

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 7 (1964)

Artikel: Beitrag zur Wandersicherheit von HV-Verbindungen

Autor: Beer, H. / Wallner, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-7850>

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: 18.02.2026

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

II b 2

Beitrag zur Wandersicherheit von HV-Verbindungen

The Safety Factor of High Strength Friction Grip Bolts Under Repeated Loading

Contribution à l'étude de la sécurité au cheminement graduel des assemblages HR

H. BEER

Dipl.-Ing., Dr. techn., o. Professor, Graz

F. WALLNER

Dipl.-Ing., VÖEST, Linz

A. Allgemeines

Unter Wandern einer Reibungsverbindung verstehen wir ein schrittweises Gleiten bei oftmaligem Lastwechsel von einer Grund- auf eine Oberspannung. Der Erstverfasser hat am 6. Kongreß in seinem Diskussionsbeitrag¹⁾ über Lastwechselversuche berichtet, die in Österreich mit HV-Verbindungen durchgeführt wurden und dort die Veröffentlichung weiterer Versuchsergebnisse angekündigt. Nachstehend soll nun über eine Versuchsreihe mit 50 Lastwechseln und weitere Versuche mit 1000 Lastwechseln berichtet und die Ergebnisse diskutiert werden. Wir weisen jedoch besonders darauf hin, daß es sich bei den vorliegenden Versuchen nicht um Dauerschwingversuche handelt, da die Probekörper bis zur statischen Reibungsgrenze mit nur verhältnismäßig geringen Lastspielzahlen bei kleiner Lastspielfrequenz (0,2 Lastwechsel/Minute) belastet wurden. Es handelt sich daher streng genommen um oftmals wiederholte statische Zugversuche.

B. Versuche mit 50 Lastwechseln

In Fig. 1 ist die Versuchsanordnung und Meßeinrichtung dargestellt. Die aus Grobblech in Güte St 37 entnommenen Flachstäbe 80×40 mm wurden mit 20 mm dicken Laschen aus gleichem Material durch je 6 HV-Schrauben, Güte 10 K, zweiseitig verbunden. Die Berührungsflächen einiger Proben wurden sandgestrahlt, die der restlichen Proben flammgestrahlt. Diese Probekörper (Fig. 2) wurden oftmaligen Belastungen zwischen einer unteren Laststufe von 5 t und oberen Laststufen bis knapp an die Gleitgrenze unterworfen. Während bei den bereits veröffentlichten Versuchen die rechnungsmäßige Gleitlast unter Annahme eines Reibungsbeiwertes von $\mu = 0,45$ für die Oberlast als maßgebend angesehen wurde, liegt bei den hier beschriebenen Versuchen die Oberlast in der Nähe der tatsächlichen Gleitlast, die vorher experimentell ermittelt wurde.

¹⁾ BEER, H., IIb 1 Schlußbericht, Stockholm 1960.

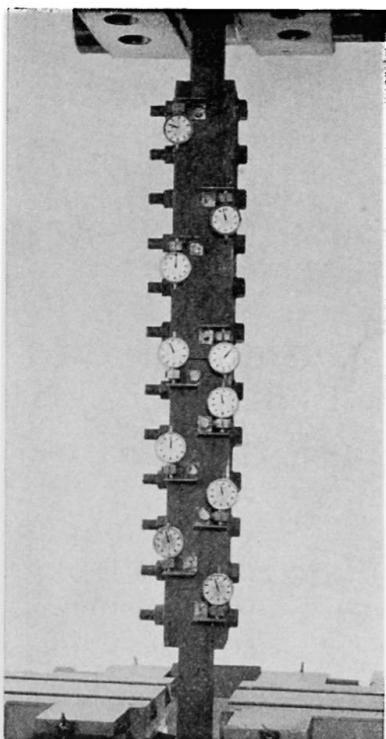


Fig. 1.

