Anwendung und Bedeutung der Froudeschen Ähnlichkeit im kulturtechnischen Wasserbau

Autor(en): **Trüeb, E.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **46 (1948)**

Heft 12

PDF erstellt am: **02.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-205608

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

$$Y_A = \frac{[Y]_1^6}{6} = +\,6316.83 \qquad X_A = \frac{[X]_1^6}{6} = -\,21264.5$$

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

$$\begin{aligned} \alpha'_{6-1} &= 262^g\,96^c\,34^{cc} & \alpha'_{3-4} &= 328^g\,44^c\,76^{cc} \\ \alpha_{6-1} &= \underline{266^g\,79^c\,65^{cc}} & \alpha_{3-4} &= \underline{332^g\,17^c\,53^{cc}} \\ \delta_1 = \alpha'_{6-1} - \alpha_{6-1} &= 396^g\,16^c\,69^{cc} & \delta_2 = \alpha'_{3-4} - \alpha_{3-4} &= 396^g\,27^c\,23^{cc} \end{aligned}$$

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

(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/m²
V und v die Geschwindigkeiten in m/sec	K und k die Kräfte in t
Q und q die sekundlichen Wassermengen in m³/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/sec²	$g = 9{,}81$ m/sec²

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

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

Aus (II) folgt für das Verhältnis der Geschwindigkeiten

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

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

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

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

Diese Resultate sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Verhältnis der	Faktor der Ähnlichkeit
Beschleunigungen	l
Längen	λ
Drücke	λ
Zeiten	$\lambda^{1/2}$
Geschwindigkeiten	$\lambda^{1/2}$
Sekundliche Abflußmengen	$\lambda^{5/2}$
Kräfte	λ^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 m^3/sec, des Gefälles J und des Durchmessers d der eingebauten Pflästerung 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 Pflästerungsdurchmesser d betrage $d_N = 0{,}50$ m, die größte Wassermenge $Q_N = 10{,}0\ m^3/sec$.

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

Wir wollen nun den für dieses Tosbecken erforderlichen Pflästerungsdurchmesser 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 Pflästerungsdurchmesser von nur 0,10 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 Pflästerungsdurchmesser d_N bzw. d_M.

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

Wir kommen also auf das Schlußresultat

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

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

An dieser Stelle sei kurz auf die Geschiebetriebformel der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E.T.H. verwiesen. Für die Geschiebelosigkeit liefert diese $d \geqq \frac{q^{2/3}\,J}{a}$, 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 $m^{1/3}/sec^{2/3}$).

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

wird sofort klar, daß $d \geqq \frac{q^{2/3} J}{a}$ 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 $Q_N = 20{,}0$ m³/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 bequemerem Wege. Allerdings sei noch einmal darauf verwiesen, daß in diesem Falle nicht die einfache Froudesche Ähnlichkeit vorliegt.