Die "Regime-Theorie", eine Methode zur Bemessung stabiler Flussgerinne

Autor(en): **Zeller, Jürg**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **83 (1965)**

Heft 5

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-68081

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

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Die «Regime-Theorie», eine Methode zur Bemessung stabiler Flussgerinne

DK 627.15.001

Von **Jürg Zeller**, dipl. Bau-Ing., Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich

I. Einleitung

Beim Studium von Bach- und Flussläufen fällt die Vielfalt der Gerinneformen auf. Man wird überrascht durch die grosse Zahl von Einflüssen, die offenbar diese Formen bestimmen, und man kann sich fragen, wie sich diese Formen ordnen lassen und welches wohl die Ursachen für deren Gestaltung sind. Schon seit langer Zeit bieten diese Fragen Anreiz zu eingehenden Studien, wobei sich hauptsächlich zwei Interessengruppen herausbildeten: Auf der einen Seite sind es *Geophysiker* und *Geomorphologen*, die dieses Problem als naturwissenschaftliches angehen und auf der anderen Seite vor allem *Wasserbauingenieure*, die es als technisches betrachten. Erstere befassen sich u. a. mit Beobachtungen über Berg- und Talbildung, Geländeformen, entstanden durch fluvialen Abtrag oder Ablagerung, und bei Detailuntersuchungen interessieren Beziehungen über Ausdehnung und Art des Einzugsgebietes, Gewässeranzahl, Flusslängen, Gefälle usw. Flussmorphologische Arbeiten allgemeinerer Natur sind bekannt von W.N. Davis [1], A. Holmes [2], J.V. Samoilav [3], L.C. Gottschalk und V.H. Jones [4], E. Gerber [5], A.E. Scheidegger [6] u. a. Die Wasserbauingenieure ihrerseits, mit dem Bedürfnis, sich möglichst geeignete Unterlagen für die Beurteilung und Durchführung von Flussverbauungen, Korrektionen oder auch Bewässerungs- und Entwässerungsanlagen zu beschaffen, interessieren sich neben morphologischen Fragen vorwiegend für die Abmessungen von Gerinnen, d.h. die Gerinnegeometrie und deren Abhängigkeit von «Umweltfaktoren». Derartige Untersuchungen gibt es eine grosse Zahl, auf welche wir später von Fall zu Fall näher eintreten wollen. Allen Studien gemeinsam ist die Erkenntnis über den engen Zusammenhang zwischen hydraulischem Charakter und Gerinneform eines Flusslaufes einerseits und Topographie, Geologie, Klima und Pflanzenbedeckung des Einzugsgebietes anderseits.

Im folgenden konzentrieren wir uns auf die Arbeiten der Wasserbaufachleute und auf die Studien an *geradlinigen Flüssen in eigener Alluvion*[1]), die sich im Beharrungszustand[2]) befinden.

Studien über den Zusammenhang zwischen Gerinnegeometrie und Wasser- bzw. Sedimentführung reichen weit ins letzte Jahrhundert zurück und werden heute noch fortgesetzt. Es entwickelten sich hierbei zwei Betrachtungsweisen, die sich stark vereinfacht wie folgt charakterisieren lassen: Die eine, mit «*Regime-Theorie*» bezeichnet, versucht mit Hilfe einer grossen Zahl von Messungen über die Gerinnegeometrie von Flüssen und Kanälen Dimensionsregeln aufzustellen, während die andere, die wir mit «*Schleppkraft-Theorie*» benennen wollen, mit Hilfe der physikalischen Grundgesetze über die Fortbewegung von Wasser und der Sedimente die Möglichkeit schafft, Flussgerinne zu dimensionieren (Bild 1).

Das zweitgenannte Verfahren ist in der Schweiz und den meisten europäischen Ländern beheimatet und dient als Grundlage der flussbaulichen Arbeiten. Bemerkenswerte Untersuchungen, insbesondere nach diesem Prinzip über den Sedimenttransport, erschienen von P. Du Boys (1879), A. Schoklitsch (1934), E. Meyer-Peter und R. Müller (1949), H.A. Einstein (1950) [7], E.W. Lane (1937, 1955) [8], um nur einige Namen zu nennen. Anderseits entwickelte sich die Regime-Theorie um die Jahrhundertwende vor allem in England und den Commonwealth-Ländern und ist dort auch heute noch unentbehrliches Rüstzeug im Wasserbau. Man kann sich fragen, warum z.B. die auf reiner Empirie beruhende «Regime-Theorie» nicht ihre Daseinsberechtigung verloren hat und durch die auf exakten physikalischen Grundlagen aufgebaute Schleppkraft-Theorie verdrängt wurde. Hiezu ist zu bemerken, dass der Vorgang der Gerinnebildung aussergewöhnlich komplizierter und vielschichtiger Natur und mit keiner bis heute bekannten Methode wirklich exakt erfassbar ist. Ausserdem benötigt man für die eindeutige Dimensionierung eines sedimentführenden, stabilen Gerinnes normalerweise drei voneinander unabhängige Bestimmungsgleichungen, da das Problem drei Freiheitsgrade aufweist. Die Regime-Theorie vermag diese zu liefern, wohingegen die Schleppkraft-Theorie nur zwei solcher Gleichungen in sich vereinigt, so dass ein Freiheitsgrad durch hydraulische Betrachtungen bis heute nicht festlegbar ist, und deshalb ein Element fehlt, um die hydraulisch «ideale» Gerinneform zu bestimmen [9] [10] [11]. Diese Schwierigkeiten lassen es durchaus als begrüssenswert erscheinen, gewisse Lücken oder Unzulänglichkeiten der einen Methode mit Hilfe der anderen teilweise oder auch ganz zu schliessen[3]).

Da wir uns je länger desto mehr auch mit Aufgaben aus nichteuropäischen Ländern zu befassen haben, Ländern also, in denen z.T. die Regime-Theorie beheimatet ist, dürfte es umso mehr angezeigt sein, uns mit der Gedankenwelt dieser «Theorie» vertraut zu machen.

II. Erläuterung der Regime-Theorie

1. Prinzip

Wie einleitend erwähnt, wird versucht, den Zusammenhang zwischen Gerinnegeometrie und Abflusswassermenge einschliesslich Sedimentführung festzuhalten.

Stellt man für ein gleichmässig geformtes Gerinne den Pegelstand in Abhängigkeit der Abflusswassermenge in einem Diagramm dar, so fällt sofort der systematische Zusammenhang zwischen diesen

[1]) Die im Flussgerinne transportierten Sedimente sind geotechnisch und «hydraulisch» mit denjenigen der Gerinnsohle und -böschung identisch.

[2]) Das Flussgerinne hat sich im Laufe der Jahre hinsichtlich Gerinnegeometrie, Längsgefälle, Sedimenthaushalt usw. ausbalanciert und einen Gleichgewichtszustand, d. h. Beharrungszustand erreicht, den es nicht mehr ändert, wenn die Randbedingungen gleich bleiben.

