



INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING
INSTITUTE FOR LAND AND WATER MANAGEMENT RESEARCH
P.O. BOX 35, WAGENINGEN, THE NETHERLANDS

*Gebruik van afvoerverhoudingen
bij het bepalen van de maatgevende afvoer
in grotere stroomgebieden*

J. Bon

Verspreide Overdrukken **63**
Miscellaneous Reprints

Uit: Waterschapsbelangen
From: 53, 3, 1968

Gebruik van afvoerverhoudingen bij het bepalen van de maatgevende afvoer in grotere stroomgebieden

ir. J. Bon

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding

Inleiding

Bij het ontwerpen van beekverbeteringen kan men voor de schatting van de vereiste afvoercapaciteit gebruik maken van afvoerverhoudingen van meetpunten in het stroomgebied (BON, 1967). Hierbij komen eventuele verschillen in afvoerintensiteit op de verschillende meetpunten duidelijk naar voren. Wanneer de afvoeren, uitgedrukt in $m^3/sec.$, worden omgerekend tot $m^3/sec. ha.$, geven zij een indicatie voor de afmetingen van de te ontwerpen leidingen in de afzonderlijke stroomgebieden.

De afvoer van een beek wordt voornamelijk bepaald door de grootte van het stroomgebied, door de neerslag, de mogelijkheid tot grondwaterberging, oppervlakteberging in de vorm van inundaties van laaggelegen terreinen en de begroeiing in de leidingen.

In grotere stroomgebieden is de neerslag naar tijd en hoeveelheid niet overal gelijk. Bovendien zijn in dergelijke stroomgebieden de lengten van de leidingen vanaf de rand van het stroomgebied tot het uitstromingspunt vaak aanzienlijk groter dan in een klein stroomgebied. Hierdoor ontstaat een transformatie en een translatie van de afvoergolf.

Voor het verkrijgen van vergelijkbare afvoergegevens van grotere stroomgebieden is het noodzakelijk de topafvoeren te weten. Deze zijn het nauwkeurigst te meten met behulp van registrerende peilmeters, daar het zeer moeilijk is om door middel van incidentele metingen de juiste topafvoeren te verkrijgen. In de meeste gevallen worden de afvoergegevens berekend met behulp van het reeds bepaalde verband tussen het beekpeil en de afvoer ($Q - h$ lijn). Daar dit verband doorgaans wordt bepaald op basis van de winter- en voorjaarsafvoeren, dus van tijden dat er weinig of geen begroeiing in de leidingen aanwezig is, zullen voor de onderlinge vergelijkingen van de hoge afvoeren, de berekende afvoerwaarden over het algemeen afwijken van de werkelijk opgetreden afvoeren. Voor de hoge afvoeren tijdens de zomer, wanneer de begroeiing soms een flinke

peilverhoging veroorzaakt, zullen de fouten in de uit het $Q-h$ verband berekende afvoeren zeer aanzienlijk kunnen zijn (COLENBRANDER, 1967; BON, 1967).

Voor de uitvoering van een beekverbetering maakt men bij het ontwerp gebruik van een aangenomen maatgevende afvoer. Deze afvoer wordt eens in een zeker aantal jaren bereikt of overschreden. Over het algemeen wordt aangenomen dat voor een enkel stroomgebied of in enkele naast elkaar gelegen stroomgebieden de maatgevende afvoer gelijk is. Toch blijken in de praktijk zeer grote verschillen te kunnen voorkomen in de grootte van de afvoer van onderdelen van één groot stroomgebied of tussen twee naast elkaar gelegen stroomgebieden (BON, 1967).

Als oorzaak van deze verschillen kunnen worden aangemerkt:

1. in grote stroomgebieden kan meer spreiding in de regenval en -intensiteit voorkomen dan in kleinere gebieden;
2. de bodemkundige en geologische opbouw kan van gebied tot gebied variëren, waardoor
3. de bergingscapaciteit en de daarmee samenhangende grondwaterdiepte sterk kunnen variëren en bovendien is
4. de doorlatendheid van de boven- en ondergrond niet overal constant;
5. ook het reliëf van het oppervlak kan een versnelde of vertraagde afvoer bewerkstelligen, al naar gelang het een hellend terrein is of een vlak, laag gelegen gebied dat spoedig wordt geïnundeerd.

Opbouw van afvoertoppen

De bepaling van de afvoerverhouding is in kleinere stroomgebieden eenvoudiger dan in grote.

In de eerstgenoemde stroomgebieden is niet alleen de kans groter dat de regenverdeling homogener is dan in een groot gebied, doch ook de topafvoeren van de hoofd- en zijleidingen door de

1973

419 853

zelfde bui veroorzaakt, zijn gemakkelijker te meten. De afvoertoppen in een klein stroomgebied worden niet sterk getransformeerd zoals bij grotere gebieden wel het geval is (DE JAGER, 1965). Voor kleine stroomgebieden kan daardoor vrij eenvoudig een relatie gevonden worden tussen de dagneerslag en afvoertop, zoals bijvoorbeeld in het stroomgebied van de Lunterse beek (BON, 1967). Het is dan vrij eenvoudig om uit de één-daagse regenfrequenties een keuze te maken voor de afvoer.

