

INVLOED VAN HET BOS OP DE WATERSTAND

[116.2]

door

B. W. P. ROESSEL

(with a summary in English)

In 1900 achtte men het in Zwitserland nodig een hydrologisch onderzoek te beginnen, ten einde na te gaan, welke invloed bos had op de waterhuishouding in het gebergte. Men zocht daarvoor uit twee kleine stroomgebieden, beide kleiner dan 1 km², het ene, Sperbelgraben, bijna geheel, het andere, Rappengraben voor ongeveer $\frac{1}{3}$ bebost, doch overigens zo weinig mogelijk verschillend. Voor verdere bijzonderheden zij verwezen naar inleiding en hoofdstuk A van het artikel: „Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer" V, van Prof. H. Burger in Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen 31 (1) 1954 (9—58) (zie 1E van de literatuurlijst), dat ik hier nader in beschouwing zal nemen.

Reeds in 1912, dus voor er enige publicatie verschenen was, schreef het toenmalige hoofd van het Bosproefstation in Buitenzorg, Beekman, later hoogleraar in Wageningen: „Een bezwaar tegen deze vergelijkende waarnemingen is, dat niet is uitgegaan van gelijke bebossinstoestand. Men is nu absoluut niet zeker, dat alle omstandigheden, behalve de bebossing, volkomen gelijk waren. Twijfel of niet het geconstateerde verschil een gevolg zou kunnen zijn van een onbekende oorzaak, die de aandacht ontgaan is, werd niet bij voorbaat uitgesloten." Dit is inderdaad de reden, die mij een tegenstander doet zijn van de in Zwitserland op grond van dit onderzoek ontwikkelde theorie(n).

In de eerste mededeling van Engler, in 1919, worden zeer veel goede cijfers gegeven, die ook een buitenstaander in staat stellen zich een oordeel te vormen. Het heeft weinig zin thans hier zijn conclusies te becommentarieren. Toch wil ik er even op wijzen, dat hij alle verschillen in becommentarieeschreef aan het verschil in bebossing. Hij nam aan, dat het bos in Rappengraben een afvoer had, gelijk aan $\frac{1}{3}$ van de afvoer van Sperbelgraben, daar Rappengraben voor $\frac{1}{3}$ bebost was (en de cijfers omgerekend waren per km²) en maakte berekeningen hoe groot de afvoer zou zijn geweest, wanneer Rappengraben geheel onbebost was. Dit ging allemaal prachtig, zolang de afvoer van Sperbelgraben lager was dan die van Rappengraben, zoals bij onweders en smeltende sneeuw, maar bij landregens constateerde hij drie gevallen, waarbij de afvoer van Sperbelgraben hoger was. Engler wist er geen andere verklaring voor, dan dat toen het bos zijn retentievermogen verloren had. In mededelingen II, III en IV laat Burger dit punt geheel buiten beschouwing.

Van 1915 af gelukte het Burger ook afvoeropnamen in de winter te doen, zodat van toen af een jaarbalans over neerslag, afvoer en verdamping kon worden gemaakt (zie mededeling II).

In mededeling III behandelt Burger een betrekkelijk klein, maar zeer

belangrijk, onderzoek: een proef om bij kunstmatige regen de oppervlakte-afstroming te meten bij bos en bij weide terrein. Hij vindt dan, dat bos de kunstmatige regen, die een intensiteit heeft van 2 mm per minuut, geheel opneemt, maar dat bij het veeweideterrein globaal 60% van de neerslag over de oppervlakte afstroomt.

