Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 75 (1957)
Heft: 52: 75 Jahre SBZ

Artikel: Zur Dauerfestigkeit von Schweissverbindungen
Autor: Stüssi, Fritz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-63466

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: 13.12.2025

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

Zur Dauerfestigkeit von Schweissverbindungen

DK 621.791.052:539.43

Von Prof. Dr. **Fritz Stüssi**, ETH, Zürich

1. Das heutige Heft der Schweizerischen Bauzeitung soll einem Rückblick und Ausblick auf die Entwicklung der von der Jubilarin vertretenen Fachgebiete gewidmet sein. Für den Stahlbauer ist es naheliegend, seinen Glückwunsch an die Bauzeitung mit einigen Ueberlegungen und Feststellungen über die Schweisstechnik zu verbinden, die die Entwicklung des Stahlbaues während der letzten zwei oder drei Jahrzehnte stark beeinflusst hat und auch in Zukunft beeinflussen wird.

Wenn wir heute auf die ersten geschweissten Tragwerke im Stahlbau zurückblicken, so dürfen wir feststellen, dass in bezug auf eine schweissgerechte bauliche Ausbildung der Verbindungen wertvolle Arbeit geleistet worden ist. Auch die Grundlagen für eine zweckmässige Materialauswahl haben sich entscheidend abgeklärt und verbessert. Die Herstellungs- und Kontrollverfahren wurden stark ausgebaut und entwickelt. Dagegen besteht in unseren Normen immer noch eine wesentliche Lücke in bezug auf die Grösse der zulässigen Spannungen, die der Bemessung geschweisster Verbindungen zu Grunde zu legen sind; unsere Normen geben Abminderungswerte für die Festigkeit von Schweissnähten gegenüber dem Grundmaterial (gelochter Zugstab) an, die aus Versuchen mit Ursprungsbelastung $\sigma_{min} = 0$ abgeleitet worden sind und deshalb auch nur für diese gültig sein können. Für negative Spannungsverhältnisse $\alpha < 0$,

$$\alpha = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

sind unsere Normenwerte zu günstig, für $\alpha > 0$ dagegen zu ungünstig. Es ist notwendig, unsere Normen in dieser Beziehung auf Grund von neuen Versuchswerten zu verbessern. Dazu soll nachstehend ein richtungweisender Beitrag geleistet werden.

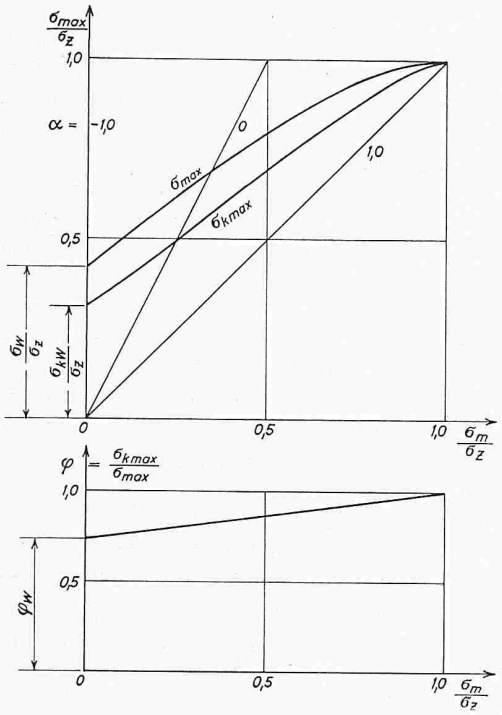


Bild 1.

2. Kürzlich hat Dr. *C. Popp* [1]) über neue Dauerfestigkeitsversuche der Deutschen Bundesbahn orientiert. Die hier mitgeteilten ersten Versuchsergebnisse an stumpf geschweissten Stäben aus St. 37 und St. 52 führten mich zur Feststellung, dass die Dauerfestigkeit dieser Verbindungen gegenüber dem Grundmaterial sich grundsätzlich gleich verhalte wie die Festigkeit gekerbter oder gelochter Stäbe [2]) [3]).