Voor de grote stroomgebieden tot ongeveer 10.000 ha kunnen voor de benedenstroomse meetpunten de afvoertoppen niet meer uit de frequentie van de dagregenval worden bepaald. Door de transformatie van de afvoertoppen en de niet homogene regenval over het stroomgebied vloeien de bovenstrooms geregistreerde afzonderlijke afvoertoppen, benedenstrooms op de duur samen (fig. 1).

De invloed van een regenbui op het beekpeil blijkt in de benedenloop zeer sterk door een kort tevoren gevallen eerste bui te worden beïnvloed. Niet alleen wordt in het vlakke benedenstroomse deel van het stroomgebied de bergingscapaciteit door de eerste bui verkleind door het stijgen van de grondwaterstand, maar ook doordat nog niet al het water van de eerste bui is afgevoerd, hetgeen tot uiting komt door een verhoogde afvoertop van de tweede bui. Het is daarom zeer moeilijk om na te gaan door welke opeenvolgende regenhoeveelheden de afvoertop van een benedenstrooms meetpunt wordt gevormd. Vooral in regenrijke perioden, zoals die in de decembermaanden van 1965 en 1966 zijn voorgekomen, kan men niet meer met afzonderlijke regenbuien werken. Getracht zal moeten worden of sommaties van dagregens over langere of kortere tijd correlaties met de afvoertoppen kunnen geven. Wanneer dit het geval zou zijn kunnen de afvoertoppen van benedenstroomse meetpunten gecorreleerd worden met frequenties van meerdaagse regenval.

Bij de vorming van een langdurige topafvoer aan het benedeneinde van een groot stroomgebied gaat namelijk het tijds-element een grote rol spelen. Wel wordt tussen de buien door veel water afgevoerd, waardoor een peildaling mogelijk is, doch van het land waar de plassen lang op blijven staan, blijft water naar de sloten toestromen. Aan de randen van het stroomgebied verandert het slootpeil zelfs niet veel. De eventuele daling van het beekpeil aan de benedenloop tussen twee buien door is afhankelijk van de afvoercapaciteit van de beek op dat moment en de toestroming uit het land en de zijleidingen. Wanneer bijvoorbeeld de afvoer uit het land 2 mm per dag bedraagt en de gemiddelde neerslag in een regenperiode is 5 à 6 mm per dag dan zal het grondwater blijven stijgen, waardoor de afvoertop gerekt wordt.

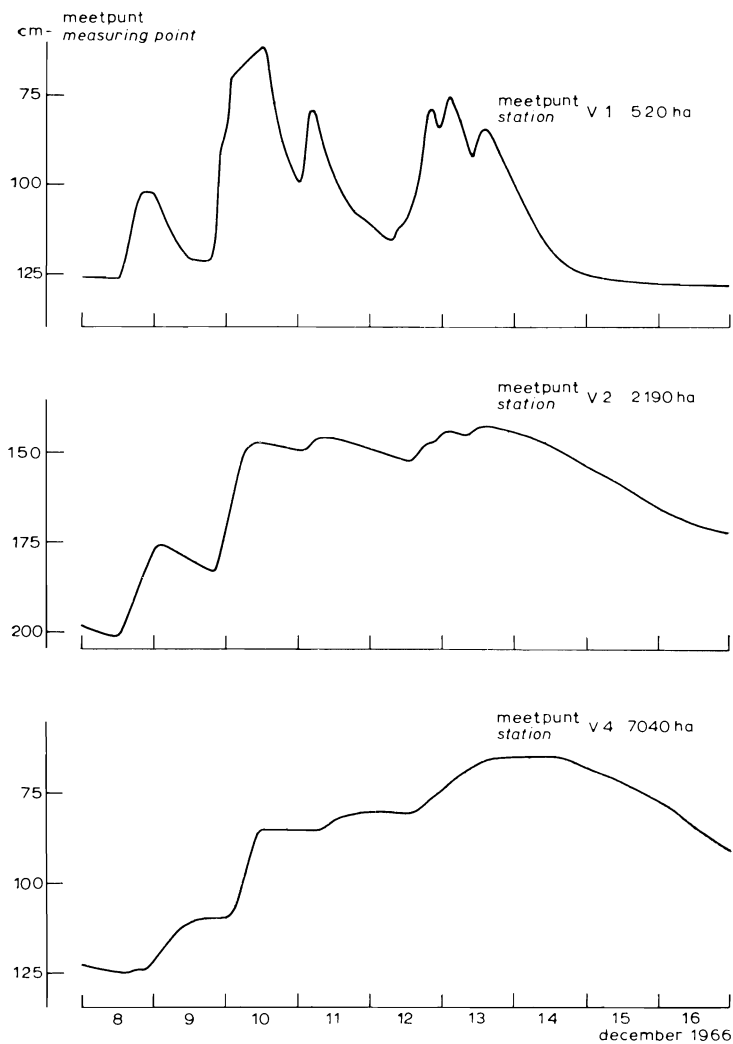


Fig. 1 Hervorming van de toppeilen in de Veen-goot (Achterhoek); V1, bovenstrooms; V4 benedenstrooms

Transformation of the crests in the 'Veen-goot' conduit from upstreams (V1) to downstreams (V4)

Bepaling van afvoerverhoudingen

Het onderzoek naar de afvoerverhoudingen van beken heeft plaats gehad in de Achterhoek, waar een zevental registrerende peilmeters waren geplaatst en een drietal peilschalen die dagelijks werden afgelezen (fig. 2). Door de geregistreerde peilen van de meters te vergelijken met de dagelijks waargenomen peilen van de peilschalen konden voor de laatste ook vrij nauwkeurige tijdstijg-hoogtelijnen worden geconstrueerd.

