Diskussion: HV-Schrauben

Autor(en): **Faltus, F.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **7 (1964)**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-7951

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

IIb2

Diskussion - Discussion - Discussion

HV-Schrauben[1])

Friction-Grip-Bolts (High Strength Bolts)

Boulons à haute résistance

F. FALTUS
Prof. Ing. Dr., Prag

Die große Zahl der Referate über vorgespannte Schrauben beweist, daß diese Verbindungsart des Stahlbaues in der ganzen Welt nicht nur steigende Verwendung findet, sondern auch das rege Interesse der Forschung wachgerufen hat. Es ist möglich an Hand der vorgelegten Arbeiten fast alle offenen Fragen zu berühren.

Die erste wichtige Entscheidung betrifft die Wahl der Schraubenqualität. Es werden sehr verschiedene Sorten verwendet, beginnend mit Streckgrenzen von 57 kp/mm² [4] bis 120 kp/mm² [6, 7] bzw. Festigkeiten von 80 kp/mm² bis 130 kp/mm² [6, 9], von einfachen niedriglegierten bis ziemlich hoch legierten Stählen. Es ist zu hoffen, daß hier die Zeit und auch wirtschaftliche Erwägungen eine Vereinheitlichung bringen werden. Die Forderungen an den Schraubenstahl sind doch im Grunde genommen ziemlich milde, wenn wir von der an einigen Stellen erhobenen Forderung absehen, daß sich der Schraubenkopf ohne Unterlagscheibe einer Flanschneigung bis 10% anpassen soll.

Unterschiede bestehen auch in der Größe und der Art der Messung der Vorspannkraft. Wir finden Werte von $0{,}6\,\sigma_{Bruch}$ [9], bis σ_F [4]. Allgemein wird jedoch zugegeben, daß ein Zuviel weniger schadet wie ein Zuwenig. Das Anziehmoment wird allgemein nach der Formel $M = k P_v d$; berechnet für k finden wir jedoch Werte von $k = 0{,}14$—$0{,}15$ (nach [8] für speziell geölte Gewinde) bis $k = 0{,}183$. Die meisten Angaben nähern sich dem höheren Wert. Wenn man die Streuung der Anzeige der Drehmomentenschlüssel und der Reibungswerte betrachtet [1, 3, 7, 8] scheint schließlich die einfache «Halfturn»-Methode die gegebene zu sein. Als Hindernis wird in [1] angeführt, daß ein Teil der Vorspannkraft zum Richten und satten Anliegen der Bleche verbraucht wird. Es wird überzeugend auf den Unterschied zwischen der Tragkraft von mehreren Schrauben nebeneinander und hintereinander hingewiesen. Ein nicht sattes Anliegen der Bleche wird sich jedoch hauptsächlich in der

---

[1]) Siehe «Vorbericht» — see "Preliminary Publication" — voir «Publication Préliminaire», IIb, p. 363.

ersten Schraubenreihe reibungsvermindernd auswirken, da dort ein Teil der Vorspannkraft unwirksam auf das dickere Nachbarblech übertragen wird. Man sollte daher allgemein den Abstand bei der inneren Schraubenreihe (Fig. 1) nicht zu klein wählen. Bei größeren Blechdicken sollte die Anwendung von zu kleinen Schraubendurchmessern vermieden werden. In den Vorschriften sind hierüber jedoch nur selten Angaben zu finden.

Die Druckverteilung unter der Schraube scheint ziemlich begrenzt zu sein. Es zeigen dies nicht nur die Abbildungen an Abdrücken in [1], fotoelastische Messungen, sondern auch direkte Messungen. Die Annahme einer Druckverteilung unter 45° nach RÖTSCHER ist jedenfalls zu optimistisch. WALLNER [10] findet 10—15°. Spannungsmessungen von ŠEDIVEC [11] an durchschnittenen

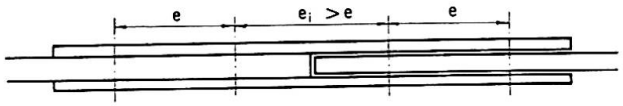

Fig. 1. Abminderung des Einflusses verschiedener Blechdicken durch vergrößerten Randabstand der ersten Schraubenreihe.

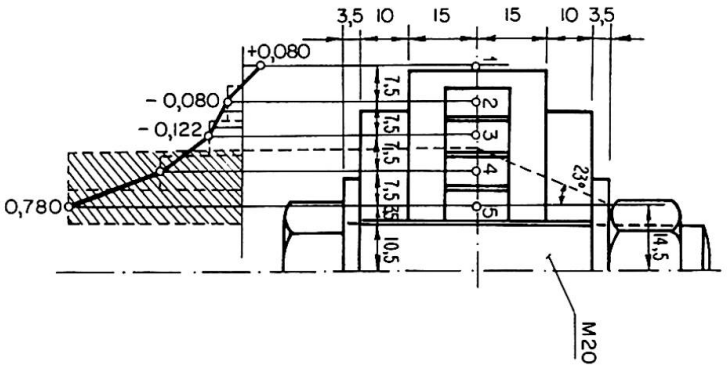

Fig. 2. Druckverteilung unter einer Schraube.

Scheiben zwischen vorgespannten Schrauben zeigen eher auf eine «mitwirkende» