Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 2

Artikel: Druckbeanspruchte Gleitfugen
Autor: Bolliger, F. / Humm, W. / Haefeli, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-48974

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

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

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

Download PDF: 15.01.2026

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

INHALT: Druckbeanspruchte Gleitfugen. — Ueber Druckverluste in Hochdruck-Wasserkraftanlagen. — Ein Doppelwohnhaus in Burgdorf. — Elektrokessel. — Mitteilungen: Erster Einrohr-Schiffkessel, Bauart Sulzer. Forschung und Elektrotechnik. Luftschutzunterstände aus Stahl. Leichtmetall-Fahrräder «Caminade». Ueber Temperatur und Schlammfaulung. Automobil- statt Eisenbahnbetrieb bei den SBB. Grosse Druckwasserpressen. Staudämme in französisch Nordafrika. Autogiros mit senkrechtem Start. Subventionen von Hochbau-Renovationsarbeiten. Eidg. Technische Hochschule. Das biegsame polarisierende «Glas» «Polaroid». — Wettbewerbe: Reformierte Kirche Zürich-Altstetten. Katholische Kirche Berneck (St. Gallen). — Literatur. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 109 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 2

Druckbeanspruchte Gleitfugen

Von Ing. F. BOLLIGER, Basel, Dr. W. HUMM u. Ing. R. HAEFELI, Zürich

Durch die Anordnung von druckbeanspruchten Gleitfugen können im Beton- und Eisenbetonbau öfters die statischen Verhältnisse günstig beeinflusst werden. Wenn solche Fugen bis anhin trotzdem nur selten angewendet worden sind, so hauptsächlich deshalb, weil ihre Durchbildung konstruktiv und theoretisch noch ungenügend geklärt ist. Die nachfolgenden Ausführungen mögen als Beitrag zur Behebung dieses Mangels dienen.

Problemstellung

Zur Orientierung über die Anwendungsmöglichkeit druckbeanspruchter Gleitfugen sei beispielsweise auf das Gebiet der Gewölbestaumauern hingewiesen. Verschiedenenorts sind diese Sperren trotz ihrer monolithischen Bauart unter der allzu rohen Annahme berechnet worden, dass sie aus einzelnen horizontalen Gewölbelamellen bestehen, die sich unabhängig von einander horizontal deformieren können. Wie die statische Ueberlegung erwarten lässt und Messungen an ausgeführten Staumauern auch zeigten, kann im monolithisch durchgebildeten Bauwerk je nach der Form des Talprofiles die freie Gewölbedeformation durch die Mauereinspannung an der Sohle verhältnismässig stark gehemmt werden. Da diese Deformationshemmung sich in der Regel ungleichmässig über die Sperre verteilt und an den Flanken meist stärker zur Auswirkung kommt als im höchsten Mauerteil über dem Talweg, so wird auch die sonst annähernd gleichförmige Verteilung der Gewölbebelastungen eine Aenderung erfahren. Ungleichmässige Gewölbebelastungen können aber eine Zunahme der Exzentrizität der Drucklinie bezüglich der Gewölbeaxe und somit eine Aenderung der Spannungsverhältnisse bewirken. Trotz der Entlastung, die die horizontalen Gewölbelamellen einer Sperre durch die gleichzeitig tragenden, an der Sohle eingespannten vertikalen Mauerstreifen erfahren, und obwohl die zwischen den einzelnen Lamellen, bezw. Streifen wirkenden — rechnerisch nicht einwandfrei erfassbaren — Schubspannungen eine erwünschte Verteilung der Beanspruchungen und somit eine Verkleinerung ihrer Grenzwerte zur Folge haben, können örtlich unter Umständen doch unzulässige Spannungswerte auftreten. Die Vermeidung solcher unzulässiger Beanspruchungen durch eine Aenderung der Mauerform ist oft nicht möglich, da das Bauwerk verschiedenen Belastungszuständen genügen muss und die örtlichen Verhältnisse die Freiheit in der Anordnung begrenzen können. Auf alle Fälle aber kann durch die Sohleneinspannung das Spannungsbild einer Gewölbesperre recht unklar werden und dies besonders in den Randpartien — ein Zustand, den der Statiker nicht gern sieht.

