

# DE VERKLARING VAN EEN HYDROLOGISCHE PARADOX

door  
B. RÖESSEL.

Na een 40-jarig door A. Engler begonnen en door H. Burger voortgezet onderzoek, over de invloed van bos op de waterhuishouding, komt de laatste wat betreft de minimum-afvoeren tot de volgende paradoxale uitspraak:

„Hoewel onder de in Emmental gegeven omstandigheden het goed beboste Sperbelgraben per vlakke-eenheid meer water transpireert en verdampt, dan het slecht beboste Rappengraben, zinken toch de minima in het goed beboste gebied minder diep dan in het slecht beboste en het verschil versterkt zich met toenemende droogte tot 45 % meer afvoer uit het goed beboste Sperbelgraben” (zie sub. 7 bl. 217 Burger Mitt. III 1943). Burger laat het aan de welwillendheid van de lezer over, zelve uit te denken aan welke wondereigenschap van het Sperbelgrabense bos dit verschijnsel te danken is. Het doet denken aan een voorzichtige suggestie, al is er misschien niet meer mede bedoeld dan een constatering der feiten.

Er is vermoedelijk geen wetenschap in opkomst aan te wijzen, waarbij suggestie een grotere rol heeft gespeeld dan juist bij de hydrologie, niet alleen in het verleden maar ook in het heden. Ook Burger is daarvan een slachtoffer en de hydrologen, die zijn theorie onderschrijven, zijn mede-slachtoffers. Burger is niet in staat ook maar één aanduiding te geven in welke richting de verklaring van bovengenoemde paradox gezocht moet worden en dit hangt samen met de door hem gevolgde theorie. Deze berust op één punt althans op suggestie of autosuggestie, maar zeker niet op waarneming. Burger neemt aan, dat het in de grond dringende water dagen nodig heeft voor het zich in de afvoer demonstreert. Hij zocht daarbij steun in het volgende:

(bl. 199 Mitt. IV 1945) „Men kan bij het nagaan van de afvoer in droogte-perioden dikwijls vaststellen, dat na een zeker aantal dagen, of de afvoer gedurende 1 of 2 dagen minder sterk daalt, of gelijk blijft, of zelfs tijdelijk iets stijgt, wanneer het neerslagwater, dat door de grond heen het grondwater bereikte, weer in de riviertjes uittreedt. Het tijdstip van het optreden van een grondwatergolf is niet altijd hetzelfde; dit is soms reeds 6 dagen, soms pas 14 dagen na de laatste regen het geval, omdat deze grondwatergolf eveneens afkomstig kan zijn van grotere neerslagen die enige dagen vóór de laatste neerslag vielen.”

Hij verzuimt daarbij geheel zich op de brondebieten te oriënteren. Dit leidt hem dan tot de opvatting, dat de afvoerverhoging, die optreedt tijdens de regen tot dagen na de regen, oppervlakte-afvoer is (Mitt. IV 1945 bl. 181). In cijfers vindt hij, dat van een ééndagsregen van 40 mm bij de Melera ongeveer de helft oppervlakte-afvoer is, en bij een regen van 130 mm in een dag ongeveer 85 % van de totaal afvoer.

Uit de tabellen 21 t/m 25 Mitt. IV 1945 vindt men dan voor Sperbelgraben en Rappengraben een oppervlakte-afvoer uitgedrukt in procenten van de totaal afvoer gedurende de regen:

	Sperbelgr.	Rappengr.
onweders . . . . .	82	86
ééndagsregens . . . . .	77	80
tweedagsregens . . . . .	80	80
driedaagsregens . . . . .	80	81
regenperioden . . . . .	76	75

Dit zijn zeer merkwaardige cijfers, vooral wanneer men bedenkt, dat het uitrekenen van deze cijfers, zij het dan in mm neerslag en in percentages van de neerslag (dus niet in percentages van de totaal afvoer) gebeurd is nadat in Mitt. III 1943 proeven genomen zijn met een kunstmatige regen, waarbij geconstateerd werd dat plenterbos, elzenbos en hooiland geen oppervlakte-afvoer vertoonden bij een kunstmatige regen van 50 mm toegediend in 5 termijnen met één intensiteit van 2 mm per minuut, terwijl weide dan ongeveer 50 à 60 % van de 50 mm toegediende neerslag over de oppervlakte liet afvloeien. Deze verschillen zijn niet in bovenstaande tabel terug te vinden.

Wat voor nut heeft het aan de ene kant vast te stellen, dat van het bestoste Sperbelgraben geen oppervlakte-afvoer te verwachten is, maar dan als „reine Regenwirkung” in tabel 27 Mitt. IV cijfers te publiceren lopende van 10 tot 41 % van de neerslag, wanneer die „reine Regenwirkung” gelijk gesteld wordt aan oppervlakte-afvoer?