In mededeling IV behandelt Burger een derde stroomgebied, de Mele-
ra, en vergelijkt de afvoeren daarvan met die van Sperbelgraben en Rappengraben. Hier voert hij een zeer bruikbare term in: „die reine Regenwirkung”, waarmede hij bedoelt de afvoer, die optreedt tijdens de regen, boven de beginafvoer. Waarschijnlijk gefascineerd door het in mededeling III gevonden verschil in oppervlakte-afstroming van 60%, maakt hij nu in mededeling IV de blunder deze „reine Regenwirkung” gelijk te stellen met oppervlakte-afvoer. Bij aflezing der afvoer curven vindt hij nu voor Sperbelgraben oppervlakte-afvoeren van 10% bij onweders, tot 41% bij regenperioden. Hij vindt dus een toename van de oppervlakte-afvoer bij vermindering van de regenintensiteit, wat theoretisch onjuist moet zijn. Erger is, dat hij nu in conflict komt met het proefondervindelijk gevondene in mededeling III, dat bos zelfs bij een regen van 2 mm per minuut geen oppervlakte-afvoer heeft. Een uitvoerige critiek heb ik gegeven in mijn artikel 3C. Een overdruk hiervan werd Prof. Burger toegezonden, maar het komt niet voor in de literatuurlijst van mededeling V, waarin tot mijn verwondering deze hele kwestie eenvoudig is doodgezwegen.

In de inleiding van Mededeling V wordt er melding van gemaakt, dat in het Flysch gebied, in het Kanton Freiburg, in 1951 en 1952 twee nieuwe stroomgebieden werden uitgezocht om ze met elkaar te vergelijken, en wel het Schwändlibach stroomgebied, met een oppervlakte van 1,4 km² voor 30% bebost en het aangrenzende Rothenbach gebied, oppervlak 1,7 km², voor 10 à 15% bebost. De bedoeling is het tweede gebied de eerste 5 jaren zo te laten, daarna de veeweide-terreinen te bebossen, totdat een bebossingspercentage van 50 à 60% bereikt is en de metingen dan 30 tot 50 jaren te vervolgen.

Dit voornemen kan niet anders dan worden toegejuicht. Ik wil alleen maar de hoop uitspreken, dat Zwitserland nog geld genoeg over zal houden, om de reeds aanwezige onderzoeken te voltooien, door hier ook enkele bronnen van zelfregistrerende peilschalen te voorzien, zodat men dan eindelijk een onomstotelijk vaststaand denkbeeld kan krijgen van de reactie van het grondwater op de regen.

In hoofdstuk B behandelt Burger: „Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben”. Hier voegt hij verschillende gegevens maand-, jaars- of seizoengewijs samen, hetgeen natuurlijk zijn nut heeft, bijvoorbeeld voor de jaarafvoer en de verdamping. Voor deze stroomgebieden echter, waar de afvoer, ook onder bos, binnen 3 à 4 weken van „himmelhoch jauchzend” op „zum Tode betrübt” kan terugvallen, zijn deze cijfers minder geschikt er conclusies uit op te maken.

Hoofdstuk C. „Einfluss des Waldes während Hochwasser”. In mijn artikel in dit tijdschrift van Juni 1954 (3E) is behandeld, hoe ik kom tot de splitsing van oppervlakte-afvoer en doordegrondse afvoer. Alle hoge afvoeren worden door Burger gezien als oppervlakte-afvoer. Hij zag, en ziet nog niet in, dat ook doordegrondse afvoeren hoog kunnen zijn. Hij ziet misschien nu niet meer de hele „reine Regenwirkung” als

oppervlakten-afvoer, maar voor het feit, dat Rappengraben meer afvoert dan Sperbelgraben weet hij geen enkele andere reden aan te geven dan een verschil in oppervlakte-afvoer. Hij zegt op blz. 43: „Auffallend ist sodann, dasz das mittlere Abfluszprocent bei Tauwettern im Sperbelgraben um 32% kleiner ist als im Rappengraben. Da es sich um Abflüsse ausserhalb der Vegetationszeit handelt, so kann das höhere Abfluszprozent des Rappengrabens nicht durch den geringeren Wasserverbrauch des Weidegebietes bedingt sein, sondern hauptsächlich durch den auf Weideboden höheren Oberflächen-abflusz, der im Weidegebiet die grösseren Hochwasserspitzen und die damit verbundene höhere Erosion verursacht als im Walde.“

