

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

**Band:** 46 (1948)

**Heft:** 12

**Artikel:** Anwendung und Bedeutung der Froudeschen Ähnlichkeit im kulturtechnischen Wasserbau

**Autor:** Trüeb, E.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-205608>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

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

$$Y_A = \frac{[Y]_1^6}{6} = + 6316.83$$

$$X_A = \frac{[X]_1^6}{6} = - 21264.5$$

2. Die Berechnung von  $\delta$  erfolgt aus den Diagonalen 1–6 und 3, 4. Aus den Landeskoordinaten und Maschinenkoordinaten berechnen wir die Azimute  $\alpha'$  und  $\alpha$  der beiden Diagonalen.  $\delta = \alpha' - \alpha$

$$\alpha'_{6-1} = 262^g 96^c 34^{cc}$$

$$\alpha'_{3-4} = 328^g 44^c 76^{cc}$$

$$\alpha_{6-1} = \underline{266^g 79^c 65^{cc}}$$

$$\alpha_{3-4} = \underline{332^g 17^c 53^{cc}}$$

$$\delta_1 = \alpha'_{6-1} - \alpha_{6-1} = 396^g 16^c 69^{cc} \quad \delta_2 = \alpha'_{3-4} - \alpha_{3-4} = 396^g 27^c 23^{cc}$$

$$\delta_{\text{Mittel}} = 396^g 21^c 91^{cc} \quad \sin \delta = - 0.059355, \quad \cos \delta = + 0.998237.$$

(Schluß folgt)

## Anwendung und Bedeutung der Froudeschen Ähnlichkeit im kulturtechnischen Wasserbau

Von Dipl.-Ing. E. Trüeb, Zürich

Zuerst seien die Grundzüge der Froudeschen Ähnlichkeit kurz dargestellt. Es sollen die Größen in Natur mit großen, jene im Modell mit kleinen Buchstaben bezeichnet werden.

So bedeuten:

$L$  und  $l$  die Längen in m

$D$  und  $d$  die Drücke in  $t/m^2$

$V$  und  $v$  die Geschwindigkeiten in m/sec

$K$  und  $k$  die Kräfte in t

$Q$  und  $q$  die sekundlichen Wassermengen in  $m^3/sec$

$M$  und  $m$  die Massen in t/g

$T$  und  $t$  die Zeit in sec

$g$  die Erdbeschleunigung

$P$  und  $p$  die Beschleunigung in  $m/sec^2$

$g = 9,81 m/sec^2$

Das Prinzip der Froudeschen Ähnlichkeit beruht auf der Voraussetzung  $\frac{P}{p} = l$  (I), da auf beide Systeme (Natur und Modell) nur die Erdbeschleunigung wirkt.

Definieren wir  $\lambda = \frac{L}{l}$ , so folgt aus (I) für das Verhältnis entsprechender Zeiten

$$\frac{T}{t} = \tau \quad \frac{L}{T^2} = \frac{l}{t^2} \left( \text{folgt aus der Identität der Beschleunigung} \right) \quad \text{oder} \quad \frac{L}{l} = \frac{T^2}{t^2}, \quad \frac{T}{t} = \tau = \lambda^{1/2} \quad \text{(II)}$$

Aus (II) folgt für das Verhältnis der Geschwindigkeiten

$$\frac{V}{v} = \frac{L}{T} \cdot \frac{t}{l} = \frac{\lambda}{\lambda^{1/2}} = \lambda^{1/2} \quad (\text{III})$$

Ebenso folgt aus (II)  $\frac{Q}{q} = \frac{\lambda^3}{\tau} = \frac{\lambda^3}{\lambda^{1/2}} = \lambda^{5/2} \quad (\text{IV})$

Für das Verhältnis der Kräfte folgt  $\frac{K}{k} = \frac{M \cdot g}{m g} = \lambda^3 \quad (\text{V})$

Aus (V) folgt für das Verhältnis der Drücke  $\frac{D}{d} = \lambda \quad (\text{VI})$