Door vast te houden aan het principe, dat het in de grond gedrongen water zich pas na vele dagen in de afvoer kan doen gelden, en hierop de gehele theorie op te bouwen, krijgt men een kaartenhuis-theorie.

Ik zal trachten deze vraagstukken van een geheel andere kant te bekijken en op die manier een oplossing te vinden.

Op geringe diepte wordt de bodem van de Zwitserse proefgebieden ondoorlaatbaar voor water. Het nivelleren van de afvoer, voor zover het betreft de afvoer van het in de grond gedrongen water, moet hier dus noodzakelijkerwijze gezocht worden in de bovenste, meer poreuze bodemlaag. Jacks en Whyte zeggen hiervan op blz. 30: „Wanneer ravijnvorming begonnen is, heeft het land, afgezien van het bodemmateriaal, reeds veel van het belangrijkste element van bodemvruchtbaarheid en stabiliteit, namelijk het vermogen om water vast te houden, verloren. Het vermogen om water te absorberen en vast te houden is een zeer karakteristieke eigenschap van een rijpe vruchtbare bodem. Het is ternauwernood, zo al, ontwikkeld in kale verweerde gesteenten (uitgezonderd zware kleiën) die nooit een vegetatie hadden en geen humus bevatten. Normaal is het waterhoudend vermogen van een bodem in hoofdzaak beperkt tot enkele inches aan de oppervlakte, waar verse humus, gevormd uit rottende planten- en dierenresten, zich verzamelt. Planaire erosie (sheet erosion) bevordert, door het wegnemen van de meest absorberende laag, niet alleen in hoge mate de afstroming over de oppervlakte, welke weer de voornaamste oorzaak van erosie is, maar doet tegelijkertijd de waarde en het nut van de regenval verminderen.

In semi-aride landen, waar elke druppel van de regen nodig is om enig leven in stand te houden, is deze consequentie van erosie veel ernstiger dan het verlies van grond." Nu behoeft men bij de Zwitserse proefstroomgebieden niet bang te zijn voor sterke erosie (de denudatie bedraagt er voor het zwak beboste Rappengraben ongeveer 1 mm in 7 jaar en voor het goed beboste Sperbelgraben 1 mm in 12 jaar) maar voor het overige past m.i. de mening van *J a c k s* en *W h y t e*, dat men het waterregulerend vermogen in de bovenlaag moet zoeken, hier volkomen.

Het infiltrerend vermogen van deze bovenlaag is door *B u r g e r* terdege onderzocht en hij komt in zijn recapitulatie (Mitt. III blz. 216 sub 1) tot de volgende uitspraak: „Nieuwere onderzoekingen in Sperbel- en Rappengraben hebben bevestigd, dat 100 mm neerslag in goede bosgrond reeds in 1 tot 2 minuten kunnen indringen, bij harde weidegrond echter pas in 1 tot 5 uur. Bij goede bosgrond treedt bij een neerslag van 50 mm in 50 minuten geen meetbare oppervlakte-afvoer op, terwijl bij de weidebodem reeds bij 10 mm neerslag 30 à 40 %, bij 50 mm echter rond 60 % over de oppervlakte afvloeien”.

Men vraagt zich af hoe het mogelijk is, dat een wetenschappelijk man tegen deze waarnemingen in theoretisch bij bos kan komen tot een oppervlakte-afvoer van 10 tot 41 % van de regen of omstreeks 80 % van de totaal afvoer. Ik vestig er de aandacht op, dat de proeven over het indringend vermogen, genomen met in de grond geslagen cylinders, waarin 100 mm water werd gegoten en de proeven genomen met kunstmatige regen elkaar aanvullen, met elkaar in overeenstemming zijn. Dit ter voorkoming van het verwijt, dat een theorie, opgebouwd uit de kunstmatige regenproef van *B u r g e r* op onvoldoende vaste basis zou rusten, welk soort verwijten, gelijk de ondervinding leert, te verwachten is van hen, die zich liever niet van de oude suggestie-theorie distantiëren. Op de cylinderproeven van *B u r g e r* zal ik niet nader ingaan, de proeven met kunstmatige regen staan dicht bij de werkelijkheid en zijn dus bruikbaar.

*B u r g e r* nam zijn kunstmatige regenproeven als volgt:

