

PROBLEMEN VAN WATERAFVOER IN AGRARISCHE GEBIEDEN

C. BIJKERK
Cultuurtechnische Dienst

SUMMARY

PROBLEMS OF WATER DISCHARGE IN AGRICULTURAL AREAS

1. *Under the influence of the increasing intensity of agriculture a clearly perceptible evolution is going on in the standards of water discharge. Because of the rapid development of agriculture it seems desirable to consider these standards.*
2. *There is a close relation in the design technique of the plans for water discharge between the various standards. Considering this relation and the limited knowledge of the separate quantities, a mutual consideration of this is always required.*
3. *The limited knowledge can among other things be increased by further examining the side roughness in earthen water courses, the discharge intensities in well-described areas and — for detail drainage — the storage capacity of the soil.*
4. *Considering the predominately economic purpose of water discharge in agricultural areas, a further development of the economic judgement of the projects is desired.*

1. INLEIDING

De problemen van waterafvoer in agrarische gebieden zijn veelomvattend en velerlei. In het volgende zal uit het complex van technische en economische problemen de aandacht worden gevraagd voor slechts één onderdeel, namelijk de *normen voor waterafvoerplannen*. De aannahme van bepaalde normen komt in elk plan voor waterafvoer ter sprake en vormt als zodanig steeds weer een probleem, waarmee men te maken heeft.

De ontwerptechniek op vrijwel elk gebied kent bepaalde normen, waarvan men bij de constructie uitgaat. In dit verband kan worden gedacht aan de bouw van huizen, bruggen, wegen en dergelijke, waarbij men met een grote verscheidenheid van normen te doen heeft. In de ontwerpen voor waterafvoerplannen wordt eveneens een aantal normen toegepast, waarvan men bij de constructie uitgaat. De keuze van de normen voor waterafvoerplannen vormt voor elk ontwerp steeds weer een probleem en onderwerp van discussie. Ook als men alle relaties kent die het afvoerproces beïnvloeden, dan nog zal het probleem

blijven bestaan van een zo goed mogelijke keus van de normen waarop men het project wil baseren.

Het probleem van waterafvoer in agrarische gebieden gaat een rol spelen zo gauw de landbouw in het produktieproces wateroverlast ondervindt. Deze wateroverlast kan worden gedefinieerd als de schade of hinder, die de landbouw ondervindt als gevolg van overschrijding van een bepaald gewenst grondwaterpeil of slootwaterpeil. De wateroverlast en de schade hebben volgens deze definitie dus iets te maken met overschrijding van waterstanden.

Deze overschrijdingen zijn steeds terug te voeren op een onvoldoende functioneren van de waterafvoersystemen. Dit onvoldoende functioneren kan worden veroorzaakt door tekortkomingen van het *systeem* en/of door tekortkomingen in het *beheer*. Ten behoeve van een juiste interpretatie is het veelal gewenst deze twee categorieën van oorzaken te onderscheiden.

Voor een nadere analyse van de oorzaken van wateroverlast in landbouwgebieden als gevolg van het systeem, is het nuttig onderscheid te maken tussen *ontwatering* (stroming van water uit de grond), *afwatering* (stroming die door leidingen gaat) en *lozing* (vrije suatie of bemaling).

De volgende situaties kunnen in gebieden met wateroverlast worden aangetroffen.

- 1e. Het optreden van wateroverlast door onvoldoende lozing kan worden veroorzaakt door een te geringe capaciteit van verouderde gemalen of sluizen, die niet of niet meer voldoen aan de eisen van de landbouw. Als gevolg hiervan treedt regelmatig wateroverlast op, ondanks het feit dat b.v. de afwatering en ontwatering in orde zijn.
- 2e. Het afwateringssysteem is onvoldoende, terwijl overigens de ontwatering goed is. Het betreft hier veelal gebieden met een te hoog peil. Dit voor de landbouw te hoge peil kan worden veroorzaakt door onvoldoende onderhoud door het waterschap, klink, een boezem met maalpeil, of het handhaven van een bepaalde waterdiepte voor varen (scheepvaart en bieten- en aardappeltransport in de Veenkoloniën). Als gevolg hiervan is er wateroverlast door permanent of tijdelijk te hoge grondwaterstanden.
- 3e. De afwatering voldoet aan redelijke eisen, maar het ontwateringssysteem deugt niet. Deze situatie treft men aan in gebieden waar peilverlaging of verbetering van de afwatering heeft plaatsgevonden. De aanpassing van het slotenstelsel of de drainage aan de nieuwe mogelijkheden heeft echter nog niet plaatsgevonden. Hetzelfde doet zich voor in keileemgebieden en kleigebieden, al dan niet uitgerust met een begreppeling, die nu op drainage kunnen overstappen. Ondanks de goede afwatering is er wateroverlast in de vorm van te hoge grondwaterstanden.

4e. Tenslotte is een combinatie van bovenstaande oorzaken van wateroverlast denkbaar. Het samengaan van onvoldoende afwatering en ontwatering komt veel voor in poldergebieden met een verouderde inrichting en in beekgebieden.

In alle gevallen treedt schade op door te hoge grondwaterstanden en/of inundaties. Deze schade tracht men op te heffen door verbeteringsplannen, waarvoor bepaalde normen moeten worden toegepast.

Behalve bovenstaande tekortkomingen in het systeem, vormen beheerskwesties vaak een oorzaak van wateroverlast in landbouwgebieden. De mogelijkheden dat deze overlast optreedt door het onjuist beheer van een overigens toereikend systeem zijn velerlei.

In dit verband is onder andere te noemen de hantering van gemalen en stuwen. Men start te laat met de bemaling of houdt te lang een hoog peil aan door stuwen. In het laatste geval treedt bij het plotseling strijken van de stuwen een afvoergolf op, die in de benedenloop tot overlast aanleiding kan geven. Het onvoldoende benutten van de berging in bovenstroomse gebieden kan eveneens tot wateroverlast leiden.

Een belangrijke oorzaak van wateroverlast is uiteraard onvoldoende onderhoud (verstoppingen van duikers, vervuilde leidingen en dergelijke). Dit onvoldoende onderhoud kan zodanige vormen aannemen dat men spreekt van achterstallig onderhoud. In zulke gevallen kan het herstel zoveel kosten, dat dit aanleiding kan geven tot een verbeteringsplan met een volledig nieuw stelsel.

Een positieve kant van het beheer is, dat men hiermede bepaalde tekortkomingen in het systeem kan ondervangen, b.v. door minder opstuwen, extra maaluren, extra onderhoud en dergelijke.

2. DE NORMEN IN DE ONTWERPTECHNIEK

In elk ontwerp dienen bepaalde grootheden normatief te worden ingebouwd. De keuze van de normen is bepalend voor het uiteindelijke resultaat en als zodanig van essentieel belang.

De normen kunnen worden gedefinieerd als de grootheden die in de ontwerpstechniek voor waterafvoerplannen worden gehanteerd met het doel een bepaalde gewenste veiligheid of zekerheid te verkrijgen, dan wel een bepaalde kostenbatenverhouding te bereiken.

Deze definitie duidt reeds erop, dat hierin de kwade kansen zijn verdisconteerd die men nog acceptabel acht, of omgekeerd de zekerheid die men wenst of — waar het in de landbouw vaak om gaat — de economische doelstelling die men nastreeft.

Analoge normen zijn in de civiele bouw zeer sterk ontwikkeld en geregle-

menteerd toegepast (4- à 5-voudige zekerheid in bouwconstructies en dergelijke; eisen van Rijkswaterstaat ten aanzien van materialen; frequentie van waterstanden Delta-plan).

In waterafvoerprojecten zijn de normen die men toepast sterk afhankelijk van de te beschermen objecten. Ze komen steeds neer op een zekere frequentie van overschrijding van bepaalde waterstanden, die men nog aanvaardbaar acht, bijvoorbeeld 1 x 1000 jaar voor dorpen, steden en industrieën; 1 keer per 250 jaar voor belangrijke verkeersverbindingen en 1 keer per 30 à 40 jaar voor landbouwgebieden.

In tegenstelling met de stedelijke gebieden, waar veiligheid primair is, gaat het in agrarische gebieden uiteindelijk om de economie van het project.

De normen van ontwerpen voor waterafvoer in de agrarische gebieden hebben dan ook een economische doelstelling en berusten op het inzicht in de kosten-batenverhouding van de ontwerper of opdrachtgever. In de praktijk komt dit neer op het hanteren van ervaringscijfers, die overigens naar tijd en plaats nog al eens wisselen. Als gevolg van het feit, dat de economische wetenschap nog weinig in deze sector is doorgedrongen, is de basis van de keuze van de normen nog erg wankel.

In het onderstaande zullen de toegepaste normen in ontwaterings- en afwateringsplannen worden behandeld. Hierbij zal op enkele hydrologische problemen worden ingegaan. Daarnaast zal — met name voor afwateringsplannen — aandacht worden geschonken aan enkele economische aspecten van de normen.

3. DE NORMEN VOOR ONTWATERING

Gaat men na hoe de normen ten aanzien van de ontwatering zijn ontstaan, dan blijken deze in sterke mate hun oorsprong te vinden in de empirie. Van oudsher vond de ontwatering plaats door het graven van sloten, waarbij veelal andere factoren zoals eigendomsgrenzen bepalend waren voor de afstanden. In latere tijd komt de ontwatering door middel van ondergrondse systemen in zwang en hiermede doen ook de normen hun intrede.

