

OVER HET ONTSTAAN VAN OVERSTROMINGEN

(With a Summary)

[116.2]

door

B. W. P. ROESSEL

Aanleiding tot dit artikel is een beschouwing van de Franse houtvester M. Paul Reneuve over het ontstaan van overstromingen, zoals hij zelf aangeeft „bekeken door een houtvesterlijke bril.”

Eind December 1947 ontstond er in Oost-Frankrijk in de stroomgebieden van de Moezel en de Meurthe, die in de Vogezen ontspringen, een extra hoogwater. Hij probeert nu te verklaren waarom de bossen van de Vogezen in gebreke zijn gebleven „de catastrophe van de Crue lorraine” te voorkomen. Of nu alle Franse houtvesters, en eventueel die van andere landaard, het met de verklaring van Reneuve eens zullen zijn, is een vraag die ik niet kan beantwoorden.

Hij begint met opgave van enige regencijfers, die hij heeft ontleend aan een publicatie van Pardé. Pardé heeft de regencijfers gesplitst in twee delen: voorbereidende regens van 25 t/m 27 Dec. 1947 en een beslissende regen die 27 Dec. 7 uur begon en 26 à 28 uur duurde. De hoeveelheid van de voorbereidende regens bedroeg ongeveer $\frac{1}{3}$, die van de beslissende regen ongeveer $\frac{2}{3}$ van het totaal. De totalen van deze vierdaagse regens bedroegen op de meeste plaatsen 100 à 150 mm, in 3 gevallen 200 tot 300 mm en in 2 gevallen 300 tot 350 mm. Pardé zegt, dat de vóórregens de grond verzadigden, zodat de beslissende regen zeer hoge afvoeren kon veroorzaken. Pardé laat er zich niet over uit of de afvoeren door de grond dan wel over de grond plaats hadden.

Reneuve is blijkbaar teleurgesteld over het feit, dat een bosrijke streek geen garantie geeft tegen het ontstaan van grote overstromingen en zegt dan, dat het vrij gemakkelijk is om aan te tonen, dat het bos in de gegeven omstandigheden niet die rol kon spelen, die het in normale omstandigheden wel vervult. Hij begint met er op te wijzen, dat een spons die zich volgezogen heeft, niet nogmaals water kan opnemen en dat een vloei-papier, geheel met inkt doordrenkt, de afvloeï van de inkt van een inkt-koker die er op wordt omgekeerd, zonder enige vertraging zal toelaten.

Deze beweringen laten nu duidelijk zien hoe Reneuve zich de zaak voorstelt. Hij verwaarloost geheel de waterafvoer door de grond. Hij ziet het bos en de bosbodem als een vloei-papier, neemt aan, dat er een zekere hoeveelheid vloeïstof kan worden opgenomen, en, als er nu nog meer vloeïstof op uitgestort wordt, dan vloeï die *over de bodem* af, zoals de inkt over het vloei-papier weg stroomt. Tegen deze redenatie kan men reeds opponeren, zonder iets van het werkelijke gebeuren af te weten, als men bedenkt, dat het vloei-papier (te vergelijken met de bovenlaag van de bodem) niet vlak, maar hellend ligt, waardoor er door het vloei-papier een vloeïstofstroming langs de helling van boven naar beneden zal plaats vinden en verder te bedenken, dat de regen niet zoals de

inkt uit de inktpot ineens neerkomt, maar er vier dagen over doet. In die tijd zou er heel wat inkt door het papier kunnen afvloeien.

Reneuve geeft over de overstroming de volgende gegevens :

- 1) Er hadden geen „misdadige” ontbossingen plaats gehad.
- 2) Bronnen die sedert jaren uitgedroogd waren, gaven gedurende de hoogwaterdagen water, om daarna weer uit te drogen. (Commentaar : men zal hier te maken hebben gehad met zogenaamde overloopbronnen, die alleen lopen indien het grondwaterpeil in de bodem een grote hoogte heeft bereikt.)
- 3) Er deden zich geen stortbeek-verschijnselen voor, niettegenstaande de sterke regenval. (Commentaar : De regenval was wel groot, maar men had volgens de gegevens te maken met een landregen en dus met een regen van lange duur, doch geringe intensiteit. Een bodem kan in het algemeen een langzaam opgegoten hoeveelheid water beter in zich opnemen, dan dezelfde hoeveelheid in eens opgegoten.)
- 4) Het water was tijdens de vloed helder. (Commentaar : Dit gegeven is belangrijker dan op het eerste gezicht lijkt. Volgens Reneuve is dit te wijten aan de bodembedekking met afgevallen loof, doch hij vergeet, dat 20 tot 40 % van het terrein niet-bos was. Waarschijnlijk is dan ook, dat het water helder bleef, omdat het zowel in als buiten het bos in de grond drong en door de grond heen tot afvoer kwam.
- 5) Het bos heeft zelfs op steile hellingen beantwoord aan de „opdracht” om de bodem vast te houden. (Commentaar : In de regel zijn de niet-bos stukken minder steil, maar de bodembedekking is er vaak genoeg minder goed. Toch hebben ook daar geen bodemafschuivingen of afspoeling plaats gehad, anders was dat wel vermeld.)
- 6) In de streek waar het hoogwater ontstond was 60 tot 80 % van de oppervlakte bebost, terwijl voor heel Frankrijk niet meer dan 22 % van de oppervlakte bebost is.