Uit de aldus verkregen diagrammen werden eerst de peilen van de afvoertoppen vergeleken

door ze van ieder meetpunt uit te zetten tegen die van meetpunt V4 in de Veengoot bij Vorden. Zo werden verhoudingslijnen gevonden van de peilen van de meetpunten (met uitzondering van B4 waar slechts sinds kort een meter is geplaatst) met die van V4 (fig. 3).

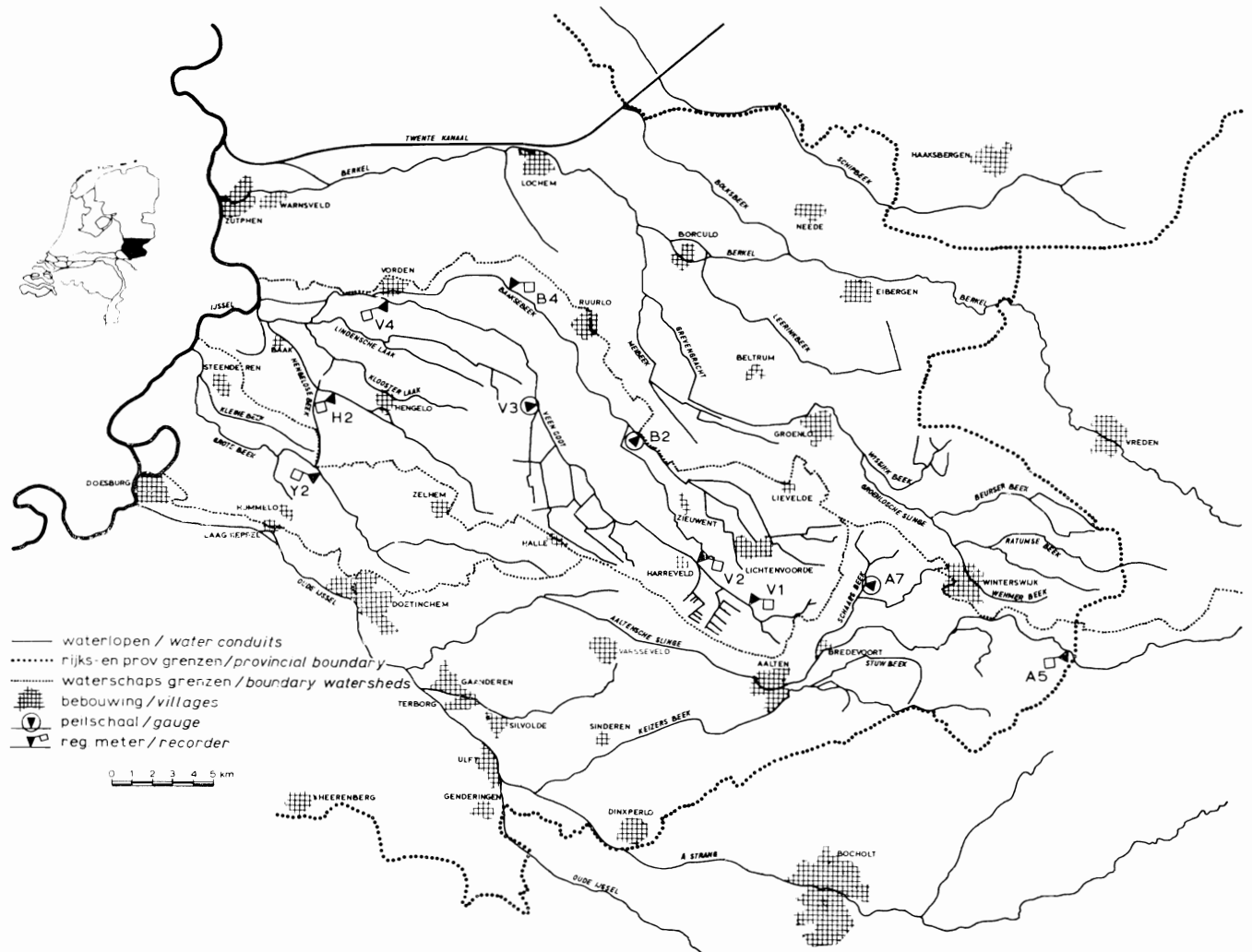
De spreiding van de peilhoogten om de gegeven lijnen varieert van 5 tot 20 cm, daar zij beïnvloed wordt door de mate van begroeiing van de leiding in de zomer.

Uit de figuur blijkt dat het verband tussen de

peilen niet steeds rechtlijnig is. De lijnen die het verband weergeven tussen het meetpunt V4 en de meetpunten V2 en vooral Y2 zijn sterk gekromd. De lijn van het meetpunt V1 is slechts licht gebogen. Voor de meetpunten V1 en vooral voor V2 zou de afbuiging van de lijn bij hogere afvoeren kunnen worden verklaard door een afremming van de peilstijging door een grote oppervlakteberging. Voor het meetpunt Y2 wordt een relatief sterkere peilstijging gevonden, die veroorzaakt kan worden door een toenemende ondergrondse toevoer vanuit de slootarme zandrug Hengelo -

Fig. 2 Ligging van de registrerende peilmeters en peilschalen in de Achterhoek

Situation map of the water level recorders and gauges in the 'Achterhoek'



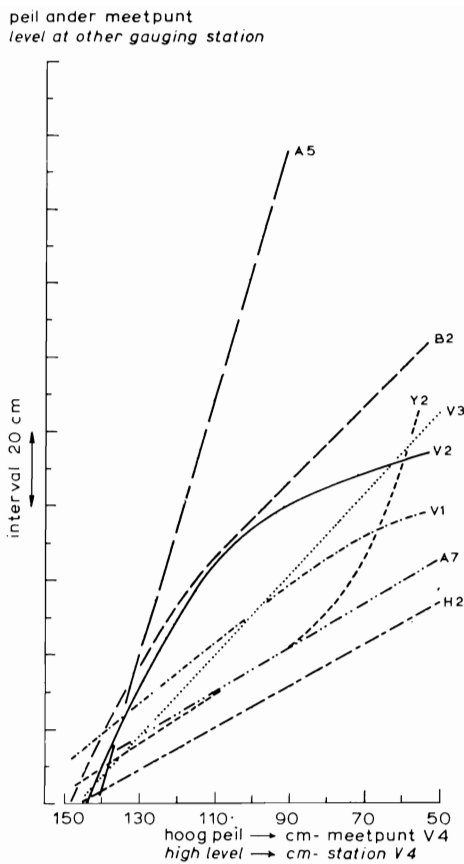


Fig. 3 Diagram voor de berekening van de grootte van de peilveranderingen op de diverse meetpunten ten opzichte van verandering in peilhoogte op meetpunt V4
Diagram to calculate the change in height of the water level at the various stations in relation to a change in level at station V4

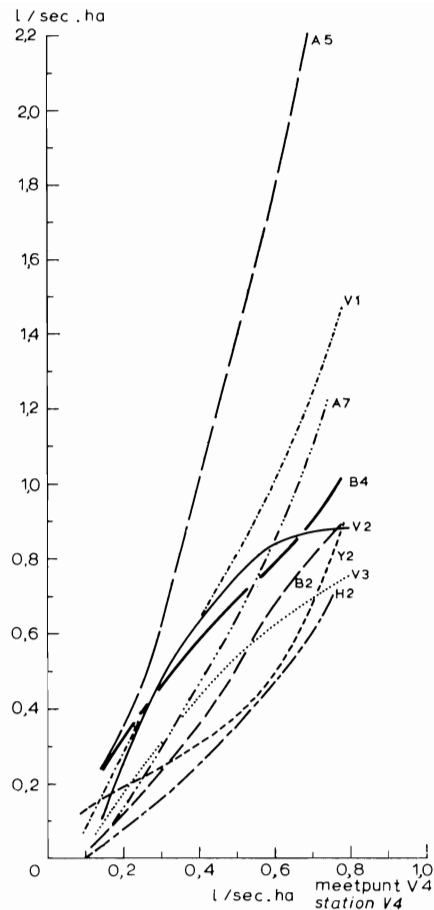


Fig. 4 Verband tussen de afvoeren op de diverse meetpunten ten opzichte van die op meetpunt V4
Relation between the discharges at the various stations and those at station V4

Zelhem. Dit is in overeenstemming met het geologisch onderzoek (DE VRIES, 1967).

Door vervolgens de afvoeren met behulp van de peilen en de beschikbare $Q - h$ lijnen te berekenen en uit te zetten tegen de afvoer van V4, wordt het onderlinge verband tussen de afvoertoppen verkregen (fig. 4). De lijn van punt B4 is verkregen uit afvoergegevens van Rijkswaterstaat. Bij een nadere beschouwing van deze figuur blijkt de geremde afvoer op het meetpunt V2 weer duidelijk. Deze wordt veroorzaakt door grote inundaties in „Het Goor”, het gebied tussen V1 en V2. Ook in fig. 1 is al de sterke vervorming van de afvoertoppen van het meetpunt V2 te zien, door deze met die van meetpunt V1 te vergelijken. Ook blijkt uit fig. 4 de versnelde afvoer bij hoger peil van het meetpunt Y2.