Wenn auch mit vollem Recht die monolithische Staumauer schon ihrer einfacheren Ausführung wegen ihre Stellung überall dort mit bestem Erfolg behaupten wird, wo zufolge der günstigen Form des Talprofiles die übliche Berechnung unter Berücksichtigung der Sohleneinspannung zulässige Spannungsverhältnisse erwarten lässt, so kann anderorts doch durch die Anordnung von horizontalen Gleitfugen, die die Einwirkung der Sohleneinspannung auf das Mauerwerk vermindern, eine klarere Spannungsverteilung und eine merkliche Verbesserung der statischen Verhältnisse überhaupt erzielt werden (Abb. 1). Solche Gleitfugen erlauben somit auch den bezüglich Materialaufwand sparsamen Gewölbemauertyp in ziemlich offenen Talprofilen zur Ausführung zu bringen, wo bis anhin allein Bauten nach dem Gewichtsmauer- oder dem Pfeilersperrentyp zulässig erschienen.

Eine entsprechende teilweise «Befreiung» von der Einspannung durch die Anordnung von Gleitfugen kann auch bei andern Konstruktionen, wie bei den oben erwähnten Pfeilersperren mit Gewölben oder Platten als primärem Tragglied, Flüssigkeitsbehältern usw., erwünscht sein (Abb. 2 u. 3).

Die Eigenschaften, die druckbeanspruchte Gleitfugen aufweisen müssen, damit sie die erstrebten statischen Vorteile bieten, sind die folgenden: Das Fugenmaterial muss ohne merkliche Zusammendrückung und Ausquetschung stets im Stande sein, senkrecht zur Fugenebene Pressungen zu übertragen bis zur Grössenordnung der zulässigen Druckbeanspruchung des Baumateriales. Der Widerstand, den das Material Gleitbewegungen in der Richtung der Fugenebene bis zur Verschiebungsgrösse von rd. 1 cm entgegensetzt, darf weiterhin nur gering sein und zwar merklich kleiner als die grössern Schubspannungen, die bei ungünstigen Belastungszuständen im monolithischen Bauwerk in der Fugenebene auftreten würden, da nur dann die gewollte «Entspannung» möglich wird. Hierbei ist zu beachten, dass die Geschwindigkeit der Gleitbewegungen naturgemäss nur klein sein wird, da die Bewegungen als Fuge der durch Belastung, Entlastung, Temperaturänderung, Schwinden usw. bedingten Deformationen des Bauwerkes den langsamen Aenderungen dieser äussern Einflüsse entsprechen. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Fugenmateriales sollen nicht nur im Lauf von Jahrzehnten beständig bleiben, bezüglich der jährlichen und täglichen Temperaturwechsel soll auch eine gewisse Unempfindlichkeit vorhanden sein. Schliesslich ist für Wasserbauten die selbstverständliche Forderung der Wasserdichtigkeit zu stellen.

In der Schweiz ist das Problem der Anwendung von druckbeanspruchten Fugen bei Gewölbesperren bereits im Jahre 1921 anlässlich des Baues der Staumauer Pfaffensprung[1]) diskutiert worden. Als erste Ausführung ist inzwischen unter Leitung von Prof. Pena Boeuf in Spanien die in Lamellen unterteilte Staumauer von Isbert erstellt worden. Diese erstmalige Verwirklichung eines an sich naheliegenden Gedankens konnte die Fachwelt aber nicht restlos von der Güte der dort vorgesehenen

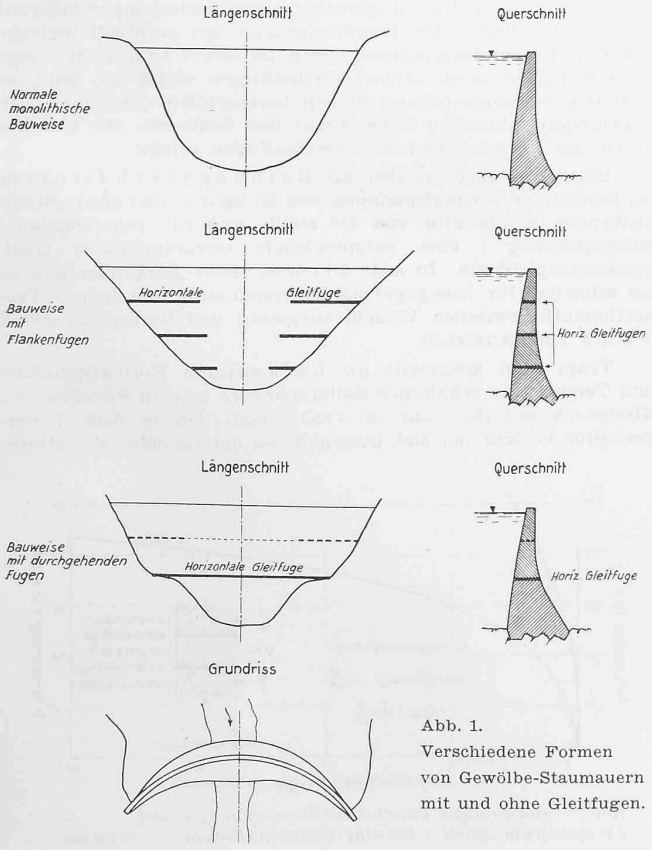

Abb. 1. Verschiedene Formen von Gewölbe-Staumauern mit und ohne Gleitfugen.

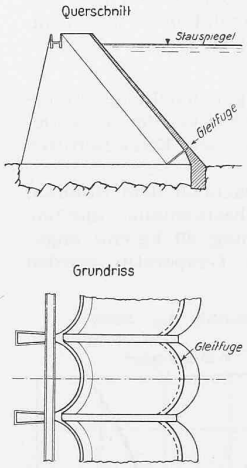

Abb. 2. Pfeilersperre.

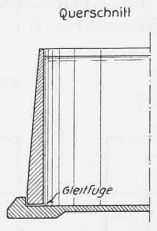

Abb. 3. Behälter.

[1]) Vergl. eingehende Beschreibung in «SBZ» Bd. 86, S. 241* (1925).

Unterteilung überzeugen, da die Ausbildung der Fugen in materialtechnischer Hinsicht den theoretischen Voraussetzungen der statischen Berechnungen nicht in genügendem Masse gerecht wird. Das Ingenieurbureau Dr. H. E. Gruner (Basel) hat deshalb gemeinsam mit dem chemisch-technischen Laboratorium der Firma Kaspar Winkler & Cie. (Zürich) durch eingehende Studien und Versuche die Möglichkeit der einwandfreien Ausführung druckbeanspruchter Gleitfugen näher geprüft, worüber im Folgenden berichtet werden soll.

Fugenausbildung, Anordnung und Durchführung der Versuche

Die Bedingung, dass das Fugenmaterial den Gleitbewegungen nur einen geringen Widerstand bieten darf, führte zur Herstellung von besonderen Gleitmassen. Da eine solche Masse zum Ausgleich allfälliger Unebenheiten der Unterlage in einer gewissen minimalen Stärke aufgebracht werden muss, ergibt sich die Notwendigkeit, das Ausquetschen und Zusammendrücken derselben durch eine stützende anpassungsfähige Einlage zu verhindern.

Eine Reihe von Vorversuchen mit zahlreichen Fugenmaterialien führte zur Herstellung einer 3 mm starken Fugenschicht, bestehend aus einem Asbestgewebe, das in einer als «MR 1 — 78» bezeichneten Gleitmasse eingebettet war. Diese für die praktische Anwendung sehr geeignet erscheinende Ausführungsart wurde durch die nachstehend beschriebenen Versuche einer eingehenden mechanischen Prüfung unterzogen. Die Unterlage, auf die das Fugenmaterial aufgebracht wird, soll natürlich möglichst glatt und eben sein. Bei den Versuchskörpern bestand die entsprechende Behandlung der Oberfläche absichtlich nur in einem Glattstreichen des frischen Betons, also einer Massnahme, die auch bei einer Bauausführung leicht anwendbar ist.

Die Versuchsanordnung war die folgende: Ein Betonprisma von 6 cm Höhe, auf dessen parallele Grundflächen (je 12 mal 12 cm) das oben erwähnte Fugenmaterial aufgezogen war, wurde mittels eines eisernen Rahmens zwischen zwei gleiche Betonprismen eingespannt (Abb. 4). In den beiden Fugenflächen wurden durch vier Stahlfedern von eichfähiger Präzision und je 1000 kg Maximallast Normalspannungen, sowie durch eine Stahlfeder von 300 kg Maximallast Schubspannungen erzeugt und die Querverschiebung des mittleren Prismas bewirkt. Sämtliche Stahlfedern wurden vor ihrer Verwendung in einer Amslerschen Prüfmaschine eingehend geprüft. Die Messung der Zusammendrückung und der Querverschiebung erfolgte mittels eines Whittmore-Huggenberger-Deformeters, das kleinste Längenänderungen von 0,25 . 10^{-3} mm abzulesen gestattet.