[3]) Diese Ausführungen sollen keinesfalls den Anschein erwecken, dass wir mit der traditionellen Anschauungswelt der Schleppkraft-Theorie brechen wollen. Es bleibt uns vielmehr vorbehalten, die Theorie in dieser Hinsicht zu erweitern.

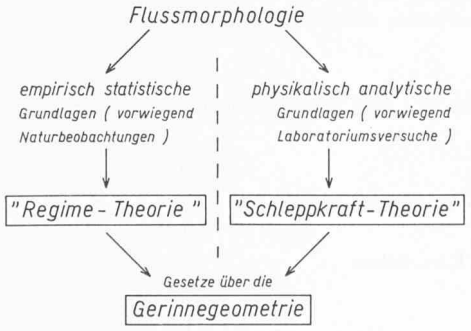

Bild 1. Die zwei Hauptuntersuchungsarten der Flussmorphologie

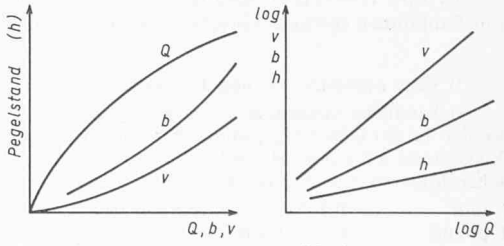

Bild 2a Bild 2b

Bild 2. Schematische Darstellung der Abhängigkeit von b, h und v von Q.

Grössen auf (Bild 2a). Sinngemäss verhält es sich mit der Gerinnebreite bzw. Strömungsgeschwindigkeit. Wählt man eine doppellogarithmische Auftragungsart entsprechend Bild 2b, so ist erkennbar, dass sich diese Grössen näherungsweise als Potenzfunktionen der Abflusswassermenge wiedergeben lassen.

Diese Zusammenhänge in Bild 2b wurden durch viele Messungen an stabilen, sedimentführenden Kanälen und später auch an stabilen Flüssen bestätigt. Sie führten zu den sogenannten Regime-Gleichungen von der Form:

(1) [4] Wassertiefe: $h = f(Q)$

(2) Gerinnebreite: $b = f(Q)$

(3) Sohlengefälle: $J_s = f(Q)$

Die Gleichungen (1) und (2) können je nach Autor anstelle von h und b auch den hydraulischen Radius R und den benetzten Umfang P aufweisen, und Q kann durch die mittlere Fliessgeschwindigkeit v ersetzt sein.

Dieses kurze Eingehen auf das Prinzip der Regime-Theorie soll dem Leser die nachfolgend aufgeführte historische Entwicklung der Theorie verständlicher machen. Die Theorie selbst ist jedoch Gegenstand des 3. Kapitels.

2. Geschichtliche Entwicklung

Die nachfolgenden Angaben stellen einen Ausschnitt aus Arbeiten der bekanntesten Autoren dar. Den Originaltexten entsprechend wird in den Gleichungen durchwegs das englische Massystem verwendet[5]).

R.G. Kennedy (1895) [12] beschreibt als einer der ersten die Beziehung zwischen mittlerer Fliessgeschwindigkeit und Wassertiefe auf Grund von Messungen am Bari Doab-Kanalsystem in Punjab, Indien. Kennedy's Gleichung lautet:

(4) E $v = 0{,}84 \cdot h^{0{,}64}$

Nach dieser Gleichung dimensionierte Kanäle zeigen weder Auflandungen noch Erosionen. Spätere Messungen ergaben einen verbesserten Exponenten für h.

(4a) E $v = 0{,}84 \cdot h^{0{,}50}$

Als nachteilig muss empfunden werden, dass in der Gleichung für v die Wassermenge Q nicht enthalten ist. Auch wurde angenommen, dass Gleichung (4) bzw. (4a) sowohl für schmale, tiefe als auch für breite, wenig tiefe Gerinne gelte, eine Annahme, die sich durch die Erfahrung späterer Jahre nicht bestätigte.

E.S. Lindley (1919) [13] fand für stabile Kanäle mit Sedimenten im Korndurchmesserbereich von $0{,}002 \leqq d \leqq 0{,}02$ mm auf Grund von 786 Beobachtungen am unteren Chenab-Kanalsystem (Indien):

(5) E $v = 0{,}95 \cdot h^{0{,}57}$

(6) E $v = 0{,}57 \cdot b^{0{,}355}$

Auch für Lindleys Gleichungen gelten die selben Feststellungen wie für Gleichung (4).

G. Lacey (1929/62) veröffentlichte eine grosse Zahl von Arbeiten, wovon eine der wichtigsten [14] folgende Gleichungen enthält (z.T. von T. Blench nachträglich etwas modifiziert):

(7) E $v = 1{,}151 \cdot [f \cdot R]^{1/2}$

(8) E $P = 2{,}67 \cdot Q^{1/2}$

(9) E $J_s = f^{5/3} / [1788 \cdot Q^{1/6}]$

Der Sedimentfaktor f wurde definiert zu $f \approx v^2/g \cdot R$. Dieser Faktor charakterisiert die Gerinnebeschaffenheit, Sedimentart usw. Häufig ist es sehr schwierig, f für einen gegebenen Fall zu bestimmen. Lacey gab deshalb als Grössenordnung $f = 8 \cdot d_m^{0{,}5}$ an mit d_m = mittl. Korn, durchmesser des Sohlenmaterials in inch. Danach können als Richtwerte jene gelten, die in Tabelle 1 enthalten sind [15]. Diese f-Werte entsprechen dem englischen Massystem. Eine Diskussion des Sedimentfaktors f findet sich im Anhang. Die Lacey-Gleichungen werden auch heute öfters verwendet.

C. King (1943) [16] bestätigt die Lacey-Gleichungen für Kanäle mit Sanddünen (geringer Geschiebetrieb) und kohärenten Ufern (d.h. verhältnismässig glatt und wenig erodierbar). Es gelang ihm erstmals, zur Hydromechanik eine Brücke zu schlagen, indem er zwischen den Regime-Gleichungen (für offene Gerinne) eine Analogie herzustellen vermochte zur Blasius-Geraden für die Reibungsverluste in glatten Kreisrohren. Seine Regime-Gleichungen lauten:

(10) E $b = [Q \cdot F_b/F_s]^{1/2}$

(11) E $h = [Q \cdot F_s/F_b^2]^{1/3}$

(12) E $J_s = F_b^{5/6} \cdot F_s^{1/12} \cdot Q^{-1/6} \cdot \nu^{1/4}/\alpha \cdot g$

mit den gegenüber Lacey verbesserten Sedimentfaktoren

E $F_b = v^2/h$ für Gerinnesohle

E $F_s = v^3/b$ für die Ufer

E $\alpha = 3{,}63$

C. King versuchte derart, die Mängel der ursprünglichen Fassung der Lacey-Gleichungen zu beheben. Er fand, dass nicht nur der Schwebstoffanteil, sondern auch der Geschiebetrieb berücksichtigt werden sollte, vor allem dann, wenn es sich um Flusskorrektionen handelt. Auch sind die Sedimentfaktoren für Gerinnesohle und Ufer verschieden.