Hier heeft men nu het kernpunt van de controverse. Er is wel degelijk nog een reden te noemen waarom Rappengraben als regel, en niet alleen bij Tauwetter, meer afvoert, en dat is, dat het grondwater-reservoir van Rappengraben sneller leegloopt dan dat van Sperbelgraben. Het Rijksinstituut voor drinkwatervoorziening bijvoorbeeld berekende immers voor de noordwaartse afwatering van de Veluwe, bij een lengte van de watervoerende laag van 20 tot 30 km en geringe helling — dus een zeer lange leeglooptijd — een variatie tussen hoogste en laagste afvoer van 0,645 m³ op een gemiddelde afvoer van 16 m³ per dag en per strekkende meter kustlijn, dat is 4%. (4)

Neemt men voor Sperbelgraben, dat uit den aard der zaak een zeer veel kortere leeglooptijd heeft, de hoogste grondwaterafvoer aan op 850 l/s/km² en de laagste op 1,2 l/s/km², bij een gemiddelde afvoer van 772 mm per jaar of 24,5 l/s/km², dan is die variatie 848,8 l/s/km² of 3460% van 24,5 l/s/km². Hieruit volgt wel de belangrijkheid van de leeglooptijd.

Iedereen kan gemakkelijk begrijpen, dat als men twee reservoirs met elkander vergelijkt, die vlugger gevuld kunnen worden dan dat ze leeglopen, dat dan, als men ze gelijke vullingen geeft, het sneller leeglopende, per uur, minuut of seconde gemeten, groter afvoer vertoont in het begin, terwijl dan tegen het einde, het langzamer leeglopende meer water zal geven. Naarmate het sneller leeglopende het nulpunt nadert, zal het verschil, vooral als men het in procenten uitdrukt, zeer groot kunnen lijken. Ik verwijs hiervoor naar fig. 4 van 3B en tabel 19 van 1E.

Wanneer de vulling zich over langere tijd verdeelt, bijvoorbeeld bij regenperioden, dan zal de voorraad opgepot grondwater, in het langzaam leeglopende stroomgebied, steeds groter worden. Voorts zal, omdat een grotere voorraad grondwater samengaat met grotere afvoer, op een gegeven oogenblik de afvoer van het langzamer leeglopende Sperbelgraben, gelijk of zelfs iets groter kunnen worden dan de afvoer van het sneller leeglopende Rappengraben. Ter verduidelijking volgt hier een overzicht (tabel 1) van een proef met zandbakken van verschillende lengte, die reeds gepubliceerd werd in mijn artikel 3D. Men kan hier duidelijk volgen hoe bij gelijke vullingen in de langzamer leeglopende lange bak de voorraad grondwater en de afvoeren toenemen.

Dit is dan ook de verklaring van het in figuur 8 gegeven verschijnsel tussen 12 en 13 uur op 17 Juli. Ook Burger ziet wel in, dat de voorraad in Sperbelgraben groter is geworden gedurende de vooraf gegane 48 uur, en hij meent daaruit te moeten concluderen „dasz dann endlich die Speicherfähigkeit des Waldbodens erschöpft war.“ Burger neemt hier

Tabel 1
Uitkomsten van periodieke begietingen van zandbakken met telkens 300 cc water en intervallen van 8 minuten

	opgieting cc	uitvloeï per minuut cc								uitvloeï per 8 m cc	achtergeble- ven retentie totaal cc
		1	2	3	4	5	6	7	8		
korte bak	300	101	67	41	25	16	10	6	4	270	30
	300	106	74	44	26	17	11	6	4	288	42
	300	108	76	44	28	17	11	7	4	295	47
	300	110	74	46	28	18	12	7	4	299	48
	300	109	76	46	28	18	12	8	5	302	46
lange bak	300	37	24	17	14	11	10	9	8	130	170
	300	47	32	24	22	19	18	16	15	193	277
	300	49	37	30	27	24	22	21	20	230	347
	300	57	42	35	32	28	26	24	23	267	380
	300	57	44	38	32	30	28	26	24	279	410

hetzelfde standpunt in, dat Engler bij de eerste mededeling innam. Dit verschijnsel kwam volgens de cijfers ook meermalen voor in de perioden, behandeld in de mededelingen II, III en IV, maar werd toen niet nader bekeken.