Hoewel bij de omrekening van de peilen in af-

voeren afwijkingen van de werkelijke afvoer optreden omdat in de zomerafvoeren een invloed van de begroeiing aanwezig is, bleek de grote reeks decemberafvoertoppen van 1965 en 1966 de overhand te hebben. Bij deze decemberafvoeren was de begroeiing, zo niet geheel verdwenen, toch van weinig invloed op de berekende afvoer. Dit bleek ook bij enkele uitgevoerde controlemetingen tijdens deze hoge afvoeren. Bovendien lagen de resultaten van deze metingen dicht bij de hoogst geregistreerde peilen, waardoor een fout in de extrapolatie van de $Q - h$ lijn zeer gering zal zijn.

Voor de verschillende afvoerintensiteiten op het meetpunt V4 kunnen uit fig. 4 de overeenkomstige afvoeren van de andere meetpunten worden afgelezen (tabel 1).

Tabel 1 Afvoeren van een tiental meetpunten in de Achterhoek ten opzichte van gegeven afvoeren van het meetpunt V4 (zie fig. 4).

Table 1 Discharges of ten stations in the Achterhoek in relation to given discharges at station V4 (see fig. 4)

Meetpunt Station	oppervlakte area	afvoer l/sec. ha discharge l/sec. ha			
		0,30	0,50	0,70	0,77
V4	7040 ha	0,30	0,50	0,70	0,77
A5*)	4895	0,62	1,38	2,29	2,65
A7*)	830	0,30	0,65	1,10	1,37
B2	3805	0,23	0,51	0,81	0,89
B4	7435	0,46	0,69	0,90	1,01
V1*)	520	0,48	0,82	1,25	1,47
V2	2190	0,48	0,76	0,87	0,88
V3	5310	0,31	0,54	0,70	0,74
Y2	4345	0,24	0,48	0,67	0,89
H2	2270	0,17	0,36	0,61	0,75

*) Stroomgebieden op ondoorlatende keileem of tertiaire gronden

*) *Catchment areas on impermeable boulder clay or on tertiary soils*

Met uitzondering van die stroomgebieden die op slecht doorlatende of heuvelachtige tertiaire gronden zijn gelegen blijken de afvoeren over het algemeen vrij laag te zijn. De laagste afvoeren geven de meetpunten H2 en Y2 die grotendeels op de slootarme en vrij diep ontwaterde zandruig van Zelhem naar Hengelo gelegen zijn.

Bepaling van afvoerfrequentie

Zoals reeds eerder is opgemerkt kan de frequentie van de afvoertoppen van bovenstrooms gelegen delen van een groter stroomgebied bepaald worden uit de regenfrequentie, mits geen of niet al te grote overstromingen optreden. Zo blijkt dat bij zeer hoge afvoer op het meetpunt V1 (fig. 1) aan de oplopende tweede afvoertop het inundatiepunt is te herkennen aan het plotseling afbuigen van de stijgende lijn.

Voor de midden- en benedenlopen is het niet mogelijk om de afvoertoppen direct met de neerslag van de afzonderlijke regenbui te correleren. Wel kan een frequentie van voorkomen van hoge toppen gemaakt worden.

Deze methode wordt algemeen toegepast door de Rijkswaterstaat en de Provinciale Waterstaat. De dagelijkse peilaflezingen worden dan omgezet in afvoeren. Voor de zomerafvoeren kunnen dan grote afwijkingen (tot 400%) in de berekende afvoer t.o.v. de werkelijke afvoer voorkomen. (BON, 1967; COLENBRANDER, 1967). Ook in zachte winters, wanneer de begroeiing niet is afgestorven, komen in de berekende afvoeren grote hoogste afvoer op het meetpunt B4 die in de afwijkingen t.o.v. de werkelijke afvoer voor.

Voorts dient bij deze werkwijze enige voorzichtigheid betracht te worden t.a.v. de keuze van de periode waarover afvoeren bekend zijn. Zo werd door de PROVINCIALE WATERSTAAT GELDERLAND (1965 en 1967) voor het meetpunt „De Wierse”, gelegen in de Baakse Beek op 500 m bovenstrooms van ons meetpunt B4, de frequentie van afvoertoppen berekend over de wintertijdvakken van 1950—1960 en van 1956—1965. De gegevens zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2

Afvoerfrequentie van „De Wierse” (Baakse Beek) naar gegevens van de Provinciale Waterstaat Gelderland (in l/sec. ha)

Tijdvak Period	Voorkomen/Frequency distribution		
	1 x p. j. 1 x p. y.	1 x p. 10 j. 1 x p. 10 y.	1 x p. 100 j. 1 x p. 100 y.
1950—1960	0,81	1,16	1,53
1956—1965	0,85	1,43	2,03

Table 2 Discharge frequency of station „De Wierse”, 500 m from B4, according to data of the Provincial Watermanagement of Gelderland (l/sec. ha)

Uit deze gegevens blijkt duidelijk dat de gekozen tijdvaklengte waarop de afvoerfrequentie werd gebaseerd, zeer belangrijk is. In de periode 1956—1965 kwamen veel extreem natte jaren voor, die hun invloed in de uitkomsten tot uiting brachten.