C.C. Inglis (1949) [17] hat sich ebenfalls eingehend mit stabilen Gerinnen befasst. Er verglich, wie auch andere, ausserdem die Resultate von G. Lacey und C. King mit den Geschiebetriebuntersuchungen von M.K. Gilbert [7] und fand im wesentlichen eine Bestätigung der Gleichungen (10) bis (12). Er vermochte auch neue Angaben für die Sedimentfaktoren zu machen, nämlich:

E $F_b = v^2/1{,}325 \cdot R^2$

E $F_s = 193\,(R^{1/2} \cdot J_s)^{2/3}$

T. Blench (1957) [11], der sich mit der Regime-Theorie gründlich auseinandersetzte, übernahm im Prinzip die Gleichungen von C. King bzw. C.C. Inglis und fügte noch einige Präzisierungen bei. Seine Gleichungen lauten:

(10) E $b = [(F_b/F_s) \cdot Q]^{1/2}$

(11) E $h = [(F_s/F_b^2) \cdot Q]^{1/3}$

(13) E $J_s = \dfrac{F_b^{5/6} \cdot F_s^{1/12} \cdot Q^{-1/6} \cdot \nu^{1/4}}{\alpha \cdot g}$

$\alpha = 3{,}63\,(1 + a \cdot c_g)$, d.h. α ist abhängig von der Geschiebeführung

a = Koeffizient

c_g = Geschiebekonzentration in hundertstel Gewichts-‰ (gewogen an Luft)

T. Blench unterscheidet zwei Fälle, nämlich Gerinne mit schwacher und solche mit starker Geschiebeführung. Er gibt die Grenzen zwischen diesen Bereichen wie folgt an: schwacher Geschiebetrieb $c_g < 2{,}0$, starker Geschiebetrieb $c_g > 2{,}0$. Diese Unterscheidung ist allerdings nicht in den Grundgleichungen sichtbar, sondern findet ihren Ausdruck in einzelnen Koeffizienten. Nähere Angaben finden sich im Anhang.

Erst in neuerer Zeit hat die Regime-Theorie auch in den USA Fuss gefasst. Sie wurde besonders aktuell, als man begann, grosse Bewässerungsanlagen zu bauen. Als Vertreter der USA, welche stabile Gerinne mit Hilfe des Regime-Konzeptes studierten, sind zu nennen: L.B. Leopold und T. Maddock [19], D.B. Simons und M.L. Albertson [20], und andere. Sie fanden die Regime-Gleichungen für die USA bestätigt und es gelang ihnen, z.T. erhebliche Verbesserungsbeiträge zu leisten. Diese Arbeiten werden später noch eingehender gewürdigt werden.

3. Die Regime-Theorie

Nach dieser mehr allgemein gehaltenen Einführung soll den Detailfragen Raum gegeben werden. Vor allem sind die massgebenden Elemente der Regime-Theorie zu erläutern und der Gültigkeitsbereich zu klären.

Tabelle 1. Richtwerte für f der Lacey-Gleichung

Sohlenmaterial	f (Richtwert)	(E)
fast ausschliesslich grosse Steine (Blöcke)	39	
Steine mit Kies	10	
Kies mit kleinen Kiesbänken	5	
Grobsand	2,5	
Feinsand	1,0	
Silt bis Ton	0,5	

[4]) siehe Zusammenstellung der Bezeichnungen im Anhang

[5]) Sämtliche Gleichungen, die zum englischen Massystem gehören, werden bei der Gleichungsnummer mit einem E und solche des metrischen Massystems mit einem M markiert. Die verwendeten Einheiten im englischen Massystem sind in der Regel foot – pound – second.

1 foot = 0,305 m; 1 cu. foot per second = 1 cfs = 0,0283 m³/s;
1 pound = 1/2000 short ton = 0,454 kg
1 inch = 2,54 cm
1 stat mile = 1,609 km

a) Der Begriff «Regime»

Der Begriff «Regime» lässt sich nicht in allgemein gültiger Form definieren. «Ein Fluss oder ein Flussgebiet hat ein Regime» ist ein ebenso wenig klar erfassbarer Begriff, wie «eine Gegend hat ein Klima». Dennoch haben wir davon eine bestimmte Vorstellung und es bestehen Gesetzmässigkeiten, die klar erkennbar sind.

Laut der Begriffsbildung der Regime-Theorie hat man unter einem Fluss vom *Regime-Typus* ein Gewässer zu verstehen, dessen Gerinne sich in Material gebildet hat, das vom Fluss herantransportiert wurde und noch wird, d.h. sich in eigener Alluvion befindet. Ein Fluss (oder Flusstrecke) *in Regime* zeigt keine langfristig andauernden Veränderungen von Messgrössen. Er befindet sich im Gleichgewichts- oder Beharrungszustand. Mit andern Worten heisst «in Regime sein», dass die verschiedenen Grössen, die das Gerinne charakterisieren, zueinander in einer ganz bestimmten Relation stehen, so dass weder Auflandungen noch Erosionen, weder Gerinneausweitungen noch -verschmälerungen usw. auftreten können. Die mathematische Beschreibung der Gerinnegeometrie und weiterer Grössen von Regime-Flüssen ist zusammengefasst in der *Regime-Theorie*, wobei es sich aber kaum im eigentlichen Sinne des Wortes um eine Theorie handelt. Der Ausdruck ist jedoch international eingeführt, weshalb er übernommen wurde.

b) Unterlagen, auf denen die Regime-Theorie beruht.

Wie früher erwähnt, dienen als Unterlagen in erster Linie die gemessenen Grössen:

Gerinnebreite oder benetzter Umfang

Wassertiefe oder hydraulischer Radius

Sohlengefälle

Abflusswassermenge oder Fliessgeschwindigkeit

von stabilen *Bewässerungskanälen*. Messungen liegen vor aus Indien, Pakistan, Aegypten [34] und weiteren früheren Commonwealth-Ländern. In letzter Zeit kommen auch solche aus den USA, aus Kanada, Australien, Neuseeland und Russland hinzu. Der Geschiebetrieb ist in diesen Kanälen meist gering, saisonweise werden z.T. erhebliche Schwebstoffmengen geführt und die Kanalsohle zeigt häufig Dünenform. Diese Messwerte wurden ergänzt durch Daten von *natürlichen Flussläufen* mit z.T. starker Geschiebeführung, sehr grobkörnigem Sohlenmaterial und unregelmässiger Wasserführung. Die Unterlagen setzen sich aus einer in die Tausende gehende Zahl von Messdaten der verschiedenartigsten Fluss- und Kanalgebiete mit grossen Unterschieden in Topographie, Geologie, Vegetation und Klima zusammen. Detaillierte Messdaten sind publiziert worden von L.B. Leopold und T. Maddock [19], L. B. Leopold und M.G.Wolman [26] [41], D.B. Simons und M.L. Albertson [20], C.R. Miller und W.M. Borland [27], G. Lacey u.a.