Dat de „Speicherfähigkeit" van een bodem „erschöpft" raakt, kan ik mij heel goed voorstellen, bijvoorbeeld bij de mergelbodems op Java, al of niet bedekt met bos. Voor Sperbelgraben waar tijdens deze uitzonderings-omstandigheden de afvoer kleiner blijft dan de opvallende regen, kan ik dat niet. Wil Burger zijn opvatting geloofwaardig maken, dan zal hij een verklaring moeten geven voor de tegenstrijdigheid, waarom bij een regen van 94,0 mm met een topafvoer van 262 l/s/km² (regenperiode 3) dit verschijnsel wel zou optreden en niet bij een regen van 128, 1 mm met een topafvoer van 679 l/s/km² (regenperiode 5). Burger vestigt graag de aandacht op die afvoeren, die sterk verschillen, maar er zijn er vele in de door hem geproduceerde cijfers te vinden, waarbij de afvoerprocenten zeer dicht bij elkaar liggen, soms zelfs gelijk zijn. Volgens mijn theorie is dat gemakkelijk te verklaren, omdat men kan aannemen, dat verschillen in de reservoirvullingen daartoe aanleiding geven. Maar hoe zou Burger moeten verklaren, dat het verschil in oppervlakte-afstroming nu eens groot en dan weer klein is? Ze variëren n.l. tussen - 1 en + 25%.

Hoofdstuk D. „Der Einfluss des Waldes auf den Niederwasserstand". Prof. Burger ziet wel in, dat het minder beboste Melera-stroomgebied meer en langer water kan vasthouden, dus „nachhaltiger" is, dan het geheel beboste Sperbelgraben, en dat dit aan bodemverschillen moet worden toegeschreven. Hij zoekt die bodemverschillen in een grotere „Wasserspeicherungsmöglichkeit", of duidelijker gezegd, in een grotere dikte van de watervoerende laag. Mijns inziens kan dat inderdaad de verklaring zijn voor het kunnen vasthouden van meer water, maar het langer vasthouden houdt meer verband met de lengte van de watervoerende laag. Uit de laatste alinea op blz. 44 kan echter blijken, dat hij voor de verschillen tussen Sperbelgraben en Rappengraben uitsluitend denkt aan het verschil in oppervlaktenafvoer tussen „stark bestoszene Weiden"

en bos. Aan eventuele bodemverschillen wordt hier niet gedacht.

De oppervlakte-afvoer van Rappengraben zal ik bij hoofdstuk E behandelen. Men neme voorlopig aan, dat die te gering is om van enige invloed te zijn op de droogteafvoer. Dat die oppervlakte-afvoer elders op veeweideterrein zeer groot kan zijn, bewijst niets voor Rappengraben, zelfs niet als het lijstje van de op blz. 44 genoemde onderzoekers vijf maal zo lang zou zijn. Verder worden in dit hoofdstuk grafieken en cijfers gegeven van droogte-afvoeren. Op de 20ste droogtedag is overal de afvoer van Sperbelgraben hoger dan die van Rappengraben, maar in percenten uitgedrukt zijn er grote verschillen. Dit is geheel in overeenstemming met hetgeen ik hiervoor reeds heb geschreven over het te ververstomming met hetgeen de afvoeren, naarmate men dichter bij het nulpunt van het sneller leeglopende stroomgebied komt.

Rekent men in regen-mm uit, hoe groot de totaal afvoeren waren gedurende de eerste 20 droogtedagen, dan krijgt men het volgende :

Tabel 2

	Sperb.	Rapp
Gemiddelde uit 4 koude droge tijden	12,8	14,5
„ „ 4 warme droge tijden	6,5	6,0
„ „ 5 zomer afvoeren na droog weer	4,2	3,2
„ „ 5 idem na nat weer vooraf	15,4	17,0

Dat de droogte-afvoer in de eerste 20 dagen van Rappengraben, bij koud en voorafgaand nat weer, groter is dan die van Sperbelgraben, wijst zeker niet in de richting, dat Rappengraben zo veel minder grondwatertoevoer krijgt. Alle cijfers in dit hoofdstuk wijzen echter wel in de richting, dat Rappengraben sneller leegloopt. Waar het grondwater wordt vastgehouden in de benedenlaag van de verweerde bodem, waarop bos geen invloed meer heeft, moet men hier dus concluderen, dat bos geen merkbare invloed heeft op de droogte-afvoer. Theoretisch zou men moeten komen op een nadelige invloed, dank zij de meer-verdamping en dus geringere toevoer van grondwater. Dit laatste wordt in Amerika algemeen aangenomen.