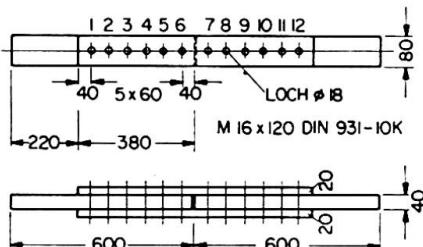
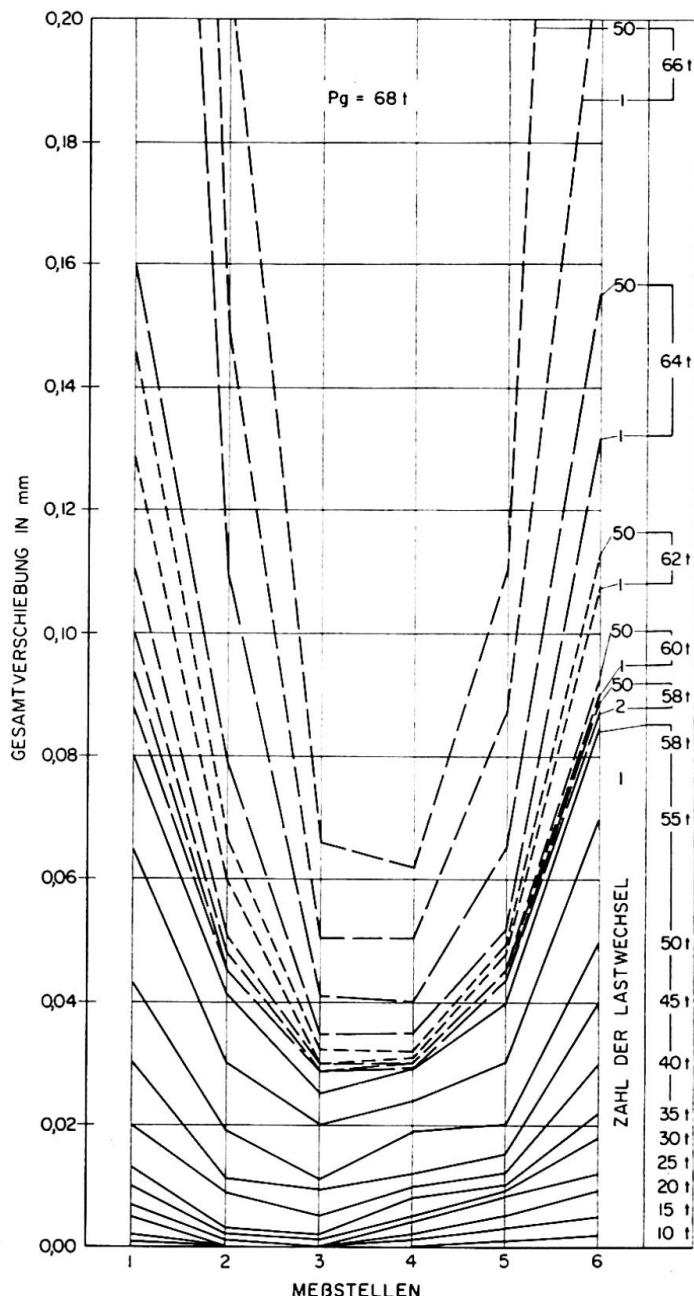


Fig. 2.

Fig. 3.



Die Schrauben M 16 wurden nach den österreichischen «Richtlinien für die Verwendung hochfester vorgespannter Schrauben im Stahlbau» mit einem Drehmoment von 28 mkg angezogen, was einer Vorspannung von 9,7 t entspricht. Die Messung der Verschiebung des Belastungsvorganges erfolgte in den in Fig. 2 angegebenen Punkten.

Der Versuchsablauf war bei allen Prüfungen grundsätzlich gleich und bestand aus:

- stufenweises erstmaliges Belasten der Probe von je 5 t bis 58 t und Bestimmung der Gesamtverschiebung bei den einzelnen Laststufen.
- Entlasten der Probe auf 5 t und Bestimmung der bleibenden Verschiebung.

- c) 50maliges Belasten der Probe zwischen 5 t und 58 t und Messung der Gesamtverschiebung unter der Oberlast bei jedem zehnten Lastwechsel.
- d) Bestimmung der bleibenden Verschiebung nach jedem zehnten Lastwechsel.
- e) Fortsetzung des Versuches wie unter c und d beschrieben, jedoch bei einer um 2 t je Versuch gesteigerten Oberlast bis zum Eintreten des Gleitens in der Gesamtverbindung.

Betrachten wir nun aus dieser Versuchsreihe die an einer Probe erzielten kennzeichnenden Ergebnisse. In Fig. 3 sind die festgestellten Gesamtverschiebungen für die untere Stoßhälfte einer sandgestrahlten Probe bei den nach Punkt a, c und e geschilderten Belastungsvorgängen dargestellt. Bereits bei erstmaliger Belastung (durchgezogene Linienzüge im Diagramm) kommt es zu sehr kleinen Teilgleitungen, die zunächst nur die äußeren Schraubenbereiche einer Stoßhälfte betreffen, aber bei weiterem Lastanstieg auch die inneren Schraubenbereiche erfassen. Diese Teilgleitungen nehmen bei Steigerung der Oberlast zwar zu, vergrößern sich jedoch bei wiederholter Belastung auf dieselbe Laststufe zunächst nicht oder nur unwesentlich. Erst bei Oberlasten um 90% der tatsächlichen Gleitlast verstärkt sich diese Zunahme geringfügig, um ab etwa 95% der tatsächlichen Gleitlast deutlich in Erscheinung zu treten.

Die in Fig. 4 dargestellten Diagramme der bleibenden Verschiebung lassen den geschilderten Vorgang anschaulich erkennen. Bei einer Oberlast von 62 t (90% der Gleitlast) erfolgte eine schwache Zunahme der bleibenden Gleitungen im Bereich der Randschrauben im Laufe der wiederholten Be-

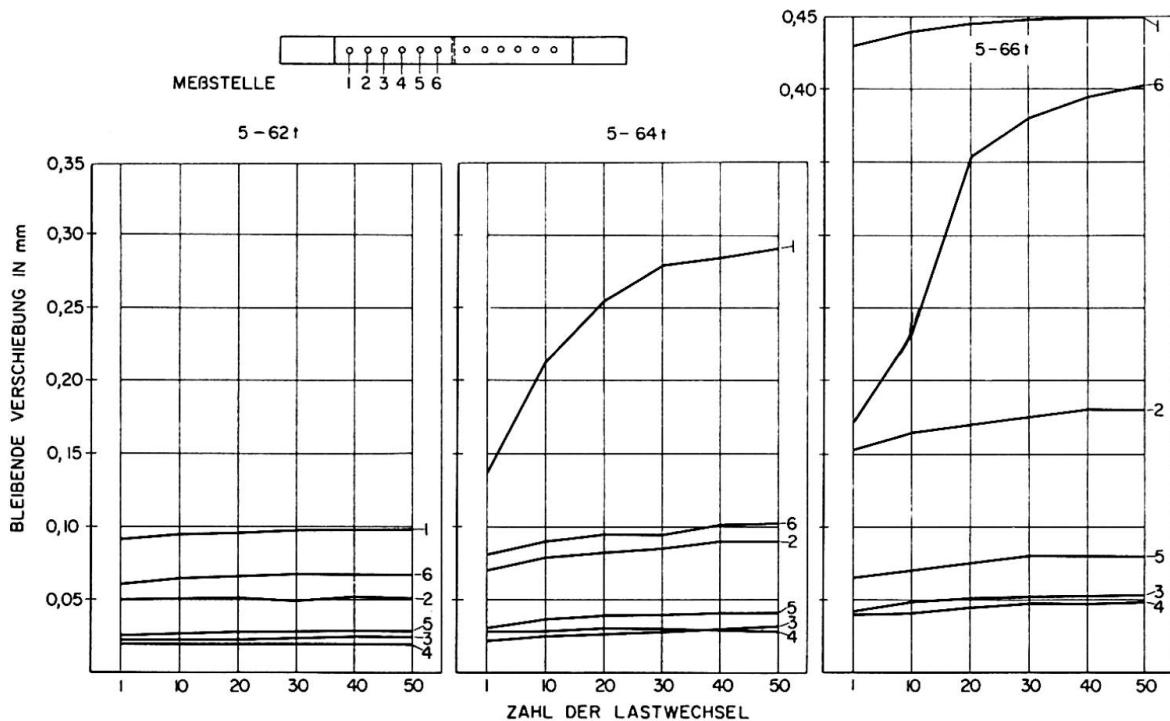


Fig. 4.

lastung, die aber mit steigender Lastwechselzahl allmählich zur Ruhe gekommen ist. Im Bereich der Stoßhälftemitte traten keine Veränderungen ein. Bis zu diesem Stadium kann man von einem «Atmen» der Verbindung nach erfolgtem «Einspielen» sprechen. Erst bei Schwellbelastungen mit einer Oberlast von 64 t (95% der Gleitlast) und darüber traten zunehmende Teilgleitungen in den Anschlußenden auf, die bei der letzten Laststufe auch auf die mittleren Bereiche übergingen. In diesem Stadium ist das Wandern der Schraubenverbindung eingetreten.