Afkomstig uit Schotland en voor het eerst gedemonstreerd op de Wereldtentoonstelling van 1851 in Londen, werd de ontwatering van gronden door drainage overgenomen door Duitsland. In 1857 verscheen hier de eerste „Dränanweisung”. Nadien zijn er nog 7 andere gevolgd (1). De in de Dränanweisungen behandelde onderwerpen betreffen echter meer de eisen ten aanzien van de helling, de diameter van de drains, samengestelde drainage, drainafstanden in afhankelijkheid van bodemgesteldheid en dergelijke dan ontwateringsnormen. In verband met de afvoer door drains en de bepaling van de draindiameter worden in de Dränanweisung afvoernormen opgegeven in afhanke-

lijkheid van de jaarlijkse neerslag en de grondsoort. Voor lichte grond neemt men een grotere afvoer, in verband met de vermoede grotere doorlatendheid.

TABEL 1. Afvoernormen van drains

Jaarlijkse neerslag	Afvoernomen			
	zware en middelzware grond		lichte grond	
mm	l/sec/ha	mm/etm.	l/sec/ha	mm/etm.
<650	0.4	3.5	0.55	4.8
650- 750	0.4 -0.55	3.5-4.8	0.55-0.70	4.8-6.0
750-1000	0.55-0.70	4.8-6.0	0.70-1.00	6.0-8.6
>1000	0.70-1.00	6.0-8.6	>1.00	>8.6

In Nederland is op het gebied van de berekening van drainafstanden baanbrekend werk verricht door HOOGHOUT (2), wiens formule ook in internationaal verband steeds meer erkenning vindt. Nadien zijn er vele studies verricht, die betrekking hebben op de relatie afvoer-drukhoogte onder verschillende hydrologische omstandigheden en bij verschillende drainagesystemen. Gaat men echter na welke studies ten grondslag liggen aan de normen waarop men het ontwerp dient te baseren, dan blijken deze tot voor kort nagenoeg te ontbreken.

Door HOOGHOUT is aanvankelijk als drainage-criterium voor klei-boulevard geformuleerd een continue afvoer van 5 mm/etm. bij 50 cm ontwateringsdiepte (waterstand tussen de drains). In de Noordoostpolder wijkt men hiervan af door toepassing van de norm 10 mm/etm. bij 30 cm grondwaterdiepte. Deze laatste combinatie van eisen is belangrijk zwaarder, hetgeen meer drains betekent. Door de Cultuurtechnische Dienst worden de normen gebruikt: een afvoer van 7 mm/etm. bij 40 cm drooglegging. Dit is een compromis van de voorgaande normen, dat nog steeds wordt toegepast.

Van deze algemene normen wijkt men thans in de praktijk min of meer schoorvoetend af. Evenals de normen zelf zijn echter ook deze nuanceringen meer gebaseerd op praktisch inzicht dan op resultaten van metingen.

Bij de aanleg van een drainagesysteem is een groot aantal factoren van invloed op de intensiteit van de ontwateringsstroming die men wenst en daarmee op de normen die men toepast. Hiervan zijn in de eerste plaats te noemen de *gebruikwijze* en de *grondsoort*. De eisen nemen toe in de reeks grasland — bouwland — tuinbouw en voor wat betreft de grondsoort in de reeks zand — veen — klei.

Ook houdt men thans bij de aanleg van drainage enigermate rekening met

de *bestaande wateroverlast*. Deze bestaande wateroverlast geeft immers een indicatie van de reeds aanwezige ontwateringsstroming, waarop het aan te leggen systeem als aanvulling zal dienen.

Een factor die thans volop in de hydrologische belangstelling staat, is de kwestie van de *grondwaterberging*. Deze grondwaterberging is van grote betekenis voor het oplopen van de grondwaterstand, waaraan men paal en perk wil stellen.

Van de recente onderzoekers op het gebied van de grondwaterberging zijn onder anderen te noemen WESSELING (3) die bij proeven een bergend vermogen vindt van 4 à 5% (dit is de verhouding van de hoeveelheid water die geborgen wordt of vrijkomt tot de grondwaterstandsverandering). VAN HOORN (4) geeft voor komklei een bergingscoëfficiënt van 3 à 4%. VAN DER MOLEN (5) vindt voor ongescheurde lichte zavel 2 à 3% en voor gescheurde zware zavel 6%. ERNST (6) geeft uit proeven in het laboratorium met zand eveneens waarden op van 5 à 10%.

Ter controle van de toegepaste normen en mede ter bepaling van het bergend vermogen werden in de ruilverkaveling Spier-Wijster op enkele gedraïneerde percelen met keileem in de ondergrond, afvoerhoeveelheden en grondwaterstanden gemeten.

Het verband tussen afvoer (s) en drukhoogte (m_0) resp. drooglegging (d)

FIG. 1. Verband tussen afvoerintensiteit en drukhoogte

FIG. 1. Relation between discharge intensity and height of delivery

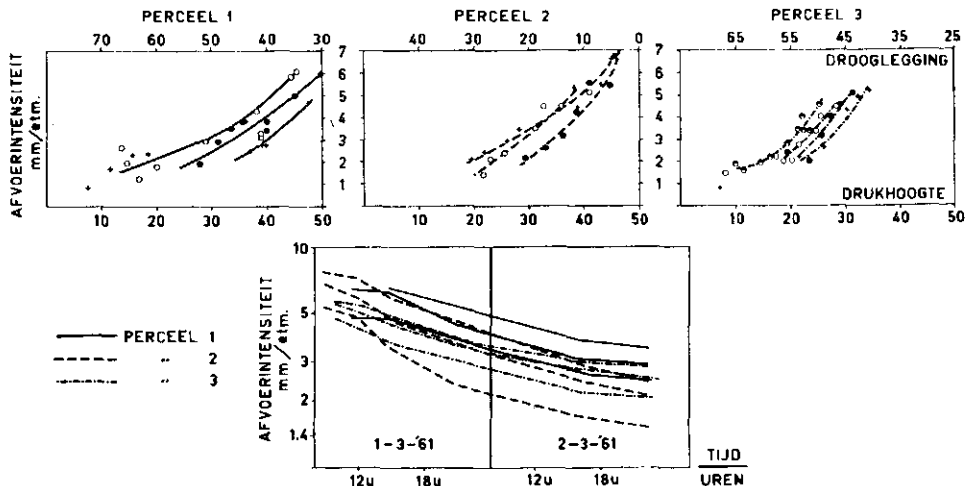


FIG. 2. Afvoerverloop met de tijd

FIG. 2. Discharge in course of time

geeft aan, dat deze drainage in het algemeen aan de eisen voldoet ($s = 7 \text{ mm/etm}$; $d = 30 \text{ cm}$) met uitzondering van perceel 2, dat te ondiep is gedraineerd (fig. 1). Figuur 2 geeft het afvoerverloop in de tijd weer.

Uit de relatie $s = \alpha m_o + \beta m_o^2$ of $s = \beta m_o^2$ kunnen de hydrologische constanten α en β worden berekend (fig. 1). De door WESSELING (7) ontwikkelde formules die de quasi-stationaire toestand beschrijven, geven het bergend vermogen μ .

$$\text{Voor } s = \alpha m_o + \beta m_o^2 \dots \dots \dots (1)$$

(stroming onder en boven het vlak van drains) geldt:

$$\sqrt{\frac{C}{A}} = \frac{\sqrt{\frac{B}{A} + \text{tgh}\left(\frac{t}{2\mu}\right) \sqrt{A}}}{\sqrt{\frac{B}{A} \text{tgh}\left(\frac{t\sqrt{A}}{2\mu}\right) + 1}} \dots \dots (2)$$

$$\text{Voor } s = \beta m_o^2 \dots \dots \dots (3)$$

(stroming boven het vlak van drains) is:

$$\sqrt{St_n} = \frac{\mu \sqrt{St_{n-1}}}{\mu + t \sqrt{\beta St_{n-1}}} \dots \dots \dots (4)$$

Hierin is: $A = \alpha^2 + 4\beta S_i$ S_i = neerslagintensiteit
 $B = \alpha^2 + 4\beta St_{n-1}$ St_n = afvoerintensiteit eind dag n
 $C = \alpha^2 + 4\beta St_{n-1}$ St_{n-1} = afvoerintensiteit eind vorige dag

Met behulp van deze formules werd de grondwaterberging (μ) berekend.

TABEL 2. Het bergend vermogen

Perceel	Reeks	μ volgens (2) en (4)	$\mu = \frac{Q}{g}$ (gemeten)
I	1	0.024	0.043
	3	0.029	0.032
II	1	0.021	0.017
	2	0.025	0.020
	3	0.021	0.030
III	1	0.033	0.035
	2	0.041	0.051
	3	0.035	0.043
	4	0.030	0.057

Daarnaast kan uit de afvoerhoeveelheden en de grondwaterstandsverandering μ worden bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn in tabel 2 weergegeven.

De berekende en gemeten waarden vertonen een redelijke overeenstemming. De orde van grootte komt overeen met vorengenoemde cijfers.

Afvoermetingen van sloten op 90 à 100 m afstand in de ruilverkaveling Borger gaven eveneens bergingscoëfficiënten in de orde van grootte van 3 à 5 % bij een afvoerintensiteit van 3 à 4 mm/etm., oplopend tot 10 à 20% bij lage afvoerintensiteiten.

De invloed van de grondwaterberging op het verloop van de afvoer met de tijd is weergegeven in figuur 3. Een bergingscoëfficiënt van 0,10 (geval 4) geeft — onder overigens gelijke omstandigheden — in vergelijking met die van 0,04 (geval 3) een topafvoer van 9,7 mm/etm. tegen 13,5 mm/etm.