Hoofdstuk E. „Einfluss des Waldes auf die Erosion und die Geschieführung der Gewässer“.

Als men vast houdt aan de kunstmatige regenproef van Burger, waarbij werd gevonden, dat bos, bij een regenintensiteit van 2 mm per minuut, geen oppervlakte-afvoer vertoonde, is voor Emmental deze vraag reeds beantwoord. Dat er op de boswegen soms een oppervlakte-afvoer ontstaat, dat door uitsleep van hout langs de rivierdalen slibafvoer plaats heeft tot 50 m³ per km² per jaar (0,05 mm per jaar), doet daaraan geen afbreuk. Van belang is het om hier uit te maken hoe groot oppervlakte-afvoer en erosie zijn in Rappengraben. Een jaarlijkse slibafvoer van 160 m³ per km² (0,16 mm per jaar) is niet verontrustend en wijst niet op overmatige oppervlakte-afvoer.

In figuur 5 geeft Burger een interessant voorbeeld van oppervlakte-afvoer in Sperbelgraben. Maar de vraag waar het hier om gaat is, na te gaan of de oppervlakte-afvoer zo groot is, dat merkbare invloed op de toevoer van grondwater kan worden verwacht. In 3C berekende ik, dat een oppervlakte-afstroming van 72% bij de regenproef, overeen kwam met een infiltratie-capaciteit van 0,19 mm per minuut. De land-

regens in Emmental hebben meest gemiddelde intensiteit van 0,1 mm per minuut met uitschieters tot 0,2 mm per minuut. Men mag dus aannemen, dat die regens in hun geheel de grond ingaan, hetgeen overeenkomt met grafieken en cijfers van Engler en Burger. In 3A berekende ik uit cijfermateriaal van Engler de oppervlakte-afvoeren van 4 onweders van Rappengraben (zie 3A, fig. 5a, b, c, d) en doe er thans twee bij. Hierbij is uitgegaan van de volgende stellingen: 1) dat 2 à 3 uur na de regen van hoge intensiteit alle oppervlakte-afvoer water de plaats waar de afvoer gemeten werd, voorbij was en 2) dat de reactie van het grondwater op de regen 10 à 15 minuten later plaats had (zie 3E). Ik vond

Tabel 3

datum onweder	neerslag mm	opp. afv. mm	opp. afv. in % van neerslag
13 Juni 1915	54,7	2,3	4,2
2 Juni 1915	27,1	1,5	5,5
25 Mei 1909	25,8	0,06	0,2
13 Juli 1915	16,3	0,9	5,5
13/14 Nov. 1913	51,3	—	—
4/5 Sept. 1908	54,0	5,4	10,0
gemiddeld	38,2	1,69	4,47

Hierbij zij aangetekend dat op 25 Mei 1909 het terrein zeer droog was en op 13/14 Nov. 1913 de hoogste regenval 0,18 mm per minuut bedroeg.

Zonder te beweren, dat deze cijfers absolute waarde hebben, geven ze toch wel enig idee, als men bedenkt, dat Engler er zeer zeker niet op uit was, de hoogste afvoeren weg te werken. Zelfs als men aanneemt, dat 20% van de jaarlijkse regenval als onweder valt, hetgeen voor Europa zeker te veel is, dan nog stroomt er oppervlakkig niet meer dan 0,9% van de regen af. Wat betekenen voor Rappengraben deze 0,9% grondwaterverlies als gevolg van oppervlakte-afvoer, tegenover 10% winst door mindere verdamping?

Ik eindig met de opmerking, dat naar mijn mening Rappengraben, wat oppervlakte-afvoer en erosie betreft, een gunstige uitzondering is, vergeleken bij andere veeweide terreinen. Ook moet men niet vergeten, dat Jacks en Whyte N.W. Europa min of meer immuun tegen erosie genoemd hebben.