Ungeachtet der grossen Zahl von Naturbeobachtungen hat man auch versucht, die vielen *Laboratoriumsuntersuchungen* über den Geschiebetrieb miteinzubeziehen, handelt es sich dabei doch um Gerinne mit einer in weitesten Bereichen variierenden Geschiebeführung und vernachlässigbarer Schwebstofführung. Berücksichtigt wurden Versuche von M.K. Gilbert, E. Meyer-Peter, H.A. Einstein [7] u.a.

c) Die Regime-Gleichungen

Im Abschnitt II, 1 wurde festgestellt, dass zwischen den Gerinneabmessungen und der Abflusswassermenge näherungsweise ein potentieller Zusammenhang besteht. Verfolgt man diesen weiter, indem man noch andere die Gerinneform charakterisierende Grössen miteinbezieht, so ist zu erkennen, dass auch diese sich näherungsweise als Potenzfunktion von Q darstellen lassen. Die Gesamtheit der heute bekannten Regime-Gleichungen lauten nach L.B. Leopold und T. Maddock [19]:

(14)	Wassertiefe	$h = A_h \cdot Q^{\alpha}$
(15)	Gerinnebreite	$b = A_b \cdot Q^{\beta}$
(16)	Sohlengefälle	$J_s = A_J \cdot Q^{\gamma}$
(17)	Fliessgeschwindigkeit	$v = A_v \cdot Q^{\delta}$
(18)	Geschiebeführung	$G_g = A_G \cdot Q^{\varepsilon}$
(19)	Schwebstofführung	$G_s = A_S \cdot Q^{\eta}$
(20)	Rauhigkeitskoeffizient nach Strickler	$k = A_k \cdot Q^{\chi}$

Allerdings ist zu bemerken, dass es auch andere Darstellungsarten der Regime-Gleichungen gibt und dass nur drei der obigen Gleichungen als unabhängige Grössen betrachtet werden dürfen. Meist sind dies h, b und J_s[6]). Die Gleichungen (19) und (20) sind noch wenig studiert. Doch weist vieles darauf hin, dass dies eine mögliche Darstellungsweise für G_s und k ist.

Als weitere Bedingungen, welche aus dem Kontinuitätsgesetz hervorgehen, sind zu erfüllen:

(21) $A_h \cdot A_b \cdot A_v = 1{,}0$

(22) $\alpha + \beta + \delta = 1{,}0$

Die Untersuchungen von L.B. Leopold und T. Maddock [19] zeigen, dass zwei Fälle zu unterscheiden sind, nämlich

– Regime-Gleichungen bezogen auf ein *Flussquerprofil* oder eine Messstelle und deren unmittelbare Nachbarschaft,

– Regime-Gleichungen bezogen auf eine ganze *Flusstrecke* von grösserer Länge.

Diese Unterteilung ist erforderlich, da die Wasserführung in natürlichen Gerinnen flussabwärts infolge wachsenden Einzugsgebietes zunimmt[7]). Die Unterscheidung lässt sich an den nachfolgenden Bei-

[6]) Die verschiedenen Forscher konnten sich in dieser Hinsicht bis heute nicht zu einer einheitlichen Meinung durchringen. Häufig wird v anstelle von Js als massgebend betrachtet.

[7]) Die Gleichungen (4) bis (13) beziehen sich durchwegs auf den Fall einer Flusstrecke, während die Gleichungen (14) bis (20) in dieser allgemeinen Darstellung für beide Typen gelten.

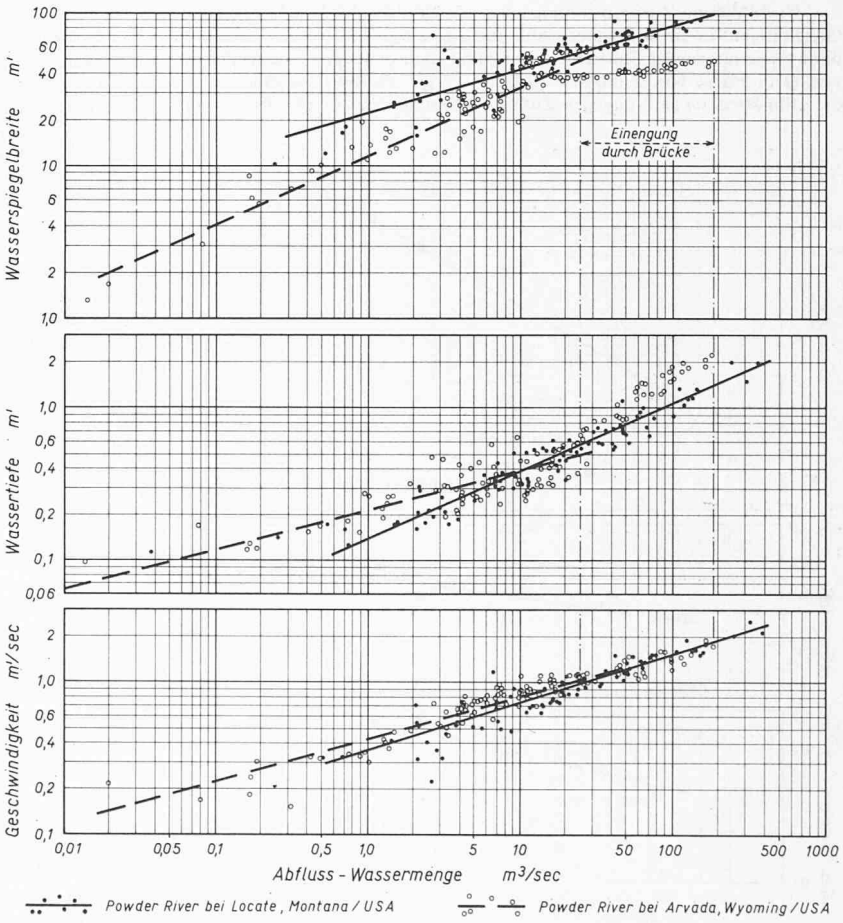

Bild 3. Powder River, USA (Fluss mit voralpinem bis alpinem Charakter): Wasserspiegelbreite, Wassertiefe und Fliessgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Wasserführung. Darstellung für «*Flussquerprofile*» (nach L. B. Leopold und T. Maddock)

spielen darlegen, in welchen die Messwerte für b, h und v in Abhängigkeit von Q für den Powder River (USA) graphisch dargestellt sind.

Die Bilder 3 und 4 zeigen, dass sich die Regime-Gleichungen für die beiden Fälle «Flussquerprofil» einerseits und «Flusstrecke» anderseits tatsächlich voneinander unterscheiden. In Tabelle 2 sind einige Mittelwerte für die Exponenten von Q dargestellt, welche aber nur als Richtwerte zu betrachten sind[8]).

In Bild 4 wurde als Abszisse das Jahresmittel der Abflusswassermengen verwendet. Dieser Abflussmittelwert ist nicht bindend und kann durch einen anderen Wert ersetzt werden. Es sei auf die später folgenden Detailangaben über die Wahl von Q verwiesen.

