# Beitrag zur Theorie der Hochwasser

Autor(en): **Walser, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **46 (1954)**

Heft 12

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-921438

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Beitrag zur Theorie der Hochwasser

DK 551.48

Mitteilung des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft, von dipl. Ing. *E. Walser*, Sektionschef

*Anmerkung:* Das Manuskript trägt das Datum des 26. Mai 1953. Wegen Stoffandranges wurde die Veröffentlichung dieser Studie verzögert. Die Hochwasserereignisse vom Juni 1953 in der Zentral- und Nordostschweiz, vom Juli 1954 in Bayern und Österreich, sowie diejenigen vom August und September 1954, die besonders das Oberengadin und Bergell sowie das Vorderrheingebiet betroffen haben, zeigen aber, daß dieses Thema durch die seitherigen Ereignisse an Aktualität noch gewonnen hat. (Red.)

## 1. Vorbemerkungen

Zu den nachhaltigsten Eindrücken, welche die Gewässer auf die in ihrer Nähe lebenden Menschen ausüben, gehören die kurzfristigen, vorübergehenden Anschwellungen, die Hochwasser. Die Raschheit des Auftretens, die Masse und Gewalt des mit gesteigerter Geschwindigkeit fließenden Wassers, welches das Bett bis zu selten erreichter Höhe erfüllt und außerordentliche Beanspruchungen für Ufer, Schutzwerke, Brücken und Stauwehre mit sich bringt, die Geschiebeführung und die nach dem Durchgang des Hochwassers zu konstatierenden Sohlenänderungen, alle diese Erscheinungen vermochten seit jeher die Aufmerksamkeit und Besorgnis der Anwohner zu erwecken, nicht zu reden von katastrophalen Überschwemmungen und Flußbettverlegungen. Die Flußbauer haben sich mit den Hochwassern auseinanderzusetzen und für den Hydrographen stellen sie wichtige Studienobjekte dar.

So gibt es denn eine umfangreiche Literatur über Hochwasser, von welcher die Liste am Schluß dieses Aufsatzes einige Beispiele enthält. Die einschlägigen Arbeiten stellen entweder Beschreibungen der Ursachen, des Ablaufes und der Wirkungen einzelner, in bestimmten Gebieten aufgetretener Hochwasser dar [1 bis 8][1], oder sie suchen Gesetzmäßigkeiten zu beschreiben, die allen Hochwassern gemeinsam zugrunde liegen [7 bis 15]. Unter den zahlreichen Arbeiten sodann, die speziell die Technik der Erfassung und Bearbeitung der Hochwasser behandeln, sind in unserem Zusammenhang vor allem diejenigen über die Hochwasservorhersage interessant [16].

Was die theoretische Behandlung der Hochwasser schwierig gestaltet, ist außer dem kurzfristigen Auftreten die außerordentliche Vielfalt der die Ereignisse bedingenden Faktoren. Die letzteren sind nicht nur in großer Zahl wirksam; sie sind oft zeitlich und örtlich variabel und zum Teil gegenseitig voneinander abhängig. Manche der in Erscheinung tretenden Größen sind Gebietskonstanten, die angesichts der unregelmäßigen Gestaltung der Einzugsgebiete schwierig zu bestimmen sind und deren Einfluß am Gesamtbild des Hochwasserereignisses nur undeutlich sichtbar ist. Und doch sind die Hochwassererscheinungen als physikalische Vorgänge dem Prinzip von Ursache und Wirkung unterworfen; es sollte also möglich sein, die in ihnen wirkenden Gesetze zu erkennen.

Wollten wir diese Erkenntnisse einzig durch Interpretation von Beobachtungen suchen, so müßten wir in der Lage sein, an den Beobachtungsergebnissen die Wirkung sekundärer Faktoren zu eliminieren. Einem solchen Vorgehen sind, wie wir gesehen haben, ziemlich enge Schranken gesetzt. Wenden wir uns aber statt dessen der begrifflichen Seite der Erscheinungen zu, so sehen wir Entwicklungsmöglichkeiten. Begriffe wie zum Beispiel der mit «unit hydrograph» bezeichnete [7], oder Gedanken wie solche, die dem «Flutplanverfahren» zugrunde liegen [9 und 16], scheinen uns einen Weg zu weisen. Besonders anregend ist auch die Betrachtungsweise, die von Orhon [10] für eine einheitliche Ermittlung der Höchstabflußmengen angewendet wurde. Mit der vorliegenden Arbeit wird der Versuch unternommen, ein System von präzisen, differenzierten und in ihrem Aufbau klar durchschaubaren Begriffen aufzustellen, mit welchem, als Instrument, an die Behandlung der Einzelfälle heranzutreten wäre. Ob es gelingt, damit in der Erkenntnis der Hochwasservorgänge Fortschritte zu erzielen, hängt lediglich davon ab, daß unser Begriffsystem auch diejenigen Faktoren umfaßt, die für die Vorgänge wirklich maßgebend sind. Wir halten es deshalb für nötig, den Vorgang als Ganzes, mit allen seinen verschiedenen Ausprägungen, im Auge zu behalten und suchen es zunächst zu vermeiden, nur einzelne der in Erscheinung tretenden Größen zu betrachten. Die im Laufe der Arbeit fortschreitende Differenzierung der Begriffe soll uns erst zeigen, welche von ihnen sinnvoll miteinander in Beziehung gebracht werden können.

## 2. Ausgangsannahmen

Um von einem gut überblickbaren gedanklichen System ausgehen und um dieses ohne große Schwierigkeiten in mathematischen Formen ausdrücken zu können, müssen wir zunächst Annahmen treffen, die gegenüber den Vorgängen in der Natur sehr stark vereinfacht sind. Diese Arbeit wird zeigen, daß schon aus solchen Annahmen heraus nützliche Einsichten gewonnen werden können. Die Vorgänge, die sich in der Natur abspielen, sind wohl gegenüber unseren Annahmen modifiziert, kompliziert und oft von anderen Erscheinungen überlagert, aber sie enthalten doch immer einen Kern des Elementaren, das im Folgenden behandelt wird.

Stellen wir uns zunächst vor, daß von einem Zeitpunkt $t = 0$ an auf jedem Flächenelement eines Fluß-Einzugsgebietes stetig eine bestimmte Wassermenge pro Zeiteinheit frei wird. Die frei werdende Menge betrage s Volumeneinheiten pro Flächeneinheit des Einzugsgebietes und pro Zeiteinheit. Über die Herkunft dieses Wassers braucht keine Annahme getroffen zu werden; es kann von Niederschlägen oder von schmelzendem Schnee herrühren oder von Reserven, die während vorausgegangenen Niederschlägen angesammelt worden waren. Was hingegen für die vorliegende Arbeit angenommen wurde, ist, daß der Wert s für das ganze Einzugsgebiet gleich groß und zeitlich konstant sei. Wir wollen diesen Vorgang des Freiwerdens von Wasser auf der ganzen Fläche des Einzugsgebietes mit «Flächenabfluß» und den Wert s mit «Flächenabflußmenge» be-

[1] Die Nummern [...] entsprechen den Ordnungsnummern des Literaturverzeichnisses am Schluß des Aufsatzes.

zeichnen. Der Flächenabfluß dauere bis zum Zeitpunkt $t = t_s$ und höre dann unvermittelt auf.

Nehmen wir weiter an, das Einzugsgebiet werde von einem Flusse durchzogen, dessen Axe im Grundriß eine Gerade sei und in welchem das Wasser mit der nach Ort und Zeit stets gleich großen Geschwindigkeit $v_x$ fließe. Im Zeitpunkt $t = 0$ befinde sich kein Wasser im Flußbett.

Schließlich nehmen wir an, das Einzugsgebiet sei so gestaltet, daß das in den Flächenelementen frei werdende Wasser sich sofort in der Richtung senkrecht zum Flusse gegen diesen hin mit der gleichfalls nach Ort und Zeit konstanten Geschwindigkeit $v_y$ in Bewegung setze. Verfolgen wir das aus einem bestimmten Flächenelement stammende Wasser auf seinem Wege gegen den Fluß und bedienen wir uns dabei der Vorstellung eines «Wasserteppichs», der sich von beiden Seiten her mit der Geschwindigkeit $v_y$ gegen den Fluß zu schiebt, so sehen wir, wie ein Flächenelement dieses «Teppichs» einen stetig zunehmenden Gehalt an Wasser aufweist, weil es auf seinem Wege in jedem Zeitpunkt das auf dem gerade unter ihm befindlichen Flächenelement des Einzugsgebietes frei werdende Wasser, zu dem schon in ihm vorhandenen hinzu, aufnimmt.

Wir nehmen zunächst ein unbegrenztes Einzugsgebiet an. Ein Flächenelement des Wasserteppichs von der Größe der Flächeneinheit enthält im Zeitpunkt t, vor dem Zeitpunkt $t_s$ und bevor es den Fluß erreicht, eine Wassermenge gleich dem Produkt t mal s.