Als tegenhanger moge dienen een plaatselijke overstroming in de stad Nierstein (Zuid-Duitsland aan de Rijn). In de Neuer Mainzer Anzeiger nummer 150 van 2 Juli 1953 stond daarover het volgende : „Tussen 10 en 11 uur Woensdag 1 Juli 1953 werd het Zuidelijke deel van het district Mainz door een zwaar onweder overvallen, dat vooral in Nierstein en omgeving veel schade aanrichtte. Het onweder duurde voort tot 14 uur. Het van de wijnbergen tussen Nierstein en Nackenheim afstromende water nam een deel van de wijnberg-aarde mede, waardoor de spoorlijn Nierstein—Nackenheim over een afstand van 50 tot 60 meter zodanig met slib werd bedekt, dat de treinen pas weer konden rijden nadat de rails daarvan waren bevrijd. Ook de straten in het laagst gelegen deel van de stad kregen veel slib. Aan de straat tussen Nierstein en Schwabsburg werden delen van de wijnberg-terras-muren ingedrukt en kwamen de stenen op de straat terecht, waardoor het verkeer werd gestremd. Oude inwoners meenden, dat ze zo'n onweder niet hadden beleefd.”

Commentaar : Er zullen in Europa weinig bij de landbouw in gebruik zijnde gronden zijn, zo kwetsbaar voor oppervlakte-afstromingen als de wijnbergen langs de Rijn ¹⁾ De hellingen waarop ze aangelegd zijn, zijn

¹⁾ De wijnbergen in de Vogezen zijn mij niet bekend, maar zij zullen wel op dezelfde wijze aangelegd zijn, als die langs de Rijn.

zeer steil. Wel heeft men getracht door terrasserings het gevaar voor erosie te verkleinen. De daarbij ontstane terrassen zijn echter verre van horizontaal en nog altijd als zeer steil te kwalificeren. Er komt bij dat de rijen niet dwars op, maar evenwijdig aan de helling zijn uitgezet en de grond zo veel mogelijk vrij van onkruid wordt gehouden. Toch schijnt belangrijke erosie alleen in uitzonderlijke gevallen voor te komen.

Wij zien hier dus twee soorten van overstromingen: in een grote rivier met helder water door landregen veroorzaakt en een plaatselijke overstroming met veel slib als gevolg van een heftig onweder.

Het is bij de civiel-ingenieurs reeds vele tientallen van jaren bekend, dat in kleinere stroomgebieden de maximum-afvoeren ontstaan door intensieve onweersbuien en in grotere stroomgebieden door weinig intensieve landregens. Deze laatste hebben echter een veel langere duur, waardoor ze in totaal een grotere hoeveelheid regen opleveren per eenheid van oppervlakte. Er komt bij, dat de onweersbuien een veel geringere uitbreiding hebben dan landregens, vandaar dat zij voor grotere stroomgebieden van weinig betekenis zijn. Voor Europa zou men bovengenoemde grens tussen grotere en kleinere stroomgebieden moeten zoeken tussen 50 en 200 km². In hoeverre dit cijfer juist is weet ik niet. Voor een stroomgebied als de Moezel, met een oppervlak van 23430 km², kan men echter wel rustig aannemen, dat een overstroming door een landregen veroorzaakt, normaal is.

Het hiervoor behandelde zal nu nader worden bekeken aan de hand van cijfers en grafieken. Daartoe gaan we eerst eens na hoe een klein stroomgebied van nog geen km² zich gedraagt tegenover een onweersbui en hoe tegenover een landregen. Daarvoor zijn de gegevens ontleend aan cijfermateriaal gepubliceerd in 1919 door Prof. A. Engler betreffende twee kleine stroomgebieden met verschillende vegetatie. (3) Het ene, Sperbelgraben, is bijna geheel bebost; het andere, Rappengraben, is voor ongeveer 1/3 bebost en bevat 55 % weidegrond, welke uitmunt door geringe doorlatendheid.

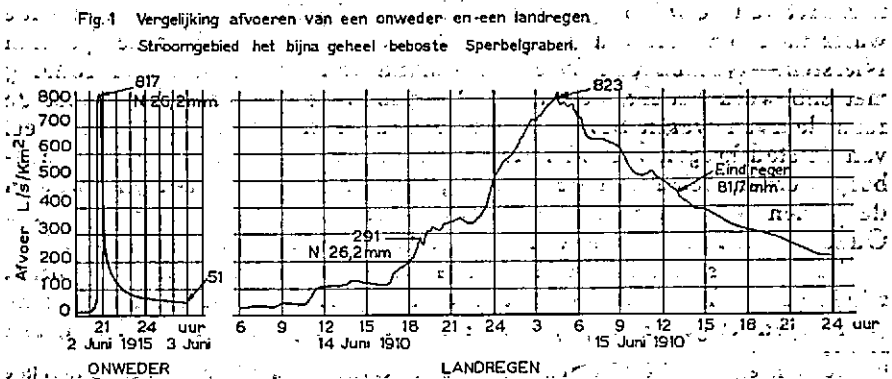
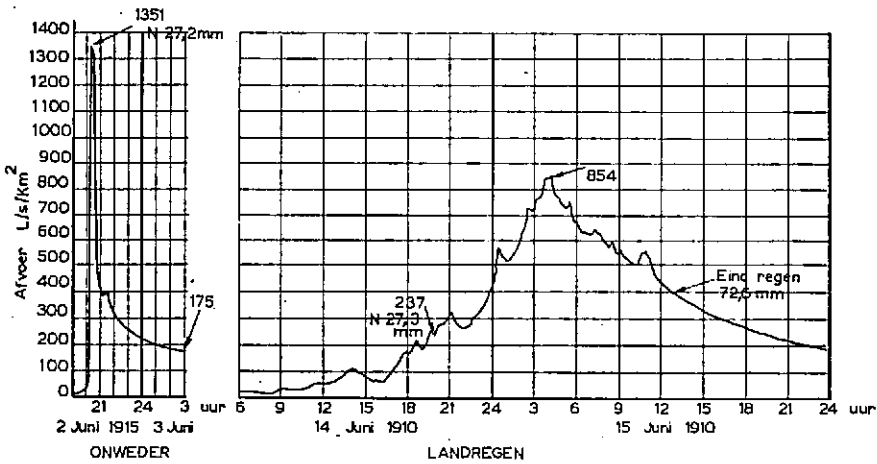


Fig 2 Vergelijking afvoeren van een onweder en een landregen
Stroomgebied het voor 1/3 beboste Rappengraben



TABEL 1
Cijfers behorend bij fig. 1 en 2.