Der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen von Messungen im Flussquerprofil und in der Flusstrecke geht aus Bild 5 hervor, den wir am Beispiel der Gerinnebreite (oberste Teilfigur von Bild 5) erläutern wollen. Aufgetragen sind die Daten für ein Querprofil 3 und ein Querprofil 4 (flussabwärts von 3 liegend). Entsprechend dem grösseren Einzugsgebiet von Profil 4 ist die Wasserführung grösser als in Profil 3[9]). Greift man einen Punkt A der Geraden 3 heraus, d.h. die zu einer bestimmten Wassermenge dazugehörige Gerinnebreite, und verbindet diesen mit einem Punkt C der Geraden 4, dessen Wassermenge der ersteren entspricht (d.h. zur entsprechenden Zeit auftritt, bzw. die gleiche Häufigkeit des Auftretens aufweist), so findet man nunmehr die Gerade 1 für die Flusstrecke zwischen den Profilen 3 und 4. Dieses Vorgehen kann für eine andere Wassermenge wiederholt werden (Gerade 2)[10]).

Bleibt der Flusscharakter unverändert (Verhältnis b/h = konstant, gleiches Einzugsgebiet, Abfluss-Regime und Sedimente), so sind die Geraden 1 und 2 bzw. 3 und 4 zueinander parallel [19]. Setzt man dies einfachheitshalber voraus, so findet man für die verschiedenen Regime-Gleichungen [14] bis [20] die in Bild 5 schematisch wiedergegebenen Diagramme. Häufig ist es für Untersuchungen der Baupraxis zweckmässiger, derartige graphische Darstellungen zu wählen.

[8]) Die Exponenten sind z.T. je nach Einzugsgebiet und Lokalklima voneinander stark verschieden. Die in Tabelle 2 für das Flussquerprofil wiedergegebenen Mittelwerte variieren in Wirklichkeit zwischen folgenden Extremalwerten: $0{,}13 < \alpha < 0{,}63$; $0{,}06 < \beta < 0{,}59$; $0{,}07 < \delta < 0{,}55$; rd. $2{,}0 < \eta < 3{,}0$.

[9]) Bei Bewässerungsanlagen ist es umgekehrt, da Wasser entnommen wird.

[10]) In diesem Zusammenhang zeigt es sich, dass der Begriff «Regime-Gleichungen für ein Flussquerprofil» auch so aufgefasst werden darf, dass diese Gleichungen für Flussabschnitte gültig sind, in denen keine Änderung von Q in Form von Zuflüssen auftreten ($\triangle Q = 0$). Bei Gleichungen für die «Flusstrecke» sind dagegen Zuflüsse Voraussetzung ($\triangle Q \neq 0$).

Tabelle 2. Zusammenstellung von Mittelwerten für die Exponenten von Q der Regime-Gleichungen (14), (15), (17) und (19), unterteilt für Flussquerprofil und Flusstrecke, nach L. B. Leopold und T. Maddock [19]

	Exponent	Flussquerprofil	Flusstrecke
Wassertiefe	α	0,40	0,40
Wasserspiegelbreite	β	0,26	0,50
Fliessgeschwindigkeit	δ	0,34	0,10
Schwebstoffführung	η	rd. 2,5	rd. 0,8

d) Die massgebende Wasserführung

Aus Bild 5 geht hervor, dass man für die Regime-Gleichungen (Flusstrecke) ein *repräsentatives* Q zu wählen hat. Um das Vorgehen zu erleichtern, sollen nachfolgend vorerst die Auswirkungen einer derartigen Wahl auf die Regime-Gleichungen gezeigt werden, worauf einige Hinweise für die geeignetste Wahl von Q gegeben werden.

Es ist naheliegend, die Regime-Gleichungen mit der Abflussmengenhäufigkeit (Frequenz) in Verbindung zu bringen. Entsprechend Bild 6 sind je nach der Häufigkeit von Q einige Unterschiede vor allem in der Lage der Geraden festzustellen, wohingegen die Neigungsänderungen im allgemeinen klein sind (regelmässige Querprofilform vorausgesetzt). Dies bedeutet, dass in den Regime-Gleichungen der Exponent praktisch konstant ist, wohingegen der Koeffizient stark von der Art von Q abhängt. Untersuchungen von M. Nixon [28] bestätigen diese Beobachtung (Tabelle 3). Aus diesen Angaben geht eindeutig die Abhängigkeit der Regime-Gleichungen für die Flusstrecke von der Abflussmengenhäufigkeit hervor.

Leider arbeiteten die verschiedenen Autoren nicht nach einheitlichen Gesichtspunkten. Vor allem bei den älteren Studien wurde als massgebende Wassermenge die sog. *gerinnefüllende Wassermenge* Q_G (bankfull discharge) benützt[11]).

Mit der Weiterentwicklung der Theorie, vor allem als man begann, Flüsse miteinzubeziehen, genügte diese einfache Annahme häufig nicht mehr. Da man auf Grund vieler Untersuchungen festgestellt hat, dass die Gerinnebildung, abgesehen von Q, vor allem vom Geschiebetrieb abhängt, musste auch dieser Faktor gebührend in

[11]) R.G. Kennedy, E.S. Lindley, G. Lacey, C. King und C.C. Inglis beziehen die Gleichungen auf Q_G; T. Blench auf Q_{Mittel} (langjährig), falls der Geschiebetrieb unter Q_{Mittel} beginnt, andernfalls auf $Q_{\max}$ bzw. Q_G zu dimensionieren ist. L.B. Leopold und T. Maddock basieren auf $Q_{\text{Jahresmittel}}$. Auch Q_G wurde nicht immer nach den selben Prinzipien ausgewählt; so entspricht z.B. bei D.B. Simons und M.L. Albertson Q_G einer Häufigkeit von einigen Prozenten, wogegen M. Nixon eine solche von rd. 22 % empfiehlt.

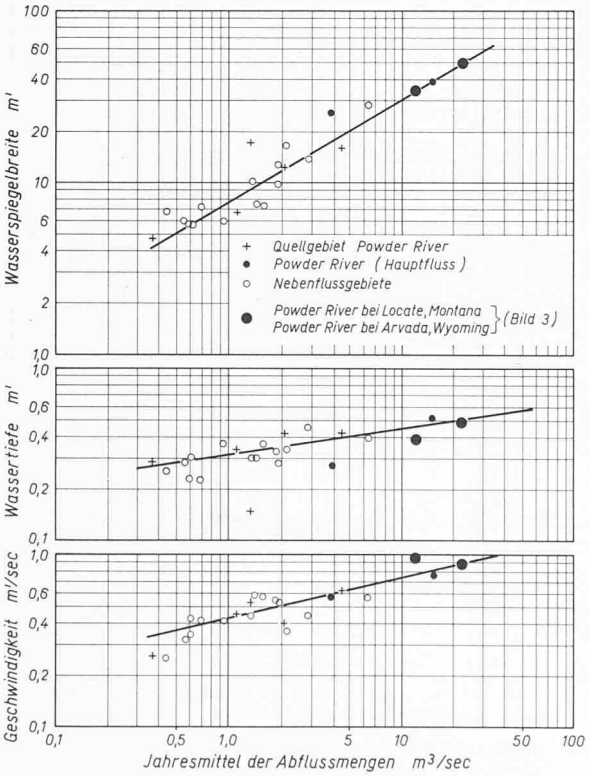

Bild 4 (links). Powder River, USA: Wasserspiegelbreite, Wassertiefe und Fliessgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Jahresmittels der Abflussmengen. Darstellung für die «*Flussstrecke*» (einschliesslich Zuflüsse des Powder River). (Nach L. B. Leopold und T. Maddock).