Daarentegen vertoont de verhoging van de grondwaterstand juist een omgekeerd beeld. In geval 4 is de maximale grondwaterstandsstijging 36 cm tegen 65 cm in geval 3 met de kleinere grondwaterberging. Met het oog op de grote invloed van de grondwaterberging op grondwaterstand en afvoer lijkt nader onderzoek hiernaar op verschillende grondsoorten juist in verband met de toepassing van normen dringend gewenst. De vraag rijst in hoeverre om deze redenen de ontwateringsnormen voor fijnzandige gronden zwaarder zouden moeten zijn dan voor goed geaëreerde kleigronden.

4. DE NORMEN VOOR AFWATERING

In de afwateringsplannen zijn reeds sinds eeuwen min of meer bewust, afhankelijk van de technische en financiële mogelijkheden, bepaalde normen gehanteerd in ontwerpen voor afwateringsprojecten in landbouwgebieden. In de laatste decennia is de interesse in deze materie snel toegenomen, hetgeen waarschijnlijk in belangrijke mate is te verklaren door een toename van de wateroverlast in agrarische gebieden. Deze toename is zowel absoluut als relatief.

In absolute zin is de wateroverlast toegenomen in de beekgebieden door de steeds voortschrijdende ontginningen en door de verdergaande hydrologische ontsluiting. Het is goed te bedenken, dat deze ontsluiting nog steeds doorgaat door maatregelen op het gebied van de detailontwatering, die aan steeds hogere eisen moet beantwoorden. Dit brengt met zich mee het optreden van hogere topafvoeren, die echter kortere tijd aanhouden. Het effect van verdergaande detailontwatering op de topafvoeren is af te lezen uit figuur 3 (1, 2 en 3). Hier-tegenin werkt mogelijk een grotere grondwaterberging als gevolg van de betere drooglegging. Welke van de tendenzen in de toekomst zal overwegen, is in het algemeen niet aan te geven.

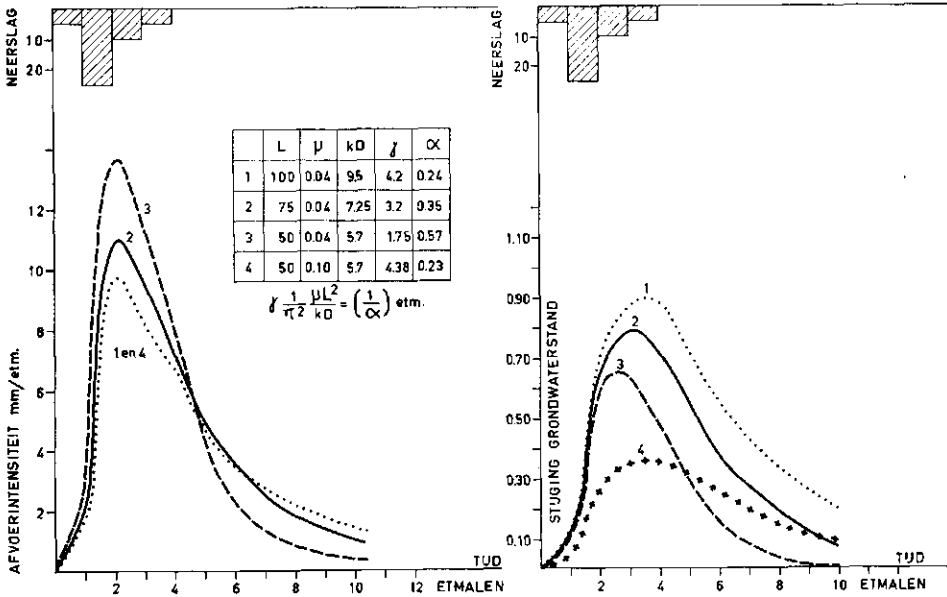


FIG. 3. De invloed van de slootafstand en het bergend vermogen op de afvoerintensiteit en de grondwaterstandsstijging

FIG. 3. Influence of ditch distance and storage capacity on the discharge intensity and the rise of the groundwater level

In relatieve zin is de wateroverlast vergroot door de sprongsgewijze toename van de intensiteit van de landbouw als gevolg van het in gebruik nemen van kunstmest. Na deze eerste technische revolutie door toepassing van kunstmest voltrekt zich thans de tweede agrarische revolutie door de mechanisatie van de landbouw, die thans volop in gang is (zie bijdrage III van Ir. WIND).

In de periode van 1860-1910 was men in de rivier- en beekgebieden voor de vruchtbaarheid aangewezen op het overstromingswater in de winter. Daartoe werden talrijke bevoeiingswaterschappen opgericht. Na 1910 verandert dit snel en worden deze waterschappen opgeheven of krijgen een andere doelstelling, namelijk ontwatering der gronden.

Daarna vindt men tot op heden onder invloed van het steeds meer stijgende intensiteitsniveau van de landbouw de successievelijke verbeteringen van beken en waterlopen. Parallel met deze stijging van het intensiteitsniveau (en dus van de te verkrijgen baten) is een stijging van de normen in de ontwerpen van de opeenvolgende verbeteringsplannen (en dus van de investeringen) te bespeuren.

Van die achtereenvolgende verbeteringen is de opvatting gemeengoed dat

de ontwerper te lage normen zou hebben aangehouden. Dit behoeft echter geenszins het geval te zijn. Gezien het toenmalige intensiteitsniveau van de landbouw kunnen de in de loop der jaren verkregen totale baten toch nog wel hebben opgewogen tegen de kosten (vergelijk een te groot pakhuis, dat 1 x per 10 jaar volledig wordt benut, kan een economisch verlies betekenen).

Een eerste voorwaarde, waaraan de normen voor verbeteringsplannen moeten voldoen, is dan ook dat ze zijn afgestemd op de doelstelling van het ontwerp. Wil men de normen goed kunnen kiezen, dan zal men de doelstelling goed moeten formuleren. Is deze doelstelling bijvoorbeeld dat de grond van een kapitaalintensief weidebedrijf op veengrasland onder alle omstandigheden beweidbaar en bewerkbaar moet zijn, dan zullen de te hanteren normen hierop moeten zijn afgestemd en bepaald anders zijn dan voor extensief hooiland. Nog duidelijker wordt de invloed van de intensiteit van het grondgebruik als men tuinbouw in een dergelijke beschouwing betreft. Meer in het algemeen kan men zeggen, dat er een zekere overeenkomst aanwezig zal dienen te zijn tussen de toegepaste normen en de intensiteit van de landbouw.

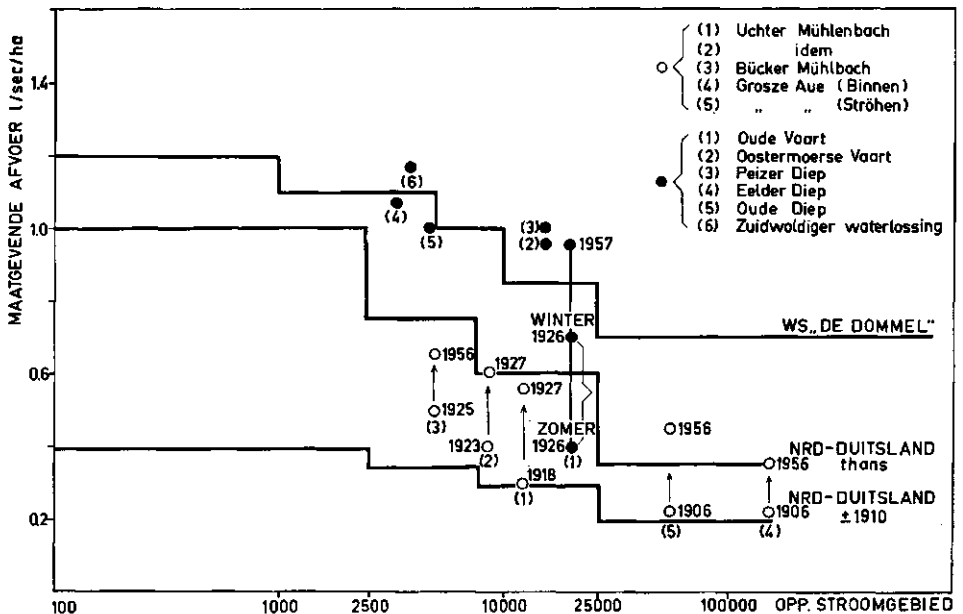


FIG. 4. Verband tussen afvoernormen en oppervlakte

FIG. 4. Relation discharge standards and surface

De hiervoor genoemde parallelliteit tussen normen voor waterafvoerplannen en intensiteitsniveau van de landbouw, waarmee de te bereiken baten en daarmee de baten-kostenverhouding sterk zijn gerelateerd, wordt gedemonstreerd in figuur 4. Hierin zijn verschillende normen van in het verleden uitgevoerde verbeteringsplannen voor enkele rivieren en beken in Duitsland en in Nederland weergegeven. Hierbij passen enkele opmerkingen.

1e. De lijn van 1910 voor Noord-Duitsland naar gegevens van ZÖLLNER (8) geeft waarden van 0,4 tot 0,2 l/sec/ha gebaseerd op zomer-hoogwater. Onder zomer-hoogwater wordt verstaan de middelwaarde van de hoogste zomerafvoer gedurende een bepaalde reeks van jaren. In het algemeen was ook toen reeds bekend, dat bij toenemende gebiedsgrootte de afvoerfactoren afnamen. In deze norm zit derhalve al een gebiedsgrootte-effect ingebouwd, zij het ook nog in zwakke mate.