Op een grondvlak van 1 m<sup>2</sup> werd in 5 minuten 10 liter regen gegeven, 5 minuten gepauzeerd, vervolgens weer in 5 minuten 10 liter water opgegoten en weer 5 minuten gepauzeerd, en deze werkwijze in totaal 5 maal herhaald. Er werden dus opgegoten 50 liter water met pauzes mede gerekend in 50 min. zonder pauzes in 25 minuten. De regenintensiteit was dus 2 mm per min., de tijd om in de bodem te dringen 50 minuten. Het over de oppervlakte afvloeiende water werd opgevangen  $\frac{1}{2}$  m beneden de onderrand van de uitgezette m<sup>2</sup>, zodat dus het water infiltreren kon in  $1\frac{1}{2}$  m<sup>2</sup> bodemoppervlakte. In aanmerking moet genomen worden, dat zeer waarschijnlijk voor het einde van de pauze de oppervlakte-afvoer reeds opgehouden had, zodat men bij aanname van volle 50 minuten als infiltratie tijd aan de veilige kant is. De proef zou waardeloos zijn wanneer de afstroming van de eerste 10 liter regen nog niet afgelopen was, voordat de tweede 10 liter werden opgegoten. Hetzelfde geldt voor de aanname van de volle 1,5 m<sup>2</sup> als infiltratie oppervlak. Over de onderste 0,5 m<sup>2</sup> zal het water wel in enkele gootjes afgestroomd zijn, zodat in werkelijkheid het infiltratie oppervlak kleiner geweest zal zijn.

Burger publiceert de oppervlakte-afvoer cijfers in tabel 9 en 10 van Mitt. III 1943.

In tabel 9 wordt voor weide gevonden voor de laatste 10 liter een afstroming van 7,2 l in beide gevallen. In tabel 10 zijn deze cijfers 4,25 en 3,70 l bij de opgiëting tussen 40 en 60 l en eerst later bij de opgiëting tussen 80 en 100 l wordt de afstroming 77,7 en 67,0%, gemiddeld 72,4%. Bij de eerste opgiëtingen is de afstroming beduidend kleiner. Hetgeen niet als oppervlakte-afvoer wordt gemeten, is in de grond gedrongen. Deze keerzijde van de medaille is echter niet door Burger bekeken.

Stelt men zich in op de ongunstige cijfers van tabel 9, dan vindt men, uitgaande van een infiltratietijd van volle 10 minuten voor elke opgiëting en een infiltratie-oppervlak van volle 1,5 m<sup>2</sup> een infiltratie van :

1ste 10 mm	gemiddeld	0,43 mm	per minuut
2de 10 mm	"	0,27 mm	" "
3de 10 mm	"	0,25 mm	" "
4de 10 mm	"	0,22 mm	" "
5de 10 mm	"	0,19 mm	" "

Wanneer men nu weet, dat de landregens in dit gebied meest een gemiddelde intensiteit hebben beneden 0,10 mm met regentoppen tussen 0,10 en 0,20 mm per min., dan kan men aannemen, dat de meest ondoorlaatbare gronden, de weiden, bij landregens geen oppervlakte-afstroming zullen vertonen. Het afvoerdiagram zal dus bij landregens, zowel voor Sperbelgraben als voor Rappengraben, een beeld geven van de afvoer van het water, dat in de grond drong en daar voorbijgaand werd vastgehouden (zie fig. 1 en 2). Verschillen in de afvoer moeten niet verklaard worden door meer of minder oppervlakte-afvoer, maar door eigenschappen van de bovenste poreuze aardlaag.

Figuur 1 en 2 laten duidelijk zien hoe de afvoer stijgt wanneer de regen groter is dan de afvoer en hoe de afvoer daalt, wanneer de regen kleiner is dan de afvoer. (Aangetekend wordt, dat fig. 1 door Engler genoemd is een onweder, wat betreft de regenintensiteit is het echter een landregen. Het hangwater is hier nog niet verzadigd).

Regen en afvoer zijn hier namelijk getekend op dezelfde schaal. Dit wijst op zichzelf, ook zonder voorafgaande berekeningen, op afvoer uit een reservoir, dat dan geen ander kan zijn dan het grondwater-reservoir, gevormd in de bovenste laag. Nog duidelijker treedt dit naar voren, indien men fig. 2 nauwkeuriger bekijkt. Voor beide stroomgebieden is in het eerste gedeelte de regenval belangrijk hoger dan de afvoer, zodat er een sterke stijging van de afvoer plaats heeft. De stijging van de afvoer is in beide gebieden niet gelijk, doch groter bij Rappengraben, zodat in dit stroomgebied de afvoer op het einde van het eerste regengedeelte hoger is dan bij Sperbelgraben. Waaronder dat zo is, is van later zorg; voorlopig wordt slechts het feit geconstateerd. In het tweede gedeelte van de regen blijft bij Rappengraben de afvoer ongeveer horizontaal, slechts zeer weinig dalend, bij Sperbelgraben vertoont zich een stijging. In cijfers zien we het volgende :