In der Zwischenzeit sind weitere Ergebnisse dieser Versuche sowohl für Stäbe aus St. 37 [4]) wie aus St. 52 [5]) veröffentlicht worden. Damit besteht die Möglichkeit, die festgestellte Analogie der Dauerfestigkeit geschweisster Verbindungen mit der Festigkeit von Kerbstäben auf breiterer Grundlage

[1]) *C. Popp:* Neuere Erkenntnisse und Versuchsergebnisse anlässlich der Neubearbeitung der Vorschriften der Deutschen Bundesbahn für die Berechnung geschweisster Eisenbahnbrücken. V. Kongress der IVBH, Lissabon 1956, Vorbericht S. 483.

[2]) *F. Stüssi:* Die Theorie der Dauerfestigkeit und die Versuche von August Wöhler. «Mitt. der TKVSB», Nr. 13, Zürich 1955.

[3]) *F. Stüssi:* Zur Dauerfestigkeit von Schweissnähten. V. Kongress der IVBH, Lissabon 1956, Schlussbericht S. 351.

[4]) *S. Wintergerst* u. *E. Rückerl:* Untersuchungen der Dauerfestigkeit von Schweissverbindungen mit St. 37. «Der Stahlbau», 26. Jhg. 1957, Heft 5.

[5]) *K. Klöppel:* Ueber neue Dauerfestigkeitsversuche mit Schweissverbindungen aus St. 52 und neue zulässige Spannungen. V. Kongress der IVBH, Lissabon 1956, Schlussbericht S. 355.

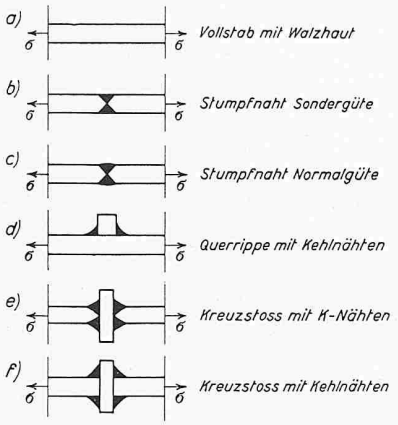
Tabelle 1: Versuchswerte σ_{kmax} in t/cm² für $n = 2 \cdot 10^6$:

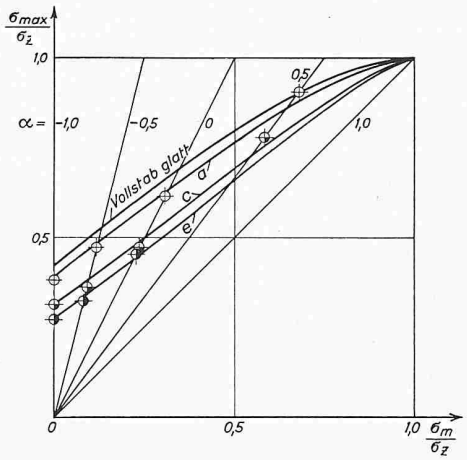
Versuch	St. 37					St. 52				
$\alpha =$	—1,0	0,5	0	0,5	1,0	—1,0	0,5	0	0,5	1,0
a	1,65	2,10	2,65	4,10	4,32	2,05	2,47*	3,32	4,65	5,05
b	1,58	2,05	2,60	3,85	4,627	1,85	2,25	2,82	4,15	5,217
c	1,40	1,55	2,05	3,70	4,43	1,65	1,95	2,55	3,80	5,326
d	1,42	1,70	2,15	—	4,37	1,51**	1,80	2,50	—	5,25
e	1,20	1,55	2,41	—	4,44	1,425	1,575	1,95	—	5,25
f	0,72	0,88	1,05	—	4,43	0,80	0,98	1,20	—	5,30
Mittel					$\sigma_z = 4{,}43$ t/cm²					$\sigma_z = 5{,}23$ t/cm²

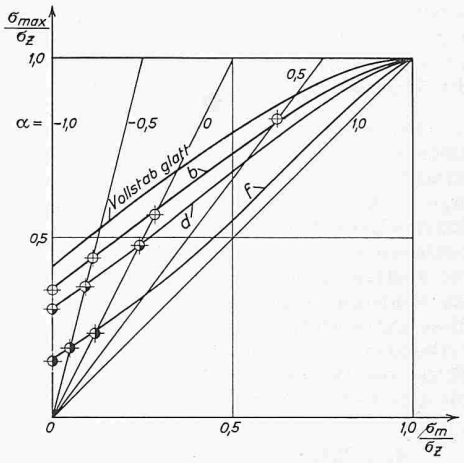
* Mittel aus 2,44 (C. Popp [1]) und 2,50 (K. Klöppel [5])
** Mittel aus 1,50 und 1,52 (K. Klöppel [5]).