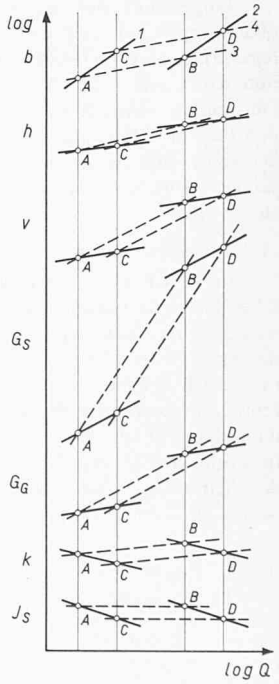

Bild 5 (rechts). Schematische Darstellung der Regime-Gleichungen (14) bis (20)
– – – – «Flussquerprofile»
——— «Flussstrecken»

Tabelle 3. Abhängigkeit des Koeffizienten A_b der Regime-Gleichung für die Gerinnebreite von der Abflussmengenhäufigkeit

Frequenz von Q in %	30	20	10	5	3,7	0,6
$b_{W.Sp.}$	$4{,}9 \cdot Q^{1/2}$	$4{,}2 \cdot Q^{1/2}$	$3{,}4 \cdot Q^{1/2}$	$2{,}82 \cdot Q^{1/2}$	$2{,}67 \cdot Q^{1/2}$	$1{,}65 \cdot Q^{1/2}$

Rechnung gesetzt werden. Das US Bureau of Reclamation [29] empfiehlt deshalb, als Grundlage für die Dimensionierung ein Q_{ideell} zu verwenden. Es ist dies das Q, das die grösste Sedimentfracht (Kornkomponenten $\geqq$ 0,0625 mm) unter Berücksichtigung der Zeit zu transportieren vermag. Ein für unsere Verhältnisse eventuell noch geeigneteres Vorgehen beruht auf der Berechnung eines Q_{ideell}, welches über die Zeitspanne, während welcher der Geschiebetrieb stattfindet, die Geschiebefracht eines Jahres zu transportieren vermag (bezogen auf ein Mitteljahr). Dieses Q_{ideell} wird häufig mit $Q_{\text{gerinnebildend}}$ bezeichnet (siehe Schleppkraft-Theorie[12]).

Die Berechnungsweise mit Q_{ideell} ist anzuwenden auf Flüsse mit stark variierender Wasser- und Geschiebeführung, wohingegen für Gerinne mit nur kleinen Variationen in Q auf Q_G basiert werden darf.

Bei Verwendung der Regime-Gleichungen für die Gerinnedimensionierung ist darauf zu achten, dass der Berechnung dieselbe Häufigkeit von Q zugrundegelegt wird, wie sie der betreffende Autor für seine Gleichungen angenommen hat. Vorzuziehen sind allerdings Regime-Gleichungen, die an die lokal vorhandenen Naturverhältnisse angepasst wurden.

Von grosser Bedeutung sind auch die Grundwasserverhältnisse. Flüsse mit starken Wasserverlusten infolge Versickerns oder solche mit Vorflutwirkung zeigen in den Regime-Gleichungen nicht nur andere Koeffizienten, sondern können auch ganz verschiedene Exponenten aufweisen.

Zu beachten ist die Forderung, dass Regime-Gerinne ständig Wasser führen. Ist dies nicht der Fall, sondern hat man es mit einem Flusse zu tun, der nur hin und wieder (kurzfristig) Wasser führt und in der Zwischenzeit austrocknet, so ändern nicht nur die Koeffizienten A der Regime-Gleichungen, sondern auch deren Exponenten. L. B.

[12]) Beide Q_{ideell} setzen in den meisten Fällen die Kenntnis der «Geschiebe-Funktion» [7] voraus. Leider beruht keine der bis heute bestehenden Regime-Gleichungen auf $Q_{\text{gerinnebildend}}$.

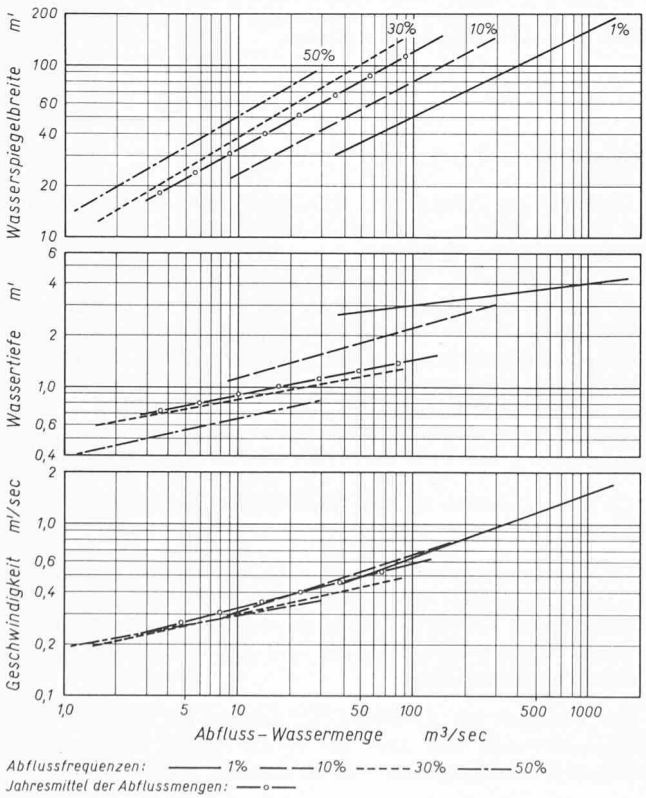

Bild 6. $b_{W.Sp.}$, h und v in Abhängigkeit der Abflusswassermenge verschiedenster Häufigkeit der Maumee- und Scioto-Einzugsgebiete, Ohio, USA (nach L. B. Leopold und T. Maddock).

Tabelle 4. Veränderung der Sohlenform und Sedimentkonzentration in Abhängigkeit der Fliessgeschwindigkeit für Feinsand mit $d \geqq 0{,}2$ mm

Strömungsart		Sohlenform	Sedimentkonzentration g/l
strömend ($Fr < 1{,}0$)	zunehmende Fliessgeschwindigkeit, zunehmende Froude'sche Zahl	Riffel	0 – 0,09
		Dünen	0,09 – 1,0
		Übergang zu flach	1,0 – 3,0
		flach	2 – 5
schiessend ($Fr > 1{,}0$)		(flach) stehende Wellen Antidünen	> 4,0

Diese Angaben sind stark abhängig von der Sedimentart. Die Verhältnisse ändern z. B. für $d = 0{,}01$ mm derart, dass erst bei Konzentrationen von 17 g/l Dünen entstanden. Diese Vorgänge werden von der Regime-Theorie nur implizite erfasst.