Für die Durchführung der Versuche war die Erkenntnis massgebend, dass der Gleitwiderstand, bezw. die Reibungszahl tg φ für eine gegebene Fugenausbildung hauptsächlich von den drei Faktoren Normalspannung σ, Gleitgeschwindigkeit v und Temperatur t des Fugenmateriales abhängig ist, d. h. dass gilt:

$$\operatorname{tg}\varphi = \Phi\ (\sigma,\ v,\ t) \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad 1)$$

Um Klarheit über die Güte einer Fugenausbildung zu erhalten, müssen somit die Reibungsverhältnisse bei den verschiedensten praktisch vorkommenden Werten der Einzelfaktoren überprüft werden.

Da die ausgeführten Versuche hauptsächlich dem Studium der Unterteilungsmöglichkeit einer Gewölbestaumauer dienten, wurde als obere Grenze der Normalspannung 20 kg/cm² angenommen. Als Versuchsgrenzwerte für die Temperatur wurden — 1° und + 18° gewählt. Bezüglich der Grössenordnung der bei Staumauern auftretenden Gleitgeschwindigkeiten, beispielsweise aus Temperaturänderung, sei folgendes erwähnt: Die maximale Durchbiegung f des Scheitels eines Gewölbes gegenüber seiner Mittelstellung, die durch die periodischen sinusförmig verlaufenden Aenderungen der mittleren Betontemperatur bewirkt wird, kann berechnet werden (Abb. 5). Für diese Deformation ergibt sich die grösste Verschiebungs- oder Gleitgeschwindigkeit für die Periode T_0 zu:

$$v_{max} = f \cdot \frac{2\pi}{T_0} \quad . \ . \ . \quad (2)$$

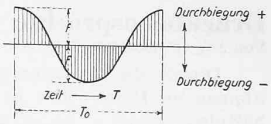

Abb. 5.

wobei T_0 für tägliche Temperaturschwankungen ein Tag und für jährliche ein Jahr beträgt. Nehmen wir beispielsweise $f = 5$ mm an, so ergeben sich folgende Werte für die maximale Gleitgeschwindigkeit:

Tagesschwankung $v_{max} = 21{,}8 \cdot 10^{-3}$ mm/min
Jahresschwankung $v_{max} = 0{,}06 \cdot 10^{-3}$ mm/min

Berücksichtigt man ferner, dass es sich in Wirklichkeit bei der Reibungsentwicklung in Gleitfugen von unterteilten Gewölbesperren gewöhnlich nur um die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den beiden durch die Fuge getrennten Gewölbelamellen handelt, so erkennt man, dass die in Frage stehenden Gleitgeschwindigkeiten meistens nur sehr klein sein werden. Für die Versuche wurde deshalb als grösste zu berücksichtigende Gleitgeschwindigkeit $v_{max} = 40 \ .10^{-3}$ mm/min festgesetzt.

Das Versuchsprogramm war somit das nachfolgende:

Bei einer konstanten Temperatur von 18° wurden für die maximale Normalspannung $\sigma = 20$ kg/cm² der zeitliche Verlauf der Zusammendrückung und bei gleichbleibender Normalspannung die Abhängigkeit der Scherspannung, bezw. der Reibungszahl von der *Gleitgeschwindigkeit* festgestellt. Sodann wurde für eine gegebene Gleitgeschwindigkeit und Temperatur die zwischen Scher- und Normalspannung bestehende Beziehung ermittelt. Schliesslich wurde für eine gegebene Normalspannung der Einfluss einer tiefern Temperatur auf den Gleitvorgang untersucht.