Tabelle 2: Spezifische Versuchswerte $\frac{\sigma_{kmax}}{\sigma_z}$

Versuch	St. 37					St. 52				
$\alpha =$	—1,0	—0,5	0	0,5	1,0	—1,0	—0,5	0	0,5	1,0
a	0,372	0,474	0,598	0,925		0,392	0,472	0,635	0,889	
b	0,356	0,462	0,586	0,868		0,354	0,430	0,539	0,793	
c	0,316	0,350	0,462	0,834	1,000	0,315	0,373	0,487	0,726	1,000
d	0,320	0,383	0,485	—		0,289	0,344	0,478	—	
e	0,271	0,350	0,543	—		0,272	0,301	0,373	—	
f	0,162	0,198	0,237	—		0,153	0,187	0,229	—	







a) ⊕ Vollstab mit Walzhaut, $\varphi_W \cong 0{,}92$
c) ⊕ Stumpfnaht Normalgüte, 0,74
e) ⊕ Kreuzstoss mit K-Nähten, 0,66

b) ⊕ Stumpfnaht Sondergüte, $\varphi_W \cong 0{,}85$
d) ⊕ Querrippe mit Kehlnähten, 0,72
f) ⊕ Kreuzstoss mit Kehlnähten, 0,38

Bild 2 (oben).

Bild 3 (rechts).

zu überprüfen und daraus Richtlinien für zukünftige Versuche und die Formulierung ihrer Ergebnisse aufzustellen.

3. Für einen glatten Stahlstab (ohne Walzhaut), der einer zwischen den Grenzen σ_{min} und σ_{max} veränderlichen Normalspannung unterworfen wird, wird die halbe Schwingungsweite $\Delta\sigma$,

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

für eine bestimmte Lastwechselzahl n, beispielsweise $n = 2 \cdot 10^6$, durch die Beziehung [2])

$$(1) \qquad \Delta\sigma = \sigma_w \frac{\sigma_z\,(\sigma_z - \sigma_m)}{\sigma_z\,(\sigma_z - \sigma_m) + \sigma_m\,\sigma_w}$$

erfasst, wobei σ_w die der Lastwechselzahl n entsprechende Wechselfestigkeit, σ_z die Zugfestigkeit und σ_m die Mittelspannung,

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

bedeuten. Die Spannungsgrenzwerte sind daraus mit

$$\sigma_{max} = \sigma_m + \Delta\sigma, \qquad \sigma_{min} = \sigma_m - \Delta$$

gegeben.

Vergleichen wir nun die Dauerfestigkeit σ_{kmax} eines Kerbstabes mit der Dauerfestigkeit σ_{max} des Grundmaterials (glatter Vollstab) bei gleicher Lastwechselzahl n und gleicher Mittelspannung σ_m (Bild 1), so finden wir den überraschend einfachen Zusammenhang, dass die Verhältniszahl φ

$$\varphi = \frac{\sigma_{kmax}}{\sigma_{max}}$$

linear von der Mittelspannung σ_m abhängig ist,

$$(2) \qquad \varphi = \varphi_w + (1 - \varphi_w)\,\frac{\sigma_m}{\sigma_z} = \frac{\varphi_w\,\sigma_z + (1 - \varphi_w)\,\sigma_m}{\sigma_z}$$

Es zeigt sich, dass der Einfluss der Walzhaut einer merklichen Kerbwirkung gleichzusetzen ist.