	Opp. ha	Neerslag in mm			duur v/d regen	Afvoer				Afvoer in l/s/km ²		
		tot	max.	gem.		totaal		bovenbegin		begin	max.	eind
						mm	% v/d regen	mm	% v/d regen			
Onweder 2 Juni 1915												
Sp gr	55,79	26,2	1,68 a	0,655 a	40 min.	3,2 b	12,1	2,8 b	10,6	15,1	817	50,6
R gr	69,71	27,1	1,58 a	0,493 a	55 min.	7,9 b	29,3	7,6 b	18,2	12,5	1351	175,2
Landregen 14/15 Juni 1910												
Sp gr	55,79	81,7	5,3 c	2,37 c	36 uur	86,6 d	106,0	76,1 d	93,1	27,8	823	30,5
R gr	69,71	72,6	5,5 c	2,02 c	36 uur	73,2 d	100,9	67,9 d	93,6	18,9	854	23,2

a mm per min.

b in 7 uur

c mm per uur

d in 6 dagen

Deze gegevens van Engler zijn oud, maar de nieuwere van Burger zijn te summier uitgewerkt voor het hier te behandelen doel. Deze soort gegevens hebben echter het voordeel, dat ze niet verouderen.

Hetgeen in fig. 1 direct opvalt is, dat een ongeveer gelijke maximale afvoerhoogte op zeer verschillende manier kan worden bereikt. Indien men bedenkt, dat de afgevoerde hoeveelheid water wordt weergegeven door het oppervlak van de figuur, die ontstaat uit de afvoercurve aan de bovenzijde en de basislijn aan de benedenzijde, dan heeft men al dadelijk een begrip van één van de factoren, die maken dat landregens en niet onweders bij de grote rivieren de overstromingen veroorzaken. Fig. 2 laat iets dergelijks zien.

Laten we beginnen de onwederafvoeren nader te bekijken. We zien dan twee naalden, waarbij het culminatiepunt van de Rappengraben naald een flink stuk hoger ligt dan die van de Sperbelgraben naald. Het zal wel van geen enkele zijde worden tegengesproken, wanneer we deze

naaldafvoeren in hoofdzaak toeschrijven aan afvoer over de oppervlakte. Het bos op zichzelf zal weinig of niets hebben bijgedragen aan deze oppervlakte-afvoer, maar (waar Engles reeds op wees) de wegen in de bossen zijn niet doorlatend genoeg om de intensieve regen van een onweersbui in zich op te nemen, zodat het niet behoeft te verwonderen, dat het bijna geheel beboste gebied ook enige oppervlakte-afvoer vertoont.

De intensieve regen houdt in beide gevallen op 2 Juni te 20 uur 40 min. op, de sterke daling van de afvoer begint bij Rappengraben op datzelfde tijdstip, bij Sperbelgraben 10 minuten later. (Men moet hierbij bedenken, dat de eenheid van aflezing 5 minuten is). In 10 minuten treedt dan een daling op van 489 $1/s/km^2$ bij Sperbelgraben en van 728 $1/s/km^2$ bij Rappengraben. Daarna vermindert de snelheid van daling en de afvoerlijn gaat van bijna verticaal over in bijna horizontaal. Tussen het 6de en 7de uur na het begin van de regen is de daling achtereenvolgens 4,2 en 7,2 $1/s/km^2$ in een vol uur. De oppervlakte-afvoer is overgegaan in grondwaterafvoer. Naar alle waarschijnlijkheid heeft die overgang veel eerder plaats gehad; het is alleen moeilijk uit te maken wanneer. Nemen we nu aan, dat deze overgang plaats had drie uur na het begin van de regen (d.i. boven de 6 op 15 Juni in de tekening), dan blijkt dat er in de daarop volgende 13 uur werd afgevoerd aan grondwater bij Sperbelgraben 2,104 en bij Rappengraben 7,738 mm.¹⁾ Afgezien van grafieken en cijfers moet men in de praktijk aannemen, dat bij een stroomgebied van nog geen km^2 met vrij steile hellingen, de oppervlakte-afvoer voorbij de wortel is afgevoerd, een paar uur na het ophouden van de regen. Op dit punt verschil ik van mening met de Zwitserse onderzoekers (zie 6ABC), waardoor onze conclusies op vele punten lijnrecht tegenover elkaar staan. Het is een onloochenbaar feit, dat het zwak beboste Rappengraben hier na de regen duidelijk een hogere grondwater-afvoer vertoont dan het geheel beboste Sperbelgraben. Dit is regel, het tegengestelde is uitzondering. Dit moet in het hier behandelde geval ook van invloed zijn geweest op de door de naald bereikte hoogte. Dit punt is echter van meer belang voor de droogte-afvoeren dan voor het ontstaan van overstromingen.

Hier volgt een overzicht van de hoogste afvoeren. Volgens de door Prof. Burger verzamelde cijfers (1 en 2) waren tussen 1915 en 1942 de drie hoogste afvoeren in $1/s/km^2$:

bij onweders		bij andere regens	
Sperbelgraben	Rappengraben	Sperbelgraben	Rappengraben
1208	3150	935	1246
1085	2090	889	1201
1076	1957	749	1155

Of men nu bij deze onweders te maken heeft met naalden, zoals in fig. 1 en 2 zijn afgebeeld, en bij de andere regens met afvoeren zoals van de landregen, is waarschijnlijk, maar niet met zekerheid te zeggen, daar er geen publicatie van deze curven heeft plaats gehad. Overigens spreken de cijfers voor zich zelf.

Men moet zich realiseren, dat bij de hoge onwederafvoeren de grote massa water die ineens tot afvoer komt, de nodige schade kan veroor-

¹⁾ Onder een afvoer van 1 mm wordt verstaan een hoeveelheid gelijk aan een regenval van 1 mm.

zaken, al duurt die hoogste afvoer slechts kort, vooral omdat de afvoer over de oppervlakte plaats heeft.

Besteden we thans onze aandacht aan de landregen, dan ziet men in fig. 1 dat een regen van 26,2 mm bij een intensieve onweersbui een afvoerhoogte doet ontstaan van 817 l/s/km^2 , doch dat bij een landregen van 26,3 mm de afvoer niet hoger komt dan 291 l/s/km^2 . Bij Rappengraben in fig. 2 zijn de overeenkomstige cijfers 1351 en 237 l/s/km^2 . Dit kan worden aangemerkt als een aanwijzing, dat men met verschillende soorten afvoer heeft te maken.

Voorts valt op, dat de afvoer bij de landregen, bij het einde van de regen, niet snel terugvalt, maar zodanig is, dat iemand die uit de tekening zou moeten opmaken waar de regen eindigt, dat niet zou kunnen.

Het maximum van de afvoer valt ongeveer 9 uur vóór het einde van de regen. Ik verwijs hiervoor naar mijn publicatie 7 A, waar men kan zien dat :

- a) de afvoer stijgt zolang de regen hoger is dan de afvoer,
- b) de afvoer daalt wanneer de regen lager is dan de afvoer.

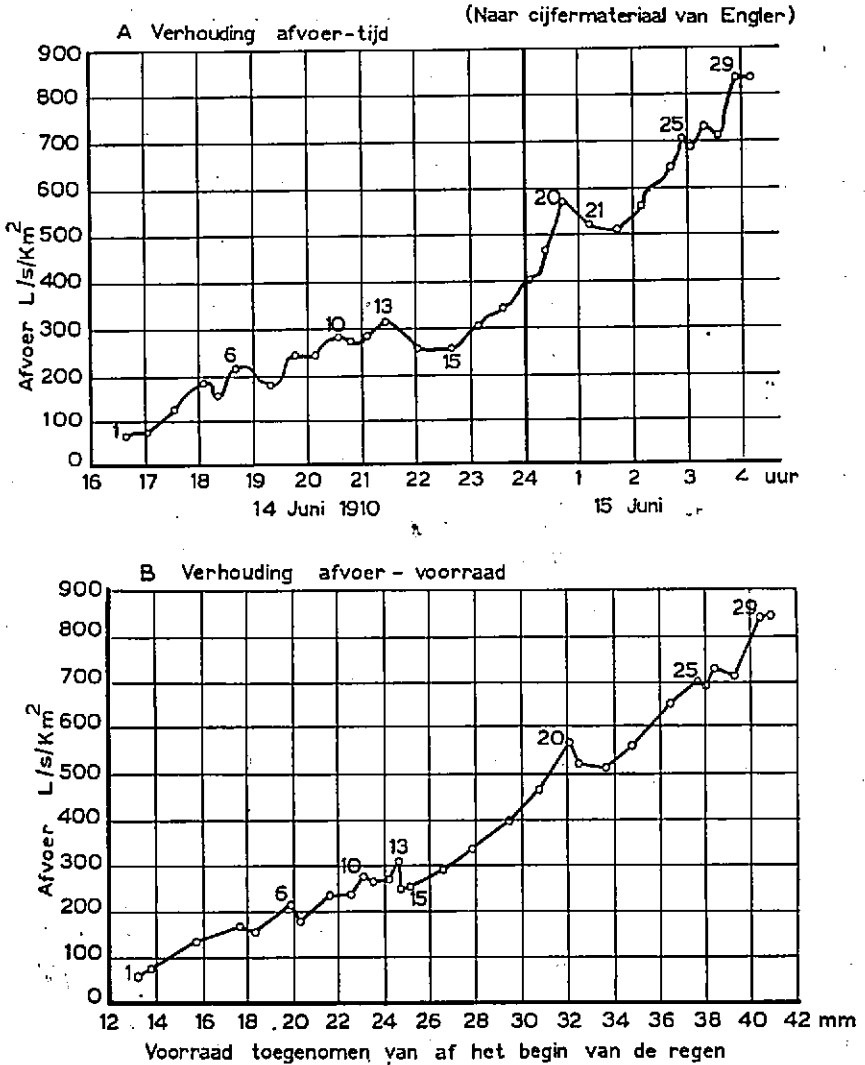
Hieruit werd geconcludeerd, dat men te maken had met grondwaterafvoer uit het grondwater-reservoir.

Dat na 6 dagen de totaalafvoer in beide gevallen boven de 100 % van de regen kwam (zie tabel 1), wijst ook op reservoirafvoer.

Nu zou dit bevestigd worden wanneer men uit regenval en afvoer (met verwaarlozing van verdamping of andere verliezen) de toe- en afname van de reservoir-voorraad ging berekenen en men dan een duidelijk verband vond tussen voorraad en afvoerhoogte. Indien men dat probeert vindt men wel een curve die het verband ten naaste bij aangeeft, maar de punten die het verband aangeven komen dan te veel links en rechts van de curve. Zodat men die andere moeilijke gevolgd. Er is bij Rappengraben nagegaan op welke tijdstippen de regen van intensiteit verandert. Nadat *empirisch* werd vastgesteld, dat ongeveer 10 minuten later de afvoer op die intensiteitsverandering reageert, is de voorraad berekend voor een tijdstip, dat 10 minuten later komt dan de regenverandering. Er werd dan als afvoerhoogte eveneens die van dat tijdstip in rekening gebracht. Dit is alleen bij Rappengraben gebeurd, omdat men juist voor dit stroomgebied met geringere doorlatendheid de grondwater-afvoer moet bewijzen.