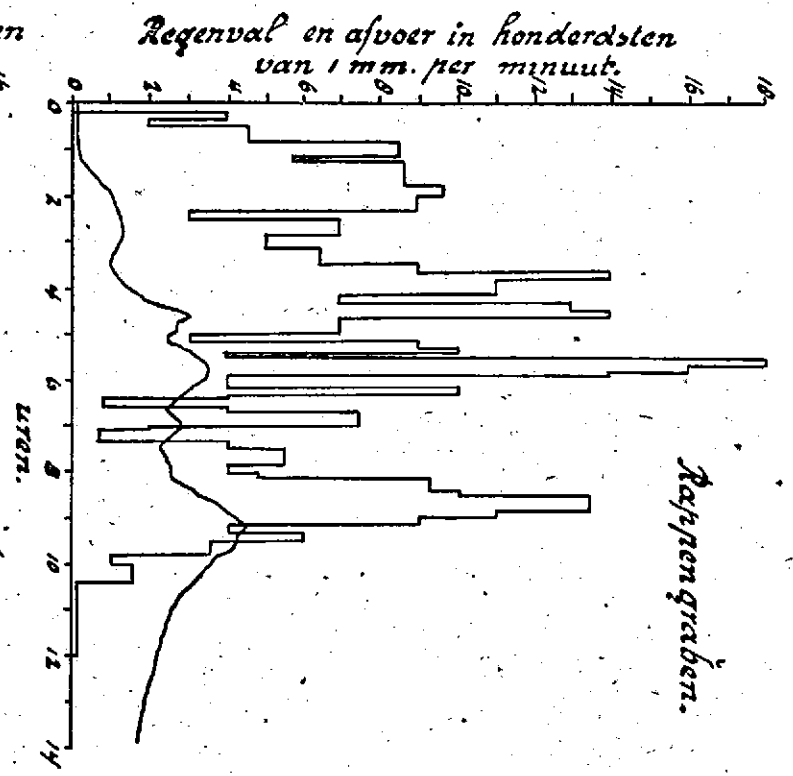
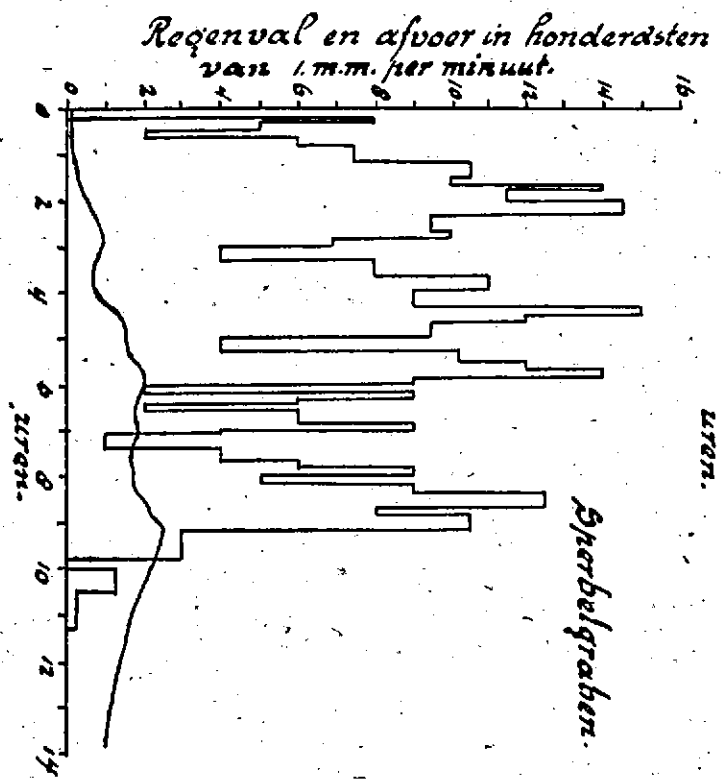


Fig. 1. Grondwater afvoeren naar cijfermateriaal van Engler

Onweder 13 Nov. 1913

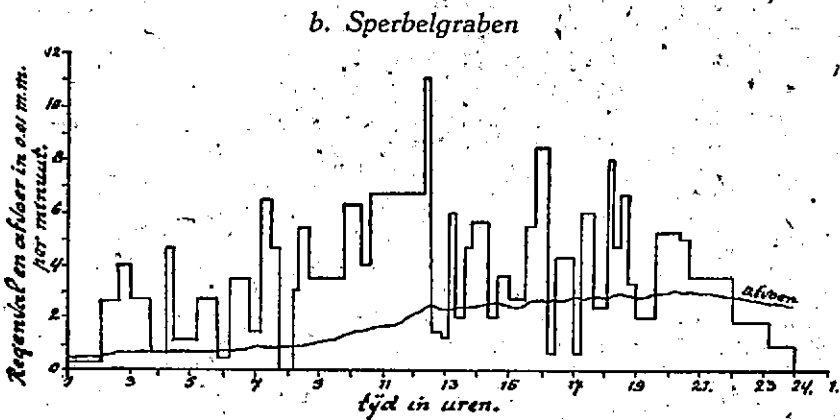
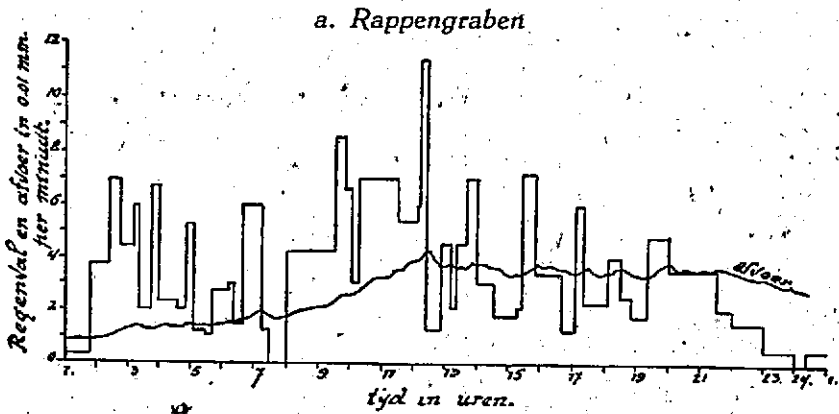