2e. De verschillende punten geven aan de jaren van verbetering en de toename van de normen onder invloed van de steeds stijgende eisen van de landbouw.

3e. Thans hanteert men in Duitsland de normen:

- 1,0 l/sec/ha tot 2500 ha
- 0,75 l/sec/ha van 2500 — 7500 ha
- 0,6 l/sec/ha van 7500 — 25000 ha
- 0,35 l/sec/ha > 25000 ha

Eenzijds dus een stijging van de normen, die echter voor de grotere gebieden voor een goed deel wordt gecompenseerd door de gebiedsgrootte-reductie. Ook deze huidige normen zijn gebaseerd op zomer-hoogwater met de bijbehorende eis van 20 cm drooglegging.

4e. In vakkringen in Duitsland is men algemeen van oordeel dat het vrijwaren tegen overstromingen van grasland in de winter om economische redenen niet verantwoord is. Algemeen worden in Duitsland voor verbeteringsplannen de volgende gedifferentieerde normen gehanteerd, afhankelijk van de te beschermen objecten: hoogste hoogwater voor steden, dorpen en verkeersverbindingen; winter-hoogwater voor bouwlandgebieden; zomer-hoogwater voor graslandgebieden, die hoofdzakelijk uit „Wiesen” bestaan.

Onder invloed van een complex van factoren zoals recente natte zomers, het doordringen van bouwland in graslandgebieden in verband met de prijsverhoudingen van agrarische produkten en een verschuiving van de gebruikswijze van „Wiesen” naar „Weiden” gaan er thans stemmen op om voor grasland gelijke normen te hanteren als voor bouwland. Vooralsnog baseert men zich echter uit kostenoverwegingen op zomer-hoogwater met 20 cm drooglegging. Wel vindt men in de desbetreffende literatuur de aanwijzing, dat het in verband met de toenemende intensivering van het grasland gewenst is aandacht te schenken aan de ontwateringsdiepte gedurende langere perioden. Een analoge ontwikkeling is merkbaar in de voorstellen van BLAAUW en OOSTRA inzake het berekenen van projecten op „halve maatgevende” afvoer en grotere drooglegging.

5e. Ter vergelijking is in figuur 4 de maatgevende afvoer voor het waterschap „de Dommel” weergegeven, variërend van 1,2 tot 0,7 l/sec/ha met toenemende gebiedsgrootte. De bijbehorende drooglegging bedraagt ca. 50 cm.

6e. Voor enkele Drentse beken zijn tenslotte de afvoerfactoren gegeven. Voor de „Oude Vaart” wordt de positie bepaald door 3 punten, waarvan de onderste 2 betrekking hebben op het verbeteringsplan van 1926. Hierbij hanteerde het Rivierenbureau destijds 2 normen namelijk:

een maatgevende winterafvoer van 0,7 l/sec/ha bij een drooglegging van 0 cm (in het rapport aangegeven als drooglegging, waarbij de gronden 's winters zo weinig mogelijk dras zouden staan);

een maatgevende zomerafvoer van 0,4 l/sec/ha bij een drooglegging van 30 cm. Deze laatste eis ter voorkoming van uitdroging in de zomer.

Het bovenste punt geeft een afvoerfactor van 0,95 l/sec/ha voor het verbeteringsplan van 1957. Het verschil in intensiteitsniveau tussen de plannen wordt hiermede onvolledig weergegeven, omdat de droogleggingseis in 1962 60 cm beneden het gemiddeld laagste maaiveld bedroeg. Aangetoond kan worden, dat de omgerekende maatgevende afvoer met drooglegging 0 cm ca. 1,6 l/sec/ha bedraagt, hetgeen dus meer dan een verdubbeling van de eisen betekent (zie ook fig. 6).

a. *Het ontwerpen van een afwateringsproject*

Bij het ontwerpen van een afwateringsproject zijn er 3 belangrijke normatieve beslissingen, die moeten worden genomen. Deze beslissingen betreffen de normen: de maatgevende afvoer, de drooglegging en de wandruwheid.

- 1e. *De maatgevende afvoer*, dat is de afvoer die per tijdseenheid uit een bepaald gebied moet worden verwijderd, teneinde te bereiken dat een bepaald peil in een gebied niet vaker dan 1 keer in de x jaren gedurende y dagen wordt overschreden. Men noemt deze grootheid ook wel vaak afvoerfactor of afvloeifactor. Ter vermijding van misverstand is het wellicht beter te spreken van maatgevende afvoer, omdat deze naam het begrip goed weergeeft; het is namelijk deze afvoer, die de maat van het ontwerp bepaalt.
- 2e. *De drooglegging*, dat is het niveau van de waterstand in de leiding ten tijde dat zich de maatgevende afvoer voordoet.
- 3e. *De wandruwheid*, dit is de factor, die aangeeft de weerstand die het water ondervindt tijdens het transport in de leidingen. In de huidige ontwerpen gebruikt men de k_{Manning} -waarde als empirisch bepaalde grootheid, die afhankelijk is van de grondsoort, het seizoen (in feite de begroeiing) en de waterdiepte. In feite is de keuze van deze grootheid in de ontwerpen in sterke mate economisch normatief, omdat hieraan een normatief gesteld onderhoud inherent is. De in een ontwerp ingebouwde wandruwheid kan van grote invloed zijn op de verhouding aanlegkosten en onderhoudskosten.

In het bijzonder dient er de nadruk op te worden gelegd dat in de ontwerp-techniek deze 3 grootheden wegens de relatieve samenhang steeds gezamenlijk dienen te worden vermeld en beoordeeld.

Immers een hoge maatgevende afvoer van bijvoorbeeld 2 l/sec/ha met een geringe drooglegging van 20 cm kan hetzelfde ontwerp — dat wil zeggen dwarsprofiel — opleveren als een lagere maatgevende afvoer (1 l/sec/ha) en een grotere drooglegging van 60 cm. Hetzelfde kan worden gesteld ten aanzien van de maatgevende afvoer en wandruwheid, of de wandruwheid en de drooglegging. Het is duidelijk, dat in de gevallen waarin deze 3 factoren niet gezamenlijk worden vermeld de intensiteit van het verbeteringsplan zich aan een beoordeling onttrekt.

Daarnaast zijn er nog talrijke andere beslissingen, zoals de toelaatbare

stroomsnelheid, de taludhellingen en taludvoorzieningen, de verhouding watterdiepte-bodembreedte. De normen ten aanzien van deze factoren zijn minder nauw met elkaar verweven dan de voorgaande en hebben — behalve de laatste — in eerste benadering meer het karakter van een technische zekerheidsnorm: een bodem mag niet uitschuren door te grote stroomsnelheid en een talud mag niet afschuiven, omdat dan het afvoersysteem op zichzelf in gevaar komt. Hiermee wil uiteraard niet gezegd zijn, dat de keuze van deze grootheden van ondergeschikt belang zou zijn. Een afzonderlijk punt van overweging is de keuze van het verhang in verband met grondverzet en landverlies. Dit geldt met name in die gevallen, waarin het terreinverhang geringer is dan het voor de stroomsnelheid maximaal toelaatbare.

De kennis voor het doen van een juiste keuze van de 3 eerder genoemde factoren afzonderlijk is zeer beperkt. Juist om deze redenen is het gewenst de onderlinge samenhang van de 3 genoemde normen zoveel mogelijk in het ontwerp te betrekken, alsmede hun invloed op het plan, de kosten en zo mogelijk de kosten-batenverhouding.

b. De onderlinge samenhang der normen

De factoren maatgevende afvoer, drooglegging en wandruwheid kunnen worden voorgesteld als de hoekpunten van een driehoek, die de basis vormt voor het ontwerp. De verschillende relaties zullen nu nader bezien worden.

Maatgevende afvoer en wandruwheid

De invloed van deze normen op het ontwerp volgt uit onderstaande formules:

$$Q = k_M AR^{2/3} s^{1/2} \dots \dots \dots (5)$$

en
$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} q_i O_i = \bar{q} \sum_{i=1}^{i=n} O_i \dots \dots \dots (6)$$

Hierin is: Q = debiet in m^3/sec ; k_M = wandruwheidsfactor in $m^{1/3}/sec$; A = natte doorsnedè in m^2 ; R = hydraulische straal in m ; s = verhang; q_i = maatgevende afvoer in m^3/sec^3ha ; O_i = oppervlakte in ha ; \bar{q} = gem. maatgevende afvoer.

Uit:
$$\frac{Q}{k_M} = AR^{2/3} s^{1/2} = \frac{\bar{q} \sum_{i=1}^{i=n} O_i}{k_M} \dots \dots \dots (7)$$

volgt dat de invloed van \bar{q} en k_M (normen) op het ontwerp, dat gegeven een zeker terreinverhang wordt bepaald door $AR^{2/3}$, equivalent is.

De invloed van beide aannamen op het dwarsprofiel, de waterdiepte en daarmee op de drooglegging is — zoals uit voorgaande opstelling blijkt — even groot. Zo heeft een onderschatting van de afvoerfactoren (te lage maatgevende afvoer) voor het ontwerp dezelfde consequenties als te optimistische verwachtingen ten aanzien van het toekomstig onderhoud (hoge k_{Manning}).

Omgekeerd heeft een overschrijding van de maatgevende afvoer met een factor 1,5 dezelfde toename van de waterdiepte of afname van de drooglegging tot gevolg als een afname van k_{Manning} door begroeiing van b.v. 30 tot 20 $\text{m}^{1/3}/\text{sec}$.