Uit fig. 3 blijkt dat een terugval in de afvoer eveneens een terugval in de verhouding tussen voorraad en afvoerhoogte veroorzaakt. Wanneer de afvoer regelmatig stijgt, gaat ook de verhouding regelmatig omhoog, zoals tussen de punten 15 en 20 en tussen 22 en 25. *Deze eigenaardigheid is inhaerent aan grondwaterafvoer*, althans bij stroomgebieden met ondiep liggend grondwater. Een bijvulling van het grondwater door regen veroorzaakt een vormverandering van het phreatisch niveau. Dit heeft weer tot gevolg een verhoging van de afvoer. Houdt de bijvulling op, dan valt het phreatisch niveau weer terug naar de normale evenwichtstoestand en vermindert de afvoer weer. Meer uitgebreid is dit behandeld in 7 C. Het mag op het eerste gezicht vreemd lijken, maar het

Fig. 3 Verhouding van de afvoer tot de voorraad van het in de bodem aanwezige mobiele grondwater tijdens de landregen van 14/15 Juni 1910
Stroomgebied het voor 1/3 beboste Rappengraben



is niet meer of minder dan het bewijs, dat de afvoer hier een „doorgrondse” is.

De Zwitserse onderzoekers, zowel Prof. Engles als zijn opvolger Prof. Burger, hebben voor de door hen onderzochte stroomgebieden aangenomen, dat bodemeigenschappen geen rol hadden bij de *uitvloei* van het in de bodem aanwezige mobiele grondwater. Zij bekeken dit probleem uit een *statisch*, in plaats van uit een *dynamisch* oogpunt. Wel hebben zij de *inlaat* van het grondwater grondig bestudeerd. Men zal in Zwit-

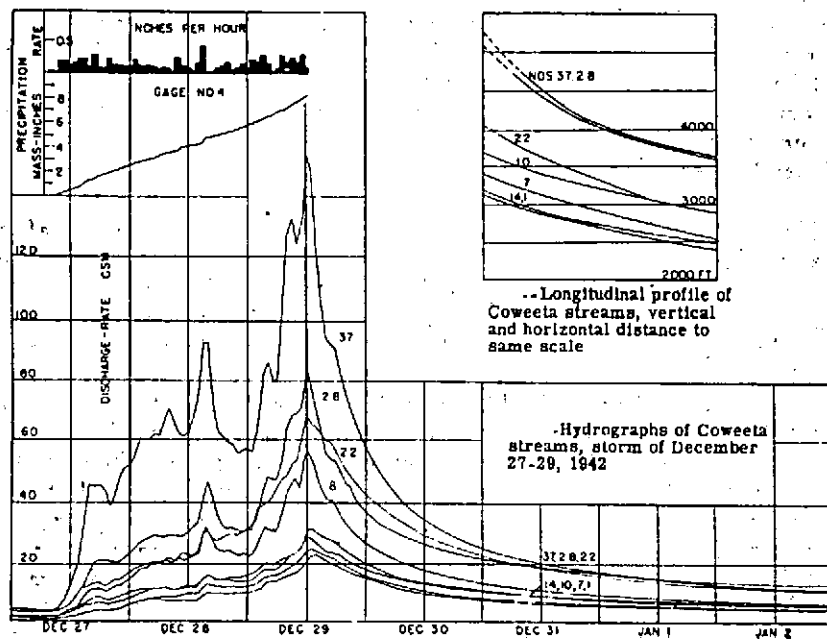
serland tot andere gedachten moeten komen, zodra men er daar toe overgaat, om evenals de Duitse onderzoekers Dr Kiesekamp en Dr Waggenhoff dit in de Harz (5) en andere onderzoekers het in Coweeta (Amerika) deden, na te gaan hoe de bronnen zich gedragen tijdens de regen. Hoe groot of hoe klein de invloed van bodemeigenschappen op de uitvloeï van het grondwater kan zijn zal de lezer pas duidelijk worden na het hieronder volgende. Een paardenkenner kan een paard beoordelen, omdat hij het kan vergelijken met andere paarden, die hij vroeger goed heeft bekeken. Iemand die voor het eerst van zijn leven een paard ziet, zal niet kunnen zeggen of hij te doen heeft met een groot of een klein paard, een sterk of een zwak dier, een goede of een slechte draver enz. Zo gaat het in de hydrologie ook. Het aantal met elkander vergelijkbare objecten is de laatste jaren iets groter geworden, maar nog altijd gering.

Gaan we thans eens na wat men in Amerika heeft gevonden in de Coweeta stroomgebieden. Allereerst de vraag of die wel vergelijkbaar zijn met de Zwitserse. Het antwoord daarop is bevestigend. Beide hebben hun voorraad mobiel grondwater (althans in hoofdzaak) in de tot grond verweerde bovenlaag van de bodem, terwijl het gesteente daaronder praktisch ondoorlatend is, zulks volgens onderzoek door geologen. De uitvloeï van het grondwater kenmerkt zich hier door een bijna directe zeer sterke reactie op de regenval en een betrekkelijk snelle terugval van het debiet gedurende droogte. De grondwater-uitvloeï van de Java-rivieren op vulkanisch terrein kenmerkt zich door een zwakke reactie op de regen en door een zeer langzame terugval van het droogte-debiet. In de Harz

Figuur 4. Afvoercurven der Coweeta stroomgebieden.

696

TRANSACTIONS, AMERICAN GEOPHYSICAL UNION



(5) en in Wagon Wheel Gap zijn ook de onverweerde gesteenten doorlatend en is de grondwater-uitvloeï zeer verschillend met die van Coweeta en Emmental. Zij behoren om zo te zeggen tot een andere familie wat de uitvloeï betreft.

