

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 125/126 (1945)
Heft: 6

Artikel: Ueber Schweißspannungen bei gehinderter Schrumpfung
Autor: Stüssi, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83711>

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: 25.01.2026

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

Ueber Schweißspannungen bei gehinderter Schrumpfung

Von Prof. Dr. F. STÜSSI, E. T. H., Zürich

I. Ueber die Grösse der inneren Spannungen in einem geschweißten Werkstück, dessen Formänderungen beim Schweißen durch Einspannung teilweise verhindert werden, sind vor einiger Zeit vom Deutschen Stahlbau-Verband aufschlussreiche Versuchsergebnisse veröffentlicht worden¹⁾. Die beiden in einem kräftigen Blechrahmen durch Verschrauben eingespannten Platten-Hälften mit Querschnitt $300 \cdot 30$ (Abb. 1) wurden durch X- oder U-Naht zusammengeschweißt. Die durch die verhinderte

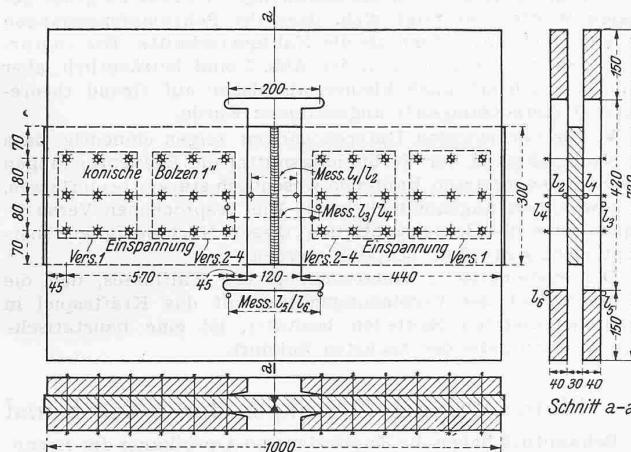


Abb. 1. Einspannrahmen für Schweißversuche

Schrumpfung verursachten Spannungen in der Schweißnaht wurden durch Zerlegen der Platte nach dem Erkalten bestimmt; ferner konnte durch Messung der Formänderungen des Rahmens ein Kontrollwert der resultierenden Zugkraft Z in der Platte gefunden werden.

Es wurden vier Versuche durchgeführt, die wie folgt charakterisiert werden können:

Versuch 1: X-Naht, grosse Einspannlänge, in einer Wärme geschweißt;

Versuch 2: X-Naht, kurze Einspannlänge, in einer Wärme geschweißt;

Versuch 3: U-Naht, kurze Einspannlänge, mit Abkühlungspausen geschweißt;

Versuch 4: U-Naht, kurze Einspannlänge, in einer Wärme geschweißt, Wurzellagen nicht mehr geschweißt.

Die kurze Einspannlänge, von Mitte zu Mitte der Schraubengruppen gemessen, beträgt $l = 350$ mm, die grosse $l = 780$ mm. Der Nahtquerschnitt der X-Naht beträgt 380 mm^2 , derjenige der U-Naht 660 mm^2 , das Querschnittsverhältnis ist somit $1:1,7$.

Abb. 2 zeigt die durch Zerlegen der geschweißten Platten gefundenen Spannungen (quer zur Naht) in kg/mm^2 . Die Schluss-Folgerungen, die aus diesen Spannungswerten gezogen werden, sind folgende:

1. Durch die kürzere Einspannlänge bei Versuch 2 steigt die Querverspannung (σ_m) von $11,0$ auf $13,4 \text{ kg/mm}^2$. Die Steigerung ist im Verhältnis der merklich verkürzten Einspannlänge recht mässig.

2. Durch den grösseren Nahtquerschnitt der U-Naht gegenüber der X-Naht steigt die Querverspannung bei gleichen äusseren Einspannverhältnissen und gleichen Schweissbedingungen von $13,4$ auf $16,7 \text{ kg/mm}^2$ (Versuche 2 und 4). Die Steigerung ist im Verhältnis der verschiedenen Nahtquerschnitte nicht besonders hoch.