Leopold und J. P. Miller [37] haben an solchen Flüssen aus vorwiegend ariden Gebieten festgestellt, dass die Exponenten von Q für b und h kleiner und für G und v grösser sind als für ständig wasserführende Gerinne (siehe Tabelle 6).

e) Die Bedeutung des Sedimenttransportes

Erst mit der Einbeziehung von Flüssen in die Regime-Betrachtungen wurde die Bedeutung des Sedimenttransportes wirklich erkannt. G. Lacey führte deshalb den *Sedimentfaktor f* ein (siehe Gleichungen (7) bis (9). Später unterteilten C. King bzw. T. Blench diesen in einen Sohlen- und einen Uferanteil (siehe auch N. Chien). In diesen Sedimentfaktoren sind eine grosse Zahl der verschiedensten Einflüsse vereinigt. Es fallen darunter: Sedimentart, Kornverteilung, Aufteilung in Schwebstoffe und Geschiebe, Oberflächenform der Sohle (Sedimentwellen) und Gerinnerauhigkeit, sowie Erodierbarkeit und Standsicherheit der Ufer. Da vor allem dem Geschiebetrieb als gerinnebildendem Faktor grosse Bedeutung beigemessen wird[13]), begann man, Gerinne mit *schwachem* und solche mit *starkem Geschiebetrieb* zu unterscheiden (T. Blench, D. B. Simons und M. L. Albertson, u. a.). Auch ist eine Trennung der *kohärenten* von den *nichtkohärenten Sedimenten* notwendig. Die Arbeiten von T. Blench [18] [25] sind unter der Anwendung reiner Regime-Methoden in dieser Hinsicht wohl am fortschrittlichsten. Dennoch sind sie unzureichend und stellen grosse Anforderungen an die Erfahrung des praktisch tätigen Ingenieurs.

Bis heute ist es nicht gelungen, allein mit den Hilfsmitteln der Regimetheorie ausreichende Unterlagen bzw. Differenzierungen für die Berücksichtigung der verschiedenen Elemente des Sedimenttransportes zu beschaffen. Die Schleppkraft-Theorie vermag in dieser Hinsicht die Regime-Gleichungen zu ergänzen, indem sie quantitative Angaben über die transportierte Sedimentmenge und deren Kornzusammensetzung vermittelt. Sie sagt auch aus, unter welchen Voraussetzungen kein Sedimenttransport stattfindet [7]. Diese Aussagen sind quantitativ korrekt für grobkörniges, nichtkohärentes Gerinnematerial, dagegen bis heute nur qualitativ brauchbar für feinkörnige, nichtkohärente Materialien und nicht verwendbar für Tone[14]). Sehr grosse Sedimentkonzentrationen sind ebenfalls noch wenig erforscht, weshalb die Unterteilung in schwache und starke Sedimentführung notwendig ist. Aufgrund eingehender Studien über Sedimenttransport, Gerinnerauhigkeit und Froude'sche Zahl empfehlen D. B. Simons und M. L. Albertson [20] für Sand- bis Siltmaterial die Grenze bei einer Sedimentkonzentration von $c = 0{,}5$ g/l zu ziehen[15]). Für sehr grobkörnige Sedimente (Bereich Kies bis Steine), voll ausgebildeter Geschiebetrieb vorausgesetzt, erhöht sich diese Grenze wesentlich.

In diesem Zusammenhang ist auch auf die *Sohlenform* des Gerinnes (*Sedimentwellen*) aufmerksam zu machen, welche, abgesehen von der Kornrauhigkeit, von grossem Einfluss auf die Energieverluste ist und einen integrierenden Bestandteil des Sedimenttrans-

[13]) In Wirklichkeit ist der gesamte Sedimenttrieb (Schwebstoff + Geschiebe) gerinnebildend, doch ist erst bei grossen Schwebstoffkonzentrationen eine merkliche Beeinflussung durch die Schwebstofführung spürbar.

[14]) Für tonige Sedimente von Ufer und Sohle siehe S. A. Schumm [30]

[15]) T. Blench [18] wählte für seine Regime-Gleichungen die Grenze wesentlich tiefer (siehe Abschnitt 2, Ende).

portes darstellt. Am Beispiel eines Laboratoriumsversuches [20] soll die Veränderung der Gerinnesohle und der Sedimentkonzentration dargelegt werden (Tabelle 4).

Es scheint auch, dass die *Froude'sche Zahl* $Fr = v / \sqrt{g \cdot h}$ einen Fingerzeig für den Charakter eines Gerinnes abzugeben vermag. Ergebnisse stehen für Sandmaterialien zur Verfügung. Für folgende Bereiche von *Fr* wurden Gerinne als stabil gefunden[16]):

Laborversuche von P. Ackers [31] (Sand 0,16 mm) $0{,}26 < Fr < 0{,}38$

Laborversuche von R. A. Bagnold [32] $0{,}40 < Fr < 0{,}60$

Naturbeobachtungen und Laborversuche von D. B. Simons und M. L. Albertson [20] (Fein- bis Grobsand) $Fr \leqq 0{,}30$

Für *Fr* grösser als die angegebenen Werte sind für solche Materialien vor allem Ufererosionen zu erwarten. Auch müssen dann Flusskrümmungen gesichert werden. Für kleinere Werte ist mit Auflandungen und einer Verwilderung des Gerinnes zu rechnen. Angaben für grobkörnige Materialien stehen bis heute keine zur Verfügung. Auch scheint, dass die Regime-Gleichungen von T. Blench bzw. dessen Koeffizienten nur Geltung haben für Reynoldszahlen $Re < 8 \cdot 10^6$.

Von grosser Bedeutung ist auch der Nachweis von F. M. Henderson [33], wonach die Regime-Gleichungen (wie in der Einleitung vorausgesetzt) nur für Gerinne mit *voll ausgebildetem Geschiebetrieb* Geltung haben, d. h. dass diejenigen stabilen Gerinne, die sich abgepflästert haben oder bei denen die Schleppkraft nicht genügt, überhaupt Geschiebe zu transportieren, nicht zu den Regime-Gerinnen gezählt werden dürfen [29]. Ebenso zählen an sich stabile Flüsse mit sehr grobkörnigem Geschiebe, bei denen nicht nur die Geschiebeführung, sondern auch der max. Korndurchmesser des transportierten Geschiebes eine Funktion von *Q* ist, nicht zu den eigentlichen Regime-Gerinnen (Wildbäche, z. T. Hochgebirgsflüsse usw.). Für solche Flüsse sind die Koeffizienten und Exponenten der Regime-Gleichungen neu zu bestimmen.

