Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 71 (1920)

Heft: 12

Artikel: Erscheinungen beim Abfluss von Hochwasser nach den Engler'schen Versuchen im Emmental

Autor: Christen, Traugott

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-765439

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Phot. Dr. Fanthauser.

Bestockung am Nordabhang des Gurschen ob Andermatt,
von der im Winter einzig der Vogelbeerbaum sichtbar ist.

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Organ des Schweizerischen Forstvereins

71. Jahrgang | Dezember 1920 | № 12

Erscheinungen beim Abfluss von Hochwasser nach den Engler'schen Versuchen im Emmental.

Von Oberförster Traugott Christen in Zweisimmen.

Die Abflußkurven und die darauf bezüglichen Tabellen über Niederschläge und Abflußmengen des Engler'schen Werkes (siehe Besprechung in Nr. 9/10 dieser Zeitschrift) bieten nebst einer Fülle von höchst wichtigen und interessanten Ergebnissen dem aufmerksamen Leser auch eine Reihe von Fragen und Rätseln, die zur Ergründung anregen und deren Lösung für die Auffassung der Vorgänge und für die praktischen Nutzanwendungen nicht gleichgültig sein kann.

Nachstehende Studie soll nun einen Versuch darstellen, die allgemeine Form der Abflußkurven zu erklären und dabei auf einige mir besonders bemerkenswerte Erscheinungen hinzuweisen.

Um mir den ganzen Vorgang des Abflusses besser versinnlichen zu können, verfolgte ich von ungefähr den im III. Band, 1. Abt., 1. Hälfte, des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften, 1892, Seite 343, skizzierten Gedankengang.

Ich stelle mir vorerst einen nur mäßig durchlässigen Berghang vor, auf den in einem gegebenen Zeitpunkt ein Regen einzufallen beginne. Zu unterst an der geneigten Ebene befinde sich eine verhältnismäßig glatte, querlaufende Rinne (Bachbett), in welcher das Wasser, das hier zusammenläuft, rasch abwärts strömt und unten, am Ende dieser Rinne, gemessen werden kann. Es falle sekundlich ein Niederschlag von r^{mm} und es verschwinde in dieser Zeit durch Versickerung, Verdunstung usw. eine Schicht von s^{mm}, so daß die sekundliche Erhöhung der Schicht beim Herunterfließen am Seitenhang nur noch $r - s$ beträgt. Bezeichnen wir diese sekundliche Zunahme der aufgefangenen Regenschicht $r - s$ mit z.

Bei Beginn des Regens fließt in der 1. Sekunde eine Wassermenge aus den Hängen in die Rinne, herrührend von derjenigen Fläche, an deren Peripherie die Wasserteilchen eine Sekunde zum Herabgleiten bis zur Meßstelle brauchen. In einer fernern Sekunde gelangt eine weitere Zone zum Abfluß, welche nun 1—2 Sekunden braucht, um sich bei der Meßstation zu melden. Die Tiefe dieser zweiten Schicht beträgt dann

also 2 z. Die während der 3. Sekunde herabeilende Wasserfläche hat die Tiefe 3 z u. s. f. Gleichzeitig erweitert sich jeweilen das zum Abfluß gelangende Gebiet, sofern man sich statt eines keilförmigen, überall gleich breiten Tales ein Kreissegment vorstellt. Diese Zunahme der Wassertiefe geht so weiter, bis entweder der Regen aufhört oder soweit zurückgeht, daß $r - s = o$ oder negativ wird, oder endlich, bei längerer Dauer des stets gleich stark gedachten Regens, bis das Wasser der entferntesten Punkte, z. B. eines Gebirgskammes — freilich in homöopathischer Verdünnung durch das inzwischen aufgefallene Wasser — bei der Meßstelle angelangt ist. Von diesem Zeitpunkt an haben wir einen stationären Zustand und es fließt stetig das sekundliche Quantum: Auffangfläche $\times (r - s) = F \cdot z$ aus, was auch aus folgender Ueberlegung folgt:

Es sei B die Breite eines schmalen, rechteckigen, der Richtung des größten Gefälls folgenden Abhangs. Die Länge des letztern von der Rinne bis oben sei gleich L. Die mittlere Geschwindigkeit eines längs L fließenden senkrechten Wassersäulchens betrage v; t sei die zur Durcheilung der ganzen Strecke L nötige Zeit, nach v. Kaven Normalzeit[1] genannt, z die Tiefenzunahme per Sekunde. Dann hat dieses Wasserteilchen, das soeben in der Rinne anlangt, die Tiefe $H = z \cdot t$, wo $t = \frac{L}{v}$; also ist $H = z \cdot \frac{L}{v}$, woraus $v = \frac{z \cdot L}{H}$. Ferner ist das sekundliche Durchflußquantum $Q = f \cdot v$, wo f die Querschnittfläche des ausfließenden Wasserkörpers bei der Rinne bedeutet, und da $f = B \cdot H$, so ist $Q = B \cdot H \cdot \frac{z\,L}{H}$ $= B\,L\,z =$ Auffangfläche $\times$ sekundliche Zunahme der Schichttiefe.

Hört der Regen, nachdem eine Zeitlang dieser Maximalbetrag ausgeflossen war, auf, so versickert und verdunstet das Wasser allmählich und der Ausfluß nimmt bei der Meßstelle langsam von B L z bis O ab, nachdem er sein letztes Glas noch der nächsten Umgebung entnommen.

Nennen wir, um uns in der Folge kurz ausdrücken zu können, dasjenige Stadium, wo der Ausfluß bis zum höchstmöglichen Maximum ansteigt: die Vorflut, dasjenige, das besteht vom Augenblick an, wo das sekundliche Abflußquantum sein höchstes Maß besitzt, die Hochflut, und diejenige Periode, während welcher die Abflußmenge wieder abnimmt, und schließlich ganz aufhört, die Nachflut.

Jede Abflußkurve besteht also, wenn sie vollständig ist, aus drei Teilen:

1. einem rasch ansteigenden Ast, entsprechend der Vorflut.
2. einem Wellenberg dessen Oberfläche meist ziemlich stark um eine Gleichgewichtslage oszilliert, entsprechend der Hochflut.
3. einem absteigenden Ast, als Nachflut, der sich anfangs schroff, allmählich schwächer geneigt, vom genannten Wellenberg herabsenkt,

[1] v. Kaven: Vorträge über Ingenieur-Wissenschaften an der polytechnischen Schule in Aachen, Abteilung I. Hannover 1870.

aber nur in Fällen größter Trockenheit die Abszissenachse erreicht. Bevor letzteres geschieht, fallen in der Regel neue Niederschläge.[1]

Wo die Regendauer zu kurz ist oder die Intensität stark abnimmt, fällt das Stadium der Hochflut aus und die Kurve erhält am Punkt des Regenabfalls eine nach oben gerichtete Spitze, statt eines Wellenberges. (Siehe Abbildung 40 u. a.)

In den uns beschäftigenden Beispielen tritt nun, besonders nach den Forschungen Englers zu erkennen, ein weiterer Umstand hinzu, der der ursprünglichen Voraussetzung einer nur vom Regenfall und der Einsickerung samt Verdunstung abhängigen Schicht-Dickenzunahme nicht mehr entspricht: das teilweise Wiederaustreten des eingedrungenen Sickerwassers aus den Hängen, welches nun die Nachflut bedeutend verlängern muß.

So ist das theoretische Bild des in Wirklichkeit ja wohl etwas komplizierteren Vorganges, das ich mir vom ganzen Geschehen eines Hochwassers zurechtlegte.

Aber nun kamen Bedenken.

Warum reagiert die Abflußkurve bei jeder Aenderung der Niederschlagskurve beinahe plötzlich? Warum fällt der Abfluß bei der Meßstation sogleich nach Aufhören des Regens in solchem Maße, während er doch noch von den von weiter oben herkommenden Wasserfäden gespiesen werden sollte? Eine Erklärung schien nahe zu liegen: der Regen muß ja nach Engler im Waldboden sofort versickern und gelangt nur vom untersten Teil her zum Ausgangstor. Aber warum dann dieselbe Erscheinung auch bei dem doch größtenteils unbewaldeten Rappengraben, wo diese plötzliche Versickerung nicht anzunehmen ist? Der Umstand, daß die Abstiche höchstens von 5 zu 5 Minuten, bei Landregen oft nur von 15 Minuten bis zu einer Stunde genommen wurden, schien mir nicht genügend zu einer Erklärung, auch nicht die Bewaldung der nächsten Umgebung des Hauptgrabens im Rappengrabengebiet.

Um einen Einblick in die verschiedenen Möglichkeiten der allgemeinen Wasserbewegungsverhältnisse der beiden Grabeneinzüge zu gewinnen, versuchte ich vorerst, die ungefähre Zeit auszurechnen, die das Wasser braucht, um in der Hauptrinne bis zur Meßstelle zu gelangen und dann zu sehen, was nach Ausrechnung der „Normalzeit" noch für die Bewegung an den Hängen übrig bleibt.

Nach meiner Geschwindigkeitsformel, deren vorzügliches und überlegenes Stimmen für natürliche und künstliche Gerinne ich im Jahre 1903[2] an 392 Messungen an Kanälen und Flüssen, sowie an 117 Messungen an Röhren nachgewiesen und von der ich noch heute überzeugt bin, daß sie im einfachsten Falle, der kreisrunden Röhren, das eigent-

[1] Zur Illustration dieser Vorgänge dienen besonders die Abbildungen 37, 42 und 50, 9./10. Juli, des Werkes von Engler.

[2] Christen, Das Gesetz der Translation des Wassers, Leipzig 1903.

Naturgesetz darstelle,[1] berechnet sich für die bei dem Beispiel vom 25./26. Juni 1904 herrschende sekundliche Maximal-Wassermenge von 569 Sekundenlitern für den Rappen- und von 342 Sekundenlitern für den Sperbelgraben die Geschwindigkeit im Hauptgraben wie folgt, indem ich eine Breite des Wasserspiegels annehme von 5 m.

Die hier zu verwendende Formel heißt: $v = \frac{k}{\sqrt[4]{B}} \sqrt[3]{Q\,I}$, wo k der Geschwindigkeitskoeffizient, B die halbe Breite, Q das sekundliche Durchflußquantum ausgedrückt in m^3 bedeuten:

Für den Sperbelgraben lautet: $v = \frac{6}{\sqrt[4]{25}} \sqrt[3]{0{,}312 \,.\, 0{,}41} = 2{,}48$ m.

„ „ Rappengraben „ $v = \frac{6}{\sqrt[4]{25}} \sqrt[3]{0{,}569 \,.\, 0{,}37} = 2{,}84$ m.

Nehmen wir schätzungsweise als mittlere Geschwindigkeit der gesamten Wegstrecke für jede der Hauptrinnen zurzeit der Hochflut 1,8 m an, so dauert der Durchfluß von der Mitte der Hauptrinne an: für den Sperbelgraben $\frac{150}{1{,}8}$ Sekunden oder 1,4 Minuten, für den Rappengraben $\frac{217}{1{,}8}$ Sekunden oder 2 Minuten. Diese Zeit kann nun in Englers Abbildungen und Tabellen gar nicht zum Ausdruck kommen, schon wegen der Kleinheit des Maßstabes der erstern und des größern Auseinanderrückens der einzelnen Abstiche.

Daraus erklärt sich bereits ein Teil der scheinbar sofortigen Reaktion der Abflußkurve auf die Unterschiede der Regenintensität.

Da nach der vorstehenden Darstellung die Dauer der Vorflut die Zeit angibt, die ein Regenelement zur Durcheilung des Weges vom höchsten Punkte bis zur Ausflußstelle braucht und diese Zeit, die Normalzeit, hier 13 Stunden beträgt (1. Beispiel, Nr. 4 der Tabelle), so sind jene 1,4 bis 2 Minuten völlig belanglos und es dürfen diese 13 Stunden füglich auf Rechnung des Zeitverbrauchs zum Durcheilen des Abhangs gesetzt werden, was einer durchschnittlichen Minutengeschwindigkeit im Sperbelgraben von ungefähr 0,36 m, im Rappengraben von 0,57 m entspricht oder eine Sekundengeschwindigkeit von 6,5 resp. 9,5 mm, eine allerdings ganz unerwartet geringe Geschwindigkeit.

In den Englerschen Abflußversuchen auf gewachsenem Waldboden im Sperbelgraben mit einmaligem größern Quantum finden wir bei Versuch 5, S. 209, eine Geschwindigkeit im Boden (zwischen Ein- und Austritt) von 2 cm per Sekunde. Auf einer mit Alpenerlen bewachsenen Stelle im Rappengraben (Versuch 4, S. 212) betrug die Geschwindigkeit

[1] Derselbe, Neue Belege zu der Geschwindigkeitskurve achter Ordnung, Zeitschrift für Gewässerkunde, Herausgeber: Gravelius, Dresden, 6. Band, Heft 3.

im Boden zirka 0,14 m per Minute. Oberflächlich fließt das Wasser, wo es kann, bedeutend schneller, mit Geschwindigkeiten von $^1/_2$ bis 1 m per Sekunde ab.

Diese herausgerechneten geringen Geschwindigkeiten geben zu denken, erklären sich aber leicht, wenn man ein Fließen unter der Oberfläche annimmt.

Sehen wir zu, wie es mit der Einsickerung steht. Die größte Abflußmenge im Rappengraben beträgt im genannten Beispiel zirka 569 Sekundenliter per 100 Hektar, im Durchschnitt der Hochflut 433 Sekundenliter, also 0,00043 mm per Sekunde. Der Niederschlag per Sekunde belief sich auf $\frac{89{,}1}{26 \cdot 3600} = 0{,}00095$ mm. Der sekundliche Abgang, meist Versickerung, läßt sich nun, immer unter der Voraussetzung, daß meine Vorstellung über den Vorgang richtig sei, aus der Gleichung $r - s = z$ bestimmen zu $0{,}00095 - 0{,}00045 = 0{,}00050$ mm. Er beträgt also hier ungefähr die Hälfte des Niederschlags. Wenn man nun ausrechnet, daß nach 1 Stunde die Tiefe der sich oberflächlich oder unterirdisch abwärts bewegenden Wasserschicht erst $3600 \times 0{,}0005 = 1{,}8$ mm, nach 13 Stunden erst 2,3 cm beträgt, so fällt die vorhin berechnete sekundliche Geschwindigkeit der Abwärtsbewegung von bloß 9,5 mm im Durchschnitt schon bedeutend weniger auf. Immerhin müssen wir zur Erklärung die Vorstellung eines mehr oberflächlichen Abfließens fallen lassen und diese Bewegung zur Hauptsache in die obern Schichten des Bodens verlegen.

Eine andere Rechnung führt auf ähnliche Zahlen. Rechnen wir aus, wie viel im ganzen seitwärts der Hauptgräben per Laufmeter Länge einfließt und wie groß dann bei einer supponierten Tiefe von 2,3 cm (s. oben) die Einflußgeschwindigkeit in den Graben sein würde. Die Seitengräben lassen wir der Einfachheit wegen weg.

	Länge der Haupt-gräben m	Gesamtes sekundl. Durchflußquantum in Sek.-Litern	Einmfriges Quantum in Sek.-Litern	Q in m³ per Sekunde und Laufmeter	v in Sekd. $= \frac{Q}{H}$ pro H = 2,3
Sperbelgraben .	1113	260	130	0,000117	0,0051
Rappengraben .	1184	433	216	0,000182	0,0079

Nach dieser Rechnung fände der Austritt in die Gräben daher mit einer Sekundengeschwindigkeit von zirka 5—8 mm statt.