Ten aanzien van de k_{Manning} baseert men zich thans algemeen in Nederland op de richtlijnen van de Werkgroep Waterlopen. Voor de kleine leidingen zijn deze door onderzoeken van de Landbouwhogeschool voor Nederlandse omstandigheden tamelijk goed gefundeerd (9). Voor de middelgrote en grote leidingen bestaat op dit punt nog een leemte in de kennis. Een systematisch onderzoek op dit punt is zeker gewenst.

Inzake de maatgevende afvoer baseert men zich nog steeds op ervaringsgegevens, zonder inzicht te hebben in de frequentie en tijdsduur van voorkomen hiervan.

Gezien de bovengenoemde equivalente invloed rijst de vraag of in het onderzoek en in de ontwerptechniek beide factoren om deze redenen eveneens een gelijkwaardige plaats innemen. De indruk bestaat dat er een onderschatting is van het belang van de wandruweheidsfactor.

W a n d r u w h e i d e n d r o o g l e g g i n g

De doelstelling van de plannen is steeds gericht op de drooglegging van landbouwgronden. In dit verband heeft het zin na te gaan welke invloed de wandruweheidsfactor heeft op de drooglegging. De invloed van de toename van de wandruweheid door vervuiling op de drooglegging is weergegeven in figuur 5. Hierin komt naar voren, dat eenzelfde graad van vervuiling in grotere leidingen de drooglegging veel sneller doet afnemen dan in kleinere leidingen. Het merkwaardige feit doet zich voor, dat voor de grotere leidingen met de relatief grote invloed van k_{Manning} op de drooglegging gegevens ontbreken.

In alle gevallen is overigens een afname van de drooglegging van 20 cm vrij snel bereikt. Als men bedenkt dat in vele gevallen 50 cm drooglegging bij maatgevende afvoer wordt aangehouden, wordt de grote invloed van het schoonhouden van leidingen op de ontwateringstoestand duidelijk. Nader onderzoek naar de invloed van de begroeiing op de k_{Manning} lijkt dan ook gewenst.

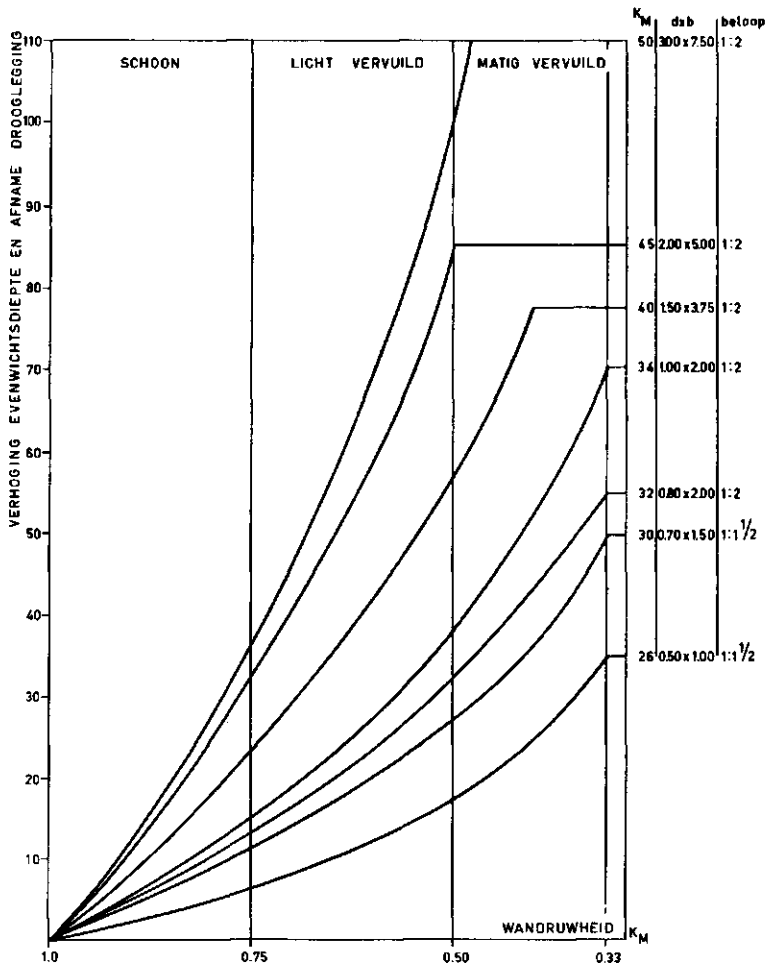


FIG. 5. De invloed van vervuiling op de drooglegging

FIG. 5. Influence of pollution on reclamation

Maatgevende afvoer en drooglegging

In de ontwerpen voor verbeteringsplannen wordt voor kleine en grote gebieden eenzelfde maatgevende afvoer en drooglegging gehanteerd. Bij debieten die afwijken van de maatgevende afvoer, doen zich in grote en kleine leidingen geheel verschillende situaties voor.

Er kan worden aangetoond, dat eenzelfde overschrijding van de maatgevende afvoer in de grotere leidingen een veel grotere overschrijding van de

HW-lijn geeft dan in kleine leidingen. Figuur 6 geeft dit weer. Uitgaande van een drooglegging van 60 cm leidt een afvoerfactor van 1,5 x de maatgevende afvoer bij een leiding van 1,00 x 2,50 m (1000 ha) tot ongeveer 20 cm overschrijding; een leiding van 2,00 x 5,00 m (10.000 ha) geeft echter reeds 40 cm overschrijding. Voor een leiding van 3,00 x 7,50 m (30.000 ha) staat het water tot aan het maaiveld. De verklaring van dit verschijnsel is nogal simpel. De verhouding tussen het droge profiel (ook wel genoemd holle ruimte) en het natte profiel is voor de grote leidingen veel ongunstiger dan voor de kleine leidingen. Voor een leiding van minimum profiel (0,40 x 0,50 m) is deze verhouding bij 60 cm drooglegging ongeveer 3 : 1; voor een leiding van (2,00 x 5,00 m) is dit ca. 1 : 2.

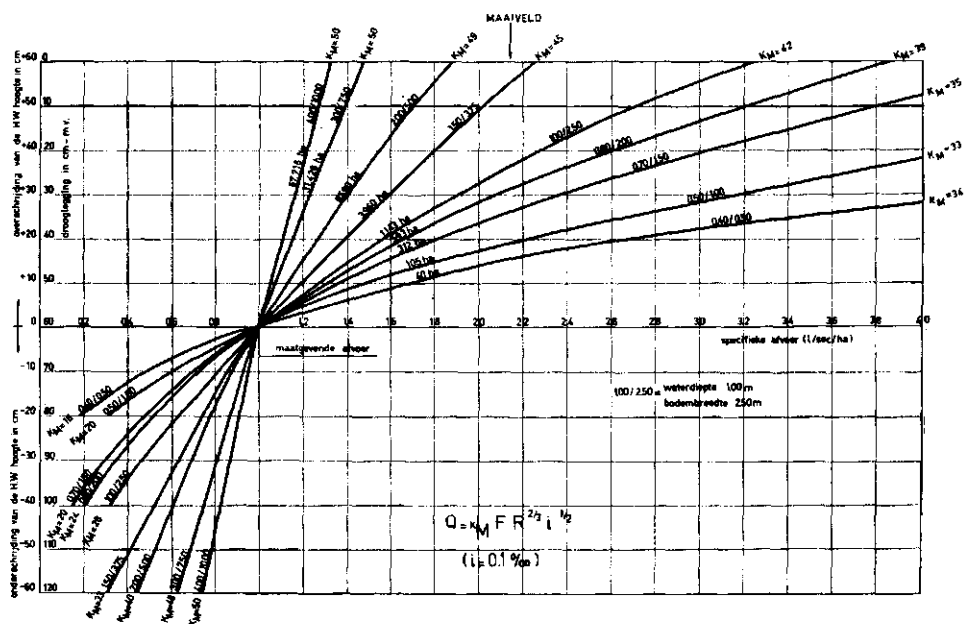


FIG. 6. Verband tussen maatgevende afvoer en drooglegging

FIG. 6. Relation between the characteristic discharge and reclamation

Uit figuur 6 blijkt duidelijk, dat men in extreme situaties in de kleine leidingen niet gauw gevaar loopt. In de grote leidingen is dit daarentegen wél het geval. Wanneer men daarbij bedenkt, dat in de grotere leidingen kostbare kunstwerken voorkomen, dan rijst de vraag of de toegepaste normen met de landbouwkundige doelstelling hier niet zouden moeten worden vervangen door een zekerheidsnorm. Voor de afmetingen van de kunstwerken zelf gaat men

juist in verband met het snel oplopen van de waterdiepte al in de richting van afvoernormen die $1\frac{1}{2}$ keer de maatgevende afvoer zijn. Dit in tegenstelling met wat tot voor kort gebruikelijk was in de ontwerpen. Voor gemalen gaat men uit van de maatgevende afvoer.

Bij de invloed van de vervuiling op de drooglegging is gebleken, dat ook daar de overschrijdingen in de grote leidingen belangrijk groter waren dan in de kleine leidingen.

Het geheel overziende komt men tot de conclusie, dat én door overschrijding van de maatgevende afvoer én door vervuiling én mogelijk door verschijnselen van „flood routing” (zie bijdrage I) de kwade kansen bij extreme neerslag vooral aanwezig zijn in de benedenlopen.