Versuchsergebnisse

Zur Beurteilung der Zusammendrückbarkeit der 3 mm starken Fugenschicht sei erwähnt, dass sich für eine konstante Normalspannung von 20 kg/cm² nach 24stündiger Belastungsdauer eine Zusammendrückung von 0,2 mm und nach weiteren 24 Stunden ein Setzungszuwachs von weniger als 0,001 mm ergab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der verhältnismässig kleine Probekörper hinsichtlich seiner Zusammendrückbarkeit wesentlich ungünstigere Randbedingungen aufweist als das Bauobjekt. Bei Gewölbemauern, wo eventuell mehrere Horizontalfugen übereinander liegen, ist ferner zu beachten, dass im Bauzustand auch offene Vertikalfugen vorhanden sind, so dass der Setzungsvorgang in den horizontalen Gleitfugen sich ungehindert vollziehen kann, bevor das Schliessen der Gewölbe durch das Ausbetonieren der Vertikalfugen erfolgt.

Bei den Versuchen über die Reibungsverhältnisse bei konstanter Normalspannung von 20 kg/cm² und einer gleichbleibenden Temperatur von 18° stellte sich für jede konstante Scherspannung τ eine entsprechende unveränderliche Gleitgeschwindigkeit ein. In Abb. 6 kommt dieser Zusammenhang in der scharfen, für jede gegebene Scherspannung bestehenden Proportionalität zwischen Verschiebungsweg und Verschiebungszeit deutlich zum Ausdruck.

Trägt man anderseits die für konstante Normalspannung und Temperatur erhaltenen Reibungswerte tg φ in Funktion der *Gleitgeschwindigkeit* auf, so erhält man den in Abb. 7 dargestellten Verlauf, der sich innerhalb des untersuchten Variations-

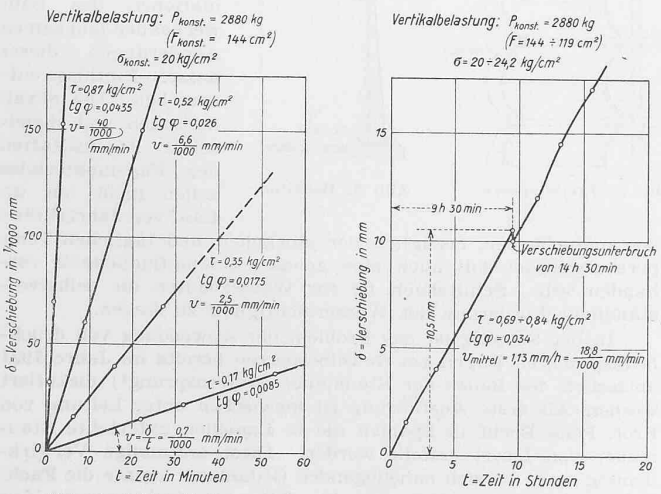

Abb. 6. Links kleine, rechts grosse Verschiebungen in Funktion der Zeit, bei 18° C.

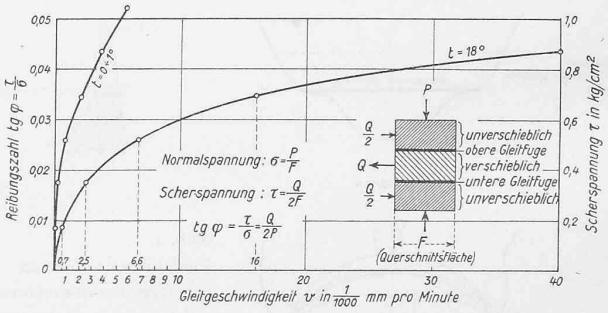

Abb. 7. Beziehungen zwischen Reibungszahl tg φ und Gleitgeschwindigkeit v für eine Vertikalbelastung $\sigma = 20$ kg/cm².

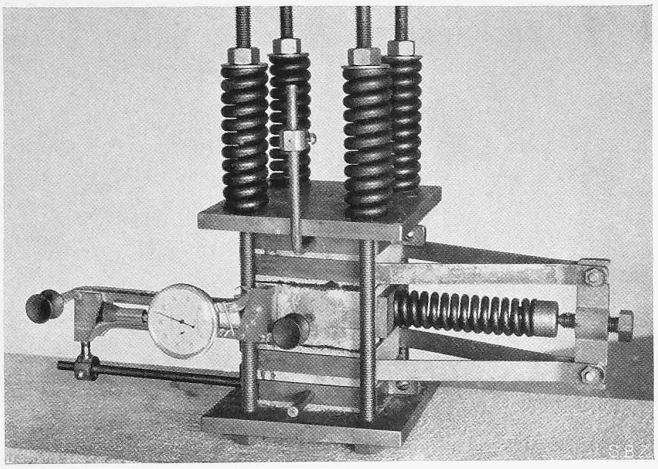

Abb. 4. Ansicht der Versuchs-Einrichtung.