Tabelle 3: Mittelwerte $\frac{\sigma_{kmax}}{\sigma_z}$

α	—1,0	—0,5	0	0,5	1,0
a	0,382	0,473	0,616	0,907	1,000
b	0,355	0,446	0,563	0,831	1,000
c	0,316	0,361	0,475	0,780	1,000
d	0,304	0,364	0,481	—	1,000
e	0,272	0,325	0,458	—	1,000
f	0,158	0,193	0,233	—	1,000

4. Nachstehend sollen nun die Ergebnisse der erwähnten Versuche [1]) [4]) [5]) der Deutschen Bundesbahn an geschweissten Stäben nach Bild 2 mit unserer Theorie der Dauerfestigkeit des Kerbstabes verglichen werden. Die Versuchswerte für $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

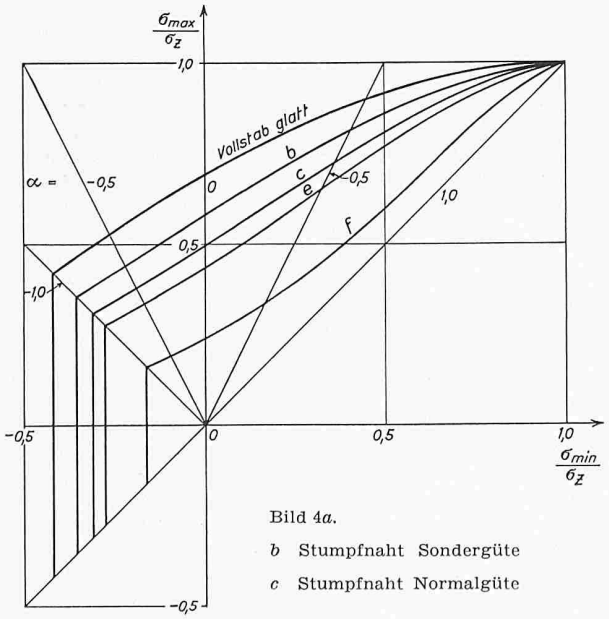


Bild 4a.

b Stumpfnaht Sondergüte

c Stumpfnaht Normalgüte

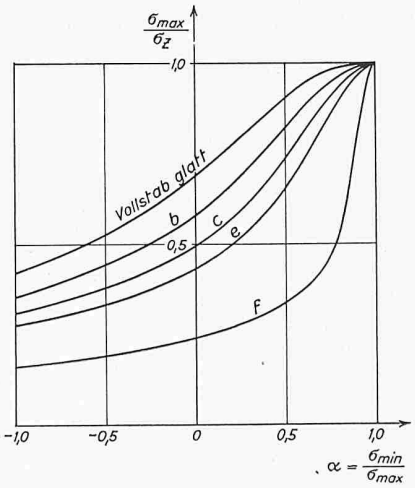


Bild 4b.

e Kreuzstoss mit K-Nähten

f Kreuzstoss mit Kehlnähten

Der als St. 37 untersuchte Stahl ist eindeutig als St. 44 anzusprechen.

Um die Versuchswerte für die beiden Stahlsorten übersichtlicher miteinander vergleichen zu können, sind in Tabelle 2 die spezifischen, auf die Zugspannung σ_z = 4,43 bzw. 5,23 t/cm² bezogenen Festigkeitswerte zusammengestellt.

Es ist anzunehmen, dass zwischen den spezifischen Festigkeitswerten der beiden Stahlsorten systematische Unterschiede bestehen, doch liegen offensichtlich auch deutliche zufällige Streuungen vor, die die systematischen Unterschiede stark überschatten. Da es uns hier nicht auf absolute Zahlenwerte, sondern nur auf grund-

sätzliche Zusammenhänge ankommt, dürfte es zweckmässig sein, die in Tabelle 3 zusammengestellten Mittelwerte der spezifischen Festigkeiten beider Stahlsorten dem Vergleich mit der Theorie zugrundezulegen.

Es ist schade, dass bei diesen Versuchen die Dauerfestigkeitswerte des glatten Vollstabes ohne Walzhaut nicht bestimmt worden sind, denn diese bilden die eigentliche Grundlage der Auswertung. Diese Grundlage muss deshalb hier durch Extrapolation bestimmt werden, indem wir diejenige Wechselfestigkeit σ_w des Grundmaterials suchen, für die die berechneten Festigkeitswerte gegenüber den Versuchswerten die kleinste Fehlerquadratsumme ergeben; wegen der Streuungen ist diese Extrapolation natürlich mit einer gewissen Unsicherheit verbunden. Die durchgeführten Berechnungen ergeben, dass im Mittel die Wechselfestigkeit σ_w des Grundmaterials (immer für $n = 2 \cdot 10^6$) etwa bei