Het ontstaan van kritieke situaties in december 1960 en 1961 in benedenstroomse gebieden van verbeterde beken kan hierdoor worden verklaard.

c. Enige overwegingen voor de praktijk

Hoewel bij gelijke overschrijdingskans de afvoerintensiteit in grotere gebieden lager is dan in kleinere gebieden, is de overschrijdingshoogte van de waterstand in grotere leidingen groter dan in kleinere leidingen. De vraag kan worden gesteld of het rekening houden met het gebiedsgrootte-effect — gezien dit aspect — verantwoord is. In Brabant wordt in de ontwerpen boven 10.000 ha rekening gehouden met de gebiedsgrootte (10). In Drente wordt tot oppervlaktes van 30.000 ha niet gereduceerd. Aangezien de waterschappen niet groter zijn, wordt er dus in het geheel geen reductie toegepast.

Indien men in de toekomst meer weet omtrent de frequentie en tijdsduur van voorkomen van afvoerhoeveelheden, kan het aanbeveling verdienen verschillende normen te hanteren, die afgestemd zijn op de doelstelling.

Bij voorbeeld:

- 1e. een *zekerheidsnorm* bestaande uit een hoge afvoerintensiteit die weinig frequent en gedurende korte tijd voorkomt, waarbij dan een geringe drooglegging toelaatbaar is.
- 2e. een *landbouwkundige norm* bestaande uit een lagere maatgevende afvoer, die frequenter voorkomt en langer duurt. Hierbij zal dan een droogleggingseis moeten gelden, die vrije uitstroming van drains en sloten mogelijk maakt.

In deze richting gaan de voorstellen van BLAAUW en OOSTRA (10), al berusten de voorspellingen inzake de frequentie voorshands op axiomata. Een tussenoplossing is wellicht mogelijk door toepassing van normen waarbij met het oog op het zekerheidsaspect de drooglegging wordt gekoppeld aan het debiet.

d. De invloed van k_{Manning} op aanleg- en onderhoudskosten

In verband met de beperkte kennis is het nuttig acht te geven op de invloed van de normen op de aanlegkosten en de kosten van onderhoud en zo mogelijk op de baten.

Door zich te baseren op de richtlijnen van de Werkgroep Waterlopen gaat men ervan uit dat de leidingen schoon zijn. In de praktijk betekent dit, dat de leidingen in de regel 2 keer en soms 3 keer per jaar zorgvuldig moeten worden schoongemaakt. Door het aanhouden van een lagere k_{Manning} nemen de investeringskosten toe als gevolg van meer grondverzet en extra landverlies. Daartegenover staat, dat wellicht op het onderhoud kan worden bespaard.

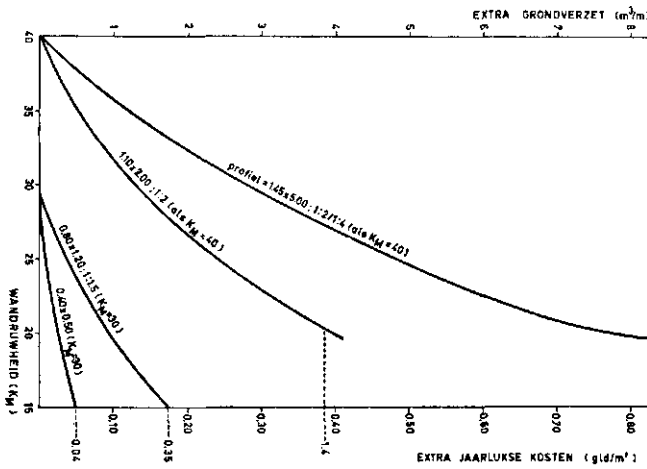


FIG. 7. Verband tussen wandruwheid en grondverzet

FIG. 7. Relation between side roughness and soil moving

Figuur 7 geeft de invloed van de keuze van de k_{Manning} op het grondverzet voor enkele leidingen weer (11). Ter vergelijking zijn in tabel 3 enkele cijfers betreffende gemiddelde onderhoudskosten van leidingen weergegeven. Deze cijfers zijn het resultaat van een enquête over 4 jaar inzake onderhoudskosten in een aantal verbeterde Drentse waterschappen.

TABEL 3. Overzicht van onderhoudskosten

Debiet in m ³ /sec	Centen/m ² /jaar	
	machinaal	in handkracht
<0,3	25	35
0,3-1,0	30	40
>1,0	35 à 50	—

Uit een vergelijking van bovengenoemde figuur en tabel volgt, dat het aanhouden van een lagere k_{Manning} van 20 in plaats van 30 voor kleinere leidingen extra jaarlijkse kosten van rente en aflossing van f 0,10 per m' zou vergen.

Indien hierdoor op het onderhoud, dat f 0,25 per m' vergt, één onderhoudsbeurt zou kunnen worden bespaard, zou dit een besparing opleveren. De besparing zou mogelijk ook kunnen worden gevonden in minder intensief onderhoud per keer. Voor de grote leidingen kan dit voorshands in totaliteit bezien economisch niet uit. Voor de onderhoudsplichtige, die wordt gesubsidieerd in de aanlegkosten en niet in gekapitaliseerde exploitatiekosten, verschuift de grens waarbij het nog uit kan naar grotere leidingen. In elk geval lijkt — gezien de grote kapitalen die het onderhoud jaarlijks vergt — een systematisch onderzoek naar de wandruwheid in aarden leidingen als functie van het groei-seizoen geen overbodige luxe.

Uit dergelijke economische overwegingen dienen bij de keuze van de k_{Manning} in het ontwerp zowel de aanleg - als de onderhoudskosten te worden betrokken. In dit verband zij vermeld dat een tendens aanwezig is naar snel stijgende onderhoudskosten. In hoeverre deze ongunstige ontwikkeling kan worden geremd, hangt af van de verdere mogelijkheden van mechanisatie van het onderhoud en van de chemische reiniging.

e. *De invloed van maatgevende afvoer en drooglegging op kosten en baten*
De invloed van de droogleggingseis op de kosten is weergegeven in figuur 8.

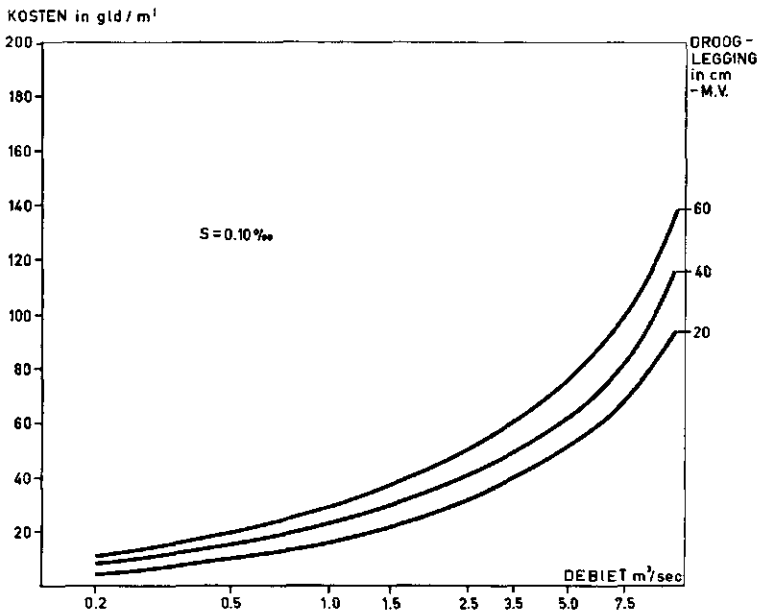


FIG. 8. De invloed van de drooglegging (H.W.-hoogte) op de aanlegkosten
FIG. 8. Influence of reclamation (H.W.-level) on laying expenses

De kosten omvatten die van het grondverzet en de stuwenbouw. Uit de grafiek valt af te lezen dat per 20 cm extra drooglegging de kosten met ca. 20% toenemen.

Tevens blijkt hieruit nog eens de uitwisselbaarheid van maatgevende afvoer en droogleggingseis, namelijk het ontwerp van een leiding, berekend op een afvoer van 3,5 m³/sec bij 20 cm drooglegging kost evenveel als dat van een afvoer van 1,75 m³/sec bij 40 cm drooglegging.

Bij de keuze van de droogleggingsnorm dient men behalve met de eisen van ontwateringsstroming, grondsoort en gebruikswijze uit een oogpunt van baten rekening te houden met de oppervlakte, die onder invloedssfeer van deze waterstand valt. In smalle beekdalen is deze strook niet erg groot, waardoor de baten-kostenverhouding der uit te voeren werken laag is (12). Voor enkele beekdalen in het waterschap „De Drentse Aa” is in het ontwerp de keuze gebaseerd op een berekening van het *investerings-effect*, dit is de verhouding tussen de jaarlijkse baten en de investeringskosten. Dit is een eerste poging geweest de normen voor dit ontwerp aan te passen aan de doelstelling, in casu een zo gunstig mogelijk investerings-effect. De onderhoudskosten zijn hierbij constant gedacht. Het resultaat van de berekeningen is in tabel 4 opgenomen (zie ook fig. 9). De kosten nemen bij toenemende drooglegging toe. De toename van de baten is afhankelijk van de invloedssfeer van de H.W.-hoogte. Het algemene niveau van de investerings-effecten is laag als gevolg van de smalle beekdalen.