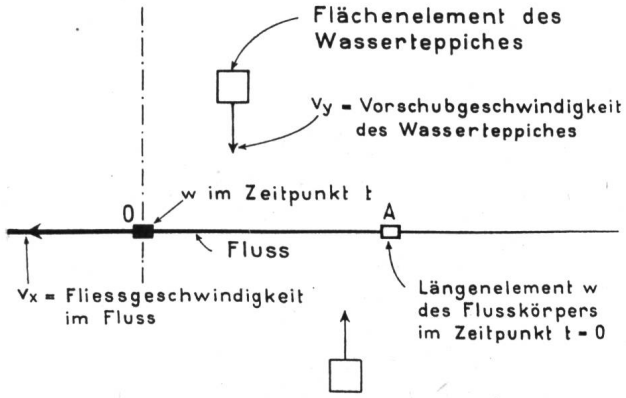



Abb. 1 Ausgangsannahmen

Mit dem Blick auf Abb. 1 können wir sagen: Ein Element w des im Flusse befindlichen Wasserkörpers, das eine Länge gleich der Längeneinheit aufweist, erhält im Zeitpunkt t (kleiner als $t_s$) einen Wasserzufluß pro Zeiteinheit von

$$z = 2 \cdot t \cdot s \cdot v_y$$

Im Zeitpunkt $t = 0$ befand sich dasselbe Längenelement bei A; sein Wasserinhalt und auch sein Zufluß waren gleich Null. In der Zeitspanne von t Zeiteinheiten nahm dieser Zufluß linear von Null bis zum Werte z zu. Der Wasserinhalt des Elementes w beträgt somit bei dessen Ankunft im Punkte O im Zeitpunkt t:

$$W = \frac{1}{2} \cdot z \cdot t = s \cdot v_y \cdot t^2$$

Da sich das Element w mit der Geschwindigkeit $v_x$ bewegt, gelangt pro Zeiteinheit folgende Wassermenge durch das Querprofil bei O:

$$Q = v_x \cdot W = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot t^2 \qquad (1)$$
$$(\text{gilt für } t < t_s)$$

Gleichung 1 ergibt die Abflußmenge in Funktion der Zeit an irgend einem Punkt des Flusses bei unbegrenztem Einzugsgebiet, wenn t vom Beginn des Flächenabflusses an gemessen wird und kleiner ist als $t_s$.

Um zu einer entsprechenden Gleichung für die Zeit nach dem Aufhören des Flächenabflusses zu gelangen, stellen wir uns zunächst vor, der Flächenabfluß s wirke über den Zeitpunkt $t_s$ hinaus unbegrenzt weiter und sei vom Zeitpunkt $t_s$ an überlagert von einem zweiten Flächenabfluß, dessen Größe gleich (– s) sei. Dies kommt einem Aufhören des Flächenabflusses s im Zeitpunkt $t_s$ gleich.

Für $t > t_s$ wird dann:

$$Q = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot t^2 - s \cdot v_x \cdot v_y \, (t - t_s)^2 \text{ oder}$$
$$Q = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot (2t_s \cdot t - t_s^2) \qquad (2)$$

Für $t = t_s$ wird sowohl nach Gleichung 1 wie nach Gleichung 2:

$$Q = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot t_s^2 \text{ und}$$
$$\frac{dQ}{d_t} = 2 \cdot s \cdot v_x \cdot v_y \cdot t_s$$

d. h. die für die Zeit des Flächenabflusses geltende Parabel geht im Zeitpunkt $t_s$ in ihre Tangente über, wie auch aus Abb. 2 ersichtlich ist.

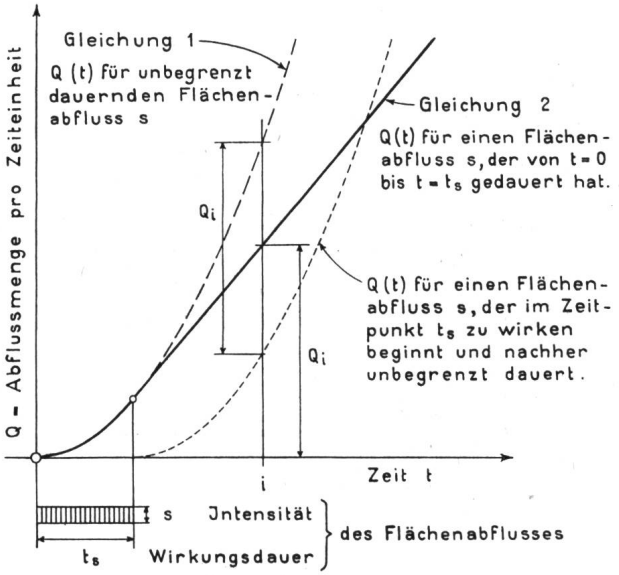



Abb. 2 Abflußmengen in Funktion der Zeit für unbegrenztes Einzugsgebiet

Abb. 2 zeigt zudem den Gedankengang für die Bestimmung der Abflußmengen aus zeitlich begrenztem Flächenabfluß, den wir im Folgenden allgemein anwenden werden: Wir denken uns die Kurve für zeitlich unbegrenzten Flächenabfluß aufgetragen und dazu diejenige für den gedachten, im Zeitpunkt $t_s$ beginnenden Flächenabfluß (– s); die letztere wird indessen auch im positiven Bereich aufgetragen und ist der ersteren gleich, nur ist sie gegenüber derselben um die Distanz $t_s$ verschoben. Die Ordinatendifferenzen zwischen den beiden Kurven stellen die Q-Werte aus dem auf die Zeit von 0 bis $t_s$ begrenzten Flächenabfluß dar.

## 3. Die Abflußmenge in Funktion der Zeit für begrenzte Einzugsgebiete

In dieser Arbeit beschränken wir uns auf geradlinige Flüsse und Einzugsgebiete, die in bezug auf dieselben symmetrisch sind.

*a) Einzugsgebiet durch zwei Strahlen seitlich begrenzt*

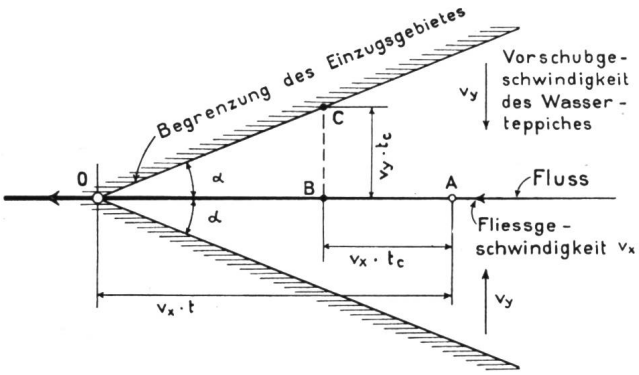



Abb. 3 Einzugsgebiet durch zwei Strahlen seitlich begrenzt

Wir suchen die Gleichung für die Abflußmenge in O und nehmen an, das im Zeitpunkt t bei O eintreffende Längenelement des Flußwasserkörpers, das wir von jetzt an kurz «Flußelement» nennen, habe im Zeitpunkt $t = 0$ vom Punkte A aus seinen Weg gegen O angetreten. Verfolgen wir es hierbei, so können wir zwei voneinander verschiedene Perioden unterscheiden. In der ersten nimmt der Zufluß in der Weise, wie wir es beim Herleiten der Gleichung 1 beschrieben haben, zu; d. h. die Begrenzung des Einzugsgebietes tritt noch nicht in Erscheinung. Dies dauert bis zum Zeitpunkt $t_c$, in welchem unser Flußelement gerade dasjenige Flächenelement des Wasserteppichs aufnimmt, das im Zeitpunkt $t = 0$ vom Rande des Einzugsgebietes ausgegangen war; dies sei der Fall, wenn das Flußelement in B ist. Vom Zeitpunkt $t_c$ bis zur Ankunft in O im Zeitpunkt t nimmt der Zufluß vom Wert, den er im Punkt B hatte, linear auf Null ab.

Aus dem Dreieck OBC der Abb. 3 folgt:

$$\frac{v_y \cdot t_c}{v_x \cdot t - v_x\, t_c} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$t_c = \frac{v_x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{v_y + v_x \cdot \operatorname{tg} \alpha} \cdot t = a \cdot t \qquad (3)$$

Der Ausdruck, den wir in Gleichung 3 mit a bezeichnet haben, enthält die Fließgeschwindigkeiten quer zum Fluß und längs demselben, sowie den Winkel $\alpha$, der die Begrenzung des Gebietes charakterisiert; er ist also eine Gebietskonstante. Der Wert a liegt immer zwischen Null und Eins. Der Wasserinhalt unseres Flußelementes beträgt bei der Ankunft in O:

$$W = s \cdot v_y \cdot a^2 \cdot t^2 + s \cdot v_y \cdot a \cdot t\,(t - at),$$

woraus folgt

$$Q = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot a \cdot t^2 \quad (\text{für } t < t_s) \qquad (4)$$

Für $t > t_s$ erhalten wir analog dem früher ausgeführten:

$$Q = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot a \cdot t^2 - s \cdot v_x \cdot v_y \cdot a \cdot (t - t_s)^2$$

$$Q = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot a \cdot (2t_s \cdot t - t_s^2) \qquad (5)$$

*b) Einzugsgebiet dreieckförmig begrenzt*

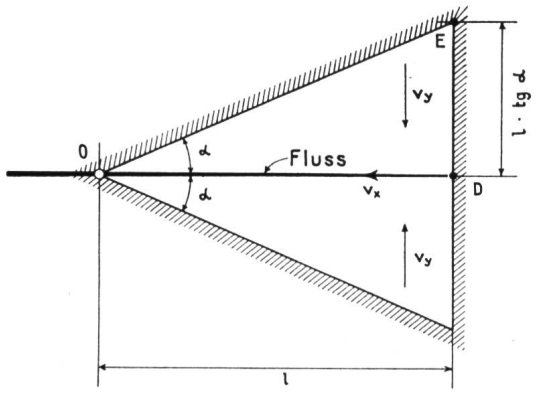



Abb. 4 Dreieckförmiges Einzugsgebiet

Die Abflußmenge wächst bei O anfänglich nach Gleichung 4 an; dies dauert bis zum Zeitpunkt, in welchem dasjenige Flußelement in O eintrifft, das im Zeitpunkt 0 vom Punkt D ausgegangen war; wir bezeichnen diesen Zeitpunkt mit $t_l$; es ist

$$t_l \cdot v_x = l \qquad (6)$$

$t_l$ ist eine Gebietskonstante.