Auf unbewaldetem Boden macht sich bei großer Steilheit das Abfließen etwas anders, als hier dargestellt wurde, das Wasser fließt hier bald zu kleineren, allmählich größer werdenden Adern zusammen, wobei es sich bedeutend rascher vorwärts bewegt. Dies gilt besonders für die steilen Heumähder des Hochgebirgs, die sich unmöglich den hier geschilderten Verhältnissen anschließen können. Das Wurzelwerk des Rasens ist

hier noch bedeutend dichter als auf Weidboden, das Eindringen des Wassers schwieriger, und bei einmal aussetzender Ernte bieten die langen Grashalme während eines starken Gewitters alles eher als einen Schutz gegen rasches Abfließen. Gegenteils legen sich die Halme während eines Hagelwetters flach zu Boden, eine sehr glatte Bodenoberfläche bildend.

Aber für die vorliegenden Gebiete bin ich durch die gemachten Vergleiche, freilich unter Preisgabe meiner ursprünglichen Vorstellungen über die Art des Abfließens, über die Tiefen und Abflußgeschwindigkeiten der Wasserschichten, wiederum zu der Ansicht gelangt, daß mein Bild von den Vorgängen der Vor-, Hoch- und Nachflut im großen und ganzen den Tatsachen entspreche. Ich werde dabei auch stark unterstützt durch folgende Erwägung:

Wenn es richtig wäre, daß sich der Ausfluß nur je von der nächsten Umgebung ernähren würde, warum sinkt dann plötzlich um 4 Uhr abends (in diesem Beispiel) — notabene sowohl im Sperbel- wie im Rappengraben, ohne daß die Regenintensität nachgelassen hätte — die Abflußmenge und bleibt dann der Abfluß konstant, trotzdem der Boden durch Sättigung wohl eher undurchdringlich geworden ist? Dasselbe beobachten wir auch in den Beispielen Nr. 1, 2, 3, 5, 6 und 7 der hier beigesetzten Tabelle. Einzig die vorstehende Erklärung der Hochflut scheint mir eine genügende zu sein.

Verfolgen wir nun zur nähern Veranschaulichung das erwähnte Beispiel in allen seinen Phasen.

Der Regen setzte ein am 25. Juni 1904 zirka 4 Uhr abends und dauerte bis zum 26. Juni 4 Uhr abends in verhältnismäßig wenig variierender Intensität. Nach 4 Uhr fielen bis 6 Uhr, wo der Regen ganz aufhörte, nur ganz unbedeutende Niederschläge. Die Gesamtregenhöhe betrug an diesen zwei Tagen 86,3 resp. 89,1 mm, die Regendauer also 26 Stunden. — Gleichzeitig mit dem Einsetzen des Regens begann die Vorflut.

Am 25. Juni, 5 Uhr morgens, hört plötzlich das Ansteigen der Kurve auf, es beginnt die Hochflut, in der sich jede Schwankung der Regenintensität in vergrößertem Maßstab widerspiegelt. Um 4 Uhr abends bricht die Hochflut ab, die Kurve senkt sich stetig, erst schroff, dann allmählich langsam, um am 27./28. Juni um Mitternacht nur noch etwa den vierten Teil der Hochflut-Ordinaten zu zeigen. Zieht man eine Tangente an das letzte Teilstück der Kurve, so schneidet dieselbe die Abszissenachse bei 33 Stunden im Sperbelgraben und bei $18^1/_2$ Stunden im Rappengraben (von Mitternacht des 27./28. an gemessen), welche Zeit zwar jedenfalls in Wahrheit noch wesentlich übertroffen würde, indem sich die für eine längere Zeit beobachteten Nachflutkurven eher asymptotisch, d. h. hyperbelartig der Abszissenachse nähern, sie aber nur ausnahmsweise erreichen. In solcher Weise berechnet sich die Dauer der

Vorflut auf 13 Stunden, der Hochflut auf $11^1/_2$ Stunden und der Nachflut auf 65, resp. 50 Stunden. Während der Nachflut tritt ein großer Teil des früher versickerten Wassers wieder in die Hauptrinnen, ein anderer aber versinkt und verdunstet endgültig.

In nachstehender Tabelle S. 368/69 habe ich nun die alle Stadien zeigenden beobachteten Abflußkurven in ihren Hauptabteilungen dargestellt (Nr. 1 bis 6) und außerdem eine Trockenperiode von 56 Tagen, sowie einen unvollständigen, d. h. der Hochflut entbehrenden Landregen von 55 Stunden, der nach einer Nässeperiode auftrat, berechnet.

Zu dieser Tabelle ist folgendes zu bemerken:

Zu Kolonne 19 und 20: In den Beispielen 3 und 8 wurde die Regenintensität r der ersten Niederschlagsphase benutzt.

Die Nachflutsdauer wurde berechnet durch Verlängerung der letzten Strecke der Abflußkurve bis zur Abszissenachse nach der Formel:

$D = N + Q_2 \frac{t_2 - t_1}{Q_1 - Q_2}$, wo N die Dauer gemäß der Abbildung,

Q_2 die sekundliche Abflußmenge am Rande der Abbildung,

t_2 der Zeitpunkt am Rande der Abbildung,

Q_1 die sekundliche Abflußmenge eines etwas links vom Ende gelegenen Punktes,

t_1 der Zeitpunkt eines etwas links vom Ende gelegenen Punktes.