Fig. 2. Grondwaterafvoeren. Landregen 9 Juli 1909 (naar cijfermateriaal van Engler)

		regenval	afvoer	
eerste gedeelte van 0-12 u. 50 minuten	Sperbelgr.	24,4 mm	7,722 mm	afvoer stijgend
	Rappengr.	29,0 mm	14,630 mm	
tweede gedeelte van 12 u. 50 min.-22 u.	Sperbelgr.	22,2 mm	14,822 mm	" " dalend
	Rappengr.	18,9 mm	19,730 mm	

De afvoerhoogten waren

	Sperbelgr.	Rappengr.
te 0 u.	87,8	150,9 l/sec/km <sup>2</sup>
12 u. 50 min.	392,7	624,3 l "
22 u.	464,2	— " "
21 u. 30 min.	—	608,4 l "

Een duidelijker beeld om te laten zien, dat men te maken heeft met afvoer uit een reservoir, is m.i. moeilijk te geven.

Verder ziet men in deze figuur een duidelijke reactie van de afvoer op de schommelingen in de regenval. Het is vermoedelijk deze directe reactie die de hydrologen aan oppervlakte-afvoer heeft doen denken.

Men kon zich moeilijk indenken, dat een afvoer door de grond, even snel zou kunnen reageren als een afvoer over de oppervlakte. Waar men grondwater-stromingen mat, vond men slechts zeer langzame bewegingen. Men moet echter het grondwater zien als een geheel, of liever als een verzameling van onderdelen, elk met een eigen afwatering, waar het grondwater vanaf het hoogst gelegen punt tot aan het punt van afwatering samenhangt.

In een meer hangt het water ook samen. Wordt het aan ene zijde gevuld, dan zal een afvoer aan de andere zijde daarop zeer snel reageren, zonder dat het nodig is, dat het aanvullende water direct tot afstroming komt. De aanvulling van het grondwater door regen heeft plaats over de gehele oppervlakte tegelijk, zowel vlak bij de plaats van afwatering als ver daar vandaan. Het grondwater-niveau zal zich overal tegelijk verhogen; dit gebeurt in een aan de oppervlakte gelegen grondwater zoals in Emmental zeker binnen enkele minuten. Ook hier krijgt men weer met drukwerking te maken. Een druppel die aan de bovenkant van de poreuze laag opgenomen wordt, kan bewerkstelligen, dat een druppel, die zich een meter lager bevindt het grondwater bereikt, terwijl de druppel zelve langere tijd nodig heeft om de grondlaag te doorlopen. En moet men nu aannemen, dat een gestegen grondwaterspiegel pas na vele dagen een stijging van de afvoer tengevolge zal hebben? Zeer zeker niet, en vooral daarom niet, omdat het grondwater vlak bij de plaats van afwatering ook gestegen is.

Men is in Amerika, niet op theoretische gronden, maar door waarneming reeds gekomen tot het aannemen van een afwatering van het grondwater nog tijdens de regen. Lowdermilk schreef in 1938:

„De eerste berichten van de San Dimas Watershed Experimental Forest zijn in dit opzicht van veel belang. De Fern Canyon vakgroepen op 5000 voet hoogte, waar een goede bosbedekking en bladafvallaag is, ontvingen een regenval van ongeveer 23 inches gedurende een „storm” van 4 dagen. De maximale regenval gedurende 15 minuten was 1,70 inches per uur en gedurende 60 minuten 1,56 inches per uur. De oppervlakte-afvoer van deze vakproeven was slechts 0,9 % van de regenval en de oppervlakte-erosie was te verwaarlozen klein.

Bij de Tanbark-vakproeven op 2600 voet hoogte met een dichte „chaparal” bedekking en een afgevallen bladlaag op de grond was de oppervlakte-afvoer 2,0 % van de 20 inch regenval. Toch moest de afvoer gedurende de stormperiode, voor het gehele San Dimas stroomgebied, geschat worden op meer dan 50 % van de op het oppervlak ter grootte van 15.000 acres gevallen neerslag.