FIG. 9. Situatie Rolder en Andersche Diep (zie tabel 4)

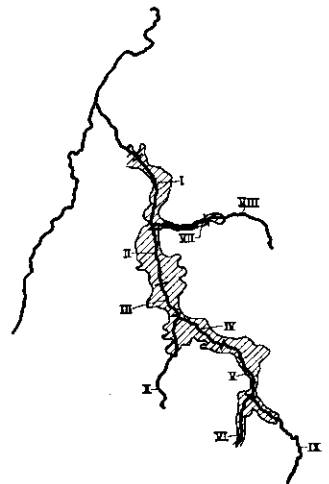


FIG. 9. Situation Rolder and Andersche Diep (see table 4)

TABEL 4. Relatie H.W.-hoogte en kosten-batenverhouding in het Rolder en Andersche Diep

Lengte/aantal	Kosten en baten			
	HW-hoogte in m — m.v.			
	0,20	0,35	0,50	0,70
Hoofdleidingen (km) 23	699	779	871	991 (x f 1000)
Zijleidingen (km) 635	437	437	437	437
Duikers (aantal) 123	55	55	55	55
Betuining	145	145	145	145
Totale kosten	1336	1416	1508	1628 (x f 1000)
Totale kosten/ha	341	364	388	419 gld/ha
Baten	29	52	56	56 gld/ha/jr
Investerings-effect	8,5	14	14	13%

Investerings-effect

Leiding- vak no.	H.W.-hoogte in m — m.v.				
	0,00	0,20	0,35	0,50	0,70
I	—	0,05	0,07	0,07	0,06
II	—	0,07	0,13	0,13	0,13
III	—	0,03	0,04	0,04	0,03
IV	—	0,07	0,11	0,11	0,10
V	—	0,10	0,18	0,18	0,16
VI	—	0,10	0,17	0,18	0,16
VII	0,055	0,05	0,04	0,04	0,04
VIII	—	0,20	0,37	0,39	0,37
IX	—	0,13	0,21	0,20	0,18
X	—	0,03	0,02	0,02	0,02

5. ENKELE PERSPECTIEVEN VOOR VERDER HYDROLOGISCH ONDERZOEK

Het samenspel van de normen in economische zin met de elkaar compenserende tendensen van aanleg- en onderhoudskosten doet de vraag rijzen of het zin heeft de afzonderlijke factoren als fysische grootheden nog aan een nader onderzoek te onderwerpen.

Ten aanzien van de *wandruweheidsfactor* ligt vooral voor de middengrote en grote leidingen nog een terrein braak. Daarnaast is onderzoek naar deze factor — vooral in afhankelijkheid van het groeiseizoen — met het oog op de techniek en economie van het onderhoud gewenst. Daarbij zal onder andere het vraagstuk van de baggerschouw, die van grote invloed is op de bodemhoogte en dus op de drooglegging, nader dienen te worden onderzocht.

Wat betreft *de maatgevende afvoer* is reeds opgemerkt, dat deze grootheid nagenoeg uitsluitend berust op ervaringsgegevens. Op de afvoerintensiteit uit een bepaald gebied zijn verschillende factoren, zoals begroeiing, helling, kwel, waterberging en gebiedsgrootte van invloed.

Een verantwoorde keus van de maatgevende afvoer kan slechts geschieden, indien uit een bekende relatie neerslag-overschot en afvoer met behulp van langjarige regencijfers een frequentieonderzoek naar de te verwachten afvoerintensiteiten wordt uitgevoerd. Afvoermetingen met zelfregistrerende apparatuur gecombineerd met grondwaterstandsopnamen in bodemkundig en hydrologisch goed omschreven gebieden kunnen hieraan steun geven. De formules gebruikt door DE ZEEUW, HELLINGA (13) en KRAAYENHOFF VAN DE LEUR (14), vinden hierbij toepassing.

De resultaten van enkele dergelijke afvoerstudies in Drente mogen als voorbeeld dienen:

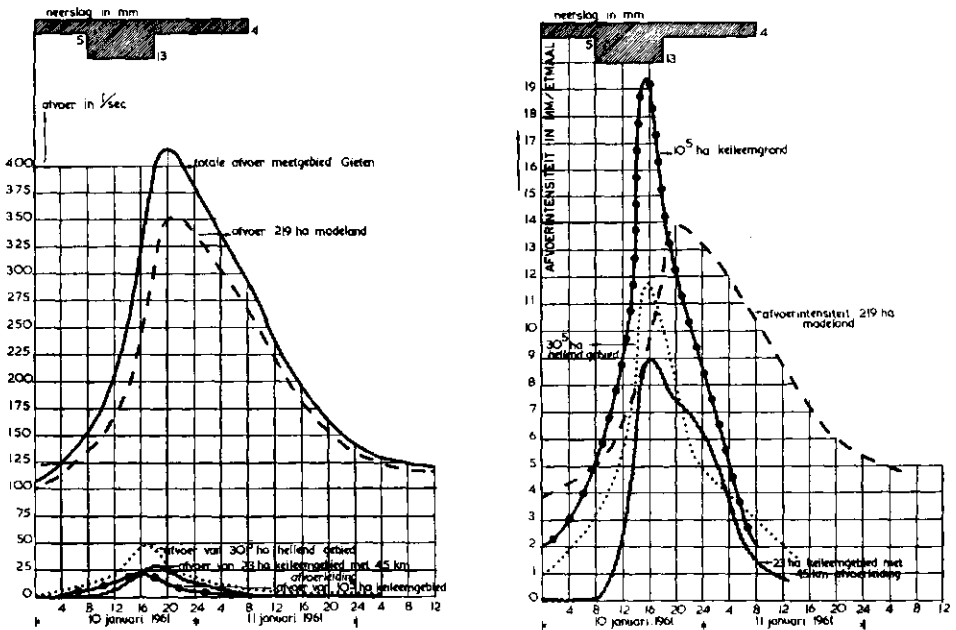


FIG. 10. Verloop van de afvoergolf met de tijd

FIG. 10. Wave of discharge in course of time

- a. een verbeterd gebied van 285 ha in het waterschap „De Oostermoerse Vaart”,
- b. een boscomplex van 460 ha in de staatsbossen van Grollo.

Het gebied van 285 ha in Gieten bestaat uit 220 ha madeland en 65 ha komvormige laagten van ondiepe keileemgronden op de Hondsrug. De reactie van een regenbui van 17 mm treft men aan in figuur 10. Uit de rechtse figuren blijkt, dat de afvoerintensiteit van ca. 10 ha keileemgebied zeer snel en hoog (19 mm/etm.) oploopt, doch ook spoedig weer op de uitgangswaarde terug is. De afvoergolf van het madeland bereikt ook binnen 20 uur zijn maximum, doch daalt dan langzamer.

De gegevens van neerslag en afvoer zijn bewerkt met de formule van KRAAYENHOFF VAN DE LEUR (14), die door WESSELING (15) werd bewerkt tot onderstaande vorm:

$$S_m = \frac{\pi^2}{8} \sum_{1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left\{ N_m (1 - e^{-n^2\alpha}) + N_{m-1} (e^{-n^2\alpha} - e^{-2n^2\alpha}) \right. \\ \left. + N_{m-2} (e^{-2n^2\alpha} - e^{-3n^2\alpha}) + \dots + N_{m-p} (e^{-pn^2\alpha} - e^{-(p+1)n^2\alpha}) \right\} \\ S_m = N_m B_m + N_{m-1} B_{m-1} + N_{m-2} B_{m-2} + N_{m-p} B_{m-p}$$

De grafische weergave van de factoren B in figuur 11 toont dat de bijdrage van een bepaalde neerslagsom aan de afvoerintensiteit hoger is, naarmate de intensiteitsfactor α groter is, doch dat tevens de najling korter aanhoudt (voor $\alpha = 1,0$ etm.⁻¹ levert een regenbui N na 4 dagen nog slechts een bijdrage aan de afvoerintensiteit van 0,01 N ; voor $\alpha = 0,3$ etm.⁻¹ is dit pas na 10 dagen het geval).

Uit het onderzoek resulteerde het verband:

$$S_m = \frac{220}{285} S_1 (\alpha = 0,25 \text{ etm.}^{-1}) + \frac{65}{285} N + 1$$

Er werd gerekend met een constante bijdrage van 1 mm/etm. kwel uit de Hondsrug (16), terwijl voor de keileemgronden met directe afvoer werd gerekend.

De overeenstemming tussen de aldus berekende en gemeten afvoerintensiteiten is redelijk goed (figuur 12).

FIG. 11. Verband tussen factor B en tijd (in etmalen) voor verschillende intensiteitsfactoren (α)

FIG. 11. Relation between factor B and time (in 24 hours) for various factors of intensity