Uit eigen meetgegevens is gebleken dat de

extreem natte decembermaanden van 1965 en 1966 is geregistreerd 0,85 l/sec. ha bedroeg. Het verschil in afvoer tussen dit meetpunt en dat van de Provinciale Waterstaat is praktisch nihil. Deze hoogste afvoerwaarde zou volgens de frequentieberekening van de Provinciale Waterstaat 1 maal per jaar voorkomen. Uit de regenwaarnemingen van het KNMI-station Winterswijk bleek dat in december 1965 184 mm was afgetapt en in december 1966 181 mm. De frequentie van voorkomen van deze maandregenvallen bedroeg ongeveer respectievelijk 1 maal per 300 jaar en 1 maal per 200 jaar. Weliswaar was de regenval niet overal gelijk geweest (COLENBRANDER en VERSTRAATE, 1967), evenmin als de frequentie van voorkomen, doch deze grote regenhoeveelheden moeten bij een praktisch volledig verzadigde grond ook topafvoeren geven, waarvan de frequentie enigermate in overeenstemming dient te zijn met de regenfrequentie over langere tijdsperiodes.

Uit de gegevens van de Provinciale Waterstaat van Gelderland bleek dat de berekende totale maandaafvoer van december 1965 van het meetpunt „De Wierse” van de Baakse Beek 176,4 mm bedroeg. Vergelijken wij dit cijfer met de maandsom van de neerslag van 184 mm te Winterswijk, dan zou er weinig neerslag zijn geborgen. Ofschoon in de decembermaand wel een hoeveelheid neerslag van eind november werd afgevoerd, staat hier tegenover dat een deel van de regen van eind december in januari 1967 werd afgevoerd. Ook zegt de maandaafvoer niet veel over de maximale topafvoer.

De hoge topafvoeren ontstaan door de grootte van de grondwaterafvoer en de toevoersnelheid van het oppervlakte- en slootwater. In langdurige regenperiodes loopt het grondwater steeds hoger op, met als gevolg dat de bergingsmogelijkheid geringer wordt. De grondwater- of basisafvoer neemt echter toe door de stijging van het grondwaterpeil. Daarop wordt de bovengrondse afvoer gesuperponeerd, die ook steeds groter wordt door afname van de grondwaterberging en de afvoer uit de inundaties. Het resultaat is dan, dat in langdurige regenperiodes zeer hoge afvoeren kunnen optreden zonder dat de dagregenval in die periode uitzonderlijk hoog is, zoals in december 1965 en 1966.

Het kiezen van vergelijkbare waarnemingsperiodes voor de neerslag en de afvoer geeft moeilijkheden. Wel zijn dagwaarnemingen van de afvoer en de neerslag bekend, doch verschuivingen in de periode geeft spoedig de kans op „feeling” of een zekere willekeur, die niet door iedereen gelijk wordt gehanteerd.

De registrerende regenmeter bij Barlo, dicht bij het brongebied van de Baakse Beek, gaf voor de genoemde decembermaanden hoeveelheden

neerslag van 158 en 173 mm. Bij de maximaal berekende afvoer van 176,4 mm, zou er in december 1965 18 mm meer zijn afgevoerd dan er regen was gevallen. Hoewel een gedeelte van de gevallen regen van november ook is afgevoerd, blijkt hieruit wel dat van grondwaterberging geen sprake was.

Gesteld dat de hoogst gemeten afvoer van 0,85 l/sec. ha eenmaal per 100 jaar kan voorkomen, hetgeen enigermate in overeenstemming is met de regenfrequentie, dan is het verschil met de berekende 2,03 l/sec. ha zeer groot (zie fig. 4).

Door allerlei oorzaken, zoals bergingsverschillen, mogelijke inundaties en de invloed van de voorafgaande periode, blijkt er geen eenduidig verband te bestaan tussen afvoer en neerslagfrequentie. Een juiste interpretatie van de frequentie van de afvoer via de frequentie van de regenval is vooral voor de meetpunten in de benedenlopen van grotere stroomgebieden daardoor niet zonder meer aan te geven. Men mag dan ook slechts met grote omzichtigheid de resultaten van een frequentieberekening van afvoergegevens over 10 jaar extrapoleren tot een voorspelling over een eventueel gebeuren in bijvoorbeeld 1 maal per 100 jaar en deze uitkomsten gebruiken voor de criteria waaraan de nieuwe leidingen moeten voldoen.

Keuze van de maatgevende afvoer

Wanneer in regenrijke winter- en voorjaarsperiodes, die over het algemeen gekenmerkt worden door een vrij regelmatig neerslagpatroon, van verschillende meetpunten in grotere stroomgebieden de afvoertoppen worden geregistreerd, kunnen deze toppen met elkaar worden vergeleken. Op de reeds eerder aangegeven wijze kunnen de onderlinge afvoerverhoudingen worden bepaald. Wordt dan voor een bepaald stroomgebied een afvoerfactor als maatgevende afvoer gekozen, dan ligt voor de andere meetpunten in het betrokken gebied de maatgevende afvoer ook vast.