De vakproeven dienden om de verdeling van de neerslag in infiltratie en onmiddellijke afvoer te meten, maar zij kunnen ons niet dienen als een index voor de afvoer van stroomgebieden. De „wet weather seepage” heeft water afgegeven aan de drainage kanalen, welk water eerst door de bodem was geabsorbeerd, dank zij de oppervlakte-bescherming door bladafval”.

Dat in Amerika het idee van een directe reactie van het grondwater bij ondiep liggende waterdragers thans reeds vrij algemeen geaccepteerd zal zijn, moge blijken uit een door mij ontvangen schrijven d.d. 8 Maart

mogelijk zijn, zodat zelfs de gehele afvoer van een hoogwater op rekening van het grondwater geschoven kan worden. Op onze experimenteerterreinen <sup>1)</sup> denken wij ons de stromen als een draineer-systeem in evenwicht met de grondwaterspiegel. Vele jaren van observaties aan rivierafvoer en grondwater-spiegelhoogte hebben aangetoond hoe duidelijk die twee samenhangen. Oppervlakte-afvoer is hier alleen van belang waar de grond-structuur verstoord is door veeweide of ploegen. Nieuwere infiltratie-metingen hebben aangetoond, dat onze bodems zelfs regens absorberen die vallen met een intensiteit hoger dan 6 inches per uur. Het onderwerp van de snelle uitvloeit uit het grondwater-reservoir geeft onze hydrologen veel zorg. Dit slaat vooral op de actie om hoog water te beheersen (Flood control). In vele stroomgebieden zal een verbeterd systeem van landgebruik de oppervlakte-afvoer elimineren, maar wanneer dit water toegevoegd wordt aan het grondwater, wordt het snel genoeg weer afgegeven aan de rivieren om een belangrijk onderdeel van een hoog water te worden. Dit type van uitvloeit is genoemd „sub-

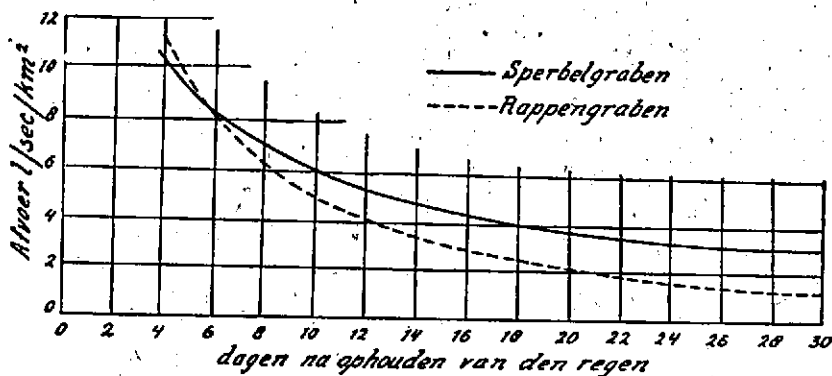


Fig. 4. Grondwaterafvoeren (naar H. Burger). (De krommen zijn samengesteld uit gemiddelden)

surface storm runoff, quick return flow, quick seepage" en andere namen die de snelheid aanduiden, waarmede het water de rivieren bereikt".

Gaan we thans terug naar de Zwitserse proeven.

Als fig. 3 wordt hier overgenomen de grafiek van een tweedaagse landregen (fig. 7 Burger Mitt. III 1943). De regenval was hier zodanig gelijk bij de beide stroomgebieden, dat met een enkele grafiek daarvoor kon worden volstaan. Men ziet dan, dat Rappengraben steeds hogere debieten vertoont dan Sperbelgraben. Wij weten, dat wij hier in beide gevallen te maken hebben met grondwater-uitvloeit uit de bovenste aardlaag. Wanneer de losheid van de grond er iets mede te maken had, zou de lossere bosgrond het water sneller moeten doorlaten, dus dan zou Sperbelgraben de hoogste afvoeren moeten hebben. Men zou het aan de meerdere verdamping van bos kunnen toeschrijven wanneer de verhouding zo bleef en zich niet na 1 tot 7 dagen omkeerde (zie fig. 4). Geen van beide is echter het geval.

<sup>1)</sup> Zie literatuurlijst 5, 6, 7.



Zweitage-Regen vom 13./14. August 1938.  
Verlauf des Abflusses.