bereiches der Gleitgeschwindigkeit durch folgenden Ansatz formulieren lässt:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\tau}{\sigma} = \alpha + \beta \cdot \ln\lambda \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Darin bedeuten:

τ, σ = Scher-, bezw. Normalspannung in der Gleitfläche,

α, β = Konstante (abhängig von Material, Normalspannung, Temperatur),

$$\lambda = \frac{v}{v_1} + e^{-\frac{\alpha}{\beta}} = \text{Geschwindigkeitsmass}$$

v = effekt. Gleitgeschwindigkeit in 10^{-3} mm/min

v_1 = Vergleichsgeschwindigkeit = $1 \cdot 10^{-3}$ mm/min

Gl. 3 erfüllt die Bedingung, dass für $v = o$ auch $\operatorname{tg}\varphi = o$ sein wird.

Trägt man gemäss Abb. 8 das Geschwindigkeitsmass λ im logarithmischen Masstab auf, so lässt sich Gl. 3 durch eine Gerade vom Ordinatenabschnitt α und dem Neigungsmass β darstellen.

Wesentlich für die praktische Anwendung ist, dass der Reibungswiderstand für gegebene Fugenausbildung, Normalspannung und Temperatur mit wachsender Gleitgeschwindigkeit nach einem bestimmten Gesetz zunimmt, für die tatsächlich vorkommenden kleinen Gleitgeschwindigkeiten jedoch stets in sehr mässigen Grenzen bleibt.

Die Ergebnisse der Versuche über die Abhängigkeit der innern Reibung von der *Normalspannung* bei gegebener konstanter Gleitgeschwindigkeit (v = 5 mm in 24 Std.) und Temperatur sind in Abb. 9 dargestellt. Es zeigt sich, dass in diesem speziellen Fall das Coulomb'sche Reibungsgesetz zu Recht besteht, d. h. dass gilt:

$$\tau = c + \mu \cdot \sigma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

worin bedeuten:

c = Kohäsion (spez. Scherwiderstand für $\sigma = o$)

μ = Neigungsmass der Coulomb'schen Geraden.

Für ein und dieselbe Fugenausbildung und eine gegebene Temperatur sind c und μ als Parameter, die den Einfluss der Gleitgeschwindigkeit zum Ausdruck bringen, zu betrachten.

Aus Gleichung 4 folgt:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\tau}{\sigma} = \frac{c}{\sigma} + \mu \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Aus Gleichung 5 ist ersichtlich, dass die Reibungszahl tg φ mit zunehmender Normalspannung σ rasch abnimmt, um sich einem unteren Grenzwert (μ) zu nähern.

Im Verlauf der Versuche wurde festgestellt, dass mehrmaliges und entgegengesetzt gerichtetes Verschieben der Prüfkörper auf die Reibungsverhältnisse ohne Einfluss war. Am Gleitvorgang ist die Asbesteinlage nicht beteiligt; dieser geht zwischen der Einlage und der Betonfläche vor sich.

Ueber den Einfluss tiefer *Temperaturen*, die sich im Sinne einer Erhöhung des Reibungswiderstandes im Fugenmaterial auswirken, orientiert Abb. 7. Die Versuche ergaben bei einer Temperatur von rd. 0° (gleichbleibende Normalspannung σ = 20 kg/cm² vorausgesetzt) etwa doppelt so grosse Reibungswerte wie bei einer Temperatur von 18°.

Die Möglichkeit einer Anpassung der physikalischen Eigenschaften des Fugenmaterials an die jeweils vorliegenden Beanspruchungen gestattet, den verschiedenartigen Anforderungen der Praxis weitgehend zu entsprechen.

Schlussfolgerungen

Die oben beschriebenen Resultate zeigen, dass der Versuch zur Herstellung von druckbeanspruchten Gleitfugen als gelungen zu betrachten ist. Das untersuchte Fugenmaterial vereint die geforderte Eigenschaft einer geringen Zusammendrückbarkeit mit der Bedingung eines sehr kleinen Gleitwiderstandes für kleine Geschwindigkeiten.