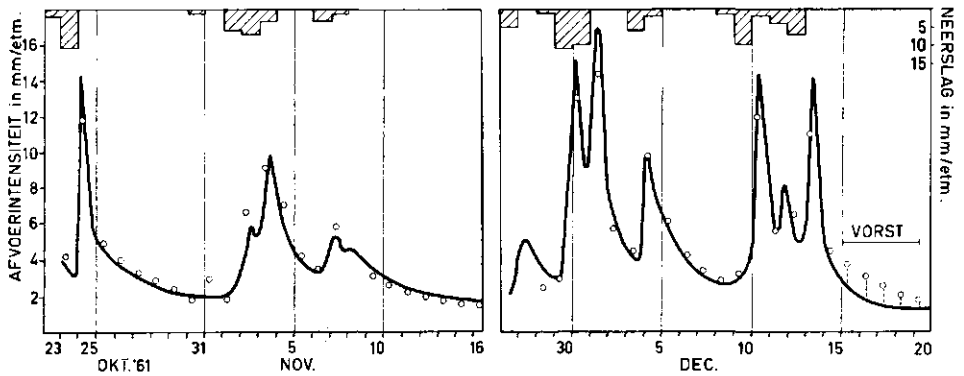
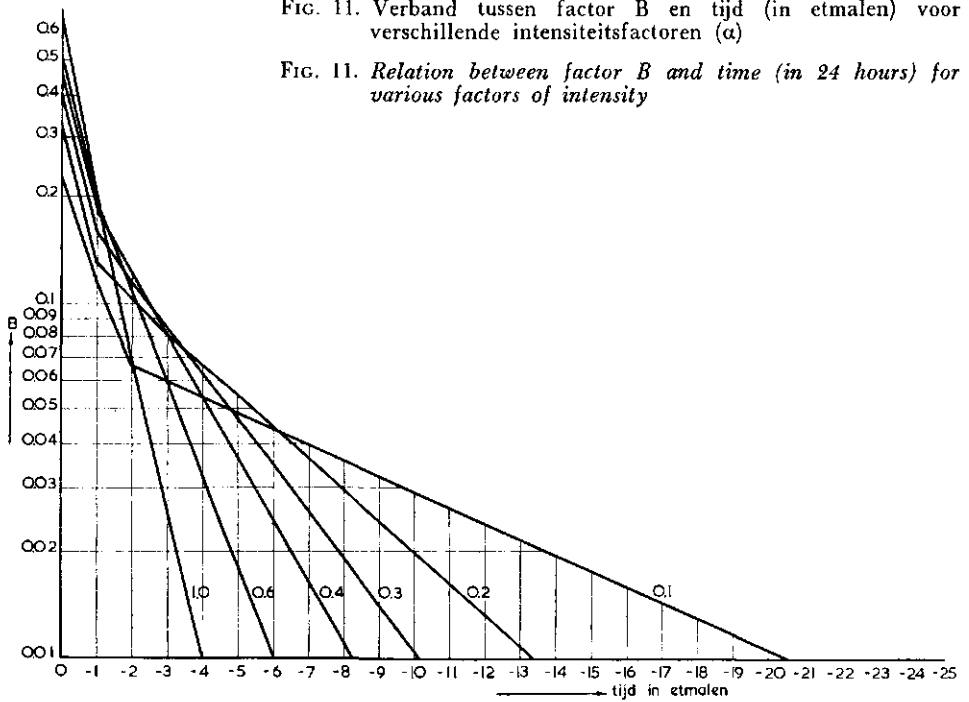


FIG. 12. Berekende en gemeten afvoerintensiteiten

FIG. 12. Calculated and measured intensities of discharge

Een frequentie-onderzoek van neerslagcijfers van het station Eext over 30 jaar gaf inzicht in de frequentie en tijdsduur van de afvoerintensiteiten. Figuur 13 geeft het resultaat weer.

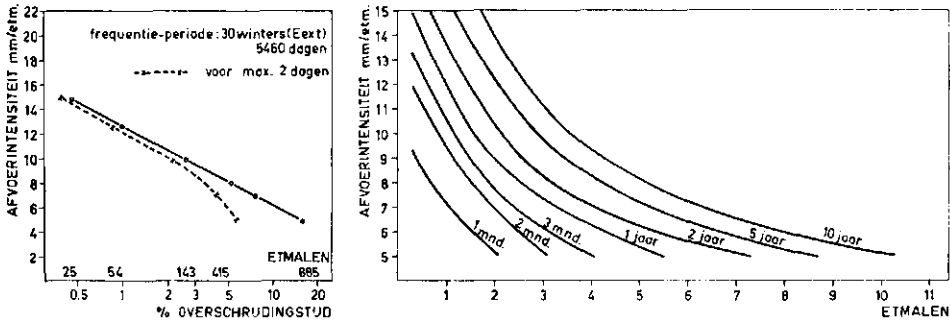


FIG. 13. Frequentie en tijdsduur van afvoerintensiteiten in een verbeterd landbouwgebied
 FIG. 13. Frequency and length of time of discharge intensities in an improved agricultural area

Figuur 14 geeft voor 460 ha cultuurbossen een analoog beeld. Het blijkt, dat de afvoerfactor van 0,4 l/sec/ha slechts gedurende een zeer klein percentage van de totale tijd (0,1 %) wordt bereikt of overschreden. De aanvankelijk geprojecteerde maatgevende afvoer van 0,7 l/sec/ha werd onder invloed van dit resultaat gereduceerd tot 0,4 l/sec/ha. Hierin komt tot uitdrukking, dat beter

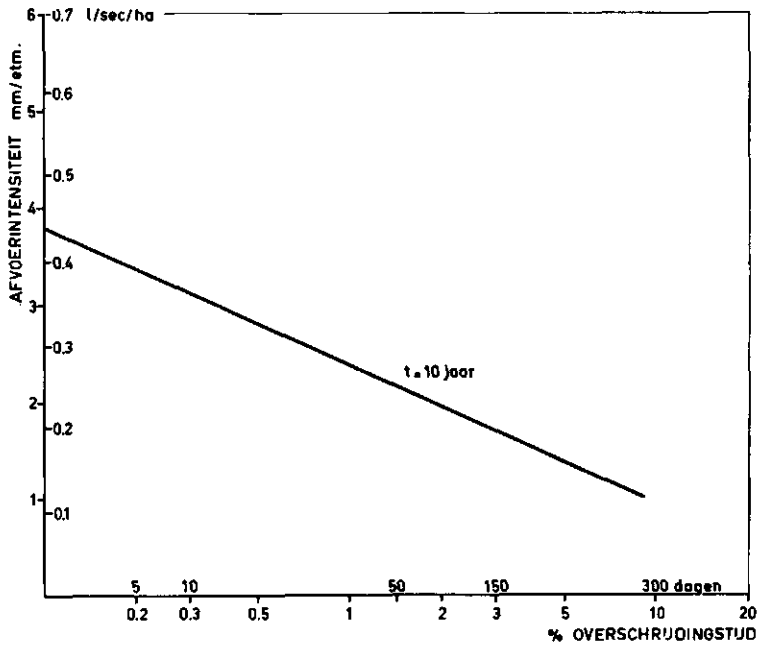


FIG. 14. Frequentie en tijdsduur van afvoerintensiteiten in een boscomplex
 FIG. 14. Frequency and length of time of discharge intensities in woodland

inzicht in de te verwachten afvoerintensiteiten kan bijdragen tot een keuze van de maatgevende afvoer, die is afgestemd op de plaatselijke behoeften. Dit kan de efficiëntie van het ontwerp ten goede komen.

6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

- 1e. Er is een duidelijke evolutie op het gebied van de waterafvoernormen waarneembaar onder invloed van de toenemende intensiteit van de landbouw. Een bezinning op deze normen lijkt gewenst gezien de snelle ontwikkeling van de landbouw. De Commissie Afvloeiingsfactoren kan hieraan een bijdrage leveren.
- 2e. In de ontwerptechniek van waterafvoerplannen bestaat een sterke samenhang tussen de verschillende normen. Met het oog op deze samenhang en de beperkte kennis van de afzonderlijke grootheden is een gezamenlijke beoordeling hiervan steeds vereist.
- 3e. De beperkte kennis kan worden vergroot door o.a. nader onderzoek van de wandruwheid in aarden leidingen, de afvoerintensiteiten in goed beschreven gebieden en — voor de detailontwatering — van het bergend vermogen van de grond.
- 4e. In verband met de overwegend economische doelstelling van waterafvoer in agrarische gebieden, is een verdere ontwikkeling van de economische beoordeling van de projecten gewenst.

LITERATUUR

1. SCHIRMER, M. Hundert Jahre Preussisch-Deutsche Dränanweisung, *Wasser und Boden 11*, pag. 319-323, 1959.
2. HOOGHOUDT, S. B. *Verlagen Landbouwk. Onderz. no. 46 (14)B*, 1940.
3. WESSELING, J. *Verlagen Landbouwk. Onderz. no. 63.5*, pag. 70, 1957.
4. HOORN, J. W. VAN *Verlagen Landbouwk. Onderz. no. 66.10*, pag. 66 e.v., 1960.
5. MOLEN, W. VAN DER Afvoermetingen in de Noordoostpolder (intern rapport), 1955.
6. ERNST, L. F. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. *Verlagen Landbouwk. Onderz. no. 67.15*, pag. 64 e.v., 1962.
7. WESSELING, J. Cursus Grondwaterstroming — Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (niet gepubliceerd).
8. ZÖLLNER, A. *Wasser und Boden 10*, pag. 92, 1958.
9. Werkgroep Waterlopen van de Cultuurtechnische Vereniging. Richtlijnen voor het ontwerpen van open waterlopen en van sommige bijbehorende kunstwerken, 1958.
10. BLAAUW, H. Afvoernormen, *Cultuurtechnisch Tijdschrift 2*, no. 3, 1962.
11. DUIN, R. H. A. VAN Grondslagen van waterbeheersingsplannen (niet gepubliceerd).

12. BIJKERK, C. Berekening van het investeringseffect voor verbeteringsplannen in het waterschap „De Drentse Aa” (niet gepubliceerd).
13. ZEEUW, J. W. DE en F. HELLINGA Neerslag en afvoer. *Landbouwkundig Tijdschrift* 70, pag. 405-422, 1953.
14. KRAAIJENHOFF VAN DE LEUR, D. A. A study of non-steady groundwater-flow with special reference to a reservoircoefficient, *De Ingenieur* 70, no. 19, 1958.
15. WESSELING, J. Enkele opmerkingen over niet-stationaire afvoervergelijkingen (niet gepubliceerd).
16. BIJKERK, C. Onderzoek naar de kwel uit de Hondsrug in verband met de wateraanvoer in het waterschap „De Oostermoerse Vaart”, *Mededelingen Cultuurtechnische Dienst* no. 30 (intern rapport) 1961.