van afstroming van grondwater. Deze stroming kan alleen tot stand komen door stijghoogte-verschillen. Dit houdt in dat in deze situatie de afvoerintensiteit in de ontwateringsmiddelen sterk samenhangt met de uitstromingsintensiteit en dat tussen maatgevende afvoer en het peil in de leidingen een veel directer verband moet bestaan dan wanneer een belangrijk deel van de afvoer onafhankelijk van de grondwaterstroming tot stand komt. Het peil van de leidingen moet bij hoofdzakelijk grondwaterafvoer immers ruimte laten voor voldoende drukverval in de grond omdat anders de uitstroming geremd wordt en de vereiste ontwatering niet tot stand kan komen. De maatgevende afvoer en de drooglegging kunnen bij hoofdzakelijk grondwaterafvoer dan ook niet onafhankelijk van elkaar worden vastgesteld, omdat zij door hydrologische ontsluiting en doorlatendheidsconstanten aan elkaar gebonden zijn.

Hoe in principe bij een aanvaardbaar geachte overschrijdingskans van een hoogst toelaatbare grondwaterstand -hierna ook kritieke grondwaterstand genoemd- de maatgevende afvoer en de daarbij behorende drooglegging moet worden gevonden volgt uit de overweging dat zonder oppervlakte-afvoer de kritieke grondwaterstand zal worden overschreden wanneer in een bepaalde periode meer regen valt dan in de grond geborgen en/of afgevoerd wordt. De kans op overschrijding van een kritieke grondwaterdiepte is dan dus in beginsel niets anders dan de kans op overschrijding van een neerslagsom, die kritieke neerslagsom genoemd zal worden. Hoe groot deze is volgt uit kansverdelingen van de neerslaghoeveelheden nadat is beslist met welke frequentie de overschrijding van de kritieke grondwaterdiepte toelaatbaar is. Uit deze kansverdelingen kunnen lijnen worden geconstrueerd, die de samenhang weergeven tussen het aantal dagen, aangeduid als k , en de grootte van de k -daagse neerslagsom N_k , die met toelaatbare

frequentie wordt bereikt of overschreden. In fig. 1 is een dergelijke lijn weergegeven. Men noemt dit type lijnen wel regenduurlijnen.

De tangens van de rechte lijn, die aan de kromme in fig. 1 raakt geeft aan hoe groot de gemiddelde grondwaterafvoer moet zijn in een periode, waarvan de lengte door de abscis van het raakpunt wordt aangegeven. Het snijpunt van deze raaklijn met de ordinaat geeft de bij deze afvoerintensiteit behorende bergingscapaciteit aan.

De inzet in fig. 1 toont van welk type de samenhang tussen de bergingscapaciteit R en de gemiddelde dagafvoer \bar{q} moet zijn. Als gevolg van de degressieve toename van de kritieke neerslagcom neemt volgens fig. 1 bij een toenemende bergingscapaciteit het af te voeren gedeelte van de neerslag af in verhouding tot het aantal dagen waarin dit moet gebeuren. Bij behorende ontwatering zal dus bij afnemende bergingscapaciteit de gemiddelde dagafvoer moeten toenemen. Ieder punt op krommen zoals die in de inzet in fig. 1 heeft dus als coördinaten een combinatie van bergingscapaciteit en afvoerintensiteit.

Voor gegeven stromingsconstanten verhouden de gemiddelde en maatgevende grondwaterafvoeren zich als de bijbehorende stijghoogteverschillen. Ze zijn uiteraard gecorreleerd en de samenhang tussen bergingscapaciteit en maatgevende afvoer zal dan worden weergegeven door een lijn die evenwijdig loopt aan de lijn die de samenhang tussen bergingscapaciteit en gemiddelde afvoer weergeeft. Wanneer hoofdzakelijk grondwaterafvoer optreedt dan zijn grondwater- en open waterpeilen gecorreleerd en tussen bergingscapaciteit en open waterpeilen bestaat dan verband. In par. 4. zal blijken dat bij gegeven waarden van enige constanten, die de ontwateringstoestand aan het begin van de k -daagse periode en de bergingseigenschappen van de grond beschrijven, de drooglegging een functie is van de bergingscapaciteit. Daarom zal uit gegeven regenduurlijnen en voor de gegeven hydrologische voorwaarden een samenhang tussen drooglegging en maatgevende afvoer afgeleid kunnen worden die ook van het type in de inzet in fig. 1 is. Deze krommen zullen de afgeleiden van de regenduurlijnen worden genoemd. De afgeleide geeft aan hoe door een toenemende ontwateringssnelheid een kleinere drooglegging met een grotere maatgevende afvoer behoort samen te gaan.

3. De constructie van de afgeleiden van een regenduurlijn

Met fig. 2 wordt verduidelijkt dat wanneer met een vaste waarde voor de gemiddelde dagafvoer uit opklimmende k -daagse neerslagsommen op een regenduurlijn het intercept op de ordinaat wordt bepaald, de hoogste waarde van dit intercept behoort bij een raaklijn aan die regenduurlijn. Op deze wijze kunnen de coëfficiënten van raaklijnen aan die regenduurlijn in punten die opklimmende neerslagsommen voorstellen worden gevonden. Een aantal punten op krommen zoals in fig. 1 kunnen nu worden gevonden door voor een aantal opklimmende neerslagsommen op een gegeven regenduurlijn vast te stellen bij welke k -waarde en dagafvoer het hoogste Y -intercept wordt gevonden. Het nadeel hierbij is dat dit zou moeten gebeuren voor een aantal neerslagsommen met de kleinst mogelijke k -intervallen. Er kan grafisch echter een vereenvoudiging worden toegepast. Als voor een beperkt aantal punten op een regenduurlijn het bij een gegeven gemiddelde dagafvoer behorende Y -intercept, dat de berging voorstelt, wordt bepaald dan kan de grootte van het intercept worden uitgezet tegen k en het bij de raaklijn behorende intercept kan op een vloeiende kromme door deze punten als de hoogste waarde worden afgelezen. In fig. 3 wordt dit geïllustreerd met cijfers, gemeten in fig. 2.

Een eenvoudiger constructie is echter die waarbij eveneens voor een beperkt aantal neerslagsommen met verschillende waarden voor de gemiddelde dagafvoer het Y -intercept wordt bepaald. Volgens fig. 4, die dit principe aangeeft is er nu ook maar één combinatie die een raaklijn aan de regenduurlijn beschrijft. Wanneer de verschillende dagafvoeren en bijbehorende Y -intercepten voor één k -daagse neerslagsom tegen elkaar worden uitgezet dan liggen ze op een rechte lijn. Hierop is maar één punt waarvan de coördinaten gelijk zijn aan de coëfficiënten van een raaklijn aan de regenduurlijn in het punt dat de k -daagse neerslagsom voorstelt. Aan weerszijden van dit punt worden ongeschikte combinaties aangegeven die de coëfficiënten zijn van raaklijnen aan regenduurlijnen met een lager niveau dan gegeven is.

In fig. 5 zijn voor enige neerslagsommen op een regenduurlijn met toenemende k -waarden deze lijnen getekend. Hier blijkt uit dat wanneer de lijnen met voor de kleinst mogelijke tijdseenheid opklimmende

Na oplossing van S_{h2} uit vergelijking (9) kan de maatgevende afvoer door de sloot worden berekend als

$$q_{m2} = b_2 (S_{h2} - W_{kr}) \quad (10)$$

Met vergelijking (9) en (10) berekent men uit opklimmende k-daagse neerslagsommen op een regenduurlijn en met verschillende waarden voor b_2 de coördinaten van de lijn die het patroon vormen dat het beloop van de afgeleide voor de grondwaterstroming naar de sloot bepaalt.

Afhankelijk van de drainerende werking van de leiding is de maatgevende afvoer hierin wat hoger dan die in de sloot en kan worden berekend als

$$Q = q_{m2} + b_1 (S_{h1} - W_{kr}) \quad (11)$$

6 Grote verscheidenheid in afgeleiden van regenduurlijnen

In fig. 8 is de afgeleide van dezelfde regenduurlijn gegeven waaruit de samenhang in fig. 5 werd bepaald. De afgeleide in fig. 8 werd geconstrueerd met behulp van de uit vergelijkingen (9) en (10) berekende punten op de lijnen met de coördinaten S_h en q_m . Deze lijnen zijn niet meer recht doordat de samenhang tussen bergingscapaciteit en open waterpeil niet rechtlijnig is. Dat komt doordat de bergingscoëfficiënt niet rechtlijnig met de grondwaterdiepte samenhangt en in par. 2.1. werd al gesteld dat bij hoofdzakelijk grondwaterafvoer tussen grondwaterpeil en open waterpeil een samenhang bestaat.

Eenvoudigheidshalve werd met de berekeningen voor de afgeleide in fig. 8 aangenomen dat $K = 0$ en $b_1 = 0$ zodat feitelijk de vergelijkingen (9) en (10) werden herleid tot de vergelijkingen (4) en (5). In fig. 9 wordt de afgeleide a uit fig. 8 vergeleken met de afgeleide b van dezelfde regenduurlijn, wanneer een klein bedrag voor infiltratieverliezen in rekening wordt gebracht, terwijl de grondwaterstroming naar twee niveaus optreedt. Dit is dus de situatie die in fig. 7 en door vergelijking (9) wordt voorgesteld. In par. 4.4. wordt er verder op ingegaan. Als gevolg van het kleine infiltratieverlies is de maatgevende afvoer in de sloot zowel als in de leiding volgens afgeleide b wat kleiner dan volgens afgeleide a'. De betekenis van de grondwater-

afvoer naar de leiding ten opzichte van die naar de sloot is zeer gering.