Auf *Materialart und Materialbeschaffenheit* von Gerinnesohle und Ufer ist speziell zu achten. Für den Fall des selben Materials für Sohle und Ufer gelten die Regime-Gleichungen. Ist das Ufermaterial leicht kohärent, das Sohlenmaterial dagegen nicht, so stellen sich geänderte Koeffizienten *A* ein. Sind die Verhältnisse umgekehrt, oder ist gar die Sohle nicht beweglich (erodierbar), so neigt der Fluss zu Mäanderbildung, d. h. die Kurvenerosion wird ausgeprägt und der Fluss verliert den typischen Regime-Charakter. In diese Richtung wiesen auch die Beobachtungen von M. G. Wolman und L. M. Brush [35], die feststellten, dass für Sand oder grobkörnigeres Gerinnematerial (Korndurchmesser $\geqq$ 2,0 mm) jedem Sohlengefälle (Regime-Gleichung für J_s) ein eindeutig bestimmtes Querprofil zugeordnet ist, wohingegen mit zunehmender Feinheit des Sandes sich ein gewisser «Kohäsionseffekt» auszuwirken beginnt, der eine wachsende Unbestimmtheit des Querprofils zur Folge hat; d. h. einem gegebenen Sohlengefälle ist ein Querprofil-*Bereich* zugeordnet[17]).

Die *Geologie* bzw. *Gesteinsart* der Sedimente ist ebenfalls von Bedeutung. L. M. Brush [36] zeigt mit Hilfe von Messungen über das Längenprofil von Flüssen in Pennsylvania, USA, dass der Abrieb je nach Gesteinsart verschieden ist und sich das Sohlengefälle entsprechend einstellt. Seine Gleichungen für das Längenprofil dieser Flüsse lauten:

E	Sandstein	$J_s = 0{,}046 \cdot L^{-0{,}67}$	(d. h. steil)
E	Kalk/Dolomit	$J_s = 0{,}019 \cdot L^{-0{,}71}$	(etwas flacher)
E	Tonschiefer	$J_s = 0{,}034 \cdot L^{-0{,}81}$	(flach)

Die Koeffizienten sind dimensionsgebunden (pound – foot – second, L = Flusslänge in stat-miles; siehe Fussnote [5]).

Zusammenfassend wollen wir festhalten, dass Rücksicht zu nehmen ist auf:

- schwache bzw. starke Sedimentführung. Die Regime-Gleichungen gelten in erster Linie für Sedimentkonzentrationen kleiner 0,5 g/l. Ihre Anwendung auf wesentlich grössere Werte ist vorläufig als Extrapolation zu betrachten (wenig Messdaten) und ist für den zu untersuchenden Fall zu überprüfen.
- die geotechnischen Eigenschaften der Gerinnematerialien (beschränkt auf leicht bis nichtkohärente Materialien).
- die Art des Geschiebetriebes und die Gesteinsart der Geschiebe (Abrieb).
- die Sohlenform, d. h. die Sedimentwellen und die Kornrauhigkeit, welche von Bedeutung sind für die Energieverluste und dadurch für J_s.
- die Froude'sche Zahl, welche Hinweise vermittelt über Fliesscharakter und evtl. Auflandungs- oder Erosionstendenz (Ufer).

Diese Vielfalt der Einflüsse führt dazu, dass im einzelnen Fall die Koeffizienten und Exponenten der Regime-Gleichungen spürbar von den später wiedergegebenen Mittelwerten abweichen können.

(Schluss folgt)

[16]) Neueste Untersuchungen zeigen, dass *Fr* nur im Zusammenhang mit der Sohlenschleppspannung brauchbare Aussagen ergibt.

[17]) Diese Resultate wurden aus Modellversuchen erhalten und gelten sinngemäss für die Natur (die obengenannte Korndurchmessergrenze $\geqq$ 2,0 mm kann sich noch etwas verschieben).

Transportbeton

DK 666.972.002.71

Von **Hans Stamm**, dipl. Ing. ETH, Leiter der Techn. Forschungs- und Beratungsstelle der Schweiz. Zementindustrie, Wildegg

Im Zuge der Rationalisierungsbestrebungen im Bauwesen sind im Laufe der letzten Jahre auch in unserem Lande neue Betonfabriken entstanden. Es handelt sich dabei um vollautomatische Werke, mit Stundenleistung bis zu 120 m³ Fertigbeton, welche auch hohen Qualitätsansprüchen zu genügen vermögen. In letzter Zeit sind folgende Werke eröffnet worden: Kies- und Fertigbetonwerk «Ennerberg» bei Stans, Werk Schlieren der Fertigbeton AG Zürich, Betonfabrik der Kibag AG in Zürich-Wollishofen, Fertigbeton-Fabrik der Beton AG in Volketswil ZH, Werk St. Gallen der Fertigbeton AG St. Gallen. Eine vollständige Liste aller Transportbetonwerke ist als Sonderdruck der Zeitschrift «Hoch- und Tiefbau» erschienen und kann bei der AG Verlag Hoch- und Tiefbau, 8023 Zürich, zum Preise von 3 Franken pro Stück bezogen werden.

Wir legen Wert darauf, die folgenden Ausführungen noch vor der morgen stattfindenden *Transportbeton-Tagung des SVMT* (s. SBZ 1964, H. 49, S. 871) zu veröffentlichen, um nachher auf die gegenüber dem durch Ing. Stamm festgehaltenen heutigen Stand der Frage eventuell von der Tagung zu erwartenden neuen Gesichtspunkte einzugehen. *Red.*

Bei der heutigen Hochkonjunktur, dem damit verbundenen Personalmangel und den rasch ansteigenden Lohnkosten dürfte es jedem klar werden, dass eine Rationalisierung und Automatisierung der Betriebe zur Lebensnotwendigkeit geworden ist. Im Bauwesen bietet die Anwendung des Transportbetons sicher eine hervorragende Möglichkeit zur Einsparung von Personal und zur Begrenzung des Maschinenparks.

In Dänemark errichtete der Bauunternehmer Hindhede 1926 das erste Werk in Kopenhagen. Fast gleichzeitig erfolgte die Einführung des Transportbetons in den USA, wo 1959 rund 45% der gesamten Zementproduktion an Transportbetonwerke geliefert wurden. In England bestanden zu dieser Zeit über 200 Transportbetonwerke und in Schweden etwa 150. In der Schweiz wurde 1934 die Betonfabrik Zürich (nach dänisch-amerikanischem Muster) eröffnet. Bis 1949, als in Basel die Firma Gebr. Stamm ein Transportbetonwerk eröffnete, blieb die Betonfabrik Zürich allein. Seit der Einführung in Basel machte der Transportbeton in der Schweiz verhältnismässig rasche Fortschritte.

Wir unterscheiden bei den Transportbetonwerken grundsätzlich drei Typen:

1. Das sogenannte trockene Verfahren, bei welchem eine Dosieranlage Kies/Sand und Zement in einen Transportmischer abgibt, in welchem entweder bei der Abfahrt des Transportfahrzeuges, meist aber erst auf der Baustelle, das Wasser zugegeben wird und die Mischung auf dem Transportfahrzeug erfolgt.

2. Der Transport mit Agitatoren, bei welchem der Beton im Werk fertiggemacht wird und dann mit birnenförmigen Behältern unter ständigem in Bewegung halten auf die Baustelle gebracht wird.

3. Der Transportbeton mit Kippfahrzeugen, bei welchem der Beton in der Mischanlage fertiggemacht und mit einem normalen Kipplastwagen auf die Baustelle gebracht wird.