3. Durch die regelmässigen Abkühlungspausen nach den einzelnen Lagen bzw. Lagengruppen in Versuch 3 wird die Querverspannung gegen-

¹⁾ Einfluss der Nahtform und der Schweissausführung auf die Quer-Verspannung beim Schweißen unter Einspannung. Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, Heft 13, Berlin 1943. Berichterstatter G. Bierert und K. Albers.

²⁾ Dieser Wert $\sigma_m = 16,7 \text{ kg/mm}^2$ für Versuch 4 ist aus der Rahmenverformung bestimmt, da die Berichterstatter die durch Zerlegen bestimmten Spannungen hier wegen der fehlenden Wurzellagen als unsicher ansehen.

über dem in einer Wärme geschweißten Versuchsstück 4 von $16,7$ auf $15,5 \text{ kg/mm}^2$ ermässigt.

Wir greifen diese Versuche nochmals auf, weil durch eine verfeinerte Beurteilung und Versuchsauswertung unter Berücksichtigung der Formänderungen von Rahmen und Schrauben die Schlussfolgerungen verändert werden.

II. Der in Abb. 2 dargestellte polygonale Spannungsverlauf ist in Wirklichkeit nicht vorhanden; ersetzen wir ihn durch eine stetige Kurve, so erhalten wir, mit der Simpson'schen Regel berechnet, folgende Spannungsmittelwerte σ_m und Zugkräfte $Z = F \cdot \sigma_m$, wobei $F = 90 \text{ cm}^2$:

Versuch 1: $\sigma_m = 12,6 \text{ kg/mm}^2$, $Z = 113 \text{ t}$

Versuch 2: $\sigma_m = 16,0 \text{ kg/mm}^2$, $Z = 144 \text{ t}$

Versuch 3: $\sigma_m = 16,9 \text{ kg/mm}^2$, $Z = 152 \text{ t}$

Versuch 4: $\sigma_m = 22,8 \text{ kg/mm}^2$, $Z = 205 \text{ t}$

Das Schrumpfmaß s_0 , das sich bei ungehinderter Schrumpfung einstellen würde, muss bei gehinderter Verformung kompensiert werden durch die Dehnung des Versuchsstabes, die Formänderung des Rahmens und die Nachgiebigkeit der Schraubenverbindung. Bezeichnen wir den Formänderungswiderstand des Rahmens mit C_R , denjenigen einer Schraube mit C_S , so muss, wenn ein Stabende mit n Schrauben angeschlossen ist, sein

$$s_0 = \frac{Zl}{EF} + \frac{Z}{CR} + 2 \frac{Z}{nCS} \quad \dots \quad (1a)$$

oder auch

$$s_0 = \frac{\sigma_m l}{E} + \frac{\sigma_m F}{CR} + 2 \frac{\sigma_m F}{nCS} \quad \dots \quad (1b)$$

Unbekannt sind, außer dem Schrumpfmaß s_0 , die Widerstände C_R und C_S . Der Widerstand C_S einer Schraube kann zu

$$C_S = k d^2$$

angesetzt werden³⁾; für zweischichtige Nieten ist

$$k = 75 \text{ t/cm}^3$$

zu setzen. Führen wir für die hier verwendeten Passschrauben $\varnothing 1''$ den gleichen Wert ein, so wird

$$C_S = 75 \cdot 2,54^2 = 484 \text{ t/cm}$$

Der Rahmenwiderstand kann für die Versuche mit kurzer Einspannlänge aus der Rahmenverformung an den Messtrecken l_3/l_4 (Abb. 1) abgeschätzt werden; für Versuch 2 beträgt diese Rahmenverkürzung $\Delta l_R = 0,35 \text{ mm}$ und es ist

$$C_R = \frac{Z}{\Delta l_R} = \frac{144}{0,035} = 4110 \text{ t/cm}$$

Damit wird für Versuch 2 das Schrumpfmaß s_0

$$s_0 = \frac{144 \cdot 35}{2100 \cdot 90} + \frac{144}{4110} + 2 \cdot \frac{144}{9 \cdot 484} = 0,027 + 0,035 + 0,066 = 0,128 \text{ cm}$$

Im Versuch 1 liegen gleiche Naht und gleiche Schweiss-Bedingungen vor wie im Versuch 2; es muss deshalb grundsätzlich auch das Schrumpfmaß s_0 gleich gross sein; damit kann der Rahmenwiderstand C_R für die grosse Einspannlänge, $l = 78 \text{ cm}$, berechnet werden:

$$s_0 = 0,128 = \frac{113 \cdot 78}{2100 \cdot 90} + \frac{113}{C_R} + 2 \cdot \frac{113}{9 \cdot 484} = 0,047 + \frac{113}{C_R} + 0,052$$

³⁾ Siehe F. Stüssi: Beiträge zur Berechnung und Ausbildung zusammengesetzter Vollwandträger. SBZ, Bd. 121, S. 102* (1943).