Uit de ligging van de afgeleide b ten opzichte van c blijkt dat een verschillende herhalingsstijd van de overschrijding van de kritieke grondwaterdiepte een grote invloed heeft op de afgeleide. In feite verandert met de herhalingsstijd de regenduurlijn. Uit de ligging van de afgeleiden d en e ten opzichte van c blijkt dat een hogere waarde voor de factor d en een lagere voor de bergingsconstante $\frac{f}{m+1}$ tot gevolg hebben dat de afgeleiden bij dezelfde stromingsconstanten verschuiven naar hogere waarden voor het hoogwaterpeil en de maatgevende afvoer. Dit is een direct gevolg van een verkleining van de bergingscapaciteit aan het begin van de k-daagse perioden naar evenredigheid van de verandering in de waarde van genoemde constanten.

Fig. 9 bevestigt de juistheid van de voorspelling in par. 2.1. over de vorm van de afgeleiden van regenduurlijnen. Het blijkt dat uit dezelfde regenduurlijn afgeleiden kunnen worden berekend met dezelfde grondvorm maar die onderling wel aanzienlijke verschillen vertonen. Deze ~~verschillen~~ verschillen zijn het gevolg van de verandering van de constanten in vergelijking (9).

Niet in fig. 9 is aangetoond dat de afgeleiden van regenduurlijnen veranderen door verandering van de regenduurlijn als gevolg van

- a. landelijke verschillen in neerslagregime;
- b. de tijd van het jaar, waarvoor de regenduurlijn geldt, omdat de neerslagintensiteit een seizoenschommeling vertoont;
- c. de grootte van het gebied, waarvoor de regenduurlijn geldt, omdat de extremen in puntmetingen van de neerslag zullen worden afgevlakt wanneer gemiddelde regenduurlijnen voor meerdere neerslagstations zouden worden samengesteld.

7. B e p a l i n g v a n d e p a r a m e t e r s i n v e r g e l i j k i n g (9)

Aangezien de verscheidenheid aan afgeleiden van regenduurlijnen zeer groot is dienen ze bij de voorbereiding van een ontwerpplan te

worden geconstrueerd voor die combinaties van waarden van de parameters in vergelijking (9) die in het gebied worden aangetroffen. Deze waarden moeten eerst worden vastgesteld.

De constante f in $\frac{f}{m+1}$ geeft aan hoe groot de bergingscoëfficiënt m is bij een grondwaterdiepte van één meter onder maaiveld, terwijl m aangeeft hoe deze coëfficiënt toeneemt bij dalende en afneemt bij stijgende grondwaterstand. Het zijn parameters in de waterbalansvergelijking van de grond en ze kunnen evenals de parameter b_1 voor de grondwaterstroming grafisch of numerisch worden bepaald door oplossing van deze vergelijking (BLOEMEN, 1966, 1970). Hetzelfde geldt voor de kwelstroming (BLOEMEN, 1968).

De parameters voor de berging kunnen voor evenwichtsvochtgehalten uit de vorm van de pF-krommen worden berekend (MAKKINK, 1962).

Aangezien de bovenbedoelde oplossing van de waterbalansvergelijking is gebaseerd op gegevens over de grondwaterbeweging verkrijgt men in eerste instantie informatie met een meer of minder sterke plaatselijke betekenis. Over het algemeen echter zullen voor niet te kleine gebieden gemiddelde waarden voor de parameters kunnen worden bepaald met gegevens van de grondwaterstandsbuizen van de Dienst Grondwaterverkenning T.N.O.

Naar een als overschrijding van een kritieke grondwaterdiepte geformuleerd landbouw-economisch criterium is nog weinig onderzoek verricht (SIEBEN, 1965). Over de herhalingsstijd van een overschrijding bestaan bij de ontwerptechniek opvattingen, die overgenomen kunnen worden. Naar de hierbij behorende kritieke grondwaterdiepte W_{kr} zal moeten worden geschat.

S_{hi} en x_i zijn civieltechnische grootheden uit het ontwerpplan en kunnen hieraan ontleend worden.

De hoogte van de grondwaterstand aan het begin van k-daagse perioden zal gedurende het jaar variëren en daarom zal de parameter d geen constante waarde hebben. Feitelijk moet deze waarden worden gebaseerd op een kansverdeling van de neerslag en verdampingsoverschotten, voorafgaande aan de k-daagse perioden. Aangezien hierover niet bekend is zal de waarde van d moeten worden geschat.

Ook de waarde van de kritieke grondwaterdiepte en het overschrijdingscriterium zal gedifferentieerd kunnen worden. Men zal 's zomers aan lagere kritieke grondwaterstanden denken dan 's winters en deze

ook met een kleinere frequentie van overschrijding willen accepteren.

8. D e c o n s t r u c t i e v a n r e g e n d u u r l i j n e n

Omdat verschillende parameters in vergelijking (9) met het seizoen veranderende waarde kunnen hebben terwijl ook het overschrijdingscriterium, dat de grootte van de k-daagse neerslagsommen bepaalt, kan veranderen, zal men regenduurlijnen voor opeenvolgende data en voor de daarbij aangenomen overschrijdingskansen moeten construeren. De afgeleiden van deze regenduurlijnen zullen met de passende waarden voor de parameters moeten worden berekend.

De k-daagse neerslagsommen, die met een bepaalde kans zullen optreden, kunnen worden gevonden door vereffening van overschrijdingsfrequenties, die voor 25 neerslagstations door het K.N.M.I. zijn gepubliceerd. Voor de stations Hoofddorp en Winterswijk zijn deze frequenties vereffend door de kansverdeling van k-daagse neerslagsommen als Goodrich-krommen voor te stellen (DE BOER, 1957). De hoeveelheid neerslag in k-dagen, die met een bepaalde herhaling zal optreden of worden overschreden kan met constanten worden berekend, die voor verschillende k-waarden en maanden zijn opgegeven. In de meeste gevallen zal men dus nog op stations zijn aangewezen, waarvan een vereffening ontbreekt. Men zal dan zelf de vereffening moeten uitvoeren en zal dan de hieronder beschreven werkwijze kunnen volgen.

In de huidige ontwerptechniek gaat men uit van de herhalingstijd in jaren waarmee afvoeren optreden. De overschrijdingsfrequenties P van neerslagsommen die eenmaal in T jaren optreden worden door DE BOER berekend als $P = \frac{1}{n \times T}$, waarin n het aantal k-daagse perioden in één maand is. Deze formule levert voor k-daagse perioden van 15 dagen nog een overschrijdingsfrequentie op die weinig van die voor 1-daagse perioden verschilt. De op deze wijze berekende sommen voor 1 tot en met 15 dagen liggen nog aanvaardbaar op een rechte lijn als men ze op dubbel-logaritmisch papier tegen k uitzet. Dit is ook nog het geval als men niet de door DE BOER vereffende waarden neemt, maar de onvereffende. In fig. 10 is dit voor enige maanden voor het station Winterswijk aangetoond.

Voor grotere waarden dan $k = 15$ verandert deze rechtlijnigheid gauw en een regenduurlijn op metrische schaal getekend vertoont dan

zelfs een sterke daling tot bij $k = 30$ en dan weer een afnemende toename. De oorzaak hiervan is dat bij de elementaire neerslagverdelingen, die door het K.N.M.I. zijn samengesteld het aantal perioden binnen een maand afneemt met toenemende k -waarden. Er zijn nog geen regenduurlijnen beschikbaar waarvoor dit aantal perioden als parameter geldt. Daarom is aangenomen, dat de werkwijze, die fig. 10 opleverde, de beste benadering geeft van regenduurlijnen van het gevraagde type. Voor $k > 15$ kan door extrapolatie op rechte lijnen zoals in fig. 10 de neerslagsom worden afgelezen. Bovendien worden de waarden voor $k = 1$ tot en met 15 nog wat vereffend.

De k -daagse neerslagsommen waarvan frequentieverdelingen bekend zijn hebben betrekking op puntmetingen. Men zou zich kunnen voorstellen dat in de vergelijkingen (9) N_k zou worden vervangen door rN_k , waarin r een reductiefactor is voor puntsgewijs gemeten neerslagsommen, afhankelijk van gebiedsgrootte en tijdvaklengte en misschien van het seizoen. Er is in Nederland echter weinig bekend over deze relaties tussen gebiedsgrootte en neerslagintensiteit per tijdseenheid en bij de hierna gegeven voorbeelden is er geen rekening mee gehouden.

9. Onafhankelijke berekening van draindiepte en maatgevende afvoer in gedraineerde gebieden

De toepassing van de afgeleiden kan het eenvoudigste worden gedemonstreerd aan gronden, die voor een bevredigende ontwatering volledig afhankelijk zijn van een buisdrainage. Afstroming door de grond naar de sloot is van geen belang. In de vergelijking (9) geldt daarom dat $b_1 = 0$, zodat de stroming naar de sloot wordt geëlimineerd. De schommelingen van het slootwater hebben geen betekenis zolang de uitmondingen van de drains niet onder water komen en daarom geldt dat $X_2 = 0$, want de waterdiepte in de drains is een te verwaarlozen grootheid. Berekening van de drooglegging is daarom in feite ook een berekening van de noodzakelijke drain-diepte bij gegeven drainafstand geworden. Het hoogwaterpeil in de sloot of leiding waarin de drains uitmonden, behoort in principe onder draindiepte te liggen omdat anders de uitstroming wordt geremd. Berekening van de maatgevende afvoer is dan van belang voor de dimensionering van deze sloten of leidingen.

Het hier gegeven voorbeeld wordt gevonden op Noord-Beveland. Een aanzienlijk oppervlak werd hier in het verleden gedraineerd op 50 cm diepte met een onderlinge afstand van 20 meter. Deze combinatie ontstond door de drainage aan te passen aan een van oudsher bestaande begreppeling. Langzaam maar zeker vervangen hier nieuwe drainages deze oude.