Ein Flußelement, das im Zeitpunkt t in O eintrifft, wobei nun t größer ist als $t_l$, ist im Zeitpunkt t minus $t_l$ von D weggegangen. Es hatte bei seinem Weggang in D bereits einen Zufluß

$$z = 2 \cdot s \cdot v_y \cdot (t - t_l),$$

welcher mit zunehmender Entfernung des Flußelementes von D linear zunimmt bis zum Zeitpunkt $t_c$. Es gilt wieder Gleichung 3; nach dem Zeitpunkt $t_c$ nimmt der Zufluß zu unserem Flußelement linear ab und ist bei der Ankunft in O gleich Null. Es ist:

$$Q = v_x \cdot \left\{ \tfrac{1}{2} \cdot [2\, s \cdot v_y \cdot (t - t_l) + 2 \cdot s \cdot v_y \cdot a \cdot t] \cdot [a \cdot t - t + t_l] + s \cdot v_y \cdot a \cdot t \cdot (t - at) \right\}$$

woraus

$$Q = s \cdot a \cdot v_x \cdot v_y \cdot t^2 - s \cdot v_x \cdot v_y \cdot (t - t_l)^2 \qquad (7)$$

Man kann auch sagen: Die Abflußmenge in O nach dem Zeitpunkt $t_l$ ist gleich der Abflußmenge für das durch zwei Strahlen nur seitlich begrenzte Einzugsgebiet (Abschnitt 3, a), vermindert um die Abflußmenge bei unbegrenztem Einzugsgebiet und Beginn des Flächenabflusses im Zeitpunkt $t_l$.

Je mehr Zeit fortschreitet, um so größer wird der Zufluß im Punkte D der dort abgehenden Flußelemente sein. Wenn aber das Flächenelement des Wasserteppichs in D eintrifft, das zur Zeit Null von der Ecke E ausgegangen war, hört diese Zunahme auf; von diesem Zeitpunkt an bleibt der Zufluß in D und auf dem ganzen Wege des Flußelementes konstant.

In O ist somit vom Zeitpunkt

$$t_l + \frac{l \cdot \operatorname{tg} \alpha}{v_y} = t_l + t_d \qquad (8)$$

an die Abflußmenge konstant.

$$Q = s \cdot l^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \qquad (9)$$

Wir haben bis jetzt vorausgesetzt, daß der Flächenabfluß mindestens so lang dauere, daß sich der der Glei-

Alle Sorten

# LICHTPAUS-
und
# PAUSPAPIERE

**ED. AERNI-LEUCH, BERN**

Fabrik technischer Papiere

---

# CATERPILLAR

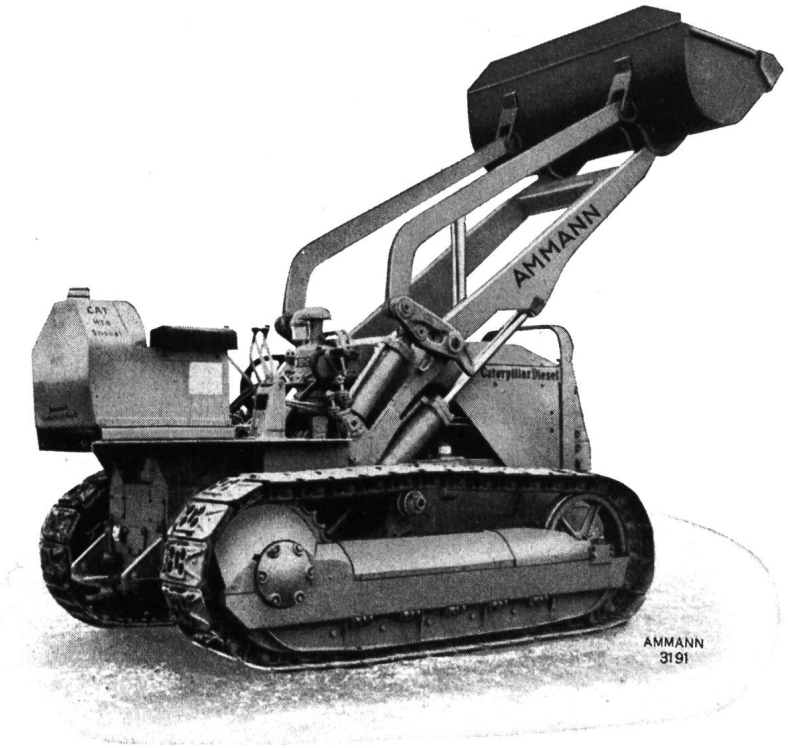
**Schutzmarke**

**TRAXCAVATOR,** die robuste, vollhydraulische Front-Ladeschaufel mit Dieselmotor

| | | |
|---|---|---|
| **Typ HT4:** | **Motorleistung** | **55 PS** |
| | **Kübelinhalt** | **0,95 m³** |
| **Nr. 6** | **Motorleistung** | **80 PS** |
| | **Kübelinhalt** | **1,5 m³** |

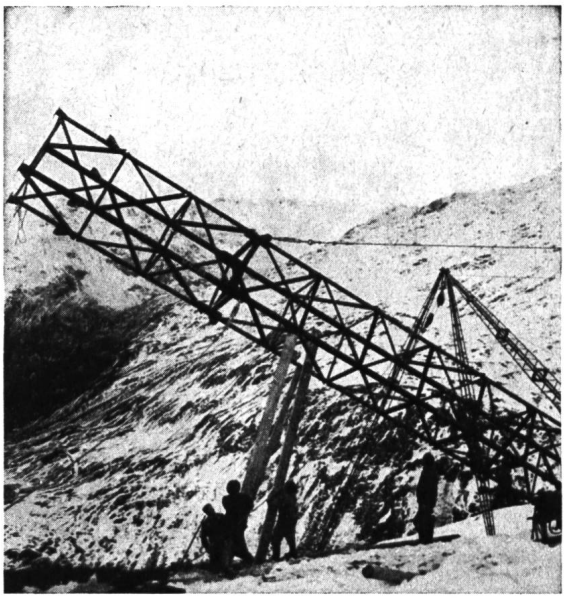
Beide Größen sofort ab Lager lieferbar

**Alleinvertretung für die Schweiz, Reparaturwerkstätten-Ersatzteillager!**




# ULRICH AMMANN

**Baumaschinen** **Tel. (063) 2 35 55** **Langenthal**



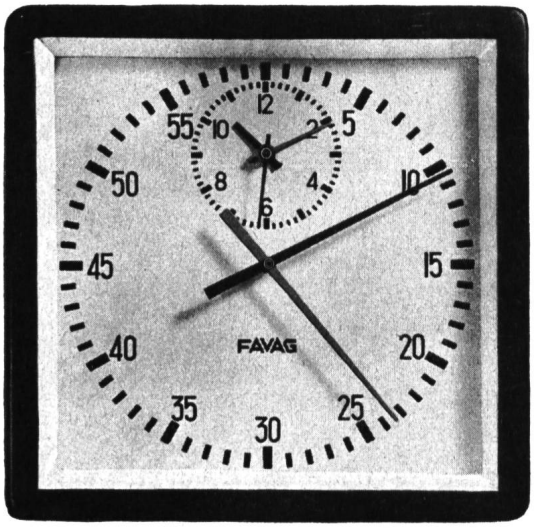
**Eisenkonstruktionen und Blecharbeiten aller Art, Brücken, Masten, Dachkonstruktionen, Eisen-Fenster usw.**

# PAUL WEBER, EISENBAU

**Seewen-Schwyz**

Telefon (043) 3 10 70

# FREQUENZ-KONTROLLE

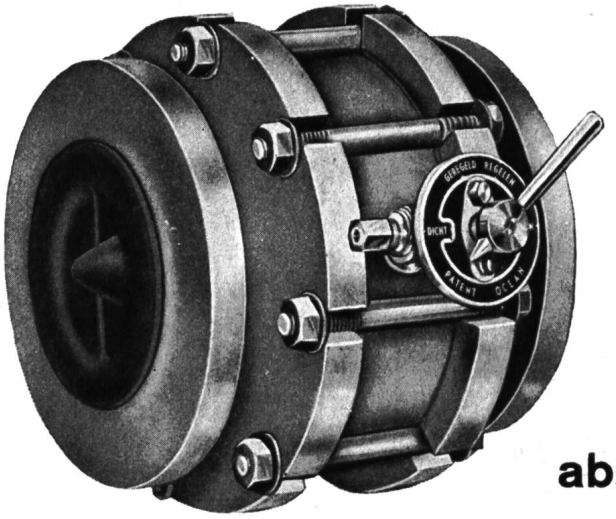



Elektrische Uhrenanlagen zur Steuerung von Frequenz-Kontrollinstrumenten sowie sämtlicher Registrierapparate

**FAVAG**

Fabrik elektrischer Apparate AG.

NEUCHATEL



# OCEAN VENTILE

## absolut dicht und schlagfrei!

**«AERCO»**

Fernsteuer-Ventil

für neutrale, chemische, reine oder verunreinigte Flüssigkeiten, Gase, körnige Medien, langsam und schnell schließend, Zwischenstellungen möglich. Für örtliche und Fernbedienung.

**«VAKUUM-STOP»**

Einfache, automatische Sicherung gegen unerwünschtes Vakuum und Trockenlaufen von Druckerhöhungs-, Feuerlösch-, Sprinkler-, Entwässerungs- und hintereinander geschalteten Pumpen.

**«SILENT»**

Rückschließ-Automat

schließt schnell, geräuschlos, schlagfrei und absolut dicht, auch bei verunreinigten Durchflußmedien. Jede Einbaulage möglich, normale Baulänge.