Daraus bestimmt sich dann die Abflußmenge der Nachflut, resp. des Schlußstadiums derselben nach: $M = \frac{Q_2 \text{ (in Sek.-Litern)} \times (D - N) \text{ Sekd.}}{2{,}000{,}000}$, diese nämlich als Dreieck berechnet.

Kolonnen 13, 19 und 20 bedürfen jeweilen richtiger Interpretation gemäß dem Vorgebrachten.

Diese Tabelle gestattet nun folgende für die Gebiete des Sperbel- und Rappengrabens geltenden mögenden Gesetzmäßigkeiten als ziemlich wahrscheinlich anzusprechen, soweit sie nicht bereits durch Engler festgestellt worden sind.

A. Einfluß des Waldes auf den Abfluß von Niederschlägen nach trockener Witterung.

1. Auf die Dauer der Vorflut, d. h. des Zusammenfließens der Niederschläge, scheint der Wald nur einen geringen, verlängernden Einfluß auszuüben.

2. Dagegen ist im Walde eine sehr bedeutende Abnahme der sekundlichen Abflußmengen während der Vorflut zu bemerken.

3. Auf die Dauer der Hochflut, einer der wichtigsten Gefährlichkeitsfaktoren, scheint der Wald bei kurzen aber intensiven Niederschlägen eine mäßigende Wirkung auszuüben, richtet sich aber hauptsächlich nach der Regendauer und Intensität. Sie ist theoretisch gleich der Differenz der Regendauer und der Normalzeit. Schwankungen der Intensität des

Analyse einiger ziemlich regelmäßiger Abflußkurven im Sperbel- und Rappengraben.

Die Zahlen bedeuten, wo nichts anderes bemerkt ist, Millimeter und Minuten.
S = Sperbelgraben, R = Rappengraben.

Zu Kolonne 13: Durchschnittliche Länge der Abhänge im Sperbelgraben: 300 m.
" " " " " Rappengraben: 435 m.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
№	Beispiel: Beginn der Vorflut / Dauer der Hochflut: Beginn / Ende / Ende der Nachflut: Erstes Stadium	Graben-gebiet: Anfangs-Abfluß in Sek.-Lit.	Niederschlag: Insgesamt	Dauer in Stunden und Minuten	Durchschnitt (per Minute)	Maximum (per Minute)	Vorflut: Gesamte Abflußmenge	Dauer T.	Durchschnitts-Menge per Minute	Maximale Menge per Minute	in % des Niederschlags	Abfluß-geschwindigkeit am Gang
			mm	t	r		mm	Stunden	mm	mm		S: 300/T; R: 435/T Mr./Sek.
	A. Nach Trockenperioden.											
1	Gewitter vom 2. Juni 1915. 8.17 n. / 8.40 n. / 8.55 n. / 3. Juni 3 Uhr v.	S 15,1	26,2	0 h. 40	0,655	1,68	0,453	23 Min.	0,020	0,048	1,7	0,130
	8.05 n. / 8.30 n. / 8.40 n. / "	R 12,5	27,1	0 h. 55	0,492	1,58	1,827	25 Min.	0,073	0,081	6,7	0,290
2	Landregen v. 29. Sept.—8. Okt. 1916, eigentlich vom 3. Oktober. 2. Okt. 9 Uhr n. / 3. Okt. 4 Uhr v. / 10 Uhr v. / 5. Okt. 1.45 n.	S 15,0	35,8	15 h.	0,040	0,08	2,031	7 h.	0,005	0,014	5,7	0,012
	2. Okt. 9 Uhr n. / 3. Okt. 3.55 v. / 10 Uhr v. / 5. Okt. 12 Uhr mittags	R 32,3	38,9	15 h.	0,043	0,12	4,527	6 h. 55	0,009	0,021	11,6	0,018
3	Gewitter vom 13./14. Nov. 1913. 13. Nov. 12.45 v. / 5.45 v. / 9.15 v. / 14. Nov. 12 Uhr mittags	S 13,3	43,0 11,7 54,7	9 h. 35 21 h. 40 31 h. 15	0,075 0,009 0,029	0,14	2,759	5 h.	0,009	0,020	5,0	0,017
	13. Nov. 1 Uhr v. / 4.35 v. / 9.10 v. / "	R 14,1	42,9 8 4 51.3	9 h. 40 21 h. 40 31 h 20	0,074 0,006 0,027	0,18	2,524	3 h. 35	0,012	0,030	4,9	0,034
4	Gewitter vom 25./26. Juni 1904. 25. Juni 4 Uhr n. / 26. Juni 4.45 v. / 4.15 n. / 27./28. VI. 12 Uhr mittern.	S 8,1	86,3	24 h. 40	0,060	0,29	3,606	12 h. 45	0,005	0,014	4,2	0,0065
		R 4,6	89,1	26 h.	0,057	0,17	5,117	12 h. 45	0,007	0,026	5,7	0,0095
	B. Nach Nässeperioden.											
5	Regenperiode vom 6.—12. Juli 1909, speziell 9. Juli. 2 Uhr v. / 12 Uhr mittags / 8.30 n. / 10. Juli 6.35 n.	S 86,9	48.2 6,9 55,1	22 h. "	0,0365 0,0052 0,0417	0,066	5,921	10 h.	0,0099	0,020	10,8	0.008
	1.30 v. / 12.25 n. / 9.15 n. / 10. Juli 6 Uhr n.	R 145,0	48,7 11,7 60,4	22 h. "	0,0320 0,0087 0,0407	0,081	12,811	10 h. 55	0,0195	0,042	21,4	0,012
6	Regenperiode vom 6.—12 Juli 1909, speziell 11./12. Juni. 11. Juli 3 Uhr n. / 12. Juli 1 Uhr v. / 7 Uhr v. / 13./14. VII. mittern.	S 143,4	34,1 12,4 46,5	24 h. "	0,0237 0,0086 0,0323	0,044	8,202	10 h.	0,0137	0,022	17,6	0,008
	11. Juli 3.30 n. / 12. Juli 12.45 v. / 12. Juli 6.15 v. / 13./14. VII. mittern.	R 133,4	29,9 10,7 40,6	22 h. 20 "	0,0223 0,0080 0,0303	0,060	6,761	8 h. 15	0,0137	0,034	16,7	0,015
	C. Nach Regenperiode eingetretene Trockenzeit.											
7	24./25. Juni bis 19./20. Aug. 1911.	S 33,7	14,1 38,2 52,3	zu Anfang unter 11 Mal								
		R 36,4	14,2 30,1 44.3	zu Anfang unter 12 Mal								
	D. Nach Nässeperiode, aber unvollständig, d. h. mit verschobener und schlecht entwickelter Hochflut.											
8	Landregen vom 14./15. Juni 1910. 14. Juni 10.50 v. / 15. Juni 4 Uhr v. / 5.40 v. / 17. Juni 12 Uhr mittern.	S 38,5	81,1 0,6 81,7	36 h. 40 12 h.	0,037 0,001 0,028	0,26	21,763	17 h. 10	0,021	0,049	26,6	0,0048
	14. Juni 10.50 v. / 15. Juni 3.40 v. / 4.20 v. / "	R 25,1	72,2 0,4 72,6	41 h. 14 h. 30 55 h. 30	0,029 0,001 0,022	0,23	16,583	16 h. 10	0,019	0,049	22,9	0,0075