Literatuur (References)

- Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen.
Onderwerp: Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer.
A Band XII Engler. A., 1919.
B Band XVIII, Burger. H. II (2), 1934.
C Band XXIII, Burger. H. III (1), 1943.
D Band XXIV, Burger. H. IV (1), 1945.
E Band XXXI, Burger. H. V (1), 1954.
- Burger. H. Einfluss des Waldes auf den Wasserhaushalt.
Wald und Wasser 1953.
- Roessel, B. W. P.

- A Maximum afvoer en hydrologische empirie. De Ingenieur in Ned. Indië, 1940, Juli.
- B Over tot nu toe onbekende hydrologische factoren die het Regime van rivieren beheersen, Tijdschrift van het Ned. Aardrijkskundig Genootschap 1941, afl. 5.
- C De verklaring van een hydrologische paradox. Ned. Bosbouw Tijdschrift 1948, nr 8.
- D Hydrologic problems concerning the runoff in headwater regions. Transactions American Geophysical Union 1950, nr 3.
- E Over het ontstaan van overstromingen. Ned. Bosbouw Tijdschrift 1954, nr 6.
- 4 Investigations into the fluctuations in the natural discharge of ground-water from the Veluwe district in the Netherlands. Paper presented by the Netherlands Institute for Water supply. Assemblée d'Oslo 1948, T III, blz. 47.

Summary

Influence of the forest on streamflow

In 1900 the Swiss began an investigation to find out, which influence was exerted by forest on streamflow. Two small basins were selected, both less than 1 qkm, one of them, the Sperbelgraben, wholly, the other, Rappengraben, for $\frac{1}{3}$ forested. Thus far 5 communications were published (see the references).

As early as 1912, before any communication was published, dr Beekman, afterwards professor in Wageningen wrote: "An objection against these comparative observations is, that they did not start from equal conditions concerning forest. Now one cannot be sure, that a stated difference ascribed to forest cannot be caused by an unknown factor." This is really the reason why I cannot agree with the swiss theories.

In the first communication by Engler in 1919 (1A), all stated differences were ascribed to the difference in vegetation. Concerning the yield of water in dry periods. Engler was convinced that the greater the percentage of forest was in the basin, the greater the yield of water would be. Concerning the runoff during rain and melting of the snow he found as a rule, that the partly forested Rappengraben had a greater runoff than the wholly forested Sperbelgraben. Only during three rainstorms of low intensity (in german language called „Landregen") the runoff of the forested basin was greater. The only explication of these three exceptions he could give, was that then the forest had lost its capacity of retention. It must be admired in Engler that he gave ample attention to these exceptions, which were contradictory to his theory.

Dating from 1915 Burger succeeded in measuring the runoff in winter and so he could make an annual water balance (see 1B).

In 1C Burger published the results of an investigation concerning surface-runoff. With an artificial rain of 2 mm per minute he found that the forest had no surface-runoff, but on a part of the Rappengraben used for cattle-grazing he found a surface-runoff of 60% of the artificial rain.

Perhaps fascineted by this great surface-runoff, in communication IV (1D) Burger made the blunder of equalizing the runoff above prior with

surface-runoff. The consequence was that by interpreting the storm-hydrographs, he found a surface-runoff of the forested Sperbelgraben of 10% of the rain during thunderstorms and 41% during long rain-periods. Perhaps he did forget, what he had found empirically concerning the surface-runoff under forest.

In chapter C of the fifth communication (1E) concerning "influence of forests during floods" Burger found during "Tauwetter" (translated melting of snow accompanied with rain) a great difference in the runoff of the two basins: the Rappengraben had in average a runoff 32% of the rain greater than the runoff of the Sperbelgraben. His opinion was that this could only be the effect of surface-runoff from the cattle-grazing area of the Rappengraben, the temperature being too low to think of evaporation. Burger adopted the theory that the water, which infiltrated into the soil, would need some days before causing a reaction on the runoff. In my paper in this periodical (see 3E) I found a lag of 10 to 15 minutes. Consequently Burger could only think of surface-runoff to explain the higher runoff of the Rappengraben during the „Tauwetter“.