Wir stehen gerne mit technischen Angaben und Kostenvoranschlägen zu Ihrer Verfügung!

Generalvertretung für die Schweiz: **KABEL LASSO AG, BASEL** St. Alban-Rheinweg 104, Telephon 22 49 64

**Wir sind auch Generalvertreter der bekannten HERION-Elektroventile!**

chung 9 zugrunde liegende Zustand ausbilden könne. Ist $t_s$ aber kleiner als die Summe von $t_l$ und $t_d$, so ist dies nicht der Fall und es ergibt sich unter Anwendung des im Abschnitt 2 Ausgeführten das in Abb. 5 dargestellte Bild.

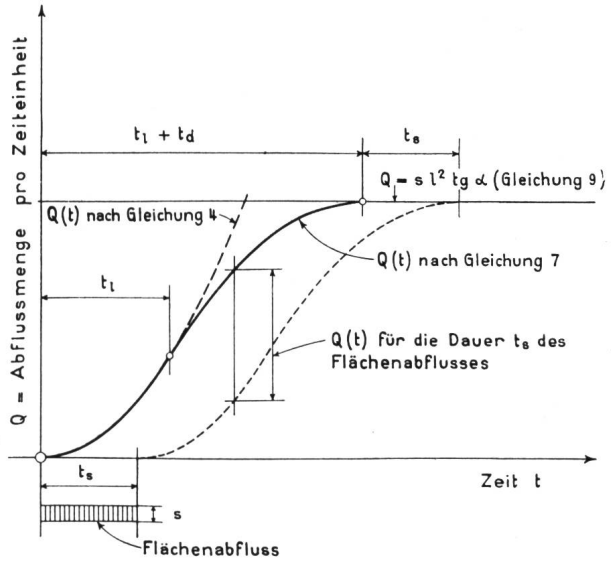



Abb. 5 Abflußmengen in Funktion der Zeit im dreieckigen Einzugsgebiet nach Abb. 4

Im mittleren Teil, wo beide Kurven einander die konkave Seite zukehren, tritt ein Maximum der Abflußmenge auf. In diesem Teile gilt:

$$Q = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot \left\{ a \cdot t^2 - (t - t_l)^2 - a\,(t - t_s)^2 \right\}$$

Indem wir den Differentialquotienten nach t gleich Null setzen, erhalten wir den Zeitpunkt $t_m$, in welchem das Maximum auftritt, und den letzteren Wert selber:

$$t_m = t_l + a \cdot t_s$$

$$Q_{max} = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot a \cdot [2t_l \cdot t_s - t_s^2 \cdot (1 - a)] \qquad (10)$$

*c) Einzugsgebiet parallel zum Fluß begrenzt*

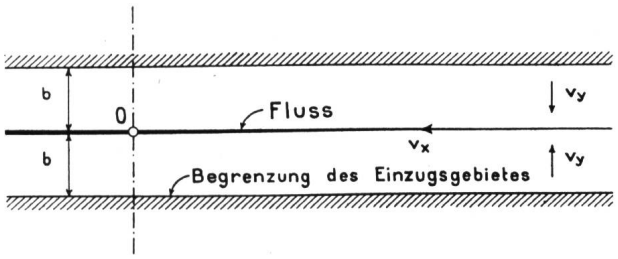



Abb. 6 Einzugsgebiet parallel zum Fluß begrenzt

Den folgenden Gleichungen liegen Überlegungen analog den bisher angestellten zugrunde. Wir ersparen uns nun deshalb die ausführliche Darlegung der Gedankengänge und geben nur noch die Hauptresultate wieder:

$$t_b = \frac{b}{v_y} \qquad (11)$$

Für $t < t_b$ gilt Gleichung 1. Für $t > t_b$ gilt:

$$Q = 2 \cdot s \cdot v_x \cdot b \cdot t - s \cdot \frac{v_x}{v_y} \cdot b^2 \qquad (12)$$

Wenn wir in Gleichung 2 den Ausdruck $t_s$ durch $t_b$ ersetzen, dann erhalten wir obige Gleichung 12, was auf einen Dualismus der beiden Fälle hindeutet.

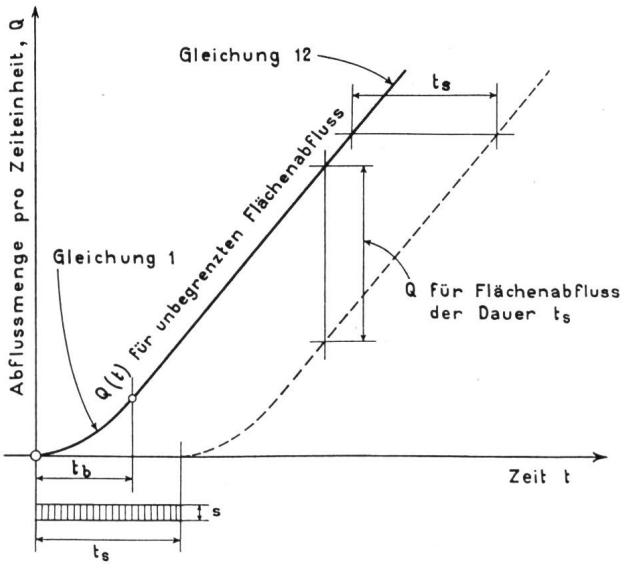



Abb. 7 Abflußmengen in Funktion der Zeit für Einzugsgebiete nach Abb. 6

Wenn die Dauer des Flächenabflusses $t_s$ Zeiteinheiten beträgt, so ist gemäß Abb. 7 nach dem Zeitpunkt $t_s$ plus $t_b$ Q konstant, nämlich

$$Q = 2 \cdot s \cdot v_x \cdot b \cdot t_s \qquad (13)$$

*d) Einzugsgebiet rechteckig*

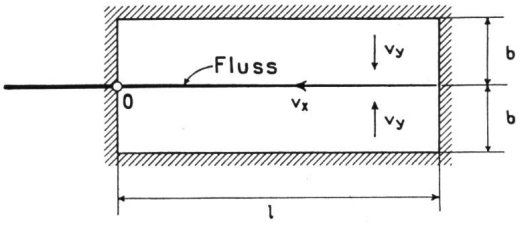



Abb. 8 Rechteckiges Einzugsgebiet

Es sind zwei Fälle zu unterscheiden: Entweder ist $t_b$ kleiner als $t_l$, Fall 1, oder es ist $t_b$ größer als $t_l$, Fall 2.

*Fall 1:* Für t von O bis $t_b$ gilt Gleichung 1. Für t von $t_b$ bis $t_l$ gilt Gleichung 12. Für t von $t_l$ bis $t_b$ plus $t_l$ gilt Gleichung 14:

$$Q = s \cdot v_x \cdot v_y \cdot \left\{ 2 \cdot t \cdot [t_l + t_b] - t^2 - t_b^2 - t_l^2 \right\} \qquad (14)$$

Für t größer als $t_b$ plus t, ist Q konstant:

$$Q = 2 \cdot s \cdot l \cdot b \qquad (15)$$

Der Zustand, welcher durch Gleichung 15 dargestellt ist, kann sich nur ausbilden, wenn $t_s$ größer ist als $t_b$ plus $t_l$. Zwei gegenteilige Fälle sind in Fig. 9 dargestellt.

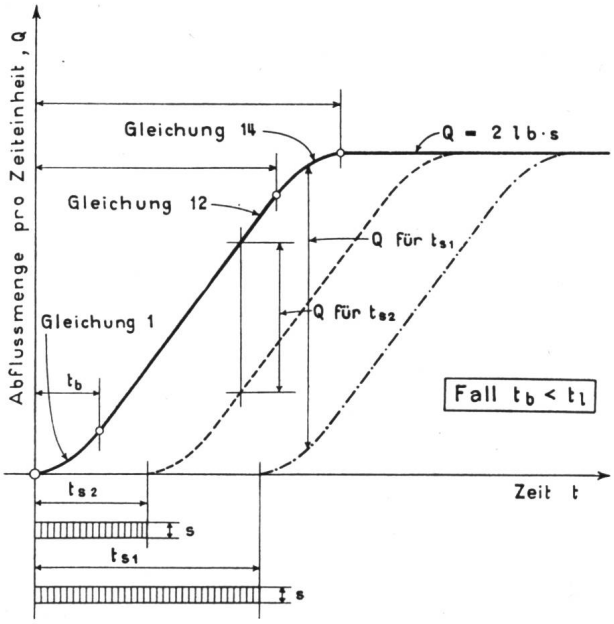



Abb. 9 Abflußmengen in Funktion der Zeit im rechteckigen Einzugsgebiet

In einem derselben ist $t_s$ kleiner als $t_l$ plus $t_b$, aber größer als $t_l$ minus $t_b$. Es gibt hier, ähnlich dem in Abb. 5 behandelten Fall, eine Zone, in welcher die zwei Kurven, deren in Richtung der Ordinaten gemessener Abstand das Maß für die Abflußmenge in O ist, sich gegenseitig die konkave Seite zukehren, so daß ein Maximalwert von Q auftritt, sagen wir im Zeitpunkt $t_m$.

$$t_m = \frac{1}{2}(t_l + t_b + t_s)$$

$$Q_{max} = \frac{1}{2} \cdot s \cdot v_x \cdot v_y \cdot \left\{2t_s \cdot (t_l + t_b) - t_s^2 - (t_l - t_b)^2\right\} \quad (16)$$

Der zweite in Abb. 9 dargestellte Fall gilt, wenn $t_s$ plus $t_b$ kleiner ist als $t_l$. Dann tritt die größte Abflußmenge nicht momentan, sondern während der Zeit von $t_s$ plus $t_b$ bis $t_l$ konstant auf und beträgt

$$Q_{max} = 2 \cdot s \cdot v_x \cdot b \cdot t_s \quad (17)$$

*Fall 2:* Wenn $t_b$ größer ist als $t_l$, erhalten wir Gleichungen von gleichem Aufbau und Geltungsbereich wie im Falle 1, nur sind überall die Ausdrücke $t_l$ und $t_b$ miteinander zu vertauschen, desgleichen die Ausdrücke l und b, sowie $v_x$ und $v_y$.