Door bestudering van de grondwaterbeweging in deze gronden als reactie op regenbuien kon worden berekend dat $\frac{f}{m+1} = 0,04$ in de winterperiode, maar dat in de maanden mei tot en met augustus geldt dat $\frac{f}{m+1} = 0,06$. De stroming naar de drains vindt betrekkelijk snel plaats, want $b_2 = 0,02$. $K = 0$. Aangezien echter boven de drains weinig water kan worden geborgen, komt bij de drainage wateroverlast vaak voor. Daardoor ook zal 's winters de bergingscapaciteit langdurig voor het grootste deel benut zijn. 's Zomers zal dit in mindere mate of in het geheel niet het geval zijn, doordat de verdamping dan een grote rol speelt. De gronden worden overwegend als bouwland gebruikt en men zal daarom in de voorjaars- en zomermaanden aan de kritieke grondwaterdiepte en de overschrijdingsfrequentie daarvan strengere eisen stellen.

In tabel 1 zijn voor de opeenvolgende maanden van het jaar de waarden gegeven die redelijke schattingen lijken te zijn van de constanten in vergelijking (9) en van het herhalingsinterval T dat het niveau bepaalt van de regenduurlijn waarvan de afgeleiden worden berekend.

Tabel 1. Waarden van de constanten in vergelijking (8) voor de berekening van de draindiepte

	$\frac{f}{m+1}$	d	W_{kr} meters	x	T jaren
Januari	0.04	0.75	0.15	0	1
Februari	0.04	0.50	0.30	0	10
Maart	0.04	0.25	0.30	0	10
April	0.04	0.25	0.30	0	10
Mei	0.06	0.0	0.30	0	50
Juni	0.06	0.0	0.30	0	50
Juli	0.06	0.0	0.30	0	50
Augustus	0.06	0.0	0.30	0	50
September	0.04	0.25	0.30	0	50
Oktober	0.04	0.50	0.30	0	10
November	0.04	0.75	0.15	0	1
December	0.04	0.75	0.15	0	1

Het dichtst bij Noord-Beveland gelegen K.N.M.I. station waarvan frequentieverdelingen van k-daagse neerslagsommen bekend zijn is Kerkwarve (K.N.M.I., 1958). Hieruit werden een aantal k-daagse neerslagsommen berekend voor de eerste dag van de opeenvolgende maanden en voor het in tabel 1 opgegeven herhalingsinterval T. Daaruit werden de voor iedere maand geldende afgeleiden berekend. Het blijkt nu dat deze afgeleiden zeer verschillend uitvallen maar dat die voor de maanden met de hoogste d-waarden evenals die voor de grootste herhalingsstijd T de grootste maatgevende afvoer aangeven bij draaindiepten van minder dan 120 centimeter. Van beide groepen liggen de afgeleiden voor november en voor augustus het hoogste. Fig. 13 toont deze afgeleiden en het punt $\frac{8 KD}{1^2} = 0,02$ geeft aan waar het gegeven drainagegeval erop voorkomt.

Het blijkt nu dat aan het voor de wintermaanden gestelde ontwateringscriterium gemakkelijker is te voldoen dan aan dat voor de zomermaanden. Immers, bij de geldende drainagesnelheid is in het eerste geval de noodzakelijke drain-diepte 85 cm., in het tweede 103 cm, terwijl de bijbehorende afvoer die dan resp., éénmaal per jaar of éénmaal in 50 jaar wordt overschreden respectievelijk 14 en 14,5 mm/etmaal bedraagt. Nu laat het criterium voor de wintermaanden weinig ruimte, dat voor de zomermaanden veel meer. Men zal in dit geval daarom de afgeleide voor november als uitgangspunt voor verdere beschouwingen kiezen. Het gevolg is dat daardoor de herhalingsstijd van de overschrijdingen van de kritieke grondwaterstand in de zomer wordt verkleind. Zou deze bijvoorbeeld tot 40 of 30 jaar worden teruggebracht dan is dit landbouw-economisch vermoedelijk aanvaardbaarder dan een 20 centimeter diepere drainage.

Bedoelde verdere beschouwingen hebben betrekking op een keuze-mogelijkheid in het civiel-technische vlak. Men kan bijvoorbeeld een maatgevende afvoer van 14 mm/etmaal te hoog vinden. De bestaande gemalen op Noord-Beveland hebben een capaciteit van ongeveer 11 mm/etmaal. Zou men de drainage hierbij willen aanpassen dan zou volgens de afgeleide voor november in fig. 11 een gemiddelde draaindiepte van 110 cm vereist zijn. Door deze grotere diepte ontstaat een grotere berging die de daling van de afvoercapaciteit compenseert. Nu immers ligt dit drainagegeval bij het punt op de afgeleide, waar geldt $\frac{8 KD}{1^2} = 0.0116$.

Doorlatendheidsconstanten zijn onveranderlijk en de stroomsnelheid is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de drainafstand. Daarom zal bij een maatgevende afvoer van 11 mm/etmaal en een draindiepte van 110 cm de drainage-afstand moeten worden vergroot tot

$$\sqrt{\frac{0.02}{0.0116}} \times 400 = 26 \text{ meter}$$

In deze onderlinge afhankelijkheid van maatgevende afvoer, draindiepte en drainafstand ligt het raakpunt met de civieltechniek en met de economie van het ontwerpplan.

10. Berekening van de maatgevende afvoer voor een middelhoog zand gebied

Door de kleine schaal waarop de ontwatering zich in drainagegeval- len afspeelt, verliezen factoren zoals terreinhelling en hoogtever- schillen veel van hun betekenis. De berekende drsindiepte is een richtgetal dat gemakkelijk in het drainage-advies kan worden toege- past bij het vaststellen van de hoogte van de drainreeksen aan het boven- en benedeneind, daarbij rekening houdend met terreinverhang en geringe verschillen in maaiveldhoogte. De schaalvergroting bij ontbre- ken van drainage brengt complicaties mee. Het hoogwaterpeil in de ont- wateringsmiddelen wordt immers bepaald door de vereiste drooglegging van bepaalde lage terreingedeelten. In de grote ontwateringseenheden, die bij ontbreken van drainage ontstaan, zullen echter grotere hoogte- verschillen van het terrein kunnen voorkomen dan op een te draineren perceel. Voor de grootte van de bergingscapaciteit is dit van veel belang. In het rekenmodel zal men dan ook niet de drooglegging, zoals die voor de laagste terreingedeelten wordt vereist, invoeren maar deze moeten meten ten opzichte van de gemiddelde terreinhoogte in de afvoer- gebieden. Het terreinverhang in de richting van afwatering van de lei- dingen heeft voor deze berging uiteraard geen betekenis. Men zal het verschil tussen de voor het hoogwaterpeil maatgevende laagste terrein- gedeelten en de gemiddelde terreinhoogte moeten berekenen zoals dat dwars op de richting van de leiding optreedt. Zeer hoge geïsoleerde terreingedeelten, zoals essen kunnen daarbij buiten beschouwing blij- ven.

Als voorbeeld wordt de maatgevende afvoer berekend voor een leiding in een middelhoog zandgebied. Verschillende gegevens zijn ontleend aan het plan voor de verbetering van de afwatering van het betreffende stroomgebied (K.N.H.M., 1969). Volgens dit plan gaat men uit van een drooglegging van 0,50 à 0,60 meter bij een afvoer die éénmaal per jaar optreedt. In de berekening is 0,55 meter aangehouden. Volgens de hoogte-cijferkaart van het betreffende gebied ligt de gemiddelde terreinhoogte in de afvoergebieden dwars op de richting van de leidingen 40 cm boven de laagste terreingedeelten die het hoogwaterpeil bepalen. Daarom wordt in het rekenmodel ingevuld $S_{h1} = 0,95$ meter. De waterdiepte bij maatgevende afvoer in de leiding neemt van boven naar beneden toe van 0,50 tot 0,75 meter. Voor de waterdiepte in de sloten die in de leiding uitmonden werd arbitrair 0,40 meter genomen.

Uit beschikbare gegevens uit andere bron (BLOEMEN, 1970) blijkt dat de snelheid, waarmee het grondwater naar de leiding stroomt, wordt weergegeven door $b_1 = 0,0002$. Voor de grondwaterstroming naar de sloten geldt dat $b_2 = 0,008$. Er doet zich een klein infiltratieverlies voor van 0,0002 mm/etmaal. Voor de bergingsberekening kan gelden dat $\frac{f}{m+1} = 0,06$.

In tabel 2 zijn voor de opeenvolgende maanden de toelaatbare herhalings-tijd T van de overschrijving van de kritieke grondwaterdiepte opgegeven evenals de geschatte waarde van d, die de bergingscapaciteit aan het begin van de k-daagse perioden aangeeft.

Tabel 2. Waarden T en d voor de berekening van de maatgevende afvoer in een middelhoog zandgebied

	T	d		T	d
Januari	1	0,5	Juli	50	- 0,2
Februari	1	0,5	Augustus	50	- 0,2
Maart	10	0,4	September	50	0,0
April	10	0,2	Oktober	10	0,2
Mei	50	0,0	November	1	0,4
Juni	50	- 0,1	December	1	0,5

Uit de k-daagse neerslagsommen gemeten op het station Winterswijk met de gegeven herhalingsstijd werden nu met de gegeven constanten voor iedere maand de afgeleiden voor de stroming naar de sloten berekend. Het blijkt dan dat januari de kritieke maand is. Ondanks de korte herhalingsstijd van de overschrijding ligt de afgeleide voor januari veel hoger dan die voor de zomermaanden met een veel langer herhalingsinterval en dus veel hogere neerslagsommen. Het grote verschil in de nog beschikbare berging tussen zomer en winter is echter van overheersende betekenis. Dit wil niet zeggen dat 's zomers nooit de kritieke grondwaterdiepte kan worden bereikt of overschreden maar wel dat dit met langere herhalingsintervallen dan 50 jaar voorkomt.