Die insgesamt an 5 sandgestrahlten und 10 flammgestrahlten Prüfkörpern durchgeführten Versuche zeigten einander weitgehend ähnliche Ergebnisse.

C. Versuche mit 1000 Lastwechsel

Die durch die erste Versuchsreihe mit 50 Lastwechseln erhaltene Aussage mußte nun noch dahingehend überprüft werden, ob bei beträchtlicher Erhöhung der Lastspielzahl das Atmen der Reibungsverbindung fortbesteht,

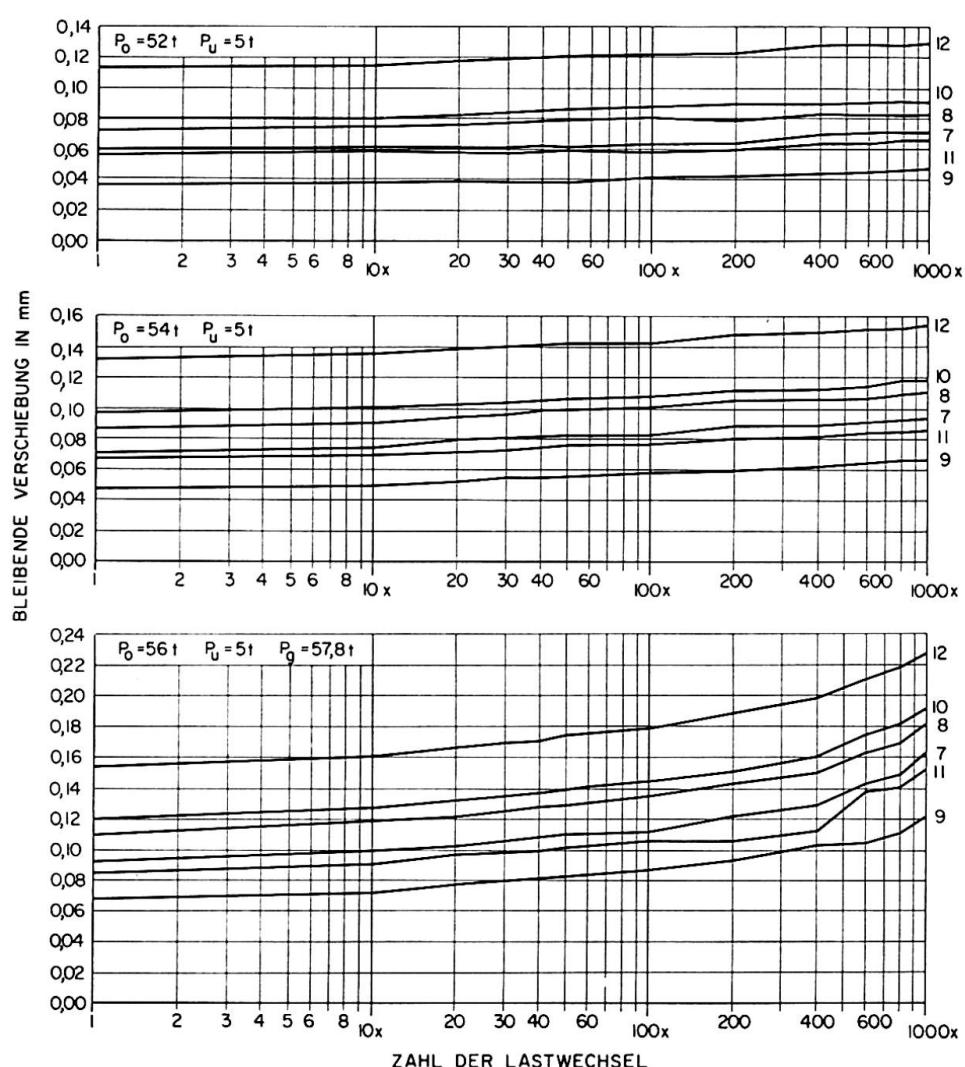


Fig. 5.