Vindt men om een bepaalde reden de gekozen waarde te laag en wordt deze met een zeker percentage verhoogd, dan dienen voor de andere meetpunten de eerstgekozen waarden met hetzelfde percentage te worden verhoogd. Voorbeeld: Wordt voor het stroomgebied behorende bij het meetpunt A de maatgevende afvoer verhoogd van 1 l/sec. ha tot 1,2 l/sec. ha dan dient voor het gebied behorende bij het meetpunt B de eerst vastgestelde maatgevende afvoer van bijvoorbeeld 0,6 l/sec. ha te worden verhoogd tot 0,72 l/sec. ha, en niet tot 1 l/sec. ha met de gedachte het zekere voor het onzekere te nemen. In het laatste geval zou de leiding veel te groot worden, met als gevolg dat in regenloze tijden de leiding bijna droog zal staan en veel hinder van begroeiing zal krijgen. Niet alleen de aanlegkosten worden dan sterk

verhoogd, doch ook het onderhoud wordt duurder.

Zonder een inzicht te hebben in de afvoerverhoudingen binnen een groter of kleiner gebied, wordt de keuze van de maatgevende afvoeren vrij willekeurig. Ook al zijn de stroomgebieden waarvoor men verbeteringen wil ontwerpen op het oog vrij identiek, de praktijk wijst door afvoermetingen eigenlijk altijd uit dat een grote variatie in de topafvoer plaats vindt. Deze verschillen worden niet alleen door de neerslag bepaald, doch ook door de reeds eerder genoemde factoren zoals berging, doorlatendheid van de grond, de helling van het terrein, enz.

Voor grotere gebieden speelt het tijdselement een grote rol in de vorming en de duur van de afvoertoppen, die niet meer uit een dagregenval zijn te bepalen. Meerdaagse sommen van de regenval zijn de oorzaak van het afnemende bergend vermogen van de grond en de toename van de basisafvoer. Op deze stijgende basisafvoer worden de vervormde en naar de tijd verschoven afvoergolven van de enkele zwaardere regenbuien in de regenperiode gesuperponeerd.

Samenvatting

Voor de beekverbeteringen in grotere gebieden is het raadzaam om van verschillende meetpunten de afvoerverhoudingen te bepalen met behulp van registrerende peilmeters en het verrichten van afvoermetingen. Winter- en voorjaarsafvoeren vertonen het nauwste verband met het peil. Na een keuze gemaakt te hebben van de maatgevende afvoer van een enkel meetpunt liggen ook de maatgevende afvoeren van de overige meetpunten vast. Door de berekeningen te baseren op deze afvoeren wordt een evenwichtige uitbouw van de leidingen verkregen. In de praktijk blijkt dat de topafvoeren van verschillende stroomgebieden sterk kunnen wisselen, zodat ieder stroomgebied doorgemeten dient te worden.

Voor grote stroomgebieden wordt de topafvoer in regenperioden niet meer opgebouwd door de enkele regenbui, doch door meerdaagse regenval. Benedenstrooms worden de afvoertoppen vervormd. Door de frequentie van deze meerdaagse regens te bepalen kan enigszins een idee gevormd worden van de frequentie van de hoogste afvoertoppen. Frequentiebepalingen van afvoertoppen over een periode van 10 à 15 jaar zijn eenvoudig te maken, doch men moet daarbij rekening houden met de aard van de meerdaagse regensommen die in de waarnemingsperiode zijn gevallen. Zijn deze zeer extreem, zoals in 1965 en 1966, dan mag men niet zonder meer de afvoergegevens over bijvoorbeeld 10 waarnemingsjaren gebruiken om te extrapoleren naar het voorkomen van 1 maal per 100 jaar, om dan op die geëxtrapoleerde afvoer een beekverbetering te baseren.

SUMMARY

The use of discharge ratios for the determination of the norm discharge in catchment areas of a fairly large size

When designing new conduits a norm discharge is necessary to determine their dimensions. In small upstream catchment areas the discharge relation of gauging stations is easy to determine, when the crests caused by the same storm can be measured. In larger areas (up to 1000 ha or some 2500 acres) recorders are needed and their data can give the relation between the discharge and the height of the water level. In small areas the top discharges bear a relation to the single storms (BON, 1967). In larger areas top discharges in a rainy period are formed by a rainfall period of longer duration. A crest upstreams is formed by a single shower, but will be transformed by time and distance when going downstreams (DE JAGER, 1965). At the downstream end a crest will have been formed by more than one storm (fig. 1).

In large catchment areas the rainfall is not uniform (COLENBRANDER and VERSTRAATE, 1967). In rainy periods the storage capacity of the soil decreases. The base flow increases, while the groundwater discharge is less than the rainfall. Inundations in flat areas are the consequence of the increasing height of the groundwater level and a continual rainfall. To the increasing base flow, a transformed discharge of the single storm is added. So it is difficult to estimate the relation of the downstream crest discharge a rainy period with the amount of rainfall.