In fig. 12 is de afgeleide voor januari gegeven. Onderscheid is gemaakt tussen een waterdiepte in de leiding van 0,75 en van 0,50 meter. Veel verschil maakt dit niet omdat de drainerende invloed van de leiding niet groot is. Dit blijkt eveneens uit het geringe verschil tussen de maatgevende afvoer in de sloten en dat in de leiding, respectievelijk berekend met vergelijking (10) en vergelijking (11).

Uit fig. 12 blijkt nu dat in het betreffende gebied bij een drooglegging van 0,55 meter de maatgevende afvoer 7,0 mm/etmaal zou moeten bedragen. Dit is $0,81 \text{ m}^3/\text{sec}/100 \text{ ha}$ en wat lager dan de specifieke afvoer van $1 \text{ m}^3/\text{sec}/100 \text{ ha}$, die in het verbeteringsplan wordt aangenomen.

Bovendien blijkt uit fig. 12 dat bij de gegeven hydrologische ontsluiting een drooglegging van 0,55 meter niet past. De snelheid, waarmee het gebied door de sloten wordt gedraineerd, is te klein. Het gevolg is dat bij een drooglegging van 0,55 meter de kritieke grondwaterdiepte veel vaker dan éénmaal per jaar wordt overschreden. Het alternatief is een drooglegging van 0,80 meter, met door een grotere berging een kleinere maatgevende afvoer, namelijk van 5,2 mm/etmaal.

Handhaving van een drooglegging van 0,55 meter houdt de noodzaak in tot verbetering van de hydrologische ontsluiting van het gebied. In par. 4.3. is aangegeven hoe men, als de gemiddelde slootafstand bekend zou zijn, zou kunnen berekenen hoe deze zou moeten worden. Dat in het betreffende type van afvoergebieden een goede ontwatering alleen door diepere of door meer sloten kan worden bereikt, is al eerder gesteld (BON, 1968) en wordt hier duidelijk bevestigd. Ziet men tegen deze consequenties op dan is een grotere tolerantie met betrekking tot de overschrijding van de kritieke grondwaterdiepte noodzakelijk.

Het tot voorbeeld gekozen afvoergebied is een vrij homogeen gebied van middelhoge zandgronden. Vooral grotere afvoergebieden zullen dikwijls niet zo homogeen zijn. Het ligt dan meer voor de hand om per onderdeel van het gebied de nodige berekeningen uit te voeren om tot een evenwichtig geheel van hoogwaterpeilen en daarbij passende maatgevende afvoer te komen.

11. Enige aanvullende opmerkingen en conclusies

Het afvoerproces is in de voorgaande beschouwingen sterk geschematiseerd. Vaak zal de afvoer door ingewikkelder functies worden voorgesteld dan die zijn gebruikt. Door deze in te bouwen zullen de rekenmodellen wel moeilijker oplosbaar maar waarschijnlijk niet onoplosbaar worden. Het zal echter vaak wel moeilijk zo niet mogelijk zijn om deze functies op zo grote schaal als voor gebiedsplanning nodig is te leren kennen met zodanig eenvoudige hulpmiddelen, dat dit in het kader van de voorbereiding van een ontwerpplan nog aanvaardbaar is. Bovendien moet men dit aspect zien in het complex geheel waarin het past. De keus van kritieke grondwaterdiepte en toelaatbare overschrijdingsfrequentie hiervan is vooralsnog arbitrair en zeker van geen grotere degelijkheid als de geschematiseerde afvoerfunctie, die in ieder geval op waarneming berust. Een en ander neemt niet weg dat het voor de hand ligt om, waar dat mogelijk is, gebruik te maken van voortschrijdende kennis en bijvoorbeeld een verantwoording van oppervlakte-afvoer in het rekenmodel te integreren zodat de toepassingsmogelijkheden niet beperkt behoeven te blijven tot gebieden zonder oppervlakte-afvoer.

Ook moet gestreefd worden naar het gebruiken van geschiktere frequentieverdelingen, bij voorkeur van het neerslagoverschot, die waardevol zouden moeten zijn. De neerslagoverschotverdeling binnen k-daagse perioden en de hoeveelheden over zekere voorafgaande perioden zouden hierbij de parameters moeten zijn.

De in hoofdstuk 4 gegeven voorbeelden tonen duidelijk aan wat de praktische consequenties zijn van de onderlinge onafhankelijkheid tussen kritieke grondwaterdiepte, de overschrijdingsfrequentie daarvan, de maatgevende afvoer, de drooglegging en de hydrologische ontsluiting. Deze afhankelijkheid vloeit voort uit het afvoermechanisme. Er wordt

een niet te scheiden verantwoordelijkheid door geschapen voor alle aspecten van een verbeteringsplan. De besproken rekentechniek kan deze helpen dragen, door de bij elkaar behorende cijfers te verschaffen, daarbij rekening houdend met klimaats- en gebiedskenmerken. Daarom zijn afgeleiden van regenduurlijnen al in een vroeg stadium van voorbereiding van een ontwerpplan van belang.

LITTERATUUR

- BLOEMEN, G.W., The calculation of evapotranspiration from groundwater depth observations. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. Verslagen en mededelingen nr 12, 's-Gravenhage 1966.
- _____ Determination of constant rate deep recharge or discharge from groundwater level data. Journ. of Hydrology. Vol. 6 nr 1, 1968.
- _____ Berging, afvoer en verdamping in de Gelderse Achterhoek volgens grondwaterstandsanalyse. In: Hydrologisch onderzoek in het Leerinkbeekgebied. 2e interim rapport C^{sie} ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden. Deelrapport 9 Arnhem, 1970.
- BON, J. Afvoer en berging in verband met beekverbetering, toegelicht aan het stroomgebied van de Luntersebeek. Inst. voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Mededeling 107, 1968,
- KONINKLIJKE NEDERLANDSE HEIDEMAATSCHAPPIJ. Verbeteren afwatering stroomgebied Beneden-Slinge, bovenstrooms Onland. Rapport nr 163. Arnhem, 1969.
- MAKKINK, G.F. Vijf jaren lysimeteronderzoek; een hydrologische studie. Verslagen van landbouwkundige Onderzoekingen, nr 681, Wageningen, 1963.
- SIEBEN, W.H. Het verband tussen ontwatering en opbrengst bij de jonge zavelgronden in de Noordoostpolder. Van zee tot land nr 46. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Zwolle 1965.
- ZEEUW, J.W., DE. Polderinrichting. In: Cultuurtechniek voordrachten behandeld op de B-cursus van 8-11 september 1953, 's-Gravenhage 1954.

neerslagsom

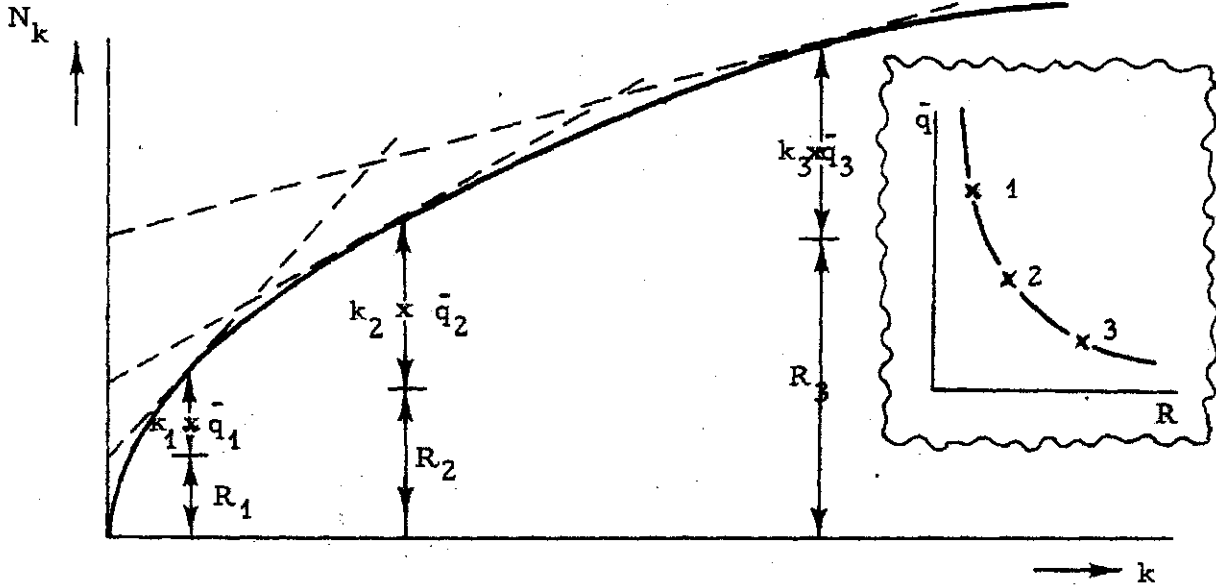


Fig. 1. Schematische voorstelling van een regenduurlijn met het principe van de afleiding van de in de inzet weergegeven samenhang tussen de bergingscapaciteit R en de gemiddelde dagafvoer (\bar{q}) in k -dagen