Fig. 4, zomede de bijbehorende tabel 2 zijn overgenomen uit het geschrift van M. D. Hoover en C. R. Hursh: „Influence of topography and soil-depth on runoff from forest land” gepubliceerd in Transactions of the American Geophysical Union 1943, blz. 693/698. Fig. 4 is onveranderd weergegeven, doch in de tabel zijn de Engelse maten omgewerkt in maten van het metrieke stelsel, terwijl de kolom totaal-afvoer (uit de gegeven cijfers berekend) door mij werd bijgevoegd.

TABEL 2
Storm van 27-29 Dec. 1942 Coweeta Experimental Forest

No	Oppervlakte in ha	Elevatie in meter		Neerslag in mm gedurende 52 uur			Afvoer gedurende 7 dagen				Afvoer in l/s/km ²		
		min.	max.	totaal	per uur max.	per uur gem.	totaal		boven begin		max.	begin	eind
							mm	%v N	mm	%v N			
1	16,2	706	987	172,2	9,7	3,3	48,3	28,0	40,4	23,6	250	12,6	39,6
7	58,7	722	1070	174,1	9,7	3,3	54,1	31,1	45,0	25,9	266	14,9	45,2
10	85,8	772	1158	191,0	9,7	3,3	67,8	35,5	55,9	29,3	310	19,7	64,2
14	61,5	706	953	178,3	10,4	3,3	71,4	40,0	59,2	33,1	345	20,5	61,7
8	759,6	698	1600	213,4	11,7	3,6	120,6	56,5	106,2	50,2	617	22,3	74,5
22	35,6	847	1246	212,6	11,7	4,1	147,6	69,4	128,0	60,2	746	32,4	105,2
28	141,6	964	1554	275,3	11,7	4,1	157,2	57,1	135,4	49,2	911	36,0	119,3
37	40,5	1033	1597	275,6	10,7	3,8	248,4	90,1	223,0	80,9	1830	41,8	114,2

In de hier te behandelen verhandeling hebben Hoover en Hursh 8 stroomgebieden onder eenzelfde natuurlijke vegetatie, namelijk loofhout met overvloedig struiken en kruiden (minor vegetation), onderling vergeleken. Zij gaan er van uit, dat, waar hier de regen nergens hoger kwam dan 0,46 inch (11,5 mm) per uur elke oppervlakte-afvoer uitgesloten is. Ik behoef me dus niet te vermoeien met aan te tonen, dat de afvoer hier een „doordegrondse” is.

Het stroomgebied nr 9 is niet opgenomen in de tabel of in de afvoergrafiek. Het is ongeveer even groot als nr 8 (723,5 ha) en het vertoont, zoals de schrijvers vermelden, ook ongeveer hetzelfde maximum (600 l/s/km²). Voor de afvoer van alle stroomgebieden bij elkaar, ongeveer 2050 ha, zal men dus moeten rekenen op een gemiddelde dat ongeveer gelijk is aan nr 8.

Er zijn verschillen in de dikte van de verweerde grond en de steilheid der hellingen tussen de lager en de hoger gelegen stroomgebieden. Terwijl in de lagere gedeelten de verweerde grondlaag meestal behoorlijk dik is, zijn toch ook hoger op dikten van 4 tot 6 voet gewoon. Op de hoogste gedeelten zijn de hellingen het steilst en is de verweerde grond vaak niet meer dan 2 voet dik, terwijl dan langs de riviertjes grover, vermengd met fijner, puin is afgezet. Dit puin is zeer doorlatend en dus minder geschikt om het water langere tijd vast te houden. Hieraan wordt door de schrijvers de hogere afvoer en de geringere retentie van de hogere re-

gionen toegeschreven. Voor het hooggelegen nr 28 klopt dat echter niet. Dit gebied heeft een behoorlijke retentie en een topafvoer die, gezien de grote regenval betrekkelijk laag is. Ik geloof dan ook niet dat men de geringere retentie van de hoger stroomgebiedjes 22 en 37 speciaal moet zoeken in de puinafzettingen, waarvan de oppervlakte vermoedelijk slechts enkele procenten van die van het gehele gebied zal bedragen, maar meer in de mindere dikte van de laag verweerde grond. Bij een geringe dikte van die laag zullen overloopbronnen eerder optreden, en daarmee een hogere afvoer, dan bij een dikke grondlaag. De stroomgebieden 1, 7, 10, en 14 vertegenwoordigen de lagere regionen, terwijl nr 8 min of meer het gemiddelde is van alle gebieden.

Er moet nadrukkelijk op worden gewezen, dat de schrijvers de afvoerverschillen toeschrijven aan verschillen van de bodemconstellatie en niet aan vegetatie-verschillen. *Het kan hier ook niet anders, want alle stroomgebieden zijn door hetzelfde soort bos bedekt.* Deze mening is echter tegengesteld aan die van de Zwitserse onderzoekers en van de houtvester Reneuve, die ook bij landregens de verschillen blijven zoeken bij vegetatie-verschillen.

Een vergelijking van de tabellen 1 en 2 doet zien:

- 1) De Amerikaanse landregen is langduriger.
- 2) De hoeveelheid regen is bij de Amerikaanse landregen 2 tot 3 maal zo groot als bij de Zwitserse.
- 3) De maximale en gemiddelde intensiteit zijn bij de Amerikaanse veel groter.
- 4) De afvoerpercentages zijn vooral bij de lagere Amerikaanse stroomgebieden veel lager dan bij de Zwitserse, niettegenstaande ongeveer 2 maal zo grote regen.
- 5) De Zwitserse stroomgebieden hebben een hoger afvoerpercentage, *dus geringer retentie-vermogen* dan het meest ongunstige Amerikaanse stroomgebied nr 37.

Of de verschillen in de regenval, sub 1, 2, en 3 berusten op klimaatverschillen, dan wel, of het slechts toevallige verschillen zijn, is een probleem voor meteorologen.