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Hochflut: Gesamte Abflußmenge	Dauer	Durchschnittlich (per Minute)	Im Maximum (per Minute)	% des Niederschlags	Verlust per Minute	Tiefe der Schicht am Hauptgraben	Nachflut: Gesamte Abflußmenge	Dauer Erstes Stadium + Nachstadium	Durchschnitt per Minute	% des Niederschlags	Gesamtflut: Abflußmenge Total	in % des Niederschlags	Verlust in %	Bemerkungen
mm	Stdn.	z	mm		s=r—z	T. z	mm	Stunden	mm		mm			
0,666	15 M.	0,043	0,049	2,54	0,612	0,989	2,050 1,097 3,147	6 h. 05 12 h. 03 18 h. 08	0,002	11 2	4 266	16,3	83 7	
0,785	10 M.	0,078	0,081	2,90	0,414	1,950	6,121 7,661 13,782	6 h. 20 24 h. 18 30 h. 38	0,007	50,8	16,394	60,4	39,6	
5,228	6 h.	0,015	0,019	14,6	0,025	6,30	20,077 5,976 26,053	51 h. 45 79 h. 42 131 h. 27	0,003	52,0	33,312	93 0	7,0	Die Niederschläge vom 2.X. vor 12 Uhr zu Englers Angaben hinzugefügt.
8,320	6 h. 10	0,022	0,028	21,4	0,021	9,13	19,344 6,400 25,744	52 h. 55 76 h. 00 128 h. 55	0,003	66 0	38 591	99,2	0,8	In der Vorflut die Gesamtabflußmenge von vor 9 Uhr nachmittags (2. X.) abgezogen.
4,023	3 h. 30	0,019	0,025	7,4	0,056	16,80	16,479 3,608 20,087	38 h. 45 34 h. 21 73 h 06	0,004	36,6	26,869	49,1	50,9	
8,018	4 h. 35	0,029	0,045	15,6	0,045	9,67	24,631 5,573 30 204	38 h. 50 40 h. 27 79 h. 17	0,006	58 8	40 746	79 2	20 8	
10,588	11 h. 30	0,015	0,021	12,27	0,045	11,47	8,399 3,979 12 378	31 h. 45 33 h. 15 65 h. 00	0,003	14 3	26,572	30 8	69,2	
17,757	11 h. 25	0,026	0,034	19,93	0,031	19,89	13 862 3,149 17,011	31 h. 40 18 h. 25 50 h. 05	0,05	19,1	39,885	44,8	55,2	
13,423	8 h. 30	0,026	0,030	24,3	0,016	15,60	22 850 94 000 116,850	22 h. 05 300 h. 322 h. 05	—	64,9	136	247	—	
19,131	8 h. 50	0,036	0,042	31,7	0,005	23,58	23 022 35 000 58,022	20 h. 45 127 h. 147 h. 45	—	46,9	90	150	—	
7,899	6 h.	0,022	0,022	17,0	0,010	13,20	25 965 6 19 32,155	40 h. 45 47 h. 87 h. 45	—	65.4	48	103	—	Dauer des stärksten Regenfalles nur 15 Stdn.
7,084	5 h. 30	0,021	0,022	17,4	0,009	10,40	22 924 6 09 29 014	41 h 45 38 h. 79 h. 45	—	65,9	43	106	—	idem.
Keine, da Regendauer zu kurz											41,93	80 2	19,8	
Keine, da Regendauer zu kurz											31.60	71,3	28 7	
4,841	1 h. 40	0,048	0,049	5,93	—	—	50 500 2 526 53 026	66 h. 20 19 h 24 85 h. 44	0 010	64,9	79.63	97,4	2,6	Man beachte den um 15 % größern Niederschlag im Sperbelgraben.
2,525	0 h. 50	0.050	0,051	3,48	—	—	46 299 10.800 57 099	67 h. 30 100 h. 167 h. 30	0,006	75.6	74.05	102,0	2 0	

In diesem Beispiel wurde die Hochflut durch starke Verminderung der Regen-Intensität abnorm früh abgebrochen; die Kurve entbehrt also der Vollständigkeit.