*e) Beispiele*

Zur weiteren Erhellung der Verhältnisse sind in Abb. 10 die bisher aufgestellten Formeln auf vier verschieden geformte, aber untereinander flächengleiche Einzugsgebiete angewendet worden. Gemäß allen bisher abgeleiteten Gleichungen ist die Abflußmenge immer proportional der Flächenabflußmenge s; wir haben deshalb in den Diagrammen die Abflußmengen für 1000 l/sec km² Flächenabfluß dargestellt. Für alle vier Beispiele wurden gleiche Fließgeschwindigkeiten angenommen. *Die Diagramme zeigen, wie neben der Dauer des Flächenabflusses auch die Grundrißform des Gebietes einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß sowohl auf die Raschheit des Auftretens als auch auf die Größe der Maximalabflußmengen ausübt.*

*Wenn also für die Praxis Formeln aufgestellt werden, die erlauben sollen, aus Gegebenheiten des Einzugsgebietes die zu erwartenden Höchstabflußmengen zu berechnen, so müssen dieselben auch einen Koeffizienten enthalten, der die Form des Gebietes, bzw. die Fließdauer quer und längs, ausdrückt. Sonst fehlt ihnen etwas Wesentliches.*

Wir haben darauf verzichtet, auch die absteigenden Äste der Diagramme zu zeichnen. Wir haben ja unvermitteltes Aufhören des Flächenabflusses vorausgesetzt, während in Wirklichkeit der Flächenabfluß stets mehr oder weniger allmählich aufhören wird.

Für die Form des absteigenden Astes ist dies von ausschlaggebender Bedeutung. Um sprechende Darstellungen dieser Diagrammteile geben zu können, müßten wir vorerst die Untersuchung auf zeitlich variablen Flächenabfluß ausdehnen, was den Rahmen dieses Aufsatzes übersteigen würde.

Auch die Größe der Maximalabflußmengen ist noch beeinflußt von der Art, wie der Flächenabfluß aufhört. Für diesen Fall ist der Einfluß aber von untergeordneter Bedeutung. Was wir unseren Diagrammen als Grundsätzliches entnehmen können, gilt trotzdem.

## 4. Die Maximalabflußmengen in Funktion der Dauer des Flächenabflusses Spezifische Abflußmengen

Je nach der Dauer, mit welcher der Flächenabfluß auftritt, bilden sich, wie Abb. 10 zeigt, verschiedene Ganglinien der Abflußmengen aus. Die Ganglinien lassen sich gruppenweise zusammenfassen, wobei als maßgebendes Charakteristikum die Dauer der sie verursachenden Flächenabflüsse auftritt, und zwar im Verhältnis zu bestimmten charakteristischen Fließzeiten im Einzugsgebiet.

Die Fließzeit eines an irgend einem Punkt des Einzugsgebietes frei werdenden Wasserteilchens bis zum Punkt O hängt von der Lage dieses Punktes ab. Es gibt in jedem Einzugsgebiet Punkte, für welche die Fließzeit einen Wert aufweist, der von keinem anderen Punkte desselben Einzugsgebietes übertroffen wird. Diese Maximalfließzeit spielt für die Form der Abflußmengenlinie eine wesentliche Rolle. Dauert der Flächenabfluß länger als die Maximalfließzeit, so bildet sich ein Dauerzustand aus, indem nach Ablauf der Maximalfließzeit gleich viel Wasser das Einzugsgebiet verläßt, wie in ihm in jedem Moment frei wird. Die Abflußmenge beim Austritt des Flusses aus dem Einzugsgebiet ist dann gleich dem Produkt aus Fläche und Flächenabflußmenge. Dauert der Flächenabfluß weniger lang als die Maximalabflußmenge, so wird dieser Zustand nicht erreicht; die auftretenden Maximalabflußmengen sind dann bei gleichem s kleiner als im vorerwähnten Fall. Beim dreieckigen Einzugsgebiet sind alsdann die Maximalabflußmengen immer Momentanwerte; bei rechteckigen nur, solange die Dauer des Flächenabflusses nicht kleiner ist als die Differenz zwischen der größten Fließzeit längs des Flusses und derjenigen quer dazu. Die Abflußmengenlinien für rechteckiges Einzugsgebiet infolge von Flächenabflüssen noch kürzerer Dauer weisen als Höchstwert wieder ein horizontales Teilstück auf.

Da die Maximalabflußmengen von besonderem Interesse sind, stellen wir im Folgenden die dieselben betreffenden Formeln übersichtlich zusammen, und zwar wird für jeden Fall die Formel für die spezifischen Abflußmengen q angegeben. Die spezifische Abflußmenge q ist ein Wert, der, im Gegensatz zur Abflußmenge Q und dem Flächenabfluß s, in der Natur nicht auftritt; sie ist eine Rechnungsgröße, die für bequemen

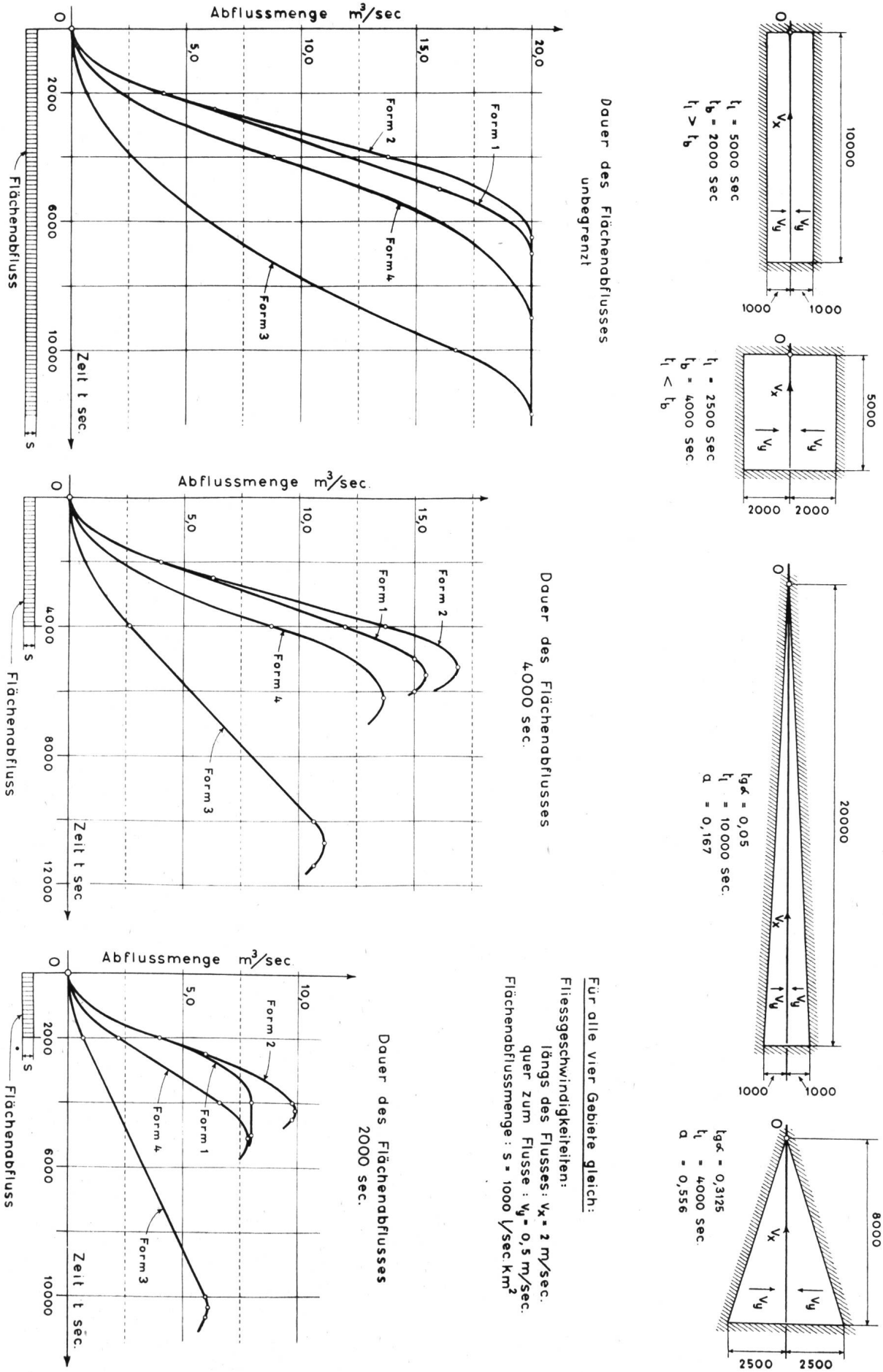



Abb. 10 Abflußmengen in Funktion der Zeit in verschieden geformten, flächengleichen Einzugsgebieten

Vergleich von Abflußmengen aus verschieden großen Einzugsgebieten rechnerisch mittels Division der Abflußmenge Q durch die Fläche des Einzugsgebietes gebildet wird.