k -daagse neerslagsom
mm

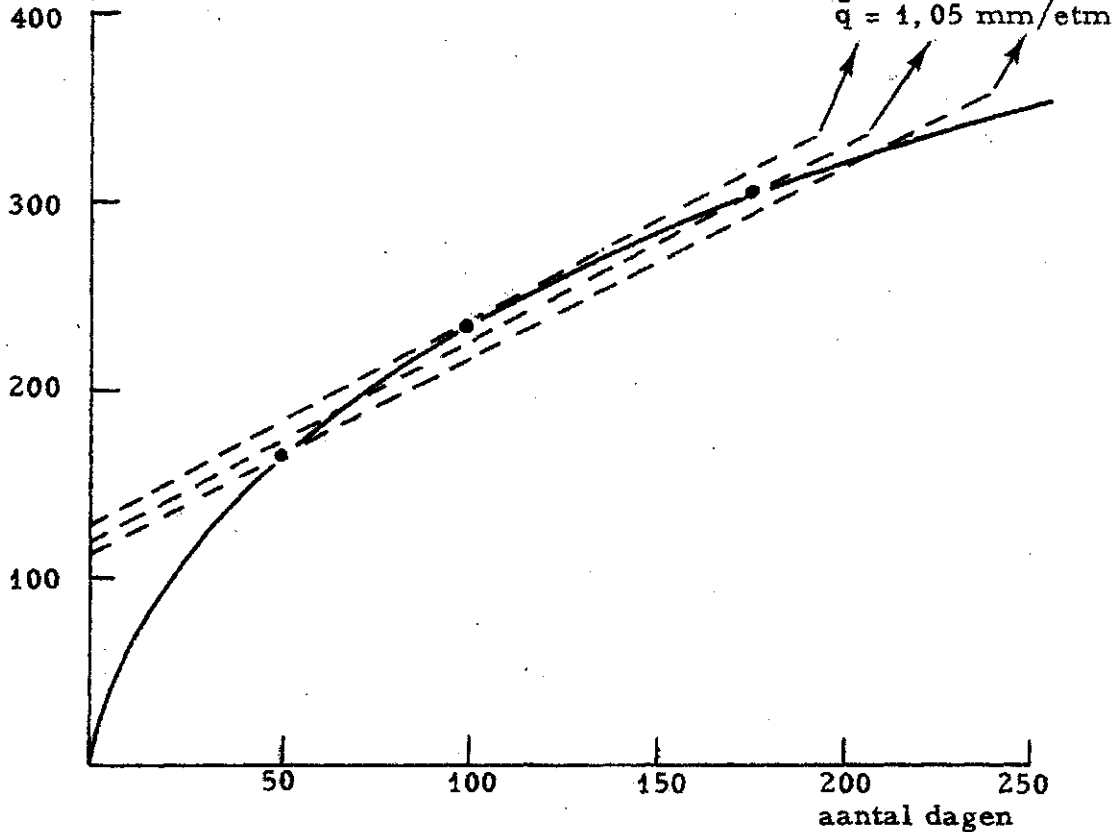


Fig. 2. Wanneer door punten op een regenduurlijn, die opklimmende neerslagssommen voorstellen, lijnen worden getrokken met een vaste hellingshoek, die de gemiddelde dagafvoer \bar{q} aangeeft, dan is de lijn met het hoogste intercept op de y -as een raaklijn aan de regenduurlijn

ONTWIKKELING VAN DE AFVOERTERMEN IN VERGELIJKINGEN
(1) en (6)

1. Enige gebruikte symbolen

- k = aantal dagen
 N_k = neerslagsom in k dagen
 R = bergingscapaciteit
 \bar{q} = gemiddelde dagelijkse afstroming
 p = gedeelte van het aantal dagen k , dat afstroming plaatsvindt
 $b = \frac{8 KD}{L^2}$
 \bar{W} = gemiddeld grondwaterniveau
 \bar{S} = gemiddeld slootmeterniveau
 S_h = drooglegging onder maaiveld
 x = waterdiepte bij maatgevende afvoer
 W_{kr} = hoogst toelaatbare grondwaterdiepte onder maaiveld
 d = factor, voor de betekenis zie onder 2.

De afvoerterm $pk\bar{q}$ in vergelijking (1) in par. 4 kan blijkens de tekst worden geschreven als $p.k.b.(\bar{S} - \bar{W})$.

2. Beschrijving van \bar{W} met S_h , x , W_{kr} en een factor d (zie figuur 6)

$S_h + x$ = laagwaterpeil in de sloot bij afvoer = 0.

$S_h + x - W_{kr}$ = verschil tussen het laagwaterpeil in de sloot en de hoogst toelaatbare grondwaterstand.

d = factor die aangeeft welk gedeelte van het verschil $S_h + x - W_{kr}$ is verdwenen; $d \leq 1$.

De grondwaterstand W_o aan het begin van een k -daagse periode kan nu geschreven worden als

$$W_o = S_h + x - d(S_h + x - W_{kr}) = (1 - d)(S_h + x) + d W_{kr}$$

Als de begingrondwaterstand lager is dan het laagwaterpeil in de sloot dan geldt $d < 0$. Bij $d = 1$ geldt $W_o = W_{kr}$.

In par. 4 is aangenomen dat de grondwaterdiepte rechtlijnig met de tijd afneemt. De gemiddelde grondwaterstand gedurende een k -daagse periode ligt dan midden tussen de begingrondwaterstand en W_{kr} en

is dus gelijk aan

$$\bar{W} = \left[\left\{ (1-d)(S_h + x) + d W_{kr} \right\} + W_{kr} \right] \quad \text{of}$$

$$\bar{W} = 0,5 \left\{ (1-d)(S_h + x) + (1+d) W_{kr} \right\}$$

3. Beschrijving van \bar{S} met S_h , x en de factor d

De slootwaterstand aan het begin van de k -daagse periode kan worden beschreven als $S_h + cx$. De factor c geeft aan welk deel van de waterdiepte bij maatgevende afvoer nog niet is verwezenlijkt en heeft dus een betekenis tegengesteld aan die van de factor d . Als geen afvoer optreedt geldt dat $d = 0$ en $x = 0$, terwijl als $d = 1$ de waterdiepte maximaal moet zijn omdat dan maatgevende afvoer optreedt. Daarom geldt dat $c = 1-d$ bij rechtlijnige samenhang tussen grondwaterdiepte en afvoer ($\bar{q} = b\bar{h}$) zowel als tussen grondwaterdiepte en tijd. De gemiddelde slootwaterstand in een k -daagse periode ligt midden tussen de beginslootwaterstand en S_h is dus

$$\bar{S} = 0,5 \left[\left\{ S_h + (1-d)x \right\} + S_h \right] \quad \text{of}$$

$$\bar{S} = S_h + 0,5(1-d)x$$

4. Beschrijving van \bar{q} met S_h , x , W_{kr} en d

$$\bar{q} = b(\bar{S} - \bar{W}) \quad \text{wordt nu}$$

$$\bar{q} = b \left[S_h + 0,5(1-d)x - 0,5 \left\{ (1-d)(S_h + x) + (1+d) W_{kr} \right\} \right]$$

$$\bar{q} = b \left[S_h + 0,5(1-d)x - 0,5(1-d)S_h - 0,5(1-d)x - 0,5(1+d)W_{kr} \right]$$

$$\bar{q} = b \left\{ S_h - 0,5(1-d)S_h - 0,5(1+d)W_{kr} \right\}$$

$$\bar{q} = b \cdot 0,5(1+d)(S_h - W_{kr})$$

5. De factor p uitgedrukt in d

Afstroming treedt op als de grondwaterstand boven het laagwaterpeil in de sloot stijgt. Bij de veronderstelling dat op de laatste dag van de k -daagse periode W_{kr} is bereikt betekent dit een duur van de afstroming evenredig met de grondwaterstijging $= S_h + x - W_{kr}$.

De totale grondwaterstijging van de begingrondwaterstand

$(1 - d)(S_h + x) + d W_{kr}$ (vgl. sub 2) tot W_{kr} is echter gelijk aan $(1 - d)(S_h + x - W_{kr})$. Dit leidt tot

$$p = \frac{S_h + x - W_{kr}}{(1-d)(S_h + x - W_{kr})} = \frac{1}{(1-d)}$$

p kan dus evenals c in d worden uitgedrukt met de bepaling dat

$$0 \leq p \leq 1$$

6. Schrijfwijze van de afvoerterm in vergelijking (1)

De term $pk\bar{q}$ in vergelijking (1) in par. 4 kan nu worden geschreven als

$$pk\bar{q} = \frac{k \cdot b}{1-d} \cdot 0,5 (1 + d)(S_h - W_{kr})$$

7. Complicaties bij samengestelde afstroming

Als bij samengestelde afstroming de stroming, waarvoor men de afgeleide van de regenduurlijn wil construeren, met de index o wordt aangeduid en de andere stroming met de index i dan geldt dat

$$p_i = \frac{S_{hi} + x_i - W_{kr}}{(1-d)(S_{ho} + x_o - W_{kr})}$$

Hieruit blijkt dat alleen voor p_o de vereenvoudiging $p_o = \frac{1}{1-d}$ opgaat. Ook voor $c_i = \frac{1}{p_i}$ heeft dit de consequentie dat alleen voor c_o de vereenvoudiging $c_o = 1-d$ opgaat.

Als zich de situatie weergegeven in fig. 7 voordoet en de stroming naar de leiding en die naar de sloot worden resp. met indices 1 en 2 aangegeven terwijl men de afgeleide voor de stroming naar de sloot wil construeren, dan kan alleen voor deze stroming de vereenvoudigde schrijfwijze van vergelijking (8) worden toegepast met de index $i = 2$. Voor de stroming naar de leiding met de index $i = 1$ is geen vereenvoudigde schrijfwijze mogelijk en wordt de term $p_1 k \bar{q}_1 = p_1 k b_1 (\bar{S}_1 - \bar{W})$ samengesteld uit

$$p_1 = \frac{S_{h1} + x_1 - W_{kr}}{(1-d)(S_{h2} + x_2 - W_{kr})}$$

$$\bar{S}_1 = S_{h1} + 0,5 \cdot c \cdot x_1 = S_{h1} + 0,5 \frac{(1-d)(S_{h2} + x_2 - W_{kr})}{S_{h1} + x_1 - W_{kr}} x_1$$

$$\bar{W} = 0,5 \left\{ (1-d)(S_{h2} + x_2) + (1+d) W_{kr} \right\}$$

k en b_1 zijn gegeven.