Het is jamer, dat van deze 8 Amerikaanse stroomgebieden geen afvoeren tijdens heftige onweersbuien zijn gepubliceerd. De schrijvers vermelden echter wel, dat ontbossing op deze soort terreinen, gevolgd door ingebruikname als landbouwgrond, dan wel veeweide met te sterke veebezetting, hier de maximum afvoeren zeer sterk doet stijgen; wel tot 800 à 1200 csm (ongeveer 9.000 tot 13.000 l/s/km²) bij stroomgebieden van 10 tot 20 acre (4 tot 8 ha). Natuurlijk zijn dit dan afvoeren tijdens slagregens en niet veroorzaakt door landregens. De afvoer kan nooit groter hoogte bereiken dan 100% van de regenintensiteit. Daarvoor zijn deze afvoeren (32 tot 47 mm per uur) te hoog.

Vergelijkt men het beboste Sperbelgraben met het eveneens beboste stroomgebied Coweeta nr 8, dan moet men concluderen, dat het van grote invloed moet zijn op het ontstaan van overstromingen of er van een landregen in 6 dagen 106% of in 7 dagen 56% wordt afgevoerd, of de maximum afvoer bij 82 mm regen 823 l/s/km² is, dan wel bij

213 mm regen 617 l/s/km². Men kan uit deze cijfers pas begrijpen hoe groot de afvoer-verschillen kunnen zijn.

Ik hoop hiermede duidelijk te hebben gemaakt, dat het bij ontstaan van overstromingen niet alleen gaat om bos tegenover niet-bos, maar dat er ook andere factoren van invloed zijn, zoals regensoort, kwetsbaarheid van de bodem en, wat de grote overstromingen betreft, vooral het retentie-vermogen van de bodem.

Literatuur

1. Bates, C. G. and Henry, A. J. Forest and streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. Monthly Weather Review, Supp. nr 30, 1928.
2. Burger, H. Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitt. Schweiz. Centralanstalt für das forstl. Versuchswesen. A 1934, B 1943, C 1945.
3. Engler, A. Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitt. Schweiz. Centralanstalt f. d. forstl. Versuchswesen 1919.
4. Hoover, M. D. and Hursh, C. R. Influence of Topography and Soil Depth on Runoff from Forestland, Transact. Amer. Geophysical Union pt 2, 693—697, 1943.
5. Kiesekamp, Fm Dr. und Wagenhoff Fm Dr. Einfluss des Waldes und der Grosskahlschläge auf den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag im Oberharz. 1952 (nog niet in druk verschenen).
6. Reneuve, M. Paul. Note sur la Crue Lorraine envisagé du point de vue forestier. La Houille Blanche, No special B 1948 p. 761.
7. Roessel, B. W. P. A. Over tot nu toe onbekende hydrologische factoren, die het regime van rivieren beheersen. Tijdschrift van het Nederlands Aardrijkskundig Genootschap 1941.
 - B. De verklaring van een hydrologische paradox, Nederlands Bosbouw Tijdschrift 1948.
 - C. Hydrologic problems concerning the runoff in headwater regions. Transact. Amer. Geoph. Union 1950, p. 431.

Summary

The french "Maître des Eaux et des Forêts" P. Reneuve, tried to explain the fact, that a well forested head-water region of the Moselle and the Meurthe could not prevent an extra high flood, so high, that the term catastrophe was used.

In doing this, he followed an old fashioned, but still living theory, founded on peculiarities exclusively attributed to forests.

The data of the rain were given by M. Pardé, who divided them into two parts: the preparatory rains from Dec. 25 till 27, 1947, followed by a decisive rain beginning at Dec. 27 at 7 o'clock and lasting 26 to 28 hours. The quantity of the preparatory rain was about $\frac{1}{3}$ and that of the decisive rain $\frac{2}{3}$ of the total that fell in 4 days. In most places the totals varied between 100 and 150 mm, in 3 cases 200 to 300 mm and in two cases 300 to 350 mm.

Pardé asserted, that because the preparatory rains saturated the soil, the decisive rains could cause a very high run-off. Pardé did not mention the kind of run-off, surface run-off or groundwater-flow.

I don't want to contest the theory of Reneuve in extenso in this summary, I only want to state that he neglects all groundwater-flow and assumes a surface-runoff after a total filling of the soil by the preparatory rains.

Reneuve stated:

- 1) That no criminal deforestations had occurred (no comment).
- 2) That a great many springs which were dry during years, gave water during the flood, and dried up again afterwards (comment: it is not logical that someone, who neglects groundwater-flow, mentions overflow-springs.)
- 3) The runoff did not show torrential phenomena (comment: the low intensity of the rain permitted the absorbing of the rain by the soil).
- 4) During the flood the water was clear (comment: an indication of groundwater-flow).
- 5) The forest fulfilled the charge of detaining the soil (comment: if there had been erosion from not forested land, it would have been mentioned and the flood-water would not have been clear).

Contrasting with this kind I want to mention a local flood in Nierstein (a country situated near the Rhine in South Germany) A very heavy thunderstorm at July 2, 1953 from 10 to 14 o'clock, caused a flood, which brought much silt upon land, streets and railways. In some places even the walls of the vineyard-terraces were damaged and a high road and a railway were both blocked by stones and silt.

Comment: In Europe, few terranes used in agriculture are so vulnerable to surface-runoff like the vineyards near the Rhine. The rows lie parallel to the slope, the soil between the rows is clean weeded and the slopes are steep, even if they are terraced. It is clear that here erosion was caused by surface-runoff.

It is evident now that there are two kinds of floods: the large floods, caused by long but not intensive rains (Landregen) and local floods caused by intensive thunderstorms. These two kinds of rain do not only differ in intensity and total quantity but also in spreading. It is assumed that floods caused by thunderstorms are limited to basins of 50 to 200 sq. km. The basin of the Moselle is 23430 sq. km.