Bild 7

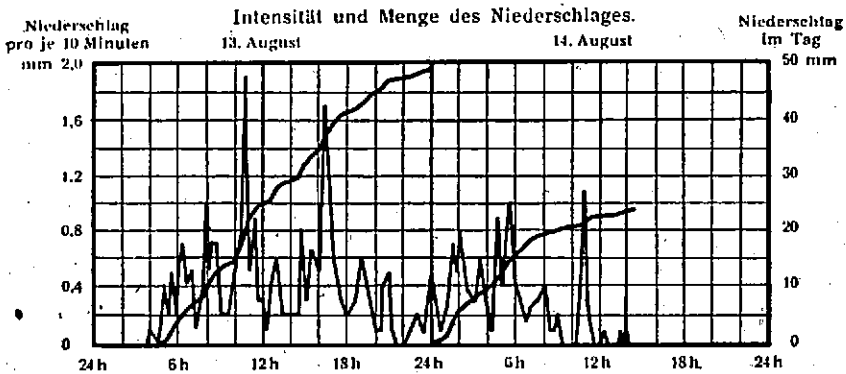
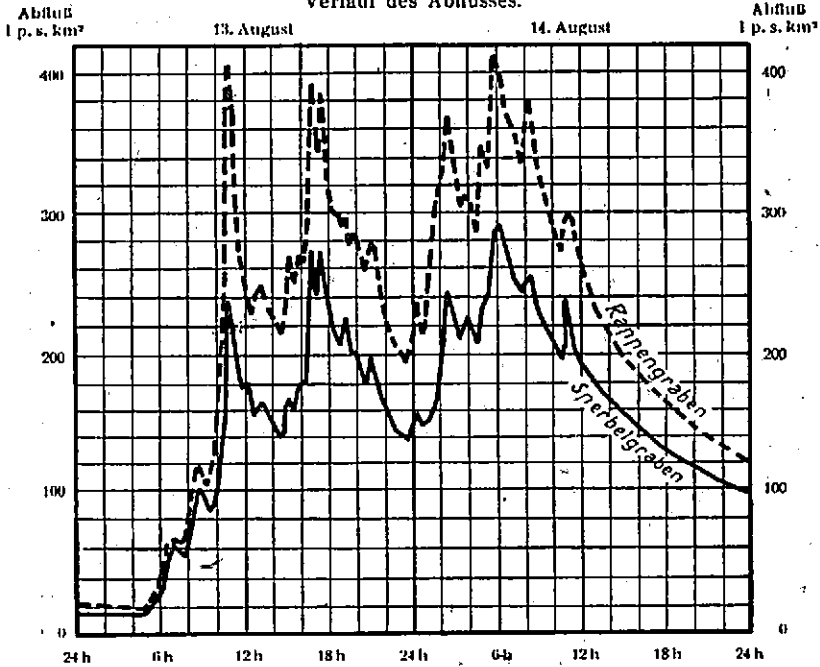


Fig. 3. Uit Burger. Med. III, 1943

1948 van M. D. Hoover leider van het Appalachian Forest Experimental Station, Ashville, North Carolina :

„In dit land hebben grondwater specialisten zich te veel bezig gehouden met de diepere waterdragers, waar het water zeer langzaam stroomt, misschien slechts enkele voeten per jaar. Als gevolg van de langzame beweging die zij onder die omstandigheden vonden, was het moeilijk voor hen om aan te nemen, dat grondwater invloed had op de afvoercurve. Echter hebben nieuwere waarnemingen betreffende aan de oppervlakte liggende grondwaterspiegels aan het licht gebracht, dat zij snel op de regenval reageren en dat grondwatergolven (in de afvoercurve)

bestaan. (In de zandproef neemt de drain de plaats in van het riviertje in de natuur). Men zal echter van verschillen in lengte ook buitendien een verschil in de manier van uitvloeï kunnen verwachten, zoals ook uit de zandproeven gebleken is.

In de natuur zullen er grote verschillen voorkomen in de lengte der waterdragers tussen berggrug en dal en de totaal-afvoer zal beïnvloed worden door de kortere en langere stukken en een moeilijk te ontrafelen gemiddelde vertonen. Het gemiddelde zal echter toch in verband staan met de gemiddelde lengte der waterdragers en dit weer met de mate van drainage van het terrein. Men zal zich hierbij niet mogen beperken tot de zichtbare drainage, ook de onzichtbare drainage door wateraderen die uitmonden in bronnen moet mee tellen. Er is weinig verschil in de zichtbare drainage van de stroomgebieden Rappengraben en Sperbelgraben, doch wel is geconstateerd, dat Rappengraben meer en constantere bronnen vertoont, zodat men dus wel besluiten mag dat dit stroomgebied het sterkst is gedraineerd, gemiddeld de kortste waterdragers heeft.

*In de Zwitserse stroomgebieden Sperbelgraben en Rappengraben worden de afvoerverschillen bij lage regen-intensiteiten niet veroorzaakt door verschillen in vegetatie of dorlatendheid van de bodem, ook niet door verschillen in oppervlakte-afvoer, maar wel door verschillen in lengte van de waterdragers.*

Hiermede is dan de door Burger naar voren gebrachte paradox verklaard, aan de hand van een reeds door mij in 1939 en 1941 gepubliceerde theorie die hier geen ingang vond, doch die thans ook in Amerika, althans wat het eerste gedeelte betreft, werd gevonden en als juist erkend. \*)