De vergelijking (6) wordt dus uitgewerkt tot vergelijking (9) in par. 5 met kK voor de stroming naar de rivier, met R volgens vergelijking (7) met de index $i = 2$ en een negatief teken (zie par. 4), met $p_1 k q_1$ zoals hierboven is aangegeven en met $p_2 k q_2$ volgens vergelijking (8) met de index $i = 2$.

k-daagse neerslagsom
 N_k in mm

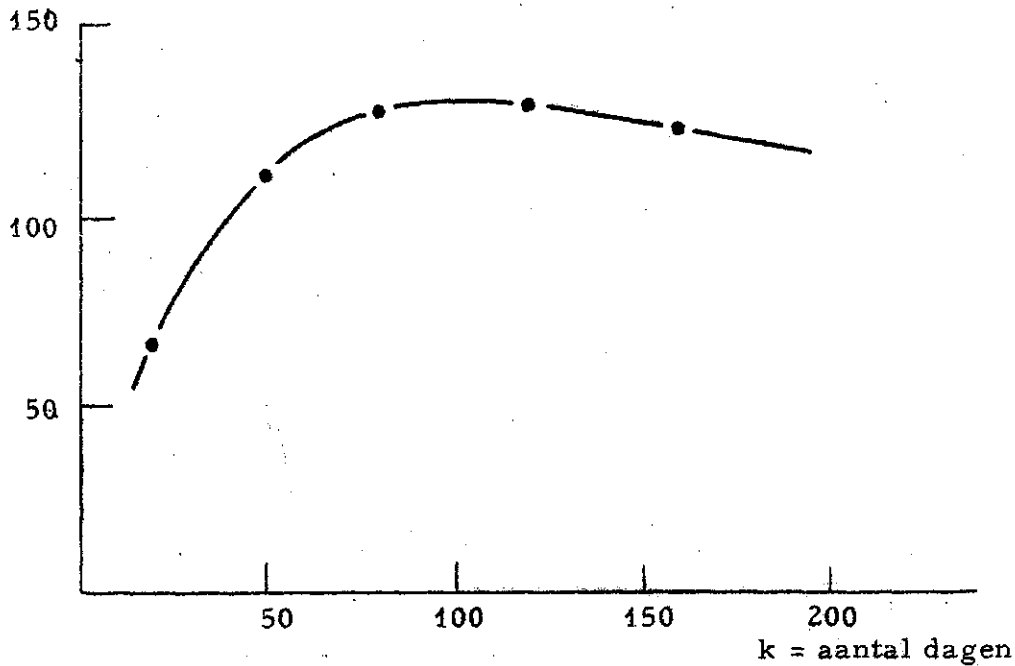


Fig. 3. Het y-intercept van de in fig. 2 bedoelde raaklijn is het hoogste punt op een kromme waarvan de coördinaten zijn de k-waarden van een beperkt aantal punten op de regenduurlijn en de y-intercepten van lijnen door deze punten met een hellingshoek gelijk aan de gemiddelde dagafvoer \bar{q}

k-daagse neerslagsom
 N_k in mm

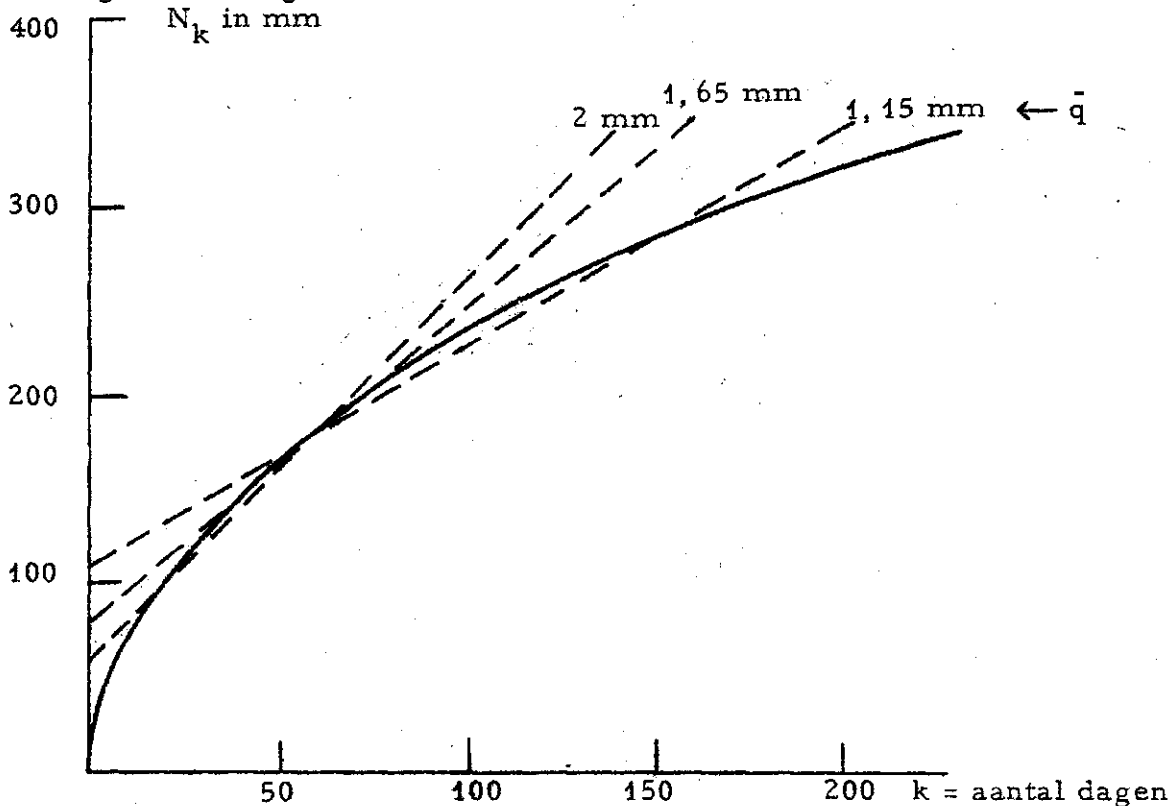


Fig. 4. Van lijnen met verschillende hellingshoek \bar{q} door één punt op een regenduurlijn is er slechts één raaklijn aan die regenduurlijn. De anderen zijn raaklijnen aan lager gelegen regenduurlijnen

gemiddelde dagafvoer \bar{q}
mm/etm

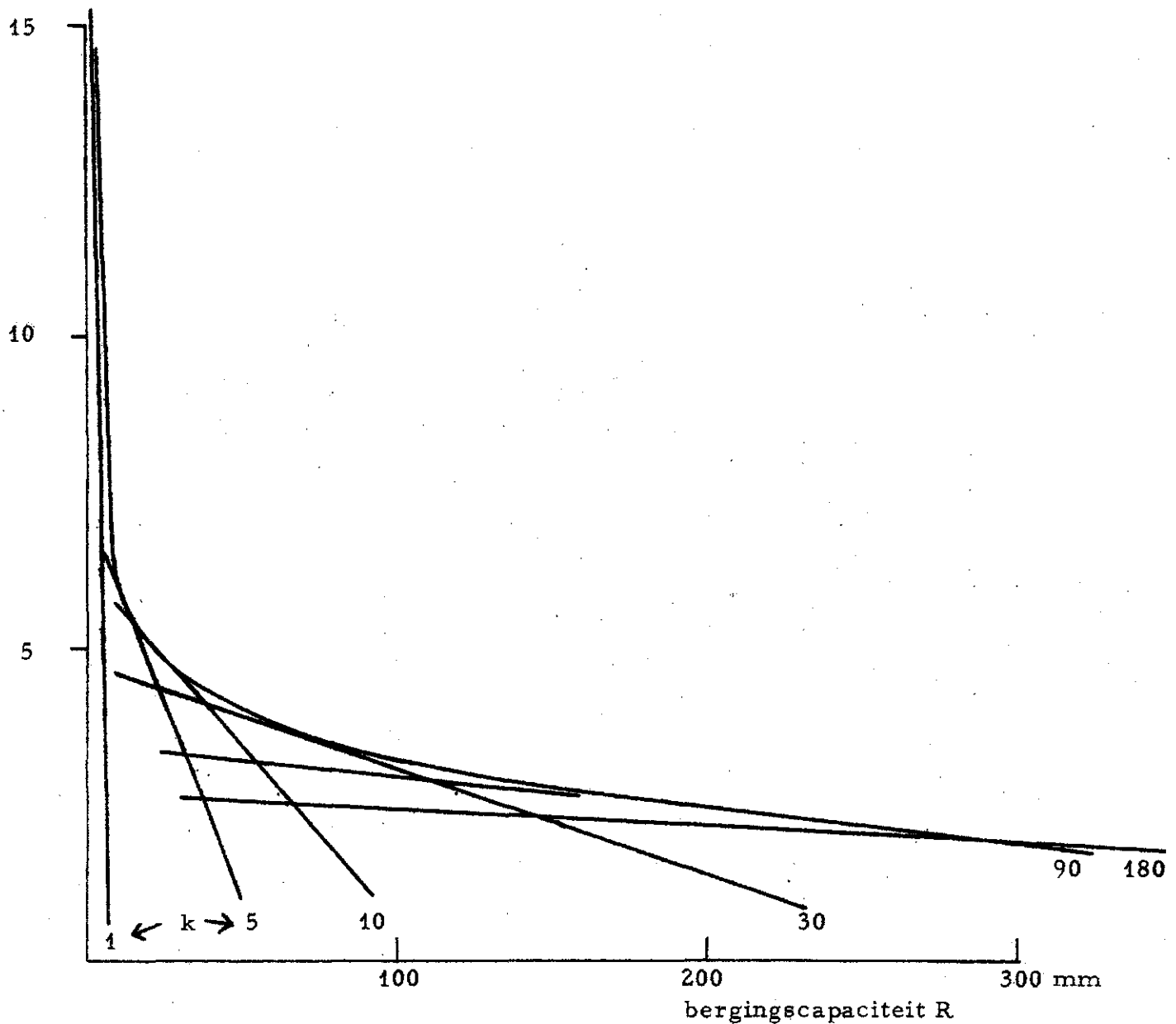


Fig. 5. Schatting van de kromme, die de samenhang aangeeft tussen de bij elkaar behorende bergingscapaciteit aan het begin van de k -daagse periode en de gemiddelde dagafvoeren in die periode bij een zekere overschrijdingstolerantie van een kritieke grondwaterdiepte

maatgevende afvoer q_m
mm/etm

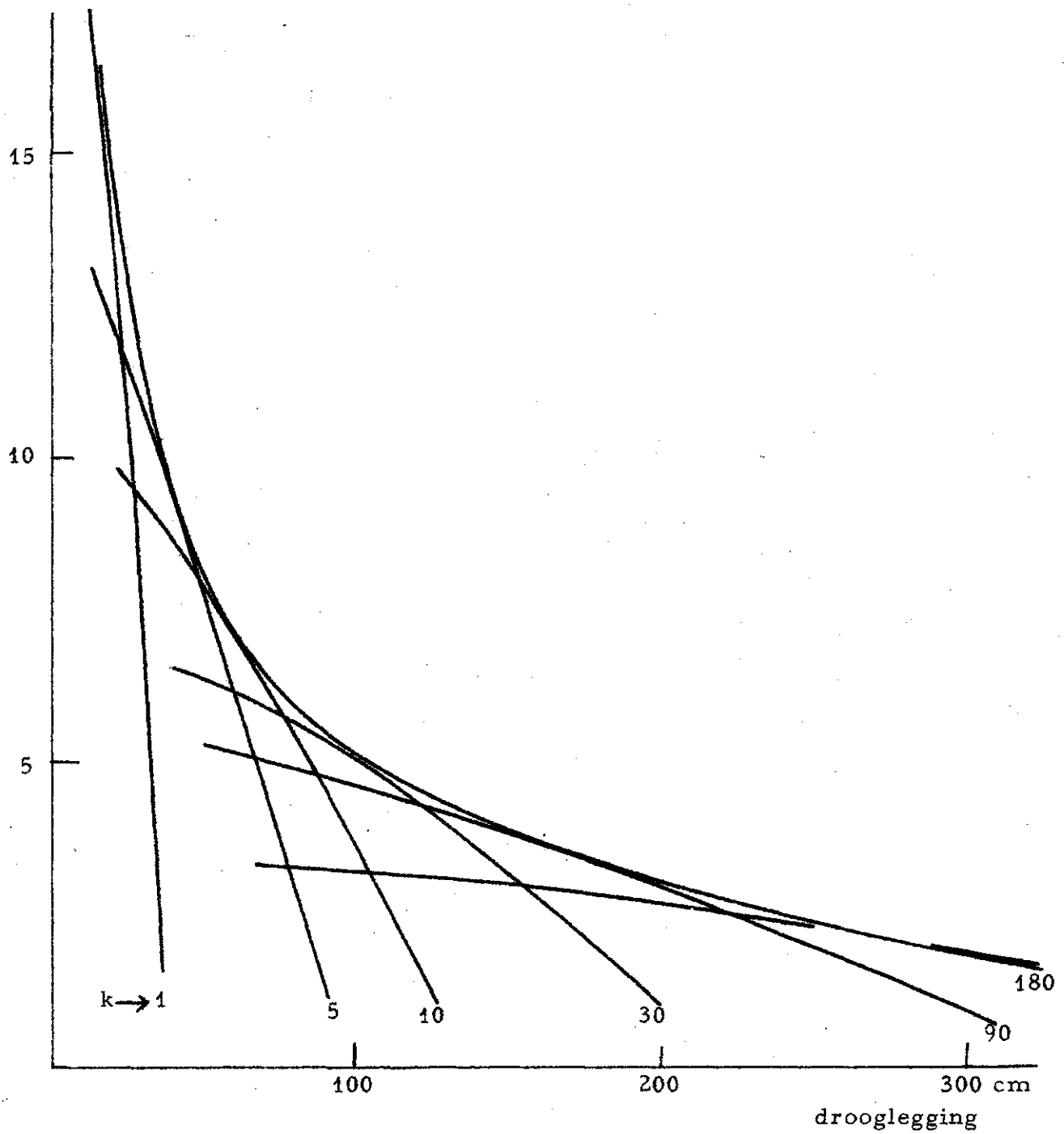


Fig. 8. De schatting van de afgeleide van dezelfde regenduurlijn, waaruit de kromme in fig. 5 werd berekend

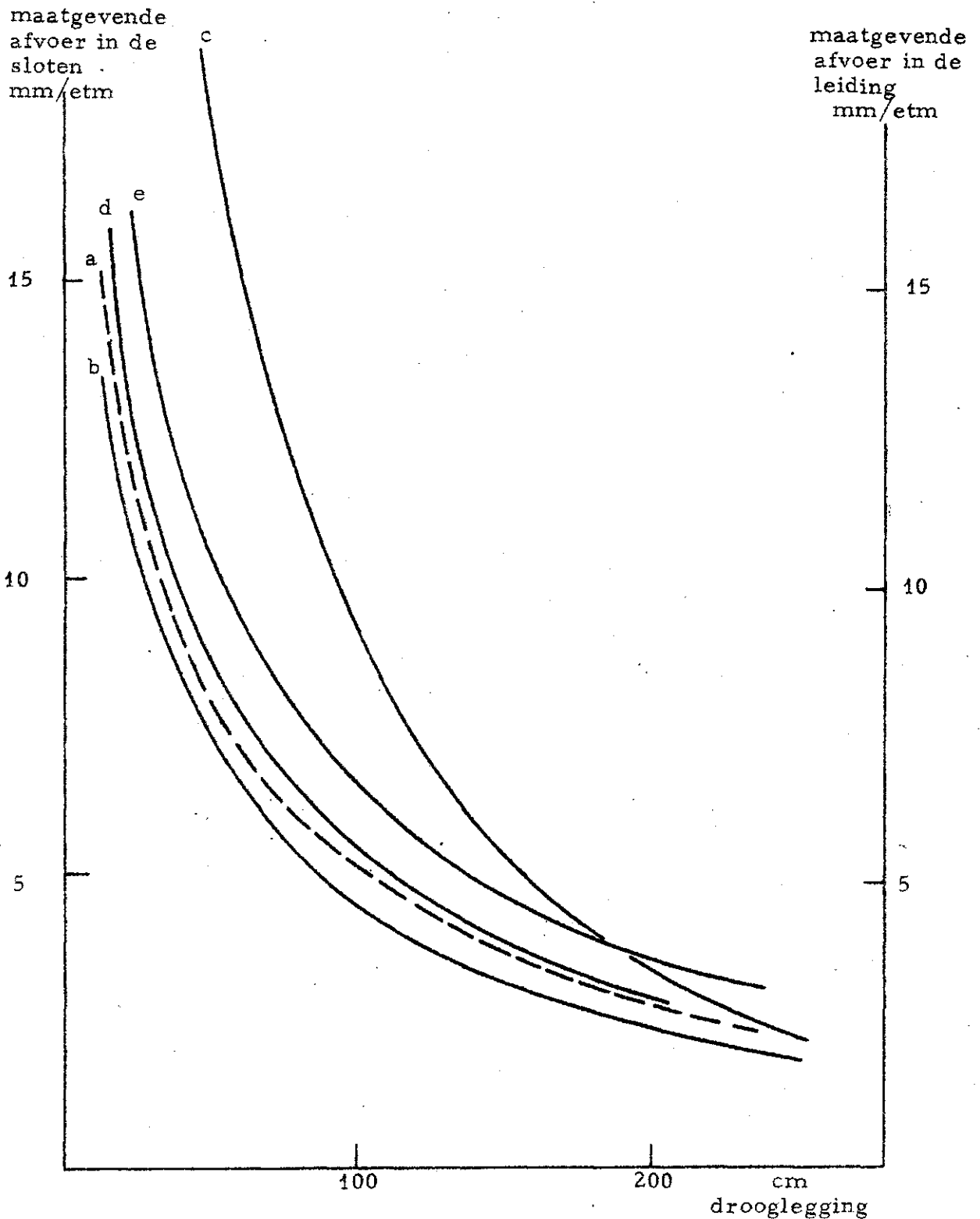


Fig. 9. Verschillende afgeleiden van regenduurlijnen. a is de afgeleide in fig. 8; b is de afgeleide van dezelfde regenduurlijn, berekend voor een infiltratieverlies van 0,0002 mm/etm en ontwatering naar twee niveaus. Herhalingsstijd van overschrijding $T = 1$ jaar.