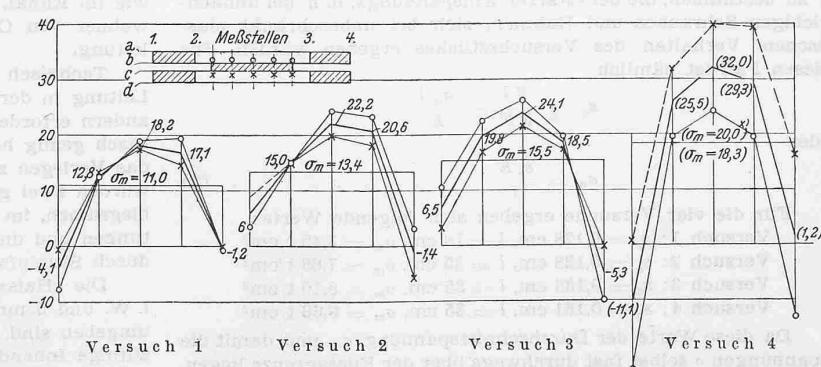


Abb. 2. Querspannungen in den vier Proben nach dem Erkalten

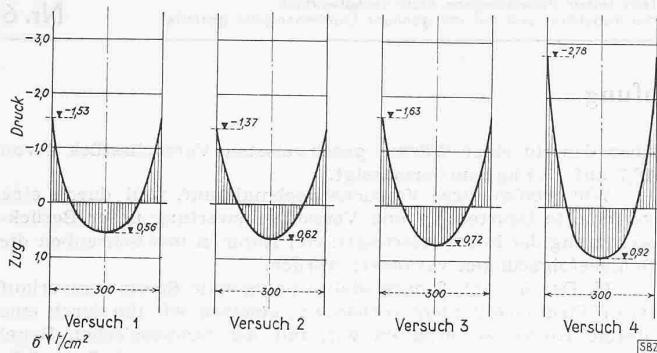


Abb. 3. Schweißspannungen bei ungehinderter Längenänderung

$$C_R = \frac{113}{0,128 - 0,047 - 0,052} = 3900 \text{ t/cm'}$$

Dieser Wert ist plausibel, denn der Rahmenwiderstand C_R muss für die grosse Einspannlänge etwas kleiner sein als für die kleine Einspannlänge. Damit wird auch der angenommene Wert des Verformungswiderstandes C_S der Schrauben als annähernd richtig bestätigt.

Für die Versuche mit U-Naht, Versuch 3 mit Abkühlungspausen und Versuch 4 in einer Wärme geschweisst, ergeben sich, mit den gleichen Grundlagen berechnet, die Schrumpfmasse s_0 wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{Versuch 3: } s_0 &= \frac{152 \cdot 35}{2100 \cdot 90} + \frac{152}{4110} + 2 \cdot \frac{152}{9 \cdot 484} = \\ &= 0,028 + 0,037 + 0,070 = 0,135 \text{ cm} \\ \text{Versuch 4: } s_0 &= \frac{205 \cdot 35}{2100 \cdot 90} + \frac{205}{4110} + 2 \cdot \frac{205}{9 \cdot 484} = \\ &= 0,038 + 0,050 + 0,094 = 0,182 \text{ cm} \end{aligned}$$

Beim Versuch 4 hat sich, infolge der durch das Fehlen der Wurzellage entstandenen Unsicherheit in der Spannungsbestimmung, die Zugkraft Z offenbar etwas zu gross ergeben. Aus der Rahmenverformung Δl_R , die beim Versuch 4 mit 0,44 mm gemessen wurde, können wir auf eine Zugkraft Z von

$$Z = C_R \Delta l_R = 4110 \cdot 0,044 = 181 \text{ t}$$

und damit auf eine mittlere Spannung σ_m von

$$\sigma_m = \frac{181}{90} = 2,01 \text{ t/cm}^2 = 20,1 \text{ kg/mm}^2$$

und ein Schrumpfmaß $s_0 = 0,161 \text{ cm}$ schliessen.

