

IN31545.0161

Het onderzoek naar de afvoercoëfficiënt van beken. Aard en aanpak
van het onderzoek

W. C. Visser

Doelstelling

Het vraagstuk van het bepalen van de afvoercoëfficiënt bestaat uit drie gedeelten. Uit de regenval en een aantal hydrologische constanten dient de afvoer berekend te worden. Heeft men deze berekeningswijze opgesteld en de regenval over een lange reeks van jaren in afvoeren omgerekend, dan dienen de afvoergegevens tot een kansverdeling te worden samengesteld. Het derde deel van het vraagstuk bestaat uit het bepalen van de schade, die een te groot verschil tussen regen en afvoer teweeg brengt. Doet men dit voor opklimmende mate van dit afvoerdeficit, dan kan aan elke kans een schadebedrag worden verbonden. Daarnaast bestaat de mogelijkheid de kosten van het vergroten van de afvoer voor elke afvoercapaciteit te bepalen, zodat kosten en baten met elkaar kunnen worden vergeleken. De kans, waarbij de verhouding van kosten tot baten voldoende acceptabel wordt, wijst uit welke afvoercapaciteit men moet toepassen om de economisch nog te bestrijden voldoende veelvuldig voorkomende schaden te voorkomen. Zie fig. 4.

De afvoervergelijking

Aan het eerste deel van het vraagstuk, het ontwerpen van formules, is in Nederland nogal wat aandacht besteed. Men kan vaststellen, dat men de grondslagen waarop de samenhang tussen regen en afvoer steunt wel ongeveer kent. Het oplossen van dit deel van het vraagstuk vraagt het uitrekenen van de consequenties van deze grondgegevens. Deze berekening zou, wanneer hij zou gelukken, maar eenmaal tot een goed eind moeten worden gebracht en zou dan verder met behulp van tabellen of nomogrammen voor iedereen bruikbaar



0000 0309 3891

200492

kunnen worden gemaakt. De belemmering, waarop men hierbij echter stoot, is dat de berekening van deze consequenties op grote mathematische moeilijkheden vastloopt. Er moet geïntegreerd worden, maar de te bewerken differentiaalvergelijking ziet er wel zeer onhandelbaar uit.

Men ziet nu drie mogelijkheden van voortgang.

Als eerste oplossingsrichting - niet de meestbelovende overigens - doet zich de mogelijkheid voor om, gebruik ^{makende} ~~te maken~~ van alle beschikbare wiskundige technieken, in het bijzonder numerische oplossingen, ~~om~~ toch een uitkomst af te dwingen. Vermoedelijk zal dit er op neerkomen, dat elk nieuw geval weer afzonderlijk moet worden berekend en er geen voor ieder gemakkelijk toegankelijke samenvatting in tabel of nomogram zal ontstaan.

De tweede oplossing maakt gebruik van afvoermetingen ter plaatse, die in de nog niet geïntegreerde vergelijking kunnen worden ingepast. Men kan dan nagaan welke gedeelten van de formule van minder belang zijn en kunnen worden verwaarloosd in de hoop, dat wat overblijft wel integreabel zal zijn. Deze wijze van werken vergt in elk gebied van beekverbetering een vrij omvangrijk meetprogramma, dat wel eens wat langer kan duren dan aan tijd beschikbaar is.

De derde oplossing gaat uit van de veronderstelling, dat men door een aantal detailvraagstukken, onderdelen dus van de algemene formule, op te lossen de goede uitkomst zo nauw zou kunnen insluiten, dat de nauwkeurigheid voldoende groot zou zijn.

De kansverdeling van de afvoeren

Zou men een bruikbare formule hebben ontworpen, dan kan met weinig moeite door werkelijk geconstateerde regencijfers uit het verleden in de formule in te zetten de kansverdelingscurve worden opgesteld. Vraagt men zich af waarom zoveel werk wordt gedaan aan de moeilijke en bij velen weinig aansprekende wiskunde, dan is de oorzaak dat men met enkele schattingen van de stromingsweerstand in het verbeterde beekstelsel ^{alsmede} ~~om vast~~ doorlatendheids- en bergingscoëfficiënten in staat zou zijn een goede uitspraak te doen over een nog niet uitgevoerde verbetering. Moet men meten, dan wordt dit onontkoombaar aan de onverbeterde beek gedaan en blijft het een speculatie of men in staat zal zijn uit deze gegevens een bruikbare voorspelling voor het verbeterde systeem af te leiden.

De statistische methode

De ervaring tot dusverre heeft van de hoop om langs de weg van formules tot een oplossing te komen niet zo veel overgelaten. Het gevolg is geweest dat de gedachten thans een andere kant uitgaan en een statistische wijze van aanpakken meer de aandacht krijgt.

Wanneer er tussen regen en afvoer een bepaalde betrekking moet bestaan, waarin tijd en plaats langs de beek alsmede een aantal hydrologische variabelen voorkomen, dan moet deze betrekking te voorschijn komen door de gemeten regen en afvoer tegen elkaar uit te zetten. Wil men de ongunstigste toestanden, die onder invloed van de volgorde van de buien naar de tijd kunnen voorkomen, als maat nemen dan betekent dit dat men uit de stippenzwermen, die als gevolg van deze tijdsinvloed ontstaan, niet het gemiddelde maar de bovengrens moet nemen.