P. S. In den Beispielen der Regenperioden 5 und 6 wurde die anfängliche, bedeutende sekundliche Abflußmenge, um sie einigermaßen in Rechnung zu stellen, mit der Regendauer multipliziert und diese Zahl als Zuschlag zum Niederschlag eingesetzt.

Regens und der Dauer der Vorflut bedingen aber oft eine etwas unsichere Bestimmung der Phasengrenzen.

4. Die Gesamtmenge der Hochflut drückt der Wald bedeutend herab und es bleiben auch die sekundlichen Abflußmengen hier um $^1/_3$ bis zur Hälfte derjenigen im schwach bewaldeten Terrain zurück. (S. Engler, S. 353). Die maximale Abflußmenge kann sogar bis zu 74 % unter derjenigen im Rappengraben zurückbleiben.

5. Auf die Dauer der Nachflut hat der Wald wenig Einfluß.

6. Die durch die Nachflut abgeführte, gesamte Wassermenge wird durch den Wald bei kurzen, intensiven Niederschlägen bedeutend vermindert, bei längeren wenig verändert, ebenso die Intensität des sekundlichen Abflusses.

7. Die Dauer des Gesamtabflusses wird durch den Wald wenig beeinflußt. Dagegen wird die gesamte, abgeführte Wassermenge bei kurzen Regengüssen sehr stark, bei längern Landregen doch fühlbar vermindert. Der größte Teil der verschwundenen Wassermenge versinkt offenbar endgültig in die Tiefe, wozu der Wald durch Verhinderung des oberflächlichen Abflusses mächtig beiträgt.

Es sind das, was die Dauer der einzelnen Stadien betrifft wohl für viele etwas unerwartete Ergebnisse, die noch durch weitere Untersuchungen kontrolliert werden sollten.

Als wichtigstes Resultat ist die durch Engler festgestellte Verminderung der sekundlichen Abflußmengen während der Hochflut und damit der eine bestimmte Stelle passierenden Kraft.

Es ist letztere im allgemeinen $= Q \frac{v^2}{2g}$ und also nach meiner Fundamentalformel $L = \frac{Q}{2g} \cdot \frac{k^2}{\sqrt{B}} \sqrt[3]{(Q\,l)^2} = \frac{k^2}{2g\sqrt{B}} \cdot \sqrt[3]{Q^5\,l^2}$, d. h. es ist L unter sonst gleichen Verhältnissen proportional der Größe $Q^{\frac{5}{3}}$.

Bei 30 % Schwächung des sekundlichen Quantums beträgt das veränderte $Q^{\frac{5}{3}}$: $(0{,}7\ Q)^{\frac{5}{3}} = 0{,}55\ Q^{\frac{5}{3}}$.

Bei 50 % Schwächung des sekundlichen Quantums beträgt das veränderte $Q^{\frac{5}{3}}$: $(0{,}5\ Q)^{\frac{5}{3}} = 0{,}31\ Q^{\frac{5}{3}}$.

Bei 70 % Schwächung des sekundlichen Quantums beträgt das veränderte $Q^{\frac{5}{3}}$: $(0{,}3\ Q)^{\frac{5}{3}} = 0{,}13\ Q^{\frac{5}{3}}$.

Die Verminderungen der lebendigen Kraft betragen somit 55, resp. 31, resp. 13 % des ungeschwächten Freiland-Gewässers.

B. Einfluß des Waldes nach längern Regenperioden.

Hierzu dient Beispiel Nr. 8, welches ein von den zitierten Beispielen 1—4 ganz verschiedenes Verhalten zeigte. Hier ist die Dauer der Vor- und Hochflut im Walde größer, deren Abflußmenge ebenfalls. Die Menge der Nachflut ist annähernd dieselbe, die Dauer im Freiland wesentlich

größer. Beispiel 5 kann hier nicht gut zum Vergleich herangezogen werden wegen der viel größern Anfangs-Abflußmenge des Rappengrabens und der großen Bedeutung, welche diese Anfangs-Mengen überhaupt bei diesem Beispiel haben. Beispiel 6 lehnt sich an 8 an, nur ist hier der Unterschied bei der Nachflut gering.

Die Erklärung für das verschiedene Verhalten der Gewässer nach Regenperioden hat Engler bereits gegeben auf S. 470 und 606—609, hauptsächlich mittelst der Verminderung des Retentionsvermögens des Waldbodens durch ausgefüllte Poren.

Ich glaube aber, daß vorstehende Darstellung der Hochflut-Phase auch zur Erklärung des dort erwähnten längere Zeit verweilenden Hochstandes der Abflußkurven vom 9., 10. und 12. Juli 1909 vollständig genüge.