$$\sigma_w = 0{,}42 \cdot \sigma_z$$

liegen muss. Damit kann aus Gleichung 1 die Kurve $\Delta\sigma$ bzw. $\sigma_{max} = \sigma_m + \Delta\sigma$ berechnet werden. Darauf liefert Gleichung (2) mit

$$\sigma_{kmax} = \sigma_{max} \cdot \varphi = \sigma_{max} \frac{\varphi_w (\sigma_z - \sigma_m) + \sigma_m}{\sigma_z}$$

aus den Versuchswerten σ_{kmax} die Verhältniszahl

$$\varphi_w = \frac{\sigma_{kmax}\,\sigma_z - \sigma_{max}\,\sigma_m}{\sigma_{max}\,(\sigma_z - \sigma_m)} \text{ bzw. } \frac{\Sigma\sigma_{kmax}\,\sigma_z - \Sigma\,\sigma_{max}\,\sigma_m}{\Sigma\sigma_{max}\,(\sigma_z - \sigma_m)}$$

In Bild 3 sind die berechneten Festigkeitswerte (Kurven) mit den spezifischen Versuchsmittelwerten verglichen; auch sind die Zahlenwerte φ_w angegeben. Die Uebereinstimmung zwischen Versuch und Theorie darf als gut bezeichnet werden. Damit wird die Feststellung bestätigt, dass bei den untersuchten Verbindungen der Einfluss der Schweissung einer Kerbwirkung gleichzusetzen ist und damit rechnerisch in der gleichen einfachen Form erfasst werden kann wie der Einfluss einer Lochschwächung.

In Bild 4 sind die berechneten Dauerfestigkeiten für die beiden Stumpfnähte und die beiden Kreuzstösse noch in zwei weiteren Darstellungen aufgetragen.

Damit dürften die Richtlinien gezeigt sein, auf die sich bei uns die zukünftigen Versuche zur Festlegung zulässiger Spannungen in geschweissten Verbindungen stützen sollten.

Sickerströmungen als Folge von Stauspiegelschwankungen in Erddämmen

DK 624.131.6

Von Prof. **Gerold Schnitter** und Dipl. Ing. **Jürg Zeller** der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich

Die Kenntnis der Sickerströmung in Erddämmen unter dem Einfluss der Füllung und Entleerung des Staubeckens ist in dreifacher Beziehung von Interesse:

1. Von Bedeutung ist die Ermittlung der zu erwartenden Sickerverluste. Die tolerierbaren Sickerverluste hängen vom Wert des aufgestauten Wassers ab. Dieser wird verschieden sein je nach der Zweckbestimmung des Staubeckens. Bei Speicherkraftwerken hängt er ab von der zur Verfügung stehenden, ausnutzbaren Fallhöhe und ist deshalb leicht zu errechnen. In unseren schweizerischen Verhältnissen wird er eher hoch zu veranschlagen sein, und deshalb schon sind kleinstmögliche Sickerverluste anzustreben.

2. Die Stabilität eines Staudammes, d. h. jene seiner luft- und wasserseitigen Böschungen, hängt stark ab von der Sickerströmung und den durch sie bedingten Porenwasserspannungen und Strömungsdrücken.

Dabei zeigt es sich, dass für die luftseitige Böschung neben dem Belastungszustand unmittelbar nach Baubeendigung und vor Staubeginn (geringste Konsolidation, grösste Porenwasserspannungen) der Zustand bei Vollstau als weiterer Belastungsfall untersucht werden muss. Es wird dabei das Strömungsbild in der bekannten Weise unter Annahme der Gültigkeit des Darcyschen Gesetzes und einer stationären Strömung gezeichnet, wobei die Sickerlinie, das ist die freie Oberfläche des Wassers im Dammkörper, angenommen bzw. durch mehrfaches Probieren gefunden werden muss. (Genau genommen wäre dazu noch der Kapillarsaum des geschlossenen Kapillarraumes hinzuzuzählen.) Mit Hilfe des so ermittelten Strömungsbildes können die auftretenden Porenwasserspannungen abgelesen werden, die in diesem Falle identisch sind mit dem Auftrieb.