De overdraagbaarheid van de resultaten raakt men met deze statistische methoden - zoals bekend zal zijn - kwijt, maar men kan de metingen in een vergelijkbare reeds verbeterde beek doen of op een benaderende wijze de overdraagbaarheid achteraf in de bewerking trachten in te brengen.

Een niet onbelangrijk bezwaar bij de statistische methode is, dat men een vrij lange reeks van regen- en afvoerwaarnemingen moet verzamelen b.v. over 10 jaar. Deze wijze van onderzoek zal dus in het algemeen niet aan een bijzonder verbeteringsplan kunnen worden gekoppeld, maar als een zelfstandig onderzoek reeds lang te voren moeten worden op gang gebracht.

Bij het statistische onderzoek staat daarom op de voorgrond een techniek te vinden, die met een waarnemingsserie over kortere tijds lengte toe kan. Er zal dan noodzakelijkerwijze ergens een extrapolatie moeten worden uitgevoerd maar deze moet dan naar een onderdeel worden verschoven, waar eventuele onzekerheden het minste effect sorteren. Deze techniek is niet alleen gewenst, maar ook noodzakelijk, omdat wel blijkt dat bij de waarnemingen met korte tijdseenheden moet worden gewerkt. Dagafvoeren en dagregenvallen geven een te grof beeld. Nu zijn zelfregistrerende regen- en afvoermeters schaars en wat er in ons land beschikbaar is, is maar beperkt bruikbaar. Een meetprogramma zou dus nog geheel op gang moeten worden gebracht, zodat de eerste jaren aan het kiezen van de afvoercoëfficiënt geen steun zou kunnen worden gegeven.

Invloed van niet analytisch bepaalbare invloeden

In het afvoerproces is een deel van de invloeden exact bepaalbaar, maar daarnaast komen gedeelten voor, die meer een statistische natuur hebben en zich aan een analytisch onderzoek onttrekken. In deze gevallen zal de statistische wijze van aanpakken van het vraagstuk de fysische moeten vervangen.

De gedragingen van het water in de capillaire zone heeft een dergelijk statistisch karakter, omdat de vertraging in het inzijgen afhankelijk is van de diepte van het grondwater en dus van de niet exact te beschrijven ongelijkmatigheid van de maaiveldsligging. Een balansvergelijking voor de capillaire zone zou aan de afvoerformule hebben kunnen worden toegevoegd. Een studie van dit deel van de waterbeweging nadert een eerste afsluiting. De formules hebben in een verdere mathematische ontwikkeling het bezwaar dat voor elke variatie van de capillariteitseigenschappen de formules een verschillend karakter aannemen, terwijl de formules van een niet-lineair type bij elke verdere algebraïsche berekening grote moeilijkheden voorspellen.

Eveneens mag de alleen statistisch te behandelen samenhang tussen de drainafstand en de grondwaterstand hier worden genoemd. Bij diepe grondwaterstand treden de beken als de drainerende leidingen op. Stijgt de waterstand dan gaan successievelijk de sloten, dan de greppels en tenslotte de plassen aan deze taak deelnemen en verkleint de drainafstand meer en meer. De afstand L uit de formule van Hooghoudt wordt een zeer variabele grootte. Het valt te voorzien dat een nauwkeurig onderzoek van de gebiedsontwatering van de niet gedraineerde graslanden in een beekgebied door een geheel andere formule wordt beschreven dan de voor kunstmatige drainage afgeleide betrekkingen.

Een zekere aanloop om het vraagstuk van de variabiliteit van de breedte van de drainagestrook een hanteerbare vorm te geven, lijkt gevonden te worden in een onderzoek naar de mogelijkheid de variatie in de hoogtetopografie in een eenvoudige maat weer te geven. Kouwe toonde aan, dat de ongelijke hoogteligging met een log normale kansverdeling kan worden weergegeven. Dit lijkt een waardevol en eenvoudig uitgangspunt te kunnen vormen voor een toegankelijk maken van de oppervlakte-afvoer voor berekeningen van een half fysisch half statistisch type.

Verder mag als moeilijk exact beschrijfbaar de afstand tot de drainerend leidingen worden genoemd, die van belang zullen zijn voor de vertraging, waarmede het water tot afvoer komt. De huidige ervaring wijst er op, dat wellicht de beschrijving van de vorm van het stroomgebied, welke van oudere afvoertheorieën een belangrijk deel uitmaakt, voor Nederlandse omstandigheden met vlakke maaiveldsligging van minder belang zou kunnen zijn. De snelle afvoer zal wellicht blijken vooral van een smalle strook langs de sloten te stammen, zodat men met een constante lengte van de afvoerweg zou mogen rekenen. Door onderzoek zal dit nog nader geverifieerd moeten worden eer men van deze vereenvoudiging gebruik zou mogen maken.

Uit deze beschouwing mag blijken dat ook ten aanzien van de minder exact formuleerbare invloeden voortgang wordt gemaakt en over een aantal beschouwingen over details beschikt wordt, die meer en meer worden samengevat en tot een gedeeltelijke synthese gebracht. Als - mogelijk verre - doelstelling staat voor ogen een weg te vinden waarlangs alle belangrijke facetten kunnen worden verenigd tot wat dan een volledige afvoerbeschrijving zou mogen worden genoemd.