*Dreieckiges Einzugsgebiet:*

a) $t_s < t_l + t_d$: Gleichung 10
Maximum im Zeitpunkt $t_m = t_l + a \cdot t_s$:

$$q_{max} = s \left[ \frac{2t_s}{t_l + t_d} - \frac{t_s^2}{(t_l + t_d)^2} \right] \tag{18}$$

b) $t_s > t_l + t_d$: Gleichung 9
$q_{max} = s$

*Rechteckiges Einzugsgebiet:*

c) $t_s < (t_l - t_b)$ bzw. $t_s < (t_b - t_l)$
$q_{max}$ tritt vom Zeitpunkt $t_s + t_b$ (bzw. $t_s + t_l$) bis zum Zeitpunkt $t_l$ (bzw. $t_b$) auf und ist nach Gleichung 17:

$$q_{max} = s \cdot \frac{t_s}{t_l}, \text{ wenn } t_b < t_l \text{ und} \tag{19}$$

$$q_{max} = s \cdot \frac{t_s}{t_b}, \text{ wenn } t_b > t_l \tag{19a}$$

d) $(t_l - t_b)$ bzw. $(t_b - t_l) < t_s < (t_l + t_b)$
$q_{max}$ tritt im Zeitpunkt $t_m = \frac{1}{2}(t_l + t_b + t_s)$ auf und beträgt nach Gleichung 16:

$$q_{max} = \frac{s}{4t_l t_b} \cdot \left\{ 2t_s (t_l + t_b) - t_s^2 - (t_l - t_b)^2 \right\} \tag{20}$$

e) $t_s > (t_l + t_b)$
$q_{max} = s$

In den Abb. 11 und 12 ist die Beziehung zwischen der spezifischen Maximalabflußmenge für eine Flächenabflußmenge gleich der Einheit einerseits und der Dauer des Flächenabflusses anderseits dargestellt.

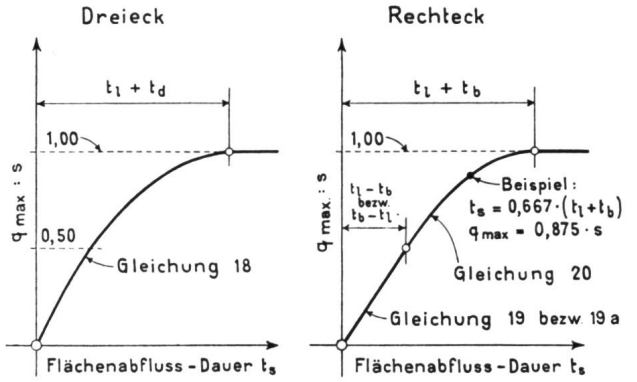



Abb. 11 und 12: Spezifische Maximalabflußmenge in Funktion der Dauer des Flächenabflusses, Intensität des letzteren gleich der Einheit

Den Diagrammen der Abb. 11 und 12 kann entnommen werden, welche Maximalwerte die Ganglinien der spezifischen Abflußmengen, verursacht durch einen Flächenabfluß von der Intensität 1 und einer bestimmten Dauer $t_s$, erreichen. So wird z. B. in einem rechteckigen Einzugsgebiet, für welches $t_l + t_b = 3$ Stunden und $t_l - t_b = 1$ Std. beträgt, bei einem Flächenabfluß von 2 Stunden $q_{max} = 0{,}875 \cdot s$.

## 5. Gegenseitige Begrenzung von Dauer und Intensität des Flächenabflusses, Auswirkung auf die Maximalabflußmengen

Unsere bisherigen Annahmen sahen keine Einschränkung der Werte s und, außer den Geltungsbereichen der verschiedenen Gleichungen, $t_s$ vor. In Wirklichkeit können nicht gleichzeitig beliebig große Werte s und $t_s$ auftreten. Es kann beobachtet werden, daß bestimmte, große Regenmengen nicht während beliebig langer Dauer auftreten und daß umgekehrt bei Regen einer bestimmten langen Dauer eine korrespondierende Grenz-Intensität nicht überschritten wird. Würde man in einem Koordinatensystem Dauer–Intensität die beobachteten Regenfälle als Punkte eintragen, so würden diese Punkte sich auf eine Fläche beschränken, die einerseits durch die Koordinatenaxen und anderseits durch eine sich an diese anschmiegende hyperbelartige Kurve begrenzt ist [9, Seite 271]. Ähnliches müssen wir auch für die Flächenabflüsse voraussetzen. Die größtmöglichen, aus Flächenabflüssen einer bestimmten Dauer oder Intensität entstehenden Abflußmengen werden alsdann in denjenigen Fällen auftreten, für welche die entsprechenden Punkte auf der Grenz-Hyperbel liegen. Für die letzteren setzen wir:

$$t_s \cdot s^p = S \tag{21}$$

Wenn wir nun in den im Abschnitt 4 zusammengestellten Gleichungen einen der Werte $t_s$ und s nach Gleichung 21 substituieren, dann erhalten wir Gleichungen der größtmöglichen spezifischen Abflußmengen in Funktion des nicht substituierten Wertes s oder $t_s$. Wir wollen den Wert $t_s$ substituieren und erhalten:

*Dreieckiges Einzugsgebiet:*

a) $t_s < t_l + t_d$, d. h. $s > \left[\frac{S}{t_l + t_d}\right]^{\frac{1}{p}}$:

$$q_{max} = \frac{2}{t_l + t_d} \cdot \frac{S}{s^{p-1}} - \frac{1}{(t_l + t_d)^2} \cdot \frac{S^2}{s^{2p-1}} \tag{22}$$

b) $t_s > t_l + t_d$, d. h. $s < \left[\frac{S}{t_l + t_d}\right]^{\frac{1}{p}}$:
$q_{max} = s$

*Rechteckiges Einzugsgebiet:*

c) wenn $t_l > t_b$: $t_s < (t_l - t_b)$, d. h. $s > \left[\frac{S}{t_l - t_b}\right]^{\frac{1}{p}}$:

$$q_{max} = \frac{S}{t_l \cdot s^{p-1}} \tag{23}$$

wenn $t_b > t_l$: $t_s < (t_b - t_l)$, d. h. $s > \left[\frac{S}{t_b - t_l}\right]^{\frac{1}{p}}$:

$$q_{max} = \frac{S}{t_b \cdot s^{p-1}} \tag{23a}$$

d) $(t_l - t_b)$ bzw. $(t_b - t_l) < t_s < t_l + t_b$,

d. h. $\left(\frac{S}{t_l - t_b}\right)^{\frac{1}{p}}$ bzw. $\left(\frac{S}{t_b - t_l}\right)^{\frac{1}{p}} > s > \left[\frac{S}{t_l + t_b}\right]^{\frac{1}{p}}$:

$$q_{max} = \frac{t_l + t_b}{2\, t_l t_b} \cdot \frac{S}{s^{p-1}} - \frac{S^2}{s^{2p-1}} - \frac{(t_l - t_b)^2}{4\, t_l t_b} \cdot s \tag{24}$$

e) $t_s > t_l + t_b$, d. h. $s < \left[\frac{S}{t_l + t_b}\right]^{\frac{1}{p}}$
$q_{max} = s$

Ein *Zahlenbeispiel* wird uns helfen, die Verhältnisse klarer zu erkennen. Schaffernak gibt in seiner «Hydrographie» [9], Seite 271, Abb. 288, eine Kurve entsprechend unserer Gleichung 21. Sie wurde von Haeuser auf Grund von Beobachtungen in Bayern aufgestellt und gibt die Beziehung zwischen größter Niederschlagsstärke und Niederschlagsdauer an. Nehmen wir an, daß von diesen Niederschlägen ein Viertel als unmittelbarer Flächenabfluß auftrete[2], so ergibt ein Niederschlag, der pro Minute eine Höhe von 1 mm ausmacht, eine Flächenabflußmenge von 4167 Litern pro Sekunde und km². Behalten wir die soeben genannten Maßeinheiten bei, so erhalten wir, wenn wir auf dieses Beispiel die Gleichung 21 anwenden:

$$p = 1{,}7349, \quad S = 2{,}32 \cdot 10^{10}$$

$$t_s \cdot s^{1{,}7349} = 2{,}32 \cdot 10^{10} \qquad (25)$$

Der Wert p ist also hier größer als eins. In diesem Falle tritt im Geltungsbereich der Gleichungen 22 und 24 je ein Maximum auf. Die entsprechenden q-Werte, $q_{max\ max}$, stellen die größten spezifischen Abflußmengen dar, die im betreffenden Gebiet unter den angenommenen Bedingungen überhaupt auftreten können.

Wir haben die Beziehung $q_{max}$ (s) für die vier verschiedenen Einzugsgebiete, die wir bereits der Abb. 10 zugrunde gelegt und dort aufgezeichnet hatten, berechnet und in Abb. 13 graphisch dargestellt.

Neben der ohne weiteres sichtbaren Verschiedenheit der Höchstabflußmengen — bei gleichen meteorologischen Verhältnissen — läßt Abb. 13 auch noch Schlüsse über die Hochwasser*häufigkeit* zu. Der Wert

$$q = 4600 \text{ l/sec u. km}^2$$

z. B. wird von der Kurve des Gebietes 3 nur in einem kleinen Bereich überschritten, während der Überschreitungsbereich für die anderen Gebiete ein Mehrfaches desjenigen des Gebietes 3 beträgt. Gleiche Verteilung der Häufigkeit der Flächenabflüsse für die vier verschiedenen Gebiete vorausgesetzt, ergibt sich hieraus eine viel größere Hochwasserhäufigkeit des Gebietes 2, aber auch der Gebiete 1 und 4, gegenüber dem Gebiet 3. Dies gibt Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung von Studien über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Hochwassern [14].

[2] Es wurden auch schon noch kleinere Bruchteile beobachtet [12, Seite 71].

## 6. Der Einfluß der Größe des Einzugsgebietes

Nehmen wir an, in einem größeren Landesteil gelte für alle Punkte die gleiche Beziehung 21, also die gleichen Festwerte p und S. In diesem Landesteil seien kleinere und größere dreieckige Einzugsgebiete vorhanden. Wie unterscheiden sich die größtmöglichen spezifischen Abflußmengen verschieden großer Einzugsgebiete voneinander?

Die Berechnung von $q_{max\ max}$ aus Gleichung 22 ergibt:

$$\left[q_{max\ max}\right]^p = \left[\frac{4p\,(p-1)}{(2p-1)^2}\right]^p \cdot \frac{S\,(2p-1)}{2\,(p-1)} \cdot \frac{1}{t_l + t_d} \qquad (26)$$

Die Größe des Gebietes tritt einzig im Ausdruck

$$t_l + t_d$$

in Erscheinung. Die anderen Ausdrücke auf der rechten Seite der Gleichung 26 betreffen nur die den Flächenabfluß bedingenden Größen. Es besteht gemäß Gleichung 26 zwischen dem mit der Größe des Einzugsgebietes zusammenhängenden Ausdruck $t_l + t_d$ und der größtmöglichen spezifischen Abflußmenge eine Beziehung, die durch eine Hyperbel dargestellt wird. Als Konse-

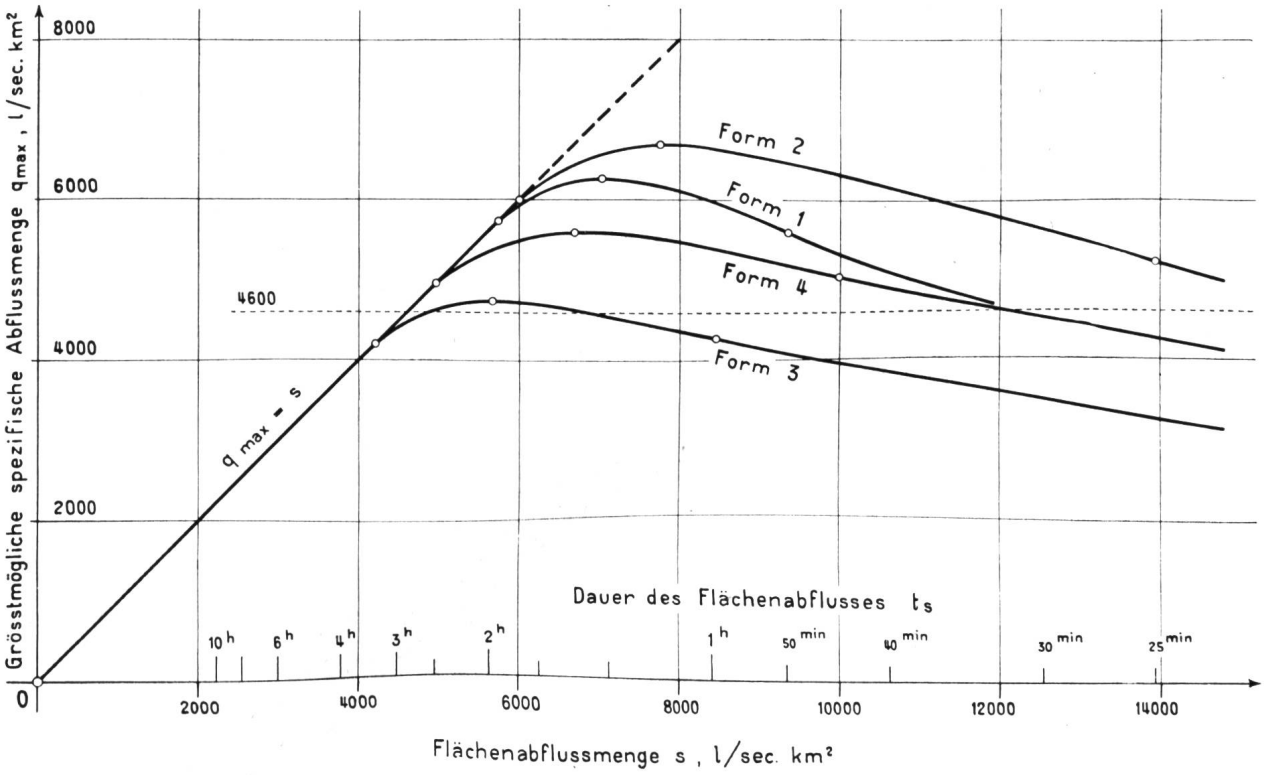



Abb. 13 Größtmögliche spezifische Abflußmengen verschieden geformter Einzugsgebiete, in Funktion der Flächenabflußmenge s bzw. der Dauer des Flächenabflusses $t_s$, bei gegenseitiger Begrenzung der Werte s und $t_s$ nach Gleichung 25. Betreffend die Form der Gebiete siehe Abb. 10.

quenz aus unseren Annahmen ergibt sich somit zwanglos eine Beziehung ähnlich der von Wundt [15] auf empirischem Wege gefundenen.

## 7. Flächenabfluß und spezifische Abflußmenge

Die Werte q (spezifische Abflußmenge) und s (Flächenabflußmenge) können, wie gezeigt wurde, bei Hochwassern unter bestimmten Bedingungen gleich groß werden. Wenn aber die letzteren nicht erfüllt sind, wird q kleiner bleiben als s; insbesondere wird die größtmögliche spezifische Abflußmenge eines bestimmten Gebietes stets kleiner sein als die sie erzeugende Flächenabflußmenge, sofern die letztere zeitlich konstant auftritt. Während der mit «q» bezeichnete Begriff eine in einem Punkt, nämlich an der Stelle des Flusses, wo er unser Einzugsgebiet verläßt, auftretende Abflußmenge ist, nur zu Vergleichszwecken durch den Flächeninhalt des Einzugsgebietes dividiert, stellt der mit «s» bezeichnete Begriff diejenige Wassermenge dar, die in einem bestimmten Zeitabschnitt von einem Flächenelement des Einzugsgebietes wirklich abgegeben, an die Abflußmenge des Flusses beigetragen, gespendet wird. Wir meinen, daß die Bezeichnung «Abflußspende», die man oft für dasjenige, was wir «spezifische Abflußmenge» nennen, angewendet sieht, mindestens in bezug auf Hochwasser für den von uns mit «Flächenabfluß» bezeichneten Begriff reserviert bleiben sollte.

Zwischen den Vorgang des Niederschlages und denjenigen des Abfließens im Flusse ist ein weiterer Vorgang eingeschaltet: der Flächenabfluß. Beim Zustandekommen von Hochwasserabflußmengen wirken die Beziehung Niederschlag/Flächenabfluß und die Beziehung Flächenabfluß/spezifische Abflußmenge, welch letztere Gegenstand der vorliegenden Arbeit bildet, zusammen. Da mit wechselndem Einzugsgebiet jede der zwei genannten Beziehungen von der anderen unabhängig variiert, sind die verschiedensten Kombinationen möglich. Dieser Umstand ist zu berücksichtigen, wenn Abflußmengen mit Niederschlagsgrößen oder anderen sie verursachenden Faktoren verglichen werden.

## 8. Bemerkungen

Wir sehen, daß schon die sehr einfachen Annahmen, die wir dieser Arbeit zugrunde legten, zu aufschlußreichen Folgerungen führen. Eine noch vermehrte Annäherung an die Verhältnisse in der Natur wäre durch Modifikation der Annahmen zu suchen. Auf ein Erfordernis sind wir bereits im Hinblick auf die absteigenden Äste der Ganglinien gestoßen: Die Theorie ist auch auf zeitlich variable Flächenabflußmengen auszudehnen. Damit wäre der Anschluß an Untersuchungen über die sogenannten Trockenwetter-Auslauflinien[3] herzustellen; es wird aber auch zu prüfen sein, ob und inwiefern sich an den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit im Falle zeitlich variablen Flächenabflusses an Stelle des zeitlich konstanten Wesentliches ändert.

Von Bedeutung besonders für größere Einzugsgebiete ist sodann die Wirkung von Flächenabflüssen, die nicht über das ganze Einzugsgebiet gleich sind, sondern in engeren Zonen auftreten, wobei die letzteren sich im Einzugsgebiet verschieben, also der Einfluß von Niederschlägen, die über ein Einzugsgebiet hinwegwandern. Die Untersuchung hätte zu zeigen, wie verschieden die Wirkung ist, je nachdem die Niederschlagszone sich in der Fließrichtung des Flußes, derselben entgegen, oder quer zum Flusse verschiebt. Das Hochwasserregime eines Flusses wird davon beeinflußt sein, wie das Tal im Verhältnis zur Hauptrichtung der Niederschlags-Zugstraßen liegt.

Die Vorstellung des «Wasserteppichs» deckt sich nur unvollständig mit den Vorgängen in der Natur, wo sich das frei werdende Wasser bald in Rinnsalen sammelt, die sich wiederum vereinigen. Es wird zu prüfen sein, innerhalb welcher Grenzen die Anwendung jenes Begriffes noch zulässig ist; es wird dies vor allem für kleinere Gebiete der Fall sein, während bei größeren Gebieten eine Unterteilung nötig werden wird. Damit eröffnet sich ein weiteres Untersuchungsgebiet: die Kombination von verschiedenen Teilgebieten; d. h. die Frage: Wie ist das Hochwasserregime einer Stelle des Flusses beeinflußt durch die Gliederung des flußaufwärts gelegenen Gewässersystems?