c als a, $T = 10$ jaar, $\frac{f}{m+1} = 0,06$, $d = 0,5$

d als b, $d = 0,6$

e als b, $\frac{f}{m+1} = 0,03$

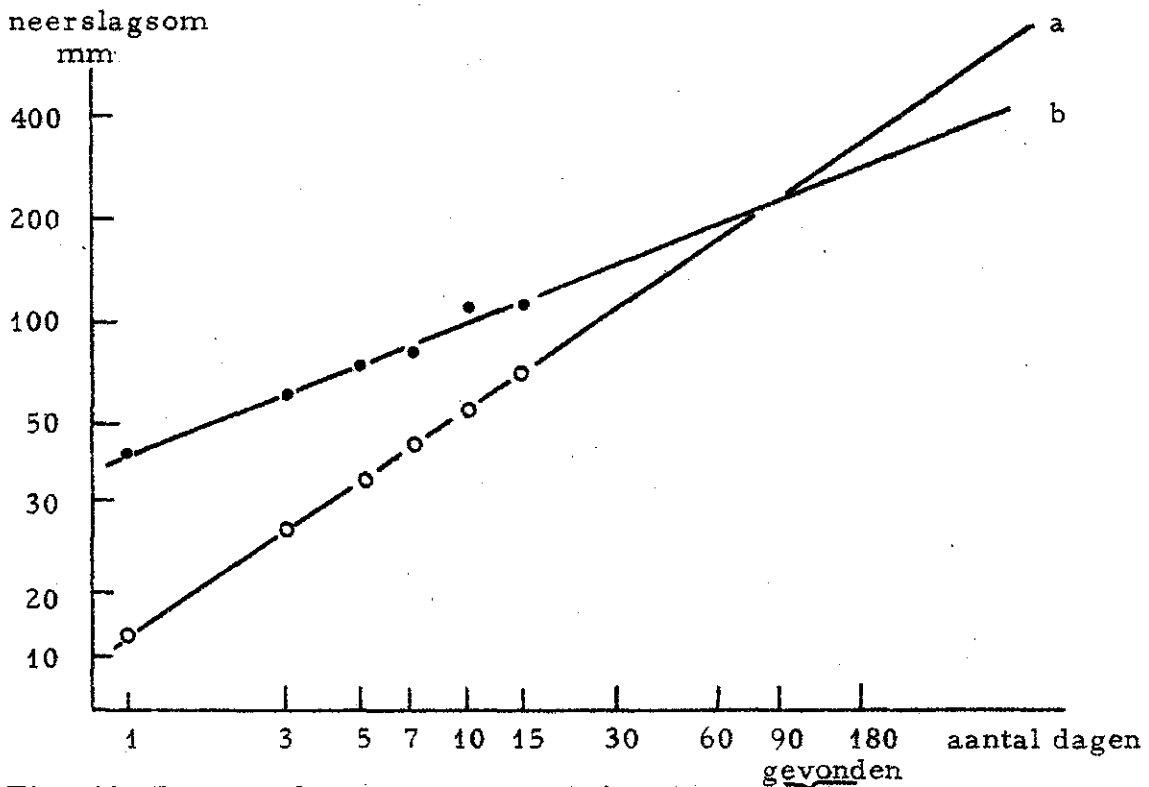


Fig. 10. De neerslagsommen voor $k \geq 15$ worden door extrapolatie op een rechte lijn die ontstaat door de neerslagsommen voor $k = 15$ en kleiner op dubbellogaritmisch papier tegen de bijbehorende k uit te zetten; lijn a is voor januari, Winterswijk, overschrijdingskans 1 x per jaar; lijn b is voor augustus, Winterswijk, overschrijdingskans 1 x per 50 jaar

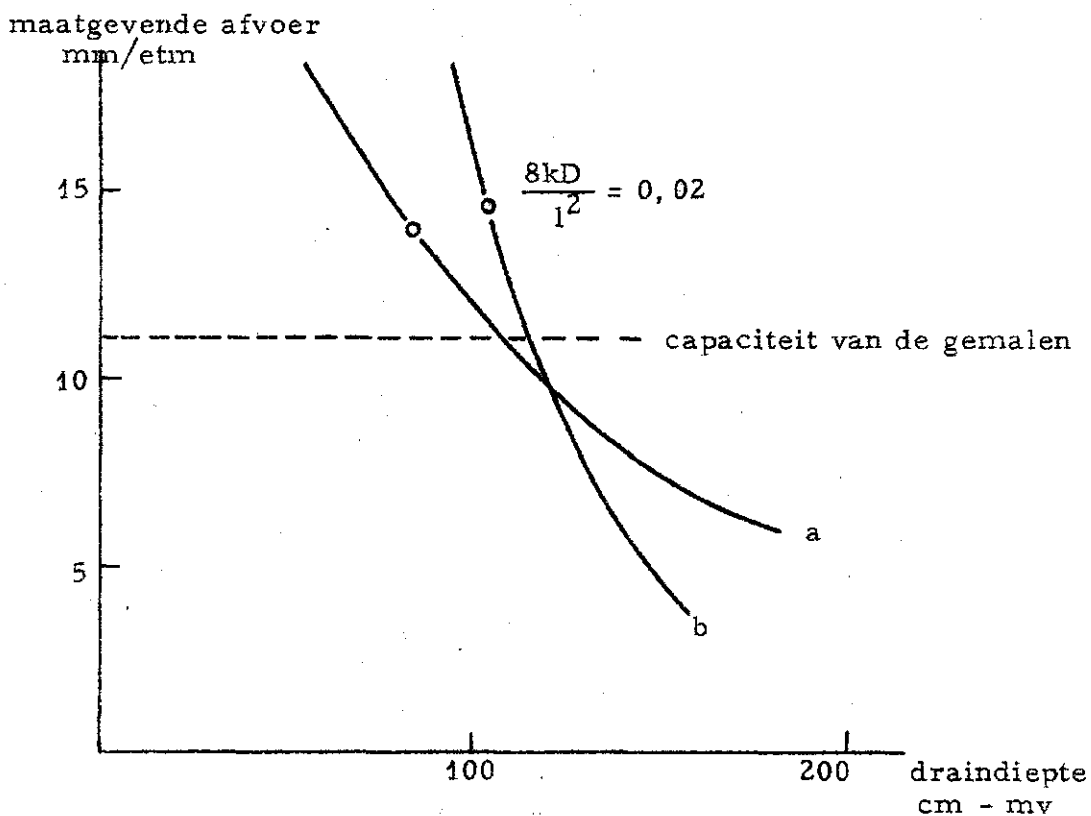


Fig. 11. De afgeleiden voor november (a) en voor augustus (b) berekend met constanten voor kleigronden op Noord-Beveland volgens tabel 1 uit k -daagse neerslagsommen gemeten op het station Kerkwerwe

maatgevende afvoer
in de sloten
mm/etm

maatgevende afvoer
in de leiding
mm/etm

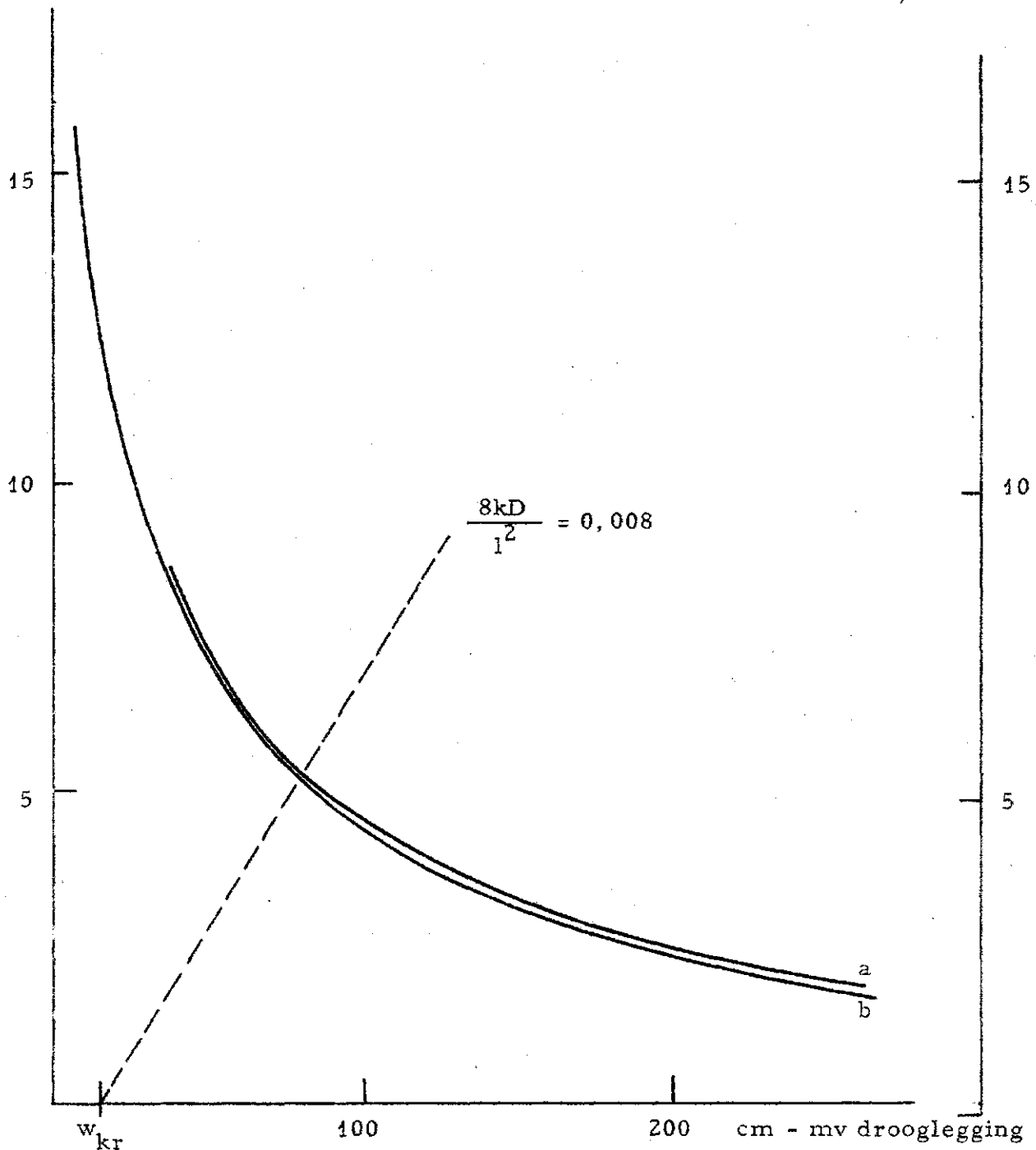


Fig. 12. De afgeleiden voor januari berekend met parameters voor een afvoergebied van middelhoge zandgronden
a. waterdiepte in de leiding 75 cm
b. waterdiepte in de leiding 50 cm