Tafel 1

Proben		Berührungs- flächen	Anziehdreh- moment Ma mkg	Vorspann- kraft $Pv^2)$ t	Last b. forschrei- tendem Gleiten $Pfg^3)$ t	Last bei Gleitgrenze Pg t	Reibungs- beiwert	Verhältnis $\frac{Pfg}{Pg}$ %
Nr.	Hälften ¹⁾							
A	O			28	9,7	60	63	0,54
	U					—	69	0,59
B	O	sand- gestrahlt		26	9	56 (54)	57,8	0,54
	U					—	59	0,55
C	O			24	8,3	56 (54)	55,7	0,56
	U					—	64	0,64
D	O			28	9,7	—	45	0,39
	U					47	48,6	0,42
E	O	flamm- gestrahlt		26	9	49 (47)	52	0,48
	U					47	49,8	0,46
F	O			24	8,3	44 (42)	45,8	0,46
	U					44	46	0,46

¹⁾ O = Oberseite, U = Unterseite.²⁾ $Ma = 0,18 \cdot 16 \cdot Pv$.³⁾ () = forschreichendes Gleiten zum Stillstand gekommen.

oder ob doch eine Tendenz zum Wandern während des zeitlichen Ablaufes der wiederholten Belastung erkennbar ist.

Die Abmessungen der Probekörper und die Versuchseinrichtung waren genau die gleichen wie bei der ersten Versuchsreihe. Die Kontaktflächen der Proben wurden wiederum sand- bzw. flammgestrahlt, so daß die beiden hauptsächlich zur Anwendung kommenden Behandlungsmethoden der Berührungsflächen auch bezüglich ihres Einflusses auf die Wandersicherheit überprüft und miteinander verglichen werden können.

Ein charakteristisches Ergebnis ist in Fig. 5 dargestellt. Hierbei wurde der logarithmische Maßstab für die Auftragung der Lastspielzahl gewählt, weil dadurch eine Tendenz zum Wandern besonders deutlich sichtbar gemacht werden kann. Das für eine sandgestrahlte Probe geltende Wanderdiagramm (bleibende Verschiebung/Zahl der Lastwechsel) zeigt, daß trotz der relativ hohen statischen Gleitlast von 57,8 t erst bei einer Oberlast von 56 t (entsprechend einem Reibungsbeiwert von $\mu = 0,54$) eine erste, wenn auch nur sehr geringe Neigung zum Gleiten eintritt. Wie aus dem unteren Schaubild hervorgeht, kommt es nach oftmaliger Belastung jedoch zu bleibenden Verschiebungen im Bereich aller Schrauben. Es handelt sich daher hier nicht um ein Atmen der Verbindung im Sinne der in Abschnitt B beschriebenen Art, sondern um ein Gleiten auf der ganzen Verbindungsstrecke bei einer Oberlast, die dicht an der tatsächlichen Gleitgrenze liegt. Die Proben mit flammgestrahlten Berührungsflächen haben ein grundsätzlich gleiches Verhalten gezeigt.

In Taf. 1 sind die Ergebnisse aller bis 1000 Lastwechsel durchgeführten Versuche zusammengestellt. Für die einzelnen Proben gleicher Behandlungsart wurden auch die Anziehdrehmomente variiert, um ihren Einfluß auf die Wandersicherheit festzustellen. Die erheblich niedrigeren Reibungsbeiwerte, welche bei flammgestrahlten Proben erzielt wurden, liegen in der Tatsache begründet, daß walzfrisches Material verwendet wurde, dessen festhaftende Walzhaut beim Flammstrahlen nicht vollständig entfernt wurde. Die noch an der Probenoberfläche verbliebenen Zunderreste haben sich reibungsvermindernd ausgewirkt. In der letzten Spalte der Tabelle ist das Verhältnis der Last bei fortschreitendem Gleiten zur statischen Gleitlast angegeben. Man erkennt, daß ein ausgeprägtes zunehmendes Gleiten unter oftmaliger Belastung erst ab 95% der statischen Gleitlast zu erwarten ist, selbst wenn letztere erheblich höher ist als die mit dem Reibungsbeiwert $\mu = 0,45$ errechnete Gleitlast.

D. Diskussion der Versuchsergebnisse

An den Versuchen ist zunächst besonders bemerkenswert, daß zwar an den Außenteilen der Verbindung in der Regel die größten bleibenden Gleitungen eintreten, jedoch auch die Verbindungsmitte Gleitungen ähnlicher

Größenordnung aufweist. STEINHART und MÖHLER²⁾ haben im zweiten Versuchsbericht über die Karlsruher Versuche mit HV-Verbindungen eine Darstellung der Verschiebungszustände in einem HV-Zugstoß während des Gleitens gegeben und auch den Versuch einer theoretischen Erfassung des Kräftespiels, wobei der Bauteil mit Laschen als Scheibe betrachtet wurde, gemacht. Demnach treten zunächst Schubverformungen ohne Gleiten an den Kontaktflächen ein, die auch bei unseren Versuchen von den Meßinstrumenten als kleine Relativverschiebungen registriert wurden. Bei Laststeigerung kommt es zu Teilgleitungen an den Stoßenden, während die Schubverformungen auf den Mittelbereich des Stoßes übergreifen, ohne daß dort noch eine Gleitung eintritt. Schließlich bewirkt die weitere Erhöhung der Last das Gleiten auf der ganzen Verbindungslänge.