Diese Resultate sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Verhältnis der	Faktor der Ähnlichkeit
Beschleunigungen	$l$
Längen	$\lambda$
Drücke	$\lambda$
Zeiten	$\lambda^{1/2}$
Geschwindigkeiten	$\lambda^{1/2}$
Sekundliche Abflußmengen	$\lambda^{5/2}$
Kräfte	$\lambda^3$

An den folgenden Beispielen soll gezeigt werden, daß die Froudesche Ähnlichkeit nicht nur dort anzuwenden ist, wo Resultate von Modellversuchen auf die Praxis zu übertragen sind, sondern ganz allgemein immer dort, wo Ähnlichkeitsbetrachtungen gemacht werden. (Kopie gut bewährter Bauwerke auf etwas andere Dimensionen usw.). Außerdem leistet die Kenntnis der Froudeschen Ähnlichkeit auch sehr gute Dienste zur Abkürzung und Vereinfachung von Dimensionierungsberechnungen.

### 1. Beispiel

Die Sohlenschutznormalien, herausgegeben vom SKIV., geben eine ausführliche und gute Übersicht bewährter Sohlensicherungen und Uferverkleidungen. Leider fehlen aber dort in den meisten Fällen die Angaben über die zulässige Wassermenge und auch oft über das Gefälle. (Die Wassertiefe gibt besonders für Trapezprofile wenig Aufschluß über eine mögliche Geschiebeführung, vor allem wenn keine Angaben über das Gefälle gemacht werden.)

Es sei am untenstehenden Beispiel deshalb kurz klargestellt, welche Bedeutung der Mitteilung der größten Wassermenge  $Q$  in  $\text{m}^3/\text{sec}$ , des Gefälles  $J$  und des Durchmessers  $d$  der eingebauten Pflasterung zukommt.

Aus der Praxis seien Form und Größe eines gut bewährten Tosbeckens bekannt, ebenso die größte Wassermenge  $Q$ , bei der noch keine Schäden auftreten. Der eingebaute Pflasterungsdurchmesser  $d$  betrage  $d_N = 0,50 \text{ m}$ , die größte Wassermenge  $Q_N = 10,0 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Dieses Tosbecken diene als Vorlage für ein solches, das für eine größte Wassermenge  $Q_M = 2,0 \text{ m}^3/\text{sec}$  zu dimensionieren ist.

Wir wollen nun den für dieses Tosbecken erforderlichen Pflasterungsdurchmesser berechnen. Auf den ersten Blick mag man der Ansicht sein, daß nun alle Größen einen Fünftel derjenigen der Vorlage betragen würden. Damit ergäbe sich ein maßgebender Pflasterungsdurchmesser von nur  $0,10 \text{ m}$ . Hier wird uns allerdings schon die gefühlsmäßige Schätzung vor dieser Fehldimensionierung schützen.

Wir wollen nun sehen, was die Berechnung ergibt:

Von früher wissen wir, daß  $\frac{Q_N}{Q_M} = \lambda^{5/2}$ , wenn wir für  $Q_N$  die Wassermenge der Vorlage und für  $Q_M$  jene des Dimensionierungsfalles einsetzen und für die entsprechenden Pflasterungsdurchmesser  $d_N$  bzw.  $d_M$ .

$$\text{Damit folgt } \frac{Q_N}{Q_M} = \left( \frac{d_N}{d_M} \right)^{5/2} \quad \text{oder} \quad d_M^{5/2} = d_N^{5/2} \left( \frac{Q_M}{Q_N} \right)$$

Wir kommen also auf das Schlußresultat

$$d_M = d_N \left( \frac{Q_M}{Q_N} \right)^{2/5} = 0,50 \cdot \left( \frac{2}{10} \right)^{2/5}$$

$$d_M \sim \frac{0,50}{1,9} \sim \underline{0,26 \text{ m}}$$

An dieser Stelle sei kurz auf die Geschiebetriebformel der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E.T.H. verwiesen. Für die Geschiebelosigkeit liefert diese  $d \geq \frac{q^{2/3} J}{a}$ , d. h.  $d$  ist bei gleichbleibendem Gefälle  $J$  proportional  $q^{2/3}$  ( $q$  bedeutet die Wassermenge pro sec und  $m$  Gerinnbreite) ( $a$  ist eine Konstante von der Dimension  $\text{m}^{1/3}/\text{sec}^{2/3}$ ).