Die wasserseitige Böschung ist infolge der starken Schwankungen des Stauspiegels im Stausee ganz besonders durch die Sickerströmungen beansprucht, indem das Wasser in den Poren des wasserseitigen Dammaterials je nach dessen Durchlässigkeit nicht genügend rasch, d. h. nur mit Verzögerung, dem äusseren Wasserspiegel folgen kann. Auf diese Besonderheit wurde schon relativ früh durch Terzaghi hingewiesen (siehe auch E. Reinius, 1948). Es ergab sich daraus die Forderung auf Untersuchung der wasserseitigen Böschung nach den Auswirkungen einer sogenannten plötzlichen Stauabsenkung.

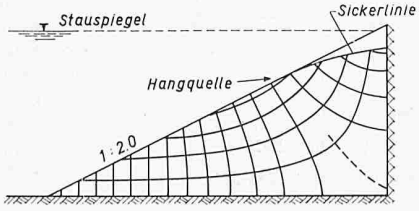


Bild 1. Sickerströmungsbild im wasserseitigen Stützkörper nach erfolgter rascher Absenkung des Stauspiegels

3. Während die zwei bisher gestreiften Probleme eine rechnerische Behandlung, wenigstens unter vereinfachenden Annahmen, ermöglichen (im allgemeinen gleichförmige Durchlässigkeit in sämtlichen Richtungen, Isotropie in dem selben Material), ist das dritte Problem rechnerisch nicht erfassbar. Es handelt sich dabei um die Sickerung längs preferenzieller Sickerwege, wie längs der Kontaktzonen Damm-Untergrund, Damm-Betoneinbauten oder längs unbekannter Kanäle im Untergrund und im Damm infolge Ausführungsunzulänglichkeiten. Solche Durchsickerungen können zu Ausspülungen im Dammaterial und zu innerer Erosion führen, auf deren Gefahr nicht genug hingewiesen werden kann.

Die nachfolgende Untersuchung beschränkt sich auf den wasserseitigen Stützkörper. In Bild 1 ist ein typisches Strömungsbild zu erkennen, wenn, von Vollstau ausgehend, der Stauspiegel rasch abgesenkt wird, und infolge geringerer Durchlässigkeit des Stützkörpers das Porenwasser am raschen Nachströmen gehindert wird.

Die infolge Sickerströmung wirkenden Kräfte sind um so grösser, je grösser das Sickergefälle ist, d. h. je rascher der Stauspiegel abgesenkt wird und dadurch die «Sickerlinie» im Damm zurückbleibt. Die Geschwindigkeit, mit der die «Sickerlinie» im Dammkörper fällt, hängt dabei einerseits von der Absenkgeschwindigkeit v des Stauspiegels und anderseits von der Durchlässigkeit k und der Porosität n des Stützkörpers ab. Die Porosität ist deshalb zu berücksichtigen, weil bei nichtstationären Sickerströmungen das abfliessende Wasservolumen von Bedeutung ist. Aus dem Vorhingesagten kann gefolgert werden, dass für den zeitlichen Ablauf der Sickerströmung das Verhältnis Absenkgeschwindigkeit v zu k/n von Bedeutung ist, was nichts anderes bedeutet, als dass bei stark durchlässigem Stützkörper eine wesentlich höhere Absenkgeschwindigkeit v zulässig ist als bei wenig durchlässigem, wenn gleiche hydraulische Beanspruchung des Dammes vorausgesetzt wird.

Die Sickerströmungsverhältnisse sind im Falle nichtstationärer Bewegung des Wassers mathematisch nicht mehr auf einfache Weise erfassbar. Derartige Aufgaben können mit Hilfe von *Modellversuchen* studiert werden. Dank der geometrischen Aehnlichkeit, welcher derartige Vorgänge gehorchen — allerdings unter der Voraussetzung einer rein laminaren Strömung — gelingt es, mit Hilfe einiger weniger Versuche den ganzen Sickerströmungsbereich zu überblicken bei beliebiger Variation der Absenkgeschwindigkeit im Staubecken, der Porosität und der Durchlässigkeit. Als Aehnlichkeitsbeziehung verwenden wir