The investigations of the discharge ratios of various gauging stations in catchment areas took place in the eastern part of the Province Gelderland, called the „Achterhoek”. At a 10 gauging stations in an area of some 27 000 ha (1 ha = 2.47 acre), see fig. 2, the height of the crests of the levels in the conduits were recorded and related to their height when passing station V 4 and the discharge belonging to it in conduits without vegetation gives the possibility to determine the ratio between the discharges of the 10 stations (fig. 4). These relations do not always give straight lines. Some lines are bent down at the top (station V 2 and V 3), other ones are bent upwards (station Y 2). These curves are caused by inundations (V 2, V 3) or by increasing seepage of groundwater (Y 2) from a permeable high sandy ridge. This last example corresponds with the results of a geo-hydrological survey (DE VRIES, 1967).

When the relation between the discharge and the water level is used to determine the discharge from water level data only, the conduits have to be clean of vegetation. In the summer and autumn

the vegetation in conduits causes a rising water level, which is not corresponding with the discharge of clean conduits (COLENBRANDER, 1967; BON, 1967).

The ratio of the various discharges from figure 4, are given in table 1. The choice of a norm discharge for one conduit also determines the norm discharges at the other stations. The frequency of a certain discharge depends on the frequency of a certain rainfall over a period of longer duration.

The Provincial Watermanagement Board of the Province of Gelderland has made frequency lines of the crests during two observation periods of 10 years of the conduit Baakse Beek, at a point 500 m upstreams of station B 4 (see table 2). The observation period and the occurrence of rainless or rainy years in it are heavily influencing the conclusions made from the frequency lines. In the second observation period (1956-1965) the extremely wet December month of 1965 is included. The differences in the extrapolation of the discharge of once per 100 years are therefore enormous.

The total rainfall in December 1965 at the meteorological station at Winterswijk, situated 8 km east from the spring of the Baakse Beek, amounted to 184 mm. This value agrees with a frequency of rain for that station of once per 300 years. Although the total discharge of December 1965 was 176 mm over the whole catchment area belonging to gauging station B 4, it is clear, that there was hardly any storage capacity left. At another meteorological station at Barlo, situated 4 km south from the spring of the Baakse Beek, a total of 154 mm was recorded. The maximum discharge at a crest measured and recorded in December 1965 was 0.85 l/sec. ha and the frequency of this value has to be in some agreement with the frequency of the appertaining total rainfall. Although the total rainfall in December does not have a direct relation with the maximum recorded discharge, this discharge has been taken to have a frequency of approximately once per 100 years.

Looking at the amount of rainfall at station Barlo (154 mm), this was less than the total discharge. This can have been caused by a delayed discharge of the rainfall at the end of the month November, but on the other hand the rainfall at the end of December was discharged in January 1966.

It is therefore not to recommend to extrapolate the data of 10 years to a discharge of once per 100 years when extreme high discharges, caused by extremely high rainfall are included in the relative short observation period.

It remains difficult to get in a large catchment area a relation between the discharge during a

long rainy period and the amount of rainfall. When, however, the discharge ratios of some stations are known and a norm discharge for one of them has been chosen the norm discharges of the other stations are fixed too. If afterwards one wants to change for some reason the norm discharge of station A of 1 l/sec. ha to 1.2 l/sec. ha, the first fixed norm discharge of station B of for example 0.6 l/sec. ha will have to be changed to 0.72 l/sec. ha and not to 1 l/sec. ha with the idea to take a certainty for an uncertainty. In the latter case the construction and the maintenance costs heavily increase.

Catchment areas appearing to be identical have in almost all cases a large variation in their discharge. Only recorders and measurements give an insight in the variation of the discharges of different areas during rainy periods, which are needed to determine the norm discharge.

Literatuur

- COLENBRANDER, H. J. 1967. De invloed van de begroeiing op de afvoercapaciteit van een beek
Cultuurtechn. Tijdschr. 6, 5 : 165-175.
- 1967. Afvoerberekeningen met behulp van Q/h krommen.
Nota Commissie Waterbehoefte Gelderland.
- COLENBRANDER, H. J. en J. M. I. VERSTRAATE, 1967, Zomerimpressie.
Kon. Ned. Heide Mij, No. 3, 95-115.
- BON, J. 1967. Afvoerberekeningen van beken uit peilwaarnemingen.
ICW nota 386.
- 1967. Hoge beekafvoeren in de Achterhoek.
Waterschapsbelangen 52, 11 : 157-166.
- 1967. Afvoer en berging in verband met beekverbeteringen toegelicht aan het stroomgebied van de Lunterse beek.
V.L.O. 701. Med. ICW 107.
- JAGER, A. W. de. 1965. Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden.
Dissertatie. 167 pp.
- PROVINCIALE WATERSTAAT VAN GELDERLAND 1965. Verhouding tussen afvoeren met een frequentie van 1 dag per jaar en 1 dag per 10 jaar in enkele beken in de Achterhoek, uitgaande van de frequentie van dagafvoeren. (Tabellen en grafieken)
- 1967. Enige gegevens over afvoeren in de Achterhoek. Nota.
- VRIES, J. J. de. 1967. De geo-hydrologische gesteldheid van de Achterhoek en de consequenties van toenemende grondwaterwinning.
ICW nota 390.