Diese Erklärung reicht jedoch noch nicht zur Deutung unserer Versuchsergebnisse aus. Die Tatsache, daß auch bei Lasten, die erheblich unter der Gleitgrenze liegen, eine von den Meßinstrumenten deutlich registrierte Relativverschiebung der mittleren Stoßbereiche stattgefunden hat, läßt darauf schließen, daß hier noch eine Ursache mitspielen muß. Als solche kommt in erster Linie die Mikroverzahnung der beiden aneinandergepreßten Oberflächen in Frage, die eine, wenn auch sehr geringe elastische und plastische Relativverschiebung gestattet (Kammwirkung), ohne daß es zu einem Gleiten kommt. Nach Einspielen der Verbindung erfolgt der Vorgang bei wiederholter Belastung wieder elastisch (Atmen der Verbindung), so daß kein schrittweises Gleiten zustande kommt. Erst bei Lasten in der Nähe der tatsächlichen statischen Gleitgrenze ist mit jedem Be- und Entlastungsvorgang ein Teilgleiten verbunden, so daß wachsende bleibende Verformungen auftreten, die schließlich zum Anliegen der Schrauben an den Lochwandungen führen.

Zusammenfassung

In Österreich wurden Versuche mit HV-Verbindungen ausgeführt mit dem Ziel, die Wandersicherheit der Reibungsverbindung festzustellen. Die Versuche wurden mit 50 und 1000 Lastwechseln durchgeführt, wobei sich der Belastungsbereich von einer geringen Unterspannung auf eine Oberspannung erstreckte, die nahe bei der experimentell ermittelten statischen Gleitgrenze lag. Die Versuche haben gezeigt, daß ein Wandern bzw. fortschreitendes Gleiten der HV-Verbindungen bei den in der Praxis vorliegenden Verhältnissen nicht eintreten wird, auch wenn die Verbindungen einer oftmaligen Belastung bis nahe an relativ hoch gelegene Gleitgrenzen ausgesetzt sind. Das Lochspiel der HV-Verbindung darf demnach auch hier mit maximal 2 mm

²⁾ Versuche zur Anwendung vorgespannter Schrauben im Stahlbau. II. Teil, S. 25—29. Ber. d. D. A. f. St., Köln 1959.

festgelegt werden. Eine Erhöhung der geforderten Mindestsicherheit von 1,25 gegen Gleiten für Bauwerke, die wiederholter Belastung ausgesetzt sind (z. B. Brücken), ist daher nicht gerechtfertigt.

Summary

The paper deals with Austrian tests on friction grip bolted joints under repeated loading. Tests were made with 50 and 1000 repetitions of loads in the connected bars, ranging from a small tension up to that approaching the value based upon the static friction coefficient. The tests show that inter-bolt slip does not occur even when a relatively high friction coefficient is used, e. g. 0.56 for St. 37. The tests justify a clearance of 2 mm for the hole, and show that it is not possible to justify any increase in the safety factor against sliding (1.25) used in the European Drafts.

Résumé

On a effectué en Autriche des essais destinés à déterminer la sécurité au cheminement graduel des assemblages par recouvrement HR. On a appliqué 50 et 1000 cycles de charge, entre une limite inférieure faible et une limite supérieure proche de la charge de glissement statique expérimentale. Les essais ont montré que, dans les cas se présentant en pratique, les assemblages HR n'ont pas tendance à cheminer graduellement, même s'ils sont soumis à des sollicitations répétées correspondant à un coefficient de frottement élevé, par exemple 0,56 pour l'acier doux. On peut donc adopter un jeu maximum de 2 mm entre trou et boulon même pour les constructions soumises à des charges répétées (par exemple les ponts) et, de plus, il n'est pas justifié d'augmenter dans ce cas le coefficient de sécurité au glissement égal à 1,25 pour les charpentes.