In fig. 1 and 2 the curves are given of these two kinds of rain of the runoff in two small basins (the nearly entirely forested Sperbelgraben and the only for $\frac{1}{3}$ forested Rappengraben) used in hydrological research in Emmental (Switzerland).

Fig. 1 shows that nearly the same height of runoff can be reached in very different manner. I don't believe that there will be any objection from any hydrologist if I assume, that the needleshaped crest of the thunderstorm (onweder) has been mainly caused by surface-runoff. After the ceasing of the rain it falls down rapidly, but after some hours this curve which started almost vertical has become nearly horizontal. The surface-runoff became a groundwater-flow.

This fact will be obvious to every hydrologist, but to divide these two kinds of runoff is not so easy.

A surface-runoff can't be expected from the forest itself, but the Sperbelgraben has some forest roads and it must be assumed that the surface-runoff has its origin there. During the thunderstorm of the Rappengraben, which has 55% pasture-ground of low permeability, a larger surface-runoff brings the crest much higher, at 1351 l/s/sq km.

We must assume that in small basins less than 1 sq km the surface-runoff will be out of the area within three hours after the beginning of the rain. The next 13 hours from June 2 at 23 o'clock to June 3 at 12 o'clock show that the groundwater-flow was 2,104 mm for the Sperbelgraben and 7,738 mm for the Rappengraben. (The runoff of 1 mm has the same quantity as a rain of 1 mm.)

So we must come to the conclusion that the feebly forested Rappengraben has a larger surface-runoff but also a larger groundwater-flow from 1 to 6 days after the rain than the almost entirely forested Sperbelgraben.

The first fact, the larger surface-runoff, was acknowledged by the Swiss investigators from the very outset, but the second fact, the larger groundwater-flow some time after and during the rain, is up to now, after 50 years of research not discovered by them. It's a pity, they did not study the yield of the springs just as has been done in the Harz (5) and in Coweeta. It would at least have given them an idea about what now is called the hydrogeological conditions of the basins.

Coming to the storm of low intensity (landregen): fig. 1 and 2 show that a rain (N) of 26,2 and 27,3 mm brings the runoff only to 291 and 237 l/s/sq km against 817 and 1351 l/S.sq km in the thunderstorm.

In my publication 7A, I came to the conclusion that in these basins the runoff has its origin in groundwater-flow in cases of long rains with low intensity and that:

- a) the runoff increases if the rain is more than the runoff
- b) the runoff decreases if the rain is less than the runoff.

This should be confirmed (with neglect of the losses by evaporation) if there could be found some definite relation between the computed groundwater stock and the quantity of the runoff. The relation is there all right but it is difficult to construct a good curve: the points diverge too much. To solve this problem, I noted first the points of time where the rain changed its intensity. After empirically determining that this change of the rain gave a reaction in the runoff with a lag of 10 minutes, the groundwater-stock was computed for a time 10 minutes later than the change of the rain. This was only done with the Rappengraben, because if one has proved the groundwater-flow for this less permeable basin, it is not necessary to prove the same for the more permeable Sperbelgraben.

The result has been given in fig. 3A and 3B. A falling back in 3A (relation of runoff to time) causes also a falling back on 3B (relation of runoff to groundwater-stock). Where the curve in 3A mounts regularly between 15 and 20, and between 22 and 25, the same is to be seen in 3B.

This phenomenon is inherent with groundwater-flow, at least in basins with shallow watertable.

A filling of the groundwater-reservoir causes a change of the phreatic level, which results in a temporary increase of the groundwater-flow. When the filling ceases, the phreatic level falls back to the normal form and the runoff decreases also to normal. In another publication (7C) this phenomenon has been treated more in detail.

Before comparing the Swiss investigations with the American ones in Coweeta, I'll answer first the question if comparing is allowable. The answer is affirmative. Both basins store their groundwater, at least mainly, in the upper stratum, the so-called weathered rock, whereas the rock underneath is practically impermeable, as has been stated by geologists. The outflow of groundwater is here characterised by an almost immediate very strong reaction on the rain and a relatively rapid decrease of the flow after the rain.

The groundwater-flow of the Japanese rivers on volcanic formation is characterised by a weak reaction on the rain and by a very slow decrease of the yield during droughts. In the Harz (5) and in Wagon Wheel Gap (1) not only the upper soil but also the rock underneath is permeable and there the groundwater-flow differs much from that in Coweeta and in Emmental. They belong to another "family".

Fig. 4 and table 2 are taken from the publication 4 of the references but in the table the data are changed into the metric system. Hoover and Hursh compared 8 entirely forested basins. They declare that the runoff there is a groundwater-flow, because in these basins with rain not higher than 0.46 inch (11.5 mm) per hour, *each surface-runoff is beyond question*. I have nothing to add to this statement.

It must be stipulated that Hoover and Hursh explained the differences of the runoff by differences in soil thickness and local differences in permeability. I do agree with this. The thinner the layer of soil, the sooner the overflow springs come into action.

The comparing of the tables 1 and 2 shows:

- 1) the American "landregen" has a longer duration.
- 2) the quantity of the American "landregen" is 2 to 3 times the quantity of the Swiss one.
- 3) the intensity of the American one is much larger.
- 4) nevertheless the runoffs expressed in per cent of the rain of the American basins are smaller, especially of the lower basins (1, 7, 10, 14).
- 5) the Swiss basins have a larger percentage of runoff, consequently a smaller retention-capacity than the most unfavourable American basin. Nr. 37.

It is a problem for meteorologists to decide if the differences in rain mentioned sub. 1, 2 and 3 are only incidentally or if they are due to differences in climate.

It must be accentuated that according to this American investigation the outflow of groundwater can reach a height of 1830 l/s/sq km.

I hope that I have elucidated, that concerning the origin of floods, it is not only the factor forest against non forest that counts, but that other factors, such as the kind of rain and during large floods the retention-capacity of the soil, must also have an influence.