This and other phenomena of the two basins in the Emmen valley can be explained by introduction of another factor: the difference in time needed by the groundwater-reservoirs to empty themselves. On the Veluwe in the Netherlands, an area which can be considered as a great mass of sand, the aquifer, emptying in the northward direction into the IJsellake, has a length of 20 to 30 km, with little inclination. In consequence the time needed to empty itself must be very long. The yield of water was computed to be 16 cub. meter per day per running meter of coast in average and the difference between flood and low water to be 0,645 cub. meter or 4% of the average. (4). If we assume the crest runoff of groundwater of the forested Sperbelgraben to be 850 l/sec/qkm during flood (see 3E) and the minimum runoff of low water 1,2 l/sec/qkm (see 1E), the average runoff 24,5 l/sec/qkm, then the difference between flood and low water will be 848, 8 l/sec/qkm or 3460% of the average. This shows us the importance of this factor.

Everyone may understand, that comparing two reservoirs, both filled with the same quantity of water, but differing in time to empty themselves, the one emptying faster will have greater runoff in the beginning, but less runoff in the end, and that it will reach zero in less time. The consequence is, that nearing the end, the difference of the runoffs, measured in percent of the runoff of the slow emptying one, will increase. And this is what we can see clearly in table 19 of 1E. Just after the filling of the reservoirs, the first day of the dry period, the runoff of the Rappengraben is 17 to 34% greater, the 20th day it is 8 to 75% smaller than the runoff of the Sperbelgraben.

As mentioned before, Engler discussed three exceptions, where during storms of low intensity the Sperbelgraben had a greater runoff than the Rappengraben. In the fifth communication (1E) fig. 8, Burger mentioned the same exception. Both gave the same explanation, that in such cases the soil of the forested Sperbelgraben was saturated and could not take in more water. My theory is that during prolonged fillings in the slower emptying basin the detained quantity of water, the retention, will increase more and more and in consequence the runoff will also increase. A study of table 1 will give an idea of this phenomenon. If prof. Burger wants

to be believed, he will have to explain, why a rain of 94,0 mm with a crest of the runoff of 262 l/sec/qkm (table 16 rainperiod 3) saturated the soil and a rain of 128,1 mm with a crest of 679 l/sec/qkm did not the same (table 16 rainperiod 5). Further Burger has to explain why the differences in runoff vary so much, from — 1 to + 25%. With my theory the explanation is very simple: it depends from the difference of the quantities of detained groundwater in the two basins.

Concerning the yield of water in dry periods, Engler and Burger assume that a great surface-runoff on the cattle-grazing area of the Rappengraben has the effect of insufficient filling of the groundwater-reservoir. This is not confirmed by the data given in Burgers table 19. The total runoff of the Rappengraben during 20 days was greater than the total runoff of the Sperbelgraben, during cold weather and during summer with a preceding wet weather period, (see table 2)

I can fully agree with Burgers conclusion about the relation of forest to erosion, but Burger has exaggerated ideas about surface-runoff under other vegetation. In his experiment with artificial rain he found at the end of his experiment a surface-runoff of 72% of the rain on the cattle-grazing area. Converted, this is equal to an infiltration-capacity of 0,19 mm per minute (see 3C). The rain-intensity of the „Landregen“ is mostly 0,1 mm per minute with rain-crests till 0,2 mm per minute. So it can be accepted that even in the most impermeable part of the Rappengraben the „Landregen“ can infiltrate. In my paper 3A, assuming a reaction of the runoff on the rain with a lag of 10 or 15 minutes and assuming that 2 or 3 hours after the rain the surface-runoff will have passed the root of the basin, I computed the percentage of surface-runoff (see 3A fig. 5 a, b, c, d.). In table 3 are given the data of 6 thunderstorms with in average a surface-runoff of 4,47% of the rain. If we assume that 20% of the precipitation in the Emmen valley are thunderstorms, which is too much for Europe, the surface-runoff is not greater than 0,9%. For the Rappengraben this loss of 0,9% is very small against a gain of 10% by less evaporation.

I will conclude this paper with the remark that in my thinking the Rappengraben is a favourable exception concerning the surface-runoff from cattle-grazing area. Also we must not forget that Jacks and Whyte called N.W. Europe immune against erosion.