Solche und ähnliche Studien, als Ausdehnung der in vorliegender Arbeit angefangenen Entwicklungen, können zum Ausbau des eingangs postulierten Begriffssystems führen. Wenn dabei für die weiteren Modifikationen der Annahmen die Beobachtungen in der Natur und die Erkenntnisse aus all den bisherigen Veröffentlichungen über Hochwasser wegleitend sind, dürfte das entwickelte Begriffssystem immer naturgetreuer werden. Es soll schließlich möglich sein, die konkreten Hochwasserfälle an Hand unserer begrifflichen Typen zu beurteilen und zu klassifizieren. Damit wäre aber mehr gewonnen als nur ein Ordnungsprinzip. Wir haben ja unsere Typen aus möglichst naturnahen Bildungsgesetzen entwickelt. Wenn wir also das Bild eines konkret aufgetretenen Hochwassers mit einem der Typen oder mit einer Kombination mehrerer derselben in Übereinstimmung bringen können, so bedeutet dies, daß uns die Gesetze, welche zur betreffenden Erscheinungsform des Hochwassers führten, bekannt geworden sind. Der Schritt von der so gearteten Bearbeitung zahlreicher Einzelfälle zu einer praktisch erschöpfenden Theorie der Hochwasser ist dann, wenigstens grundsätzlich, möglich geworden.

[3] *Coutagne:* Météorologie et Hydrologie, 2ème partie, Les variations de débit en période non influencée par les précipitations. La Houille Blanche, Grenoble, septembre—octobre 1948, S. 416—436.

**Literatur [...]**


1 *Thams:* Die Hochwasser vom August und November 1951 am Alpensüdfuß der Schweiz. Wasser- und Energiewirtschaft, Zürich, Nr. 9, 1952, S. 171—179.

2 *van Rinsum:* Niederschlag und Abfluß im Regnitzgebiet beim Starkregen vom 28. bis 30. Juli 1941. Beiträge zur Gewässerkunde, Festschrift zum 50jährigen Bestehen der bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, München 1950, S. 71—102.

3 *Wallenta:* Das Hochwasser im Mai 1951. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 2, Wien 1951, S. 11 bis 15.

4 *Servizio idrografico centrale:* La piena del Po del novembre 1951. Giornale del Genio Civile, Roma, Fasc. 1°, Gennaio 1952, S. 3—10.

5 *Gazzolo:* Il nubifragio dei giorni 14—19 ottobre 1951 e le piene eccezionali nei corsi d'acqua della zona centro sud-orientale della Sardegna. Giornale del Genio Civile, Roma, Fasc. 5, Maggio 1952, S. 231—242.

6 *Pardé:* Les crues du Rhône de novembre 1944 à février 1945. Revue de Géographie, Lyon, Vol. XXIII, 1948, N° 1—2, S. 69—76.

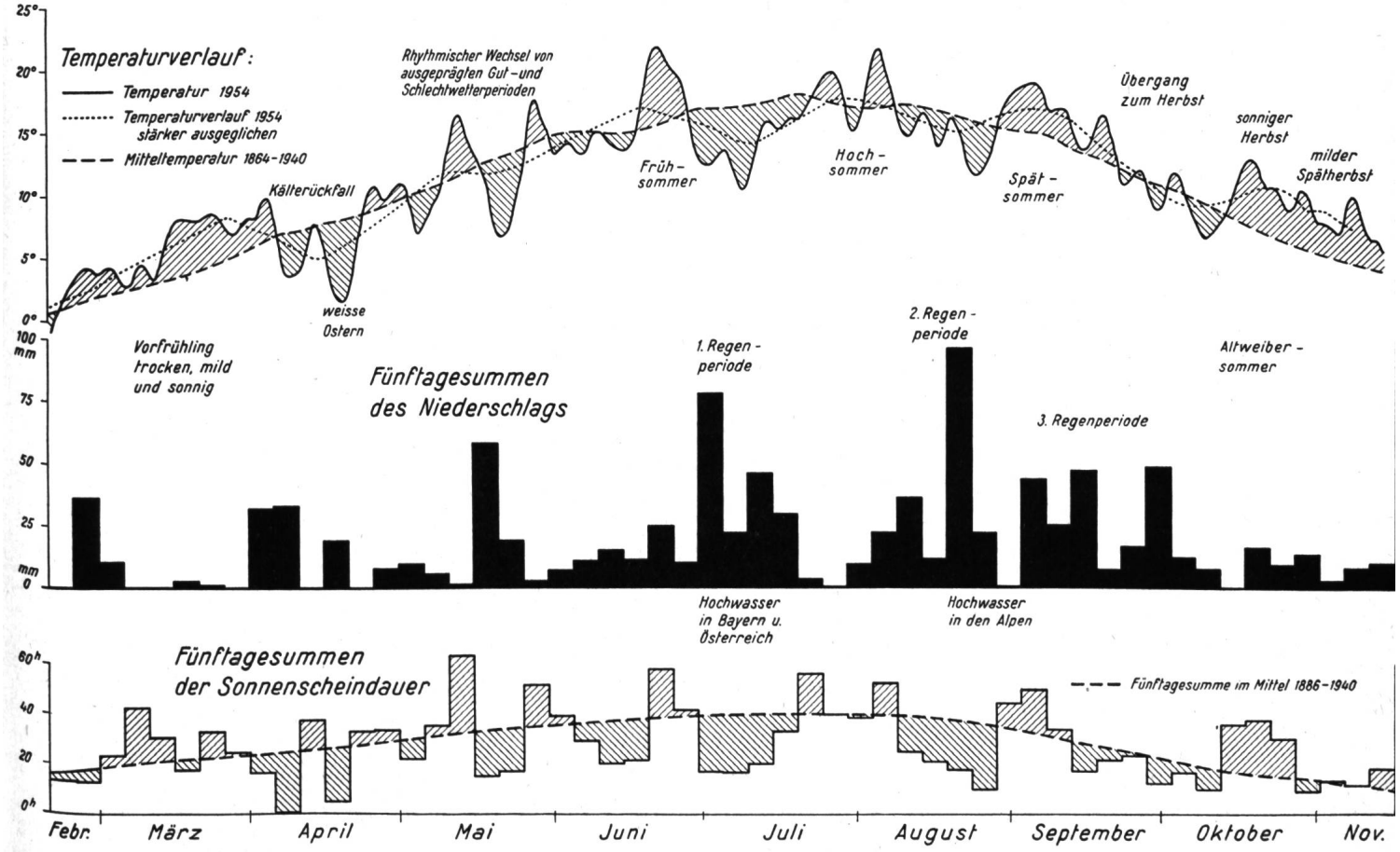
7 *United States Departement of the Interior, Geological Survey, Water supply papers.* Zahlreiche Bände sind der eingehenden Beschreibung bestimmter Hochwasser gewidmet, z. B. paper 1080: Floods of may—june 1948 in Columbia River basin. Außerdem: Paper 771: Floods in the United States, magnitude and fre-

quency. Paper 772: Studies of relations of rainfall and run-off in the United States.
8 *Association Internationale d'Hydrologie Scientifique:* Publication N° 35; Assemblée générale de Bruxelles 1951, Tome IV: Symposia sur les zones arides et les Crues. S. 57—197.
9 *Schaffernak:* Hydrographie. Wien 1935, S. 321—350.
10 *Orhon:* Die Abflußverhältnisse in der Wasserwirtschaft. Einheitliche Ermittlung der Höchstwassermengen in den Gewässer- und Entwässerungsnetzen. Berlin 1944.
11 *Pardé:* Rapport entre l'intensité des pluies et les débits maxima des crues. Revue pour l'étude des Calamités, Annemasse, tome II, N° 6, mai-juin 1936, S. 131—170.
12 *Gygax:* Niederschlag und Abfluß im Einzugsgebiet der Magliasina. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Hydrologie, 4. Lieferung. Bellinzona 1948. S. 66—81.
13 *Kreps:* Eine neue Hochwasserformel für die Alpen. Wasser- und Energiewirtschaft, Zürich, Nr. 6/7, 1951, S. 123—125.
14 *Kreps:* Die näherungsweise Ermittlung großer Hochwasserabflußspenden im Lichte neuerer Betrachtungen. Wasser- und Energiewirtschaft, Zürich, Nr. 4, 1952, S. 55—57.
15 *Wundt:* Die größten Abflußspenden in Abhängigkeit von der Fläche. Die Wasserwirtschaft, 40. Jg. 1949/50, Heft 2, Nov. 1949, S. 59—64.
16 *Wallner:* Die Hochwasservoraussage. Berlin 1938.

# Nasser Sommer

Dr. *H. U. Dütsch,* Zürich

DK 551.5 (494)

Der vergangene Sommer ist im allgemeinen nicht in bester Erinnerung geblieben. Meist unsichere Witterung mit mehreren eigentlichen Regenperioden drückte ihm den Stempel auf. Betrachtet man rückblickend den Witterungsablauf anhand des einfachsten statistischen Hilfsmittels, nämlich der Monatsmittelwerte, so fällt tatsächlich zuerst die ununterbrochene Folge von drei sehr nassen Monaten, nämlich Juli, August und September, auf. In keinem von den dreien wurden zwar Höchstwerte des Niederschlags für den betreffenden Monat erreicht. Die Gesamtperiode Juli bis September war aber seit dem Beginn ununterbrochener Messungen in der Stadt Zürich im Jahre 1864 erst einmal, nämlich 1888, noch nasser als im laufenden Jahr. Im vergangenen Sommer ist in diesen drei Monaten mehr als die Hälfte der normalen Jahressumme gefallen, und der langjährige Durchschnitt wurde in diesem Zeitabschnitt um 60 Prozent überschritten. Während das erwähnte Vergleichsjahr 1888 aber als ganzes außerordentlich naß war — es weist die zweithöchste Jahressumme seit Beginn der Messungen auf —, trifft dies für 1954 nicht zu. Bis Mitte November beträgt der Überschuß wenig mehr als 10%.

Die graphische Darstellung durch Fünftagesummen des Niederschlags zeigt, daß man es auch keineswegs mit einer ununterbrochenen dreimonatigen Schlechtwetter-