Behandeling van de analytisch moeilijk beschrijfbare tijdinval

De regenval moet men eigenlijk naar hoeveelheid en tijd van vallen in de bewerking invoeren op een wijze, die met het werkelijke regenpatroon niet overeenkomt. De behandeling van de tijd in een integratie moet uitgaan van een punt regenval - alle regen valt op één moment - of een rechthoekige regenval - de regen valt van begin tot eind met constante intensiteit. Deze veronderstellingen beschrijven de werkelijke vorm van de regenduurlijn maar grof.

Dit regenwater zakt door de grond en komt als een sterk gedempte en uitgerekte toevoergolf bij het grondwater aan. Opnieuw is het hanteerbare alternatief de puntsgewijze of rechthoekige toevoerintensiteit. Nu is het weinig van invloed of een regenbui in een seconde of in een half uur viel. Hier kan men de buien wel door puntregenvallen vervangen. Maar bij de afzakking door de capillaire zone kan de toevoer naar het grondwater wel eens zo lang duren, dat een vervanging door een punttoevoer of dagtoevoer niet meer voldoende met de werkelijkheid overeenstemt. Men raakt hier de problemen, die men het voorperiode-onderzoek noemt. Dit komt er op neer, dat men de regenverdeling omrekent op een verdeling van de intensiteit en duur van de zakwaterstroom ter hoogte van de grondwaterspiegel.

Dit voorperiode-onderzoek levert een welkome mogelijkheid om te ontkomen aan de noodzaak de balansvergelijking van beek en vrij grondwater nog aan te vullen met een balansvergelijking voor het capillaire water, wat mathematische moeilijkheden van nog grotere omvang met zich zou brengen. Maar bovendien kan deze bewerking bij eenvoudiger formules als drainage-formules ook worden toegepast en kan men dus met een zelfde techniek bij eenvoudiger problemen de oplossingen ook verbeteren. Eenvoudige zowel als ingewikkelde formules, die al of niet verschillen in grondwaterdiepte, bergend vermogen en capillaire doorlatendheid in aanmerking nemen, zijn ontwikkeld. De eenvoudigste formules hebben op het ogenblik nog wel voorrang, omdat het niet onwaarschijnlijk lijkt dat een hogere nauwkeurigheid van formuleren toch niet tot zijn recht komt door de fout, die de onbekende oppervlakkige afvoer teweeg kan brengen.

Wat moet men meten?

Wanneer er gemeten moet worden, ligt het voor de hand zich af te vragen wat men eigenlijk zou moeten meten. Gebruikelijk is de nadruk te leggen op de meting van de regenval en van de afvoer. Het werkelijk meten van de afvoer komt echter maar zelden voor, vele afvoermetingen voeren deze naam ten onrechte. Er zijn meer metingen mogelijk. Men kan de hoogte van de waterspiegel in de beek en in het bodemprofiel meten, terwijl verder het verval in aanmerking komt. Zeer gewenst, maar veel zeldener uitgevoerd, is de meting van de veranderlijkheid van het verval met de tijd en met de afstand langs de beek. Tenslotte zal het vastleggen van de terreinconfiguratie van belang zijn, zowel wat betreft de hoogtetopografie als de doorlatendheidseigenschappen van de capillaire en verzadigde zones in het profiel. Om in te zien wat deze metingen voor de oplossing kunnen betekenen, moge naar een overzicht van de mathematische grondslag worden verwezen.

De meting van de waterdiepte, verval en de afgeleide van het verval

De meting van de grondwaterdiepte vergt weinig moeite. Een drijver brengt met de gewenste overbrenging een schrijfstift in beweging, die een vloeiende lijn tekent. Er bestaat apparatuur om, al de lijn volgende, de helling van de lijn vast te stellen en de tangens van de helling als lijn tegen de tijd uit te tekenen. Deze lijn geeft $\delta S/\delta t$. Past men de procedure nog eens toe op de $\delta S/\delta t$ -lijn, dan levert dit een curve voor $\delta^2 S/\delta t^2$.

Minder bekend is de vervalmeter. Men construeert voor deze meting 2 gesloten communicerende vaten, die via een plastic buis in verbinding staan met de beek op 50 tot 100 m stroomop- zowel als stroomneerwaarts. In deze buizen stelt zich een waterstand in als in de beek op zoveel meter afstand. Het verschil in waterstand tussen de twee buizen is een maat voor het verval.

Er zijn twee systemen om het verval direct te meten en wel met dompellichamen en met drijvers. Zie fig. 1 en 2.

De dompellichamen zijn cilindrische waterdichte buizen met een zodanig gewicht dat ze losgelaten zouden zinken. Twee lichamen hangen aan een snaar over een wiel, elk in een van de communicerende vaten. Stijgt het water in deze vaten, dan vermindert het gewicht van de dompellichamen. Stijgt het water in beide vaten evenveel, dan neemt het gewicht evenveel af en zal het evenwicht blijven bestaan. De schijf zal niet draaien. Stijgt het water ongelijk dan zal het ene dompellichaam zwaarder worden dan het andere. Het zwaarste lichaam zal wat zakken tot de opdrijvende kracht weer gelijk is. De draaiing van het wiel is een directe maat voor de verandering van het verhang. Zie fig. 1.

Met drijvers kan men hetzelfde bereiken mits men maar een constructie weet te vinden, die de beide koorden, die bij stijgende waterstand anders slap zouden komen te hangen, evenveel inkort. Dit kan door boven beide communicerende vaten wielen aan te brengen, waarover het koord naar beneden wordt geleid. Vandaar loopt van beide zijden het koord naar een katrol met gewichten met twee schijven. De koorden van beide kanten lopen over verschillende schijven. Het na de katrol weer naar boven geleide koord loopt dan naar het wiel, dat de meetapparatuur aandrijft. Stijgt nu in beide vaten de waterstand evenveel, dan daalt de katrol, doch het registreerwiel gaat niet draaien. Is de stijging ongelijk, dan zal het dalen van de katrol alleen de beide einden van het koord niet strak kunnen houden. Het registreerwiel zal wat moeten draaien, in evenredigheid met het verschil in verval. Zie fig. 2.

Het meten van de eerste afgeleide naar de afstand l van het verval krijgt men door vier communicerende vaten te gebruiken, waarvan er twee onderling gekoppeld zijn. Tussen vat 1 en 2 wordt een vervalmeting uitgevoerd en ook tussen vat 3 en 4 wordt een geheel gelijke constructie aangebracht. Of men dit met drijvers of dompellichamen doet, is alleen technisch van belang. Een van deze twee vervallen slaat nu op het traject van nul tot honderd meter stroomopwaarts, het andere verval op nul tot honderd meter stroomafwaarts. Het verschil van twee verschillen voor aansluitende trajecten levert de tweede afgeleide naar de lengte van het waterpeil.

Het verschil tussen de twee vervallen wordt nu verkregen door over het wiel dat het verval registreert een tweede koord te leiden, dat naar een ~~dubbele~~ dubbele katrol loopt en via deze katrol naar het registreerwiel voor de tweede afgeleide. Over dit laatste wiel loopt het koord terug naar de tweede schijf van de dubbele katrol en vandaar naar het tweede vervalwiel. De katrol met gewicht wordt in evenwicht gehouden met tegengewichten. Veranderen de beide vervallen met een gelijk bedrag, dan moet door de vaten op de juiste wijze met de drie meetpunten langs de beek in verband te brengen alleen de ~~dubbele~~ katrol zakken, maar het registreerwiel niet draaien. Bij ongelijke verandering kan het zakken van de katrol de beide helften van het koord niet strak doen staan en moet er wel een draaiing van het registreerwiel optreden. Zie fig. 3.

Een belangrijk punt, waarop men moet letten, is de snelheid waarmee de 100 m lange plastic slang het water kan aanvoeren. Men kan berekenen welke snelheid de waterspiegelstijging in de beek hoogstens mag bereiken wanneer men in de buis een ~~verval~~^{naaijing} van 1 cm of minder wil toelaten. Deze snelheid van stijgen wordt bepaald door de diameter van de buis, waarin de drijver of het dompellichaam hangt. Wij nemen een buis van 10 cm en een dompellichaam van 7 cm. Bij de drijver zal de snelheid in een 10 cm buis een honderdste zijn van de snelheid van het water in een 1 cm dikke slang. Bij een dompellichaam zal de snelheid, beheerst door de ruimte tussen buis en dompellichaam, één gedeeld door 51 maal die snelheid zijn, namelijk $10^2 - 7^2$.

Neemt men nu buizen van de onderstaande diameter, dan zal bij 1 cm verval per 100 m de watersnelheid zijn als in de tweede regel. De vermenigvuldigfactor staat op de derde en vierde regel en de stijging per uur op de vijfde en zesde regel.

Inwendige diameter cm	1	2	3	4	5
Verhang 1 cm/100 m					
Snelheid cm/sec	1,5	2,5	3,3	4	4,7
Verhoudingsfactor drijver	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25
Verhoudingsfactor dompellichaam	0,02	0,08	0,18	0,31	0,49
Beekpeilstijging cm/uur drijver	54	360	1080	2400	4200
Beekpeilstijging cm/uur domp.	108	720	2160	4800	8400
Verhang 0,2 cm/100 m					
Peilstijgsnelheid drijver cm/uur	24	160	450	980	1700

Wanneer men met een naijling van 2 mm en een stijgsnelheid niet boven 24 cm per uur tot 100 m ver het peil met een 1 cm slang kan overbrengen, kan dit met een 2 cm dikke slang tot $100 \times 160/24$ of 665 m ver worden opgehaald. De vraag is hier vooral over hoeveel km zich de afvoergolf uitstrekt. Zou dit een aantal km zijn, dan zou een meting van de veranderlijkheid van het verhang over 100 m wel eens zo weinig grote verschillen kunnen opleveren, dat geen betrouwbaar resultaat te verkrijgen zou zijn. Men zal dan over grotere afstanden de peilen naar een centraal punt moeten overbrengen. Daarbij zal dus op de dikte van de aanvoerslangen gelet moeten worden.

Praktische betekenis van het afvoeronderzoek

Het doel van het onderzoek naar de afvoercoëfficiënt is met de omschrijving dat het beekprofiel moet worden bepaald, waarbij geen ^{overstroming} ~~afvoer~~ optreedt, te ongenueanceerd beschreven. Men wil in de beek een peil bereiken, dat niet te hoog noch te laag ligt. De grenzen worden b. v. door het landbouwkundig gebruik van de omgevende gronden bepaald. Deze grenzen mogen wel overschreden worden, maar de frequentie moet binnen bepaalde perken blijven. Verder moet de watersnelheid in de beek een bepaalde hoogste grens niet overschrijden en moeten stuwen het teveel aan verhang wegnemen. Over deze punten valt nog wel het een en ander te zeggen, ook wanneer men nog niet over de getalwaarden spreekt.