#### LITERATUURLIJST.

1. Burger, H. Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer, II Mitt. (Mitt. Schweiz. Anstalt forstl. Versuchsw. XVIII 2 H 1934).
2. Burger, H. Idem III Mitt. (id. XXIII 1 H 1945).
3. Burger, H. Idem IV Mitt. (id. XXIV, 1 H 1945).
4. Engler, A. Idem (id. XII 1919).
5. Hoover, M. D. and Hursh, C. R. Influence of topography and soildepth on runoff from forest land. (Transact. of the Am. Geophysical Union 1944).
6. Hoover, M. D. Effect of removal of forest vegetation upon wateryields. (Transact. of the Am. Geoph. Union 1944).
7. Hursh, C. R. and Brater, C. R. Separating storm-hydrographs from small drainage areas into surface and subsurface-flow. (Trans. of the Am. Geoph. Union 1941).
8. Jacks, G. V. and Whyte, R. O. The rape of the earth (Faber and Faber London, 3de druk 1944).
9. Lowdermilk, W. C. Land use and flood flows (Am. Geoph. Union 1938).
10. Roessel, B. Over tot nu toe onbekende hydrologische factoren die het regime van rivieren beheersen, (Nederl. Aardr. Gen. 1941).

\*) Het zal de lezer interesseren te vernemen, dat aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen een natuurkundige in dienst trad, die belast is met de bestudering van de stromingswetten van water in de bodem, zowel langs mathematische weg als met behulp van modelproeven. Red.

Het ging er dus om een bodemeigenschap te vinden, die een soortgelijk gedrag in de afvoer teweeg zou kunnen brengen.

Daartoe liet ik twee bakken vervaardigen waarin een zandvulling van  $4 \times 2 \times 2$  dm en een van  $8 \times 1 \times 2$  dm kon worden aangebracht. De inhoud van de zandmassa's, de dikte en de vrije bovenoppervlakte waren dus gelijk. Verschillen echter waren lengte en breedte. De bakken werden opgesteld onder een helling van ongeveer 30%. Het zand werd ingewassen. Het verschil in breedte werd geëlimineerd door evenwijdig aan de onderrand een gaas aan te brengen, een soort drainbuis dus. Deze drainbuis kon via een tuitje afwateren (zie fig. 5).

Voordat met de proef begonnen werd, werd water op het zand gegoten en gewacht tot het uitdruppelen uit het tuitje ophield. Dan werd zo regelmatig mogelijk over de oppervlakte verdeeld, in ongeveer 10 secon-

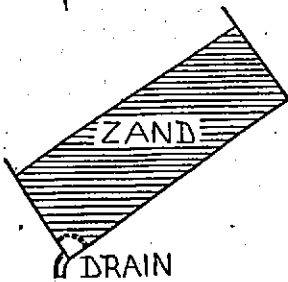


Fig. 5. Doorsnede zandbak

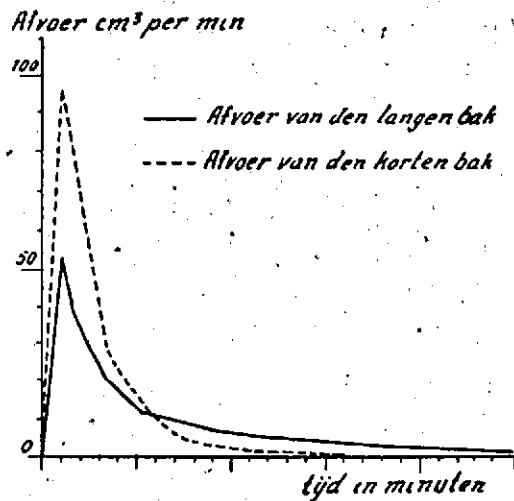


Fig. 6. Zandproef: 300 cm<sup>3</sup> water opgegoten in 10 sec.

den 300 cc water opgegoten, en de uitvloeï werd minuutsgewijze opgevangen en gemeten.

Het resultaat ziet men in fig. 6, waarbij dan de uitvloeï uit de lange bak te vergelijken is met die van Sperbelgraben en van de korte bak met die van Rappengraben. De zandproeven werden genomen op grond van de volgende overwegingen:

Denkt men zich een gebergte met ruggen en dalen, dan stromen in den natuur de riviertjes in de dalen. Zij ontvangen van links en van rechts grondwater, dat er naar toe sijpelt in een hoeveelheid en met een snelheid, die geheel van plaatselijke omstandigheden afhankelijk is. Om nu deze omstandigheden na te maken, zou men een dal na kunnen bootsen, wat een vrij grote installatie zou vergen. Men kan zich echter ook de hellingen links en rechts van de beek denken als te zijn verdeeld in stukken waarbij de scheidingsvlakken loodrecht op de beekrichting staan; deze stukken namaken en de grondwater-afvoer daaruit bestuderen. Hierbij zal de breedte der stukken slechts invloed hebben op de hoeveelheid uitvloeiend water, tussen beide zal een rechte evenredigheid