Betrachten wir noch einmal unsere Gleichung zur Bestimmung des maßgebenden Pflasterungsdurchmessers, und berücksichtigen wir, daß der Ähnlichkeitsfaktor für  $q$  in  $\text{m}^3/\text{sec} \cdot \text{m} \frac{\lambda^3}{\lambda^{1/2} \cdot \lambda} = \lambda^{5/2}$  beträgt, so

wird sofort klar, daß  $d \geq \frac{q^{2/3} J}{a}$  in bezug auf die Abhängigkeit von  $q$  nur aus der Ähnlichkeitsbetrachtung folgt.

## 2. Beispiel.

Es stehe uns ein Diagramm zur Verfügung, das bei trapezförmigem Querschnitt des Gerinnes die Wassertiefe  $h$  als Funktion der Wassermenge  $Q$  und des Gefälles  $J$  für die bestimmte Sohlenbreite  $B_S = 1,00$  m zu ermitteln gestatte. Uns interessiere aber die Wassertiefe bei einer Sohlenbreite  $B_S = 1,30$  m. Bekanntlich kann die Wassertiefe  $h$  nach der Stricklerschen Formel durch Probieren gefunden werden. Dieser Weg ist aber nicht zu empfehlen, wenn uns schon ein Diagramm zur Verfügung steht, allerdings berechnet für  $B_S = 1,00$  m.

In diesem Falle können wir aber nicht schematisch auf die Froudeschen Ähnlichkeitsfaktoren zurückgreifen, denn diese setzen voraus, daß alle hydraulischen Größen sich dem Gesetz der Ähnlichkeit unterziehen.

Wir setzen aber voraus, daß der  $k$ -Wert unverändert bleibe  $\left(\frac{k_N}{k_M} = \lambda^{-1/6}\right)$ .

Aus der Stricklerschen Formel folgt  $Q = k \frac{F^{5/3}}{P^{2/3}} J^{1/2}$

oder für das Verhältnis

$$\frac{Q_N}{Q_M} = \frac{F_N^{5/3}}{P_N^{2/3}} \cdot \frac{P_M^{2/3}}{F_M^{5/3}} = \frac{\lambda^{10/3}}{\lambda^{2/3}} = \lambda^{8/3} = \lambda^{2,67}.$$

Die Froudesche Ähnlichkeit dagegen liefert  $\frac{Q_N}{Q_M} = \lambda^{5/2} = \lambda^{2,5}$ , worin eben auch die Ähnlichkeit des  $k$ -wertes berücksichtigt ist. Wir setzen dagegen in unserem Falle  $\frac{k_N}{k_M} = 1$  ( $\lambda^{8/3} \cdot \lambda^{-1/6} = \lambda^{15/6} = \lambda^{5/2}$ ).

Suchen wir die Wassertiefe  $h$  z. B. für  $Q_N = 20,0$  m<sup>3</sup>/sec, so können wir  $Q_M$  bei  $B_S = 1,00$  m berechnen

$$Q_M = \frac{Q_N}{\lambda^{8/3}} = \frac{20,0}{(1,3)^{8/3}} \text{ m}^3/\text{sec}$$

Wird mit  $Q_M$  die Wassertiefe  $h$  mit Hilfe des Diagramms ermittelt, so folgt  $h_N = \lambda h_M = 1,3 h_M$ . Damit ist das Problem gelöst und dazu auf viel bequemem Wege. Allerdings sei noch einmal darauf verwiesen, daß in diesem Falle nicht die einfache Froudesche Ähnlichkeit vorliegt.