Het overschrijdingscriterium ligt in de praktijk weinig vast. Elke nieuwe overstroming heeft de strekking de grens hoger te stellen. Men moet dan ook de vraag stellen of men wil trachten elke overstroming te voorkomen zoals bij de regenwaterafvoer in de stad, waar men los van economische overwegingen geen overstroming van de straten toestaat. Of wil men een overschrijdingscriterium baseren op de kosten en de baten van de laatste toevoeging aan de afvoercapaciteit. Er zijn aanwijzingen, dat de huidige projecten op zeer geringe overschrijdingskansen gebaseerd zijn.

In dit verband is van belang de bepaling van de afvoercoëfficiënt zo veel mogelijk samenhangend en op grond van metingen uit te voeren. Men voorkomt dat uit zekerheidsoverwegingen een aantal schattingen wat ruim gekozen wordt en dat deze overschattingen tezamen een zeer veel grotere afvoerfactor opleveren dan waarop men het plan meende op te bouwen. Tot vijfvoudige vergrotingen toe zijn bijvoorbeeld reeds geconstateerd.

Van belang is een inzicht in de breedteverking van de beken. De hoeveelheid water, die in een afvoergolf tot afstroming komt, blijkt veelal slechts 20% van de regenbui uit te maken. Stelt men nu even, dat hiermede 20% van het areaal voldoende ontwaterd is, dan blijft 80% over met weinig snelle afvoer. Bij een oordeel over de gewenste omvang van het afvoerstelsel zal men moeten bedenken, dat het voordeel alleen van de slootranden en aangrenzende stroken komt en men de economische voordelen dus niet mag overschatten. Daar staat tegenover dat een verbeterde detailontwatering nog een aanzienlijke vermeerdering in de afvoer kan teweeg brengen en men voor de toekomst dus met hogere afvoercoëfficiënten moet rekenen, althans voor kunstwerken, die niet gemakkelijk te vergroten zijn.

De mogelijkheid van een geïntensiveerde afvoer van verder van de beek gelegen gebiedsdelen brengt nog een ander aspect in het geding en wel dat van een diepere ontwatering en daardoor optredende vergroting van de berging. Een kleine toeneming van de berging maakt het mogelijk een aanmerkelijk percentage van de regenbui op te vangen en tijdelijk vast te houden, waardoor men met een veel lagere afvoercoëfficiënt en een veel goedkopere beekverbetering kan uitkomen. Zou men dus het bedrag, dat de beekverbetering minder mag kosten, gebruiken voor een gedeeltelijke financiering van een buisdrainage van het daarvoor in aanmerking komende deel van het gebied, dan kon het rendement van de geïnvesteerde gelden wel eens hoger zijn dan wanneer geen drainage werd toegepast en een beekverbetering werd toegepast met een intensiteit als nodig zou zijn bij een slecht ontwaterd gebied. Een goed inzicht in de mogelijkheid om van de berging te profiteren kan tot een geheel ander type van ontwateringsplan leiden.

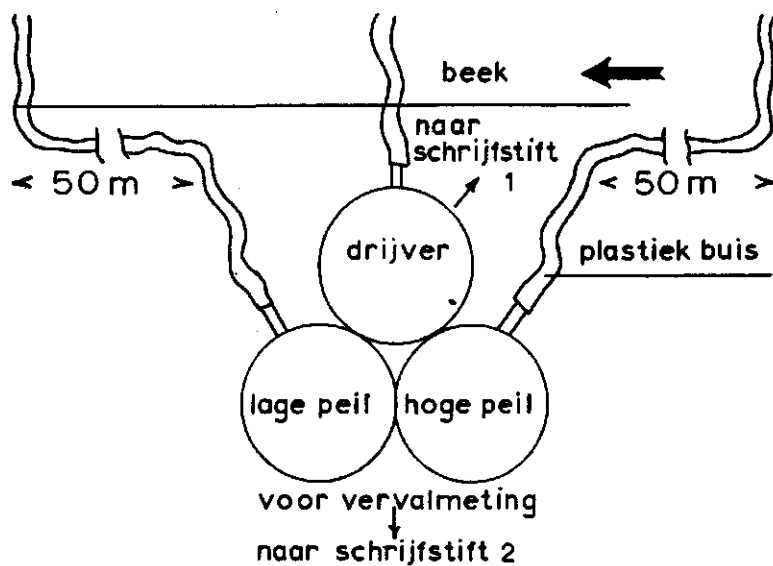
Het vraagstuk van watersnelheid, zandtransport, uitschuring en slootonderhoud wordt gewoonlijk opgelost door een bepaalde watersnelheid bij stationaire stroming en een door stuwen gecontroleerd verval als maatgevend aan te nemen. Het is de vraag of dit juist is. Wanneer wateroverlast optreedt, lijkt het juist dat het waterschap dan besluit de stuwen te strijken, waarbij het water met grote snelheid door het grotere profiel naar beneden stroomt. Snelheden in verbeterde beken van 1,5 m werden door deze maatregel opgewekt en het lijkt niet onjuist dat wat extra slootonderhoud te verkiezen is boven langere tijd durende overstromingen. Maar ook met vaste stuwen zouden watersnelheden voorkomen, die de ontwerp-snelheid overtreffen. De steile voorkant van de afvoergolf blijkt verhangen te doen ontstaan, die vier maal zo groot zijn dan de algemene terreinhelling, zodat watersnelheden van het dubbele van de ontwerp-snelheid geheel binnen de mogelijkheden liggen.