Wenn ich nun an dem geschilderten Bild des Abfluß-Vorganges festhalten zu müssen glaube, so muß ich doch gestehen, daß durch dasselbe nicht alle Erscheinungen erklärt werden können. Eine einwandfreie Erklärung aller Sonderbarkeiten, welche die Tabelle aufweist, halte ich nur für möglich, wenn auch die Geschwindigkeiten des Wassers in den Gräben während der Hauptphasen des Abflusses ermittelt werden könnten. Es könnte m. E. unter jedem größern Seitengraben am Ufer ein schräger Pegel in die Böschung eingelassen werden, das neben einer Einteilung auch eine Reihe gegen den Regen geschützter Löcher erhalten würde, um die Maximalwasserstände an den betreffenden Profilen auch für die heftigsten Regengüsse, wo das Begehen des Gebietes zu ungemütlich würde, an den gefüllten Löchern nachträglich ablesen zu können. Die betreffenden Querprofile wären geometrisch aufzunehmen und von Zeit zu Zeit zu revidieren. Mittelst Schwimmern oder Pitot'schen Röhren könnten dann die Oberflächengeschwindigkeiten oder die mittleren Geschwindigkeiten an gewöhnlichen, stärkern Regentagen ermittelt und auch die Rauhigkeits-, resp. Geschwindigkeitskoeffizienten bestimmt werden. Daraus könnte dann, wenigstens bei kleinern Gewitterregen und Landregen die Wasserbewegung an den Hängen rechnerisch verfolgt und die Erklärung der Abflußkurven wesentlich gefördert werden. Auch könnte vielleicht durch Anbringen einer elektrischen Leitung ein geschützter Photographie-Apparat an geeigneter Stelle des Hanges aufgestellt werden, um mittelst elektrischer Fern-Auslösung des Verschlusses im Zeitpunkte des größten Abflusses oder kurz nachher Bilder desselben zu erhalten.

Es wäre auch von höchstem Interesse, wenn im eigentlichen Hochgebirge, besonders im Gebiete der glatten und steilen Heumähder, ähnliche, vergleichende Versuche mit sonst analog beschaffenen Einzugsgebieten ausgeführt werden könnten. Es wäre ja nicht einmal nötig, daß das bewaldete und das unbewaldete in unmittelbarer Nähe bei einander stünden. Im Laufe einer längern Zeit würde sich ja immer etwa eine

früher schon im andern Gebiet beobachtete gleiche Regenintensität einstellen. Im Hochgebirge wäre es auch eher möglich, einen wirklich ganz unbewaldeten Einzugstrichter zu finden. Ich bin überzeugt, daß unter diesen Verhältnissen der Unterschied des Abflusses im Walde und Freiland noch wesentlich größer wäre. Freilich müßten dann hier, wo wir es schon mehr mit titanischen Gewalten zu tun haben, etwas derbere Instrumente und andere Meßmethoden zur Anwendung gelangen. Hätte man erst einige allgemeine, sicher auch die allgemeine Potamologie (Gewässerkunde) höchst förderliche Gesetze gefunden, so wären daraus leicht Koeffizienten auszurechnen, die Vergleichungen zwischen Wald und Freiland gestatten würden, ohne auf das zufällige Zusammentreffen gleicher Niederschlagsmengen und gleicher Regendauer in beiden Gebieten angewiesen zu sein.

Sollte es mir gelungen sein, mit vorstehendem Exkurs einen Beitrag zur Erklärung der Abflußkurven geliefert zu haben, so würde es mich herzlich freuen. Engler hat mit seinen gediegenen, sorgfältigen und ausdauernden Versuchen und seinen klaren Darstellungen ein Werk geschaffen, das für die Aufforstungsfrage entscheidend ist, aber gleichzeitig eine Fülle von Anregungen und neuen Fragen in sich birgt, wie es jedem sich durchgerungenen fruchtbaren Gedanken beschieden ist. Wenn ich einige derselben ans Licht brachte, so wird mir der verehrte Herr Professor darob nicht gram sein.

Die Nachzucht des Vogelbeerbaumes und der Alpenerle.

Unter diesem Titel ließ Herr M. Decoppet, eidg. Oberforstinspektor, im letzten August sämtlichen Forstleuten der Gebirgsgegenden nachfolgendes Kreisschreiben zugehen. Nicht um diesem Zirkular noch ein Geleitwort der Zeitschriftredaktion mitzugeben, sondern zur Begründung, warum hier dieser Zweitdruck zugestanden wird und aus einer gewissen Freude heraus, die jeden erfüllen muß, der die Überzeugung hat, der Wahrheit näher gekommen zu sein, gestatte ich mir, die paar einleitenden Worte beizufügen. Die Überzeugung nämlich drängt sich auf, daß der behördliche Erlaß ein Markstein in unserer Aufforstungspraxis ist, der den Zeitpunkt festlegt, wo man sich entschlossen dem langsamern aber sicheren und namentlich naturgemäßeren Aufbau des Gebirgswaldes zuwendet. Er wird ein Weiser dafür sein, daß die bis anhin zu wenig beachteten, niedereren Glieder des Waldes, die Sträucher insgesamt, demselben wieder organisch richtig einzufügen seien, damit unsere Forstkulturtätigkeit keine sprunghafte bleibe. Red.