Die festgestellte Abhängigkeit der innern Reibung des Fugenmateriales von der Gleitgeschwindigkeit bei konstanter Normalspannung einerseits und von der Normalspannung bei gleichbleibender Gleitgeschwindigkeit anderseits ist von allgemeinerer Bedeutung.

Die Anordnung von auf Druck beanspruchbaren Gleitfugen, die bei Verwendung einer ihrem Zweck angepassten Gleitmasse grundsätzlich möglich ist, ergibt neue und technisch interessante Richtlinien für die Lösung verschiedener konstruktiver Probleme des Beton- und Eisenbetonbaues.

Ueber Druckverluste in Hochdruck-Wasserkraftanlagen

Ing. G. Mathys, Basel, hat im «Bulletin technique de la Suisse romande» vom 25. April und 9. Mai 1936 einen Aufsatz veröffentlicht, dem wir folgendes entnehmen. Beim Projektieren eines Hochdruckkraftwerkes wird dem Wirkungsgrad der Wasser-Zu- und Ableitungsorgane meist bedeutend weniger Gewicht beigemessen als dem Wirkungsgrad der Maschinen. Es hat dies seinen Grund darin, dass der Bauingenieur selten in die Lage kommt, eine ununterbrochene Reihe von Wasserkraftanlagen bis in alle Einzelheiten zu bearbeiten und auszuführen, wie dies etwa beim Turbinenbauer der Fall ist. Dann sind die Zuleitungsorgane der Wasserkraftanlagen viel mannigfaltiger zusammengestellt als die Teile einer Maschine, und die Wirkungsgrade, bezw. die Reibungsverluste ihrer einzelnen Teile sind noch wenig bekannt. Doch schon allein der Umstand, dass für die modernen schweizerischen Anlagen dieser Wirkungsgrad etwa zwischen 80 und 95 % schwankt, lässt Fortschritte möglich erscheinen. Der Druckverlust der Hauptzuleitungsorgane kann schon allein durch Beachtung folgender Punkte vermindert werden:

Druckleitung. 1. Möglichst geradlinige Führung der Druckleitung gegen das Maschinenhaus zu. Zwar befürworten noch viele Ingenieure eine seitliche Anordnung der Druckleitung, aber mehrere Rohrbrüche der letzten Jahre haben bewiesen, dass die Terraingestaltung, die Lage der Bruchstelle und die Art, wie das Wasser aus der Druckleitung austritt, die Richtung des abfliessenden Wassers viel eher bestimmen, als die Lage der Druck-

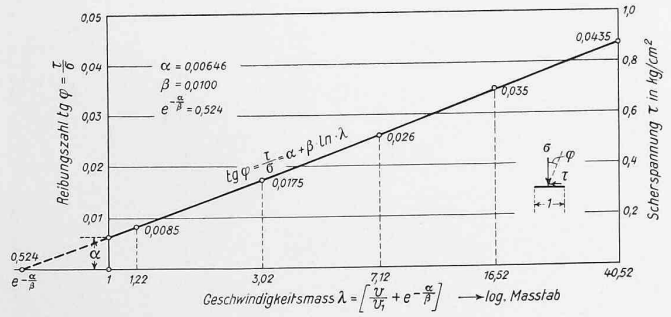

Abb. 8. Beziehungen zwischen Reibungszahl tg φ und Gleitgeschwindigkeit v für σ = 20 kg/cm² und Temperatur t = 18° C.

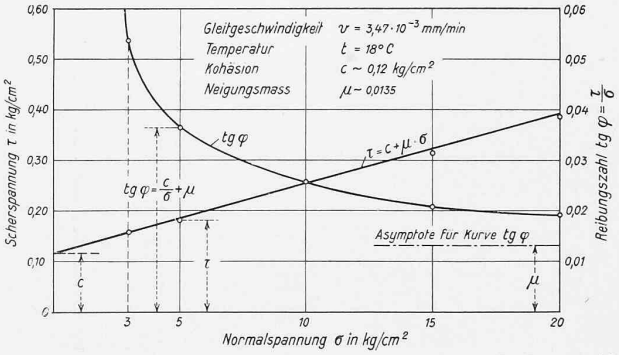

Abb. 9. Beziehungen zwischen Scherspannung τ, bezw. Reibungszahl tg φ u. Normalspannung σ für t konst. u. gegebene Gleitgeschwindigk.