De punten, die hiervoor behandeld zijn, doen de vraag opkomen wat men door metingen of berekeningen zou kunnen bereiken ter ondersteuning van de thans gebruikelijke schattingen. Het gaat daarbij niet om wat men niet allemaal zou kunnen doen, maar wat aan vereenvoudigingen van de theorie nog mogelijk is zonder dat een resultaat wordt verkregen, dat bij de schatting op grond van ervaring achter staat. Het valt te verwachten, dat met eenvoudige formules wat gedaan kan worden. Wel zal daarbij de achterstand in formules, die uitgaan van de waterbalans in de beek, ~~die~~ ten opzichte van de ^{de} ~~de~~ balansvergelijking voor het perceel, moeten worden ingehaald.

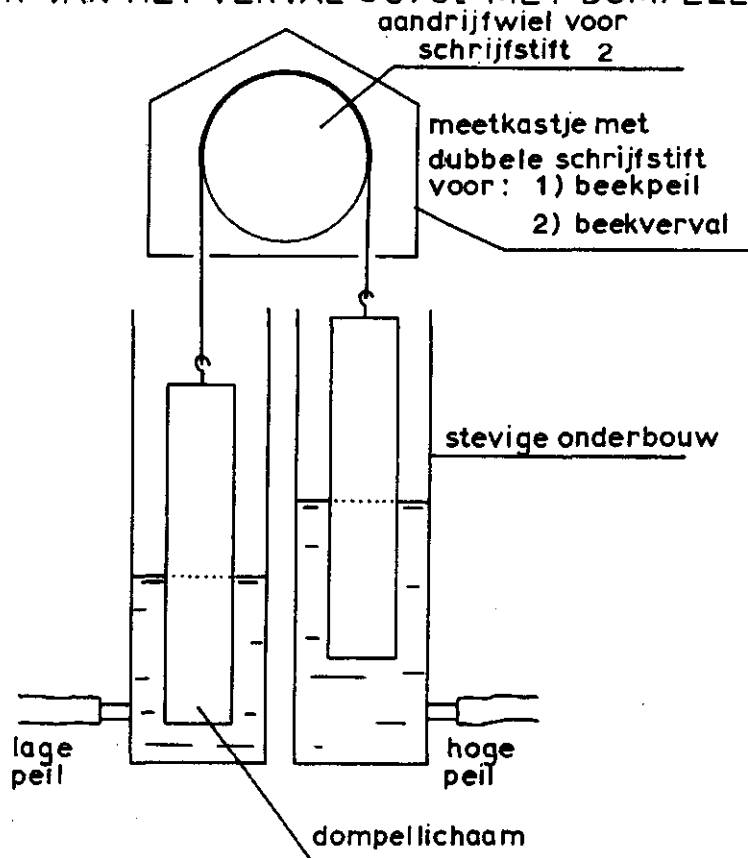
Het zal verder gewenst zijn in een aantal reeds verbeterde beken metingen te gaan doen met meetmethoden, die op de juiste wijze zijn opgezet. De eenvoudige beekpeilmeting geeft onvoldoende inzicht. Tenslotte zal het onzekere en tijdrovende delimiteren van de stroomgebieden en het schatten van de afvoerfactoren met voordeel kunnen worden vervangen door een aantal vergelijkende afvoermetingen.

Het is thans voor het onderzoek reeds mogelijk de praktijk bij het vaststellen van de afvoercoëfficiënt in belangrijke mate te steunen zonder dat dit onderzoek onaanvaardbare tijdsduur zal vergen. Het zal ook gewenst zijn dat een dergelijke beoordeling van de afvoer door metingen plaatsvindt, omdat te voorzien valt, dat door deze verbreding van ervaring reeds spoedig een aanmerkelijke verdieping in het inzicht in deze voor het ontwerp meest belangrijke grootheid zal ontstaan.

OPSTELLING VOOR EEN GECOMBINEERDE PEIL- EN VERVALMETER

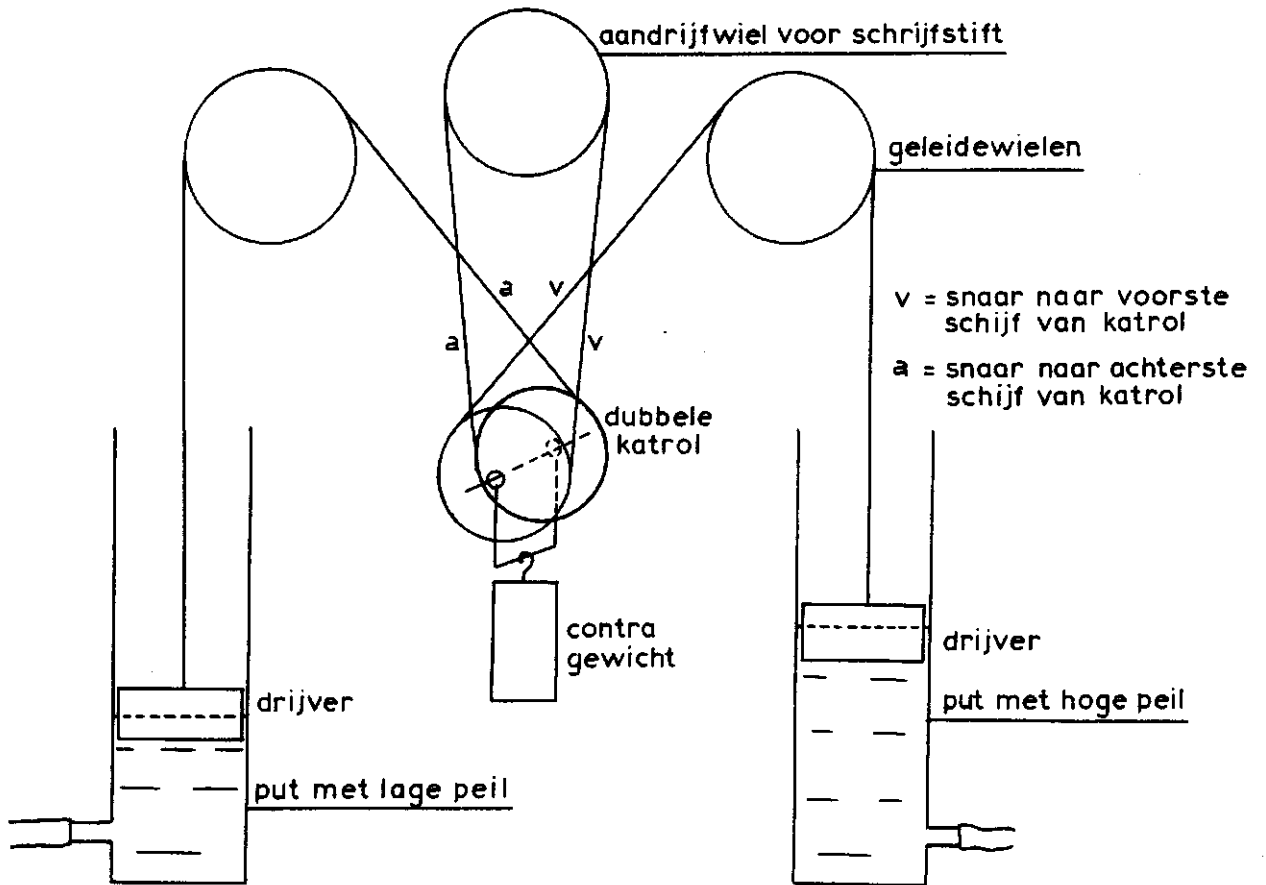


METER VAN HET VERVAL $\delta S / \delta L$ MET DOMPELLICHAMEN



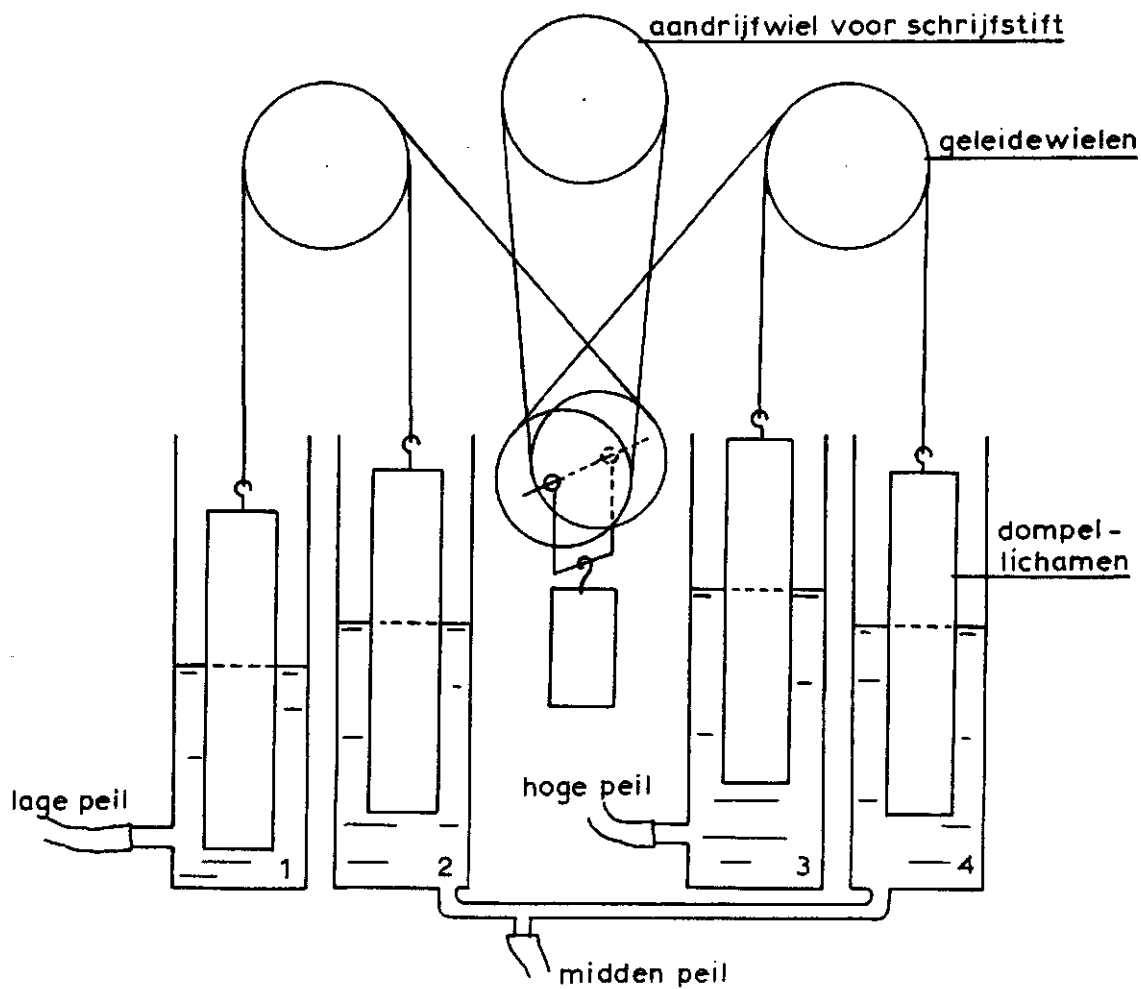
METER VAN HET VERVAL $\delta S / \delta l$ MET DRIJVERS

Fig. 2



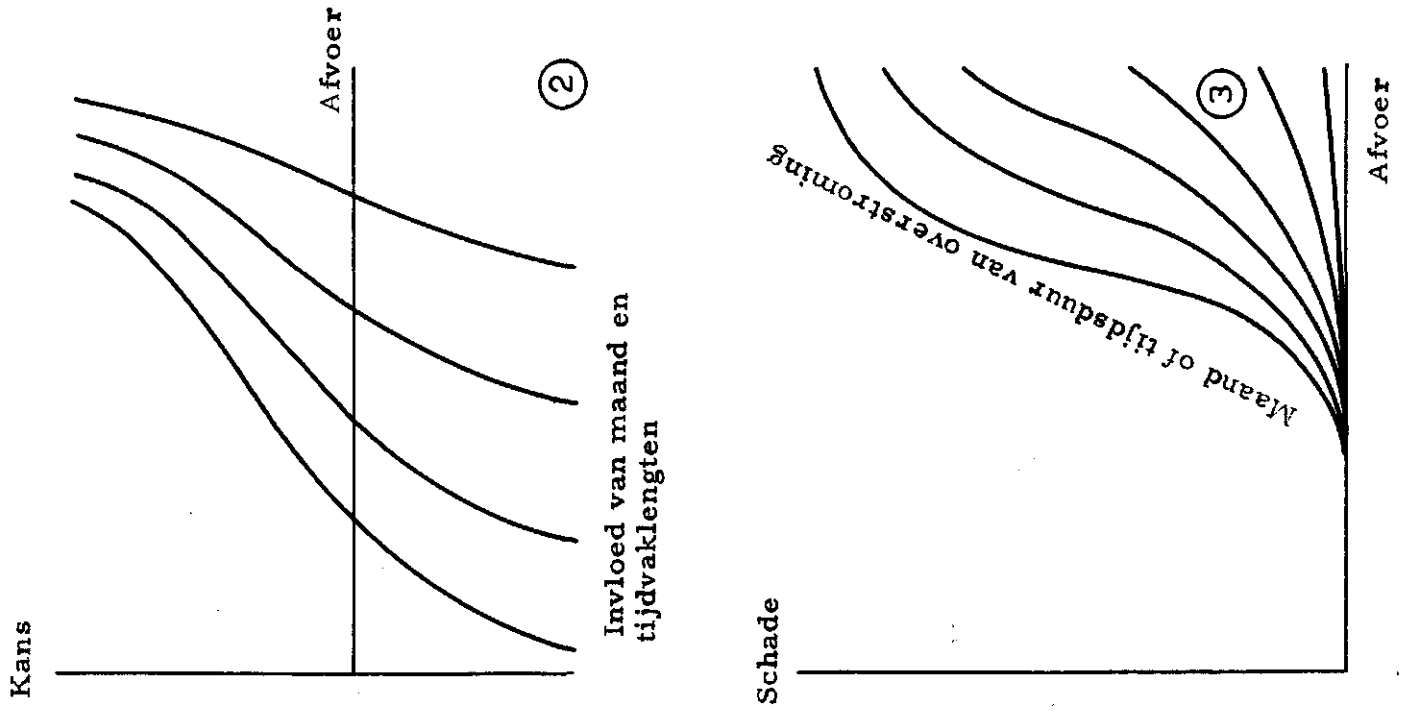
METER VAN EERSTE AFGELEIDE VAN HET VERVAL OF $\delta^2 S / \delta l^2$

Fig 3



Schematische verduidelijking van het onderzoek naar de afvoerfactor

Fig. 4



Het afvoeronderzoek bestaat uit 3 delen:

- 1) Uit de neerslag dient de afvoer te worden berekend.
- 2) Uit de afvoer wordt de kans berekend.
- 3) Uit de afvoer dient de schade te worden berekend.