Betrachten wir nun die verschiedenen Formänderungsanteile, so stellen wir fest, dass bei kurzer Einspannlänge die Längenänderung des Versuchsstabes rund ein Viertel, bei grosser Einspannlänge rund die Hälfte der Verformung des Rahmens und der Schrauben beträgt. Es handelte sich somit bei diesen Versuchen um Schweißen unter sehr nachgiebiger Festhaltung; auf diese Verhältnisse, und nicht etwa auf «starrer Einspannung» sind die Schlussfolgerungen der Berichterstatter zu beziehen.

Ich habe absichtlich darauf verzichtet, bei dieser Auswertung die aus den Verkürzungen der Rahmenstiele berechneten Kräfte Z zu verwenden, weil hier, wegen der gedrungenen Form der Stiele (Scheibe anstatt schlanker Stab), die Spannungen kaum mehr linear verlaufen werden, sodass aus den Randspannungen allein nicht mehr auf die resultierende Kraft geschlossen werden darf.

III. Die Gleichung 1 erlaubt uns nun auch, diejenigen Kräfte Z zu bestimmen, die bei «starrer Einspannung», d. h. bei unNachgiebigen Schrauben und Rahmen, sich bei unbeschränkt elastischem Verhalten des Versuchsstückes ergeben würden. Für diesen Fall ist nämlich

$$s_0 = \frac{Z l}{E F} = \frac{\sigma_m l}{E}$$

oder

$$\sigma_m = \frac{s_0 E}{l} \quad \dots \quad (2)$$

Für die vier Versuche ergeben sich folgende Werte:

- Versuch 1: $s_0 = 0,128 \text{ cm}$, $l = 78 \text{ cm}$, $\sigma_m = 3,45 \text{ t/cm}^2$
- Versuch 2: $s_0 = 0,128 \text{ cm}$, $l = 35 \text{ cm}$, $\sigma_m = 7,68 \text{ t/cm}^2$
- Versuch 3: $s_0 = 0,135 \text{ cm}$, $l = 35 \text{ cm}$, $\sigma_m = 8,10 \text{ t/cm}^2$
- Versuch 4: $s_0 = 0,161 \text{ cm}$, $l = 35 \text{ cm}$, $\sigma_m = 9,66 \text{ t/cm}^2$

Da diese Werte der Durchschnittsspannung σ_m und damit die Spannungen σ selbst fast durchwegs über der Fliessgrenze liegen, gilt die Voraussetzung des elastischen Verhaltens nicht mehr, sondern der Versuchsstab würde bei vollständig verhinderter Schrumpfung bis zur Fliessgrenze beansprucht.

IV. Aus den Versuchsergebnissen Abb. 2 können nun aber, weil die Voraussetzung des elastischen Verhaltens im Untersuchungsbereich praktisch genügend genau zutrifft, auch diejenigen Spannungen σ_0 herausgelesen werden, die sich ergeben hätten, wenn die Stabenden während des Schweißens überhaupt nicht festgehalten worden wären. Aus Gleichgewichtsgründen muss dann nämlich sein:

$$\int_0^F \sigma dF = 0$$

oder es ist

$$\sigma_0 = \sigma - \sigma_m \quad \dots \quad (3)$$

Diese Spannungsverteilung σ_0 ist in Abb. 3 aufgetragen, wo bei symmetrisch liegende Spannungswerte gemittelt wurden, um die zufällige Unsymmetrie auszuschalten. Beachten wir, dass aus den angegebenen Gründen die Spannungen 4 etwas zu gross gemessen wurden, so zeigt sich, dass die Schrumpfspannungen weniger stark anwachsen als die Nahtquerschnitte. Die «natürlichen» Schrumpfspannungen der Abb. 3 sind beträchtlich, aber immerhin doch erheblich kleiner, als bisher auf Grund theoretischer Untersuchungen⁴⁾ angenommen wurde.

V. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen eindeutig, dass die Nachgiebigkeit der Verbindungsmitte die Beanspruchungen in zusammengesetzten Bauteilen wesentlich stärker beeinflussen, als gewöhnlich angenommen wird. Die besprochenen Versuche können ohne die Berücksichtigung dieser Nachgiebigkeit überhaupt nicht zutreffend beurteilt werden.

Die systematische Untersuchung des Einflusses, den die Nachgiebigkeit der Verbindungsmitte auf das Kräftepiel in zusammengesetzten Bauteilen besitzt⁵⁾, ist eine baustatische Forschungsaufgabe der nächsten Zukunft.

Die «Pluto»-Brennstoffleitungen durch den Kanal

Bekanntlich haben die Engländer und Amerikaner den Brennstoffnachschub für ihre Operationen auf dem Kontinent durch ins Meer versenkte Leitungen bewerkstelligt und so viele Tanker für den Krieg im fernen Osten frei bekommen. Die englische Zeitschrift «Engineering» beschreibt auf Seiten 425*, 444*, 464*, 463* und 504*, Juni 1945, ausführlich die unter dem Decknamen «Pluto» (pipe lines under the ocean) bekannten Anlagen. Die Idee des Brennstoffnachschubes über den Kanal zwischen England und Frankreich durch Rohrleitungen soll ursprünglich vom heutigen Oberkommandierenden der Streitkräfte in Burma, Lord Louis Mountbatten hergestellt, der damals die Ausbildung der «Commando»-Einheiten leitete. Sie wurde zunächst von den beiden Firmen «Siemens Brothers» und «The Anglo-Iranian Oil Company» aufgegriffen und auch verwirklicht, wobei das Hauptverdienst dem Obering. der zuletzt genannten Firma, Mr. Hartley, gebührt. Das angewendete System erhielt den Namen «Hais». Es ist erstaunlich und für uns lehrreich, was aus der Zusammenarbeit dieser beiden Firmen hervorging: Im Mai 1942 wurde in zwei Wochen ein Versuchsstück von 50 mm Ø gebaut und in der Themse verlegt. Der Versuch gelang und Mountbatten unternahm bei der Regierung die nötigen Schritte, um sofort mit einem Grossversuch beginnen zu können. Denn man war sich bewusst, dass bedeutend grössere technische Schwierigkeiten zu überwinden sein werden, als etwa beim Verlegen eines elektrischen Kabels. Die neue Versuchslleitung erhielt 75 mm I. W., welches Mass bei allen späteren Leitungen beibehalten wurde. Sie wurde für einen Druck von 85 kg/cm² und eine Länge von 55 km gebaut und im Dezember 1942 im Bristol-Kanal von Swansea nach Watermouth verlegt; an dieser Stelle herrschen ganz ähnliche Meeresströmungen und Ebbe- und Flutverhältnisse wie im Kanal. Während mehr als einem Jahr erhielten die Bewohner von Cornwall ihren Brennstoff durch diese Versuchslleitung.

Technisch besteht das Problem im Wesentlichen darin, die Leitung in der ganzen für die Verbindung von einem Ufer zum andern erforderlichen Länge absolut dicht und fehlerfrei sowie rasch genug herzustellen und in einer für den Transport und das Verlegen zweckmässigen Form aufzustappen. Gleichzeitig wurden zwei grundsätzlich verschiedene Bauarten verfolgt: Die biegsamen, im Wesentlichen aus Blei hergestellten «Hais»-Leitungen und die aus verhältnismässig dickwandigen Stahlrohren durch Stumpfenschweißung hergestellten «Hamel»-Leitungen.

Die «Hais»-Leitungen bestehen aus Bleirohren von 75 mm I. W. und 5 mm Wandstärke, Abb. 1, die von zwei Armierungen umgeben sind. Die innere Armierung, die die Ringspannungen zufolge Innendruck aufzunehmen hat, ist gegenüber dem Blei-

⁴⁾ Siehe z. B. G. Grünig: Die Schrumpfspannungen beim Schweißen. «Stahlbau» 1934, Heft 14.

⁵⁾ Siehe z. B. F. Stüssi: Ueber den verdübelten Balken. SBZ, Bd. 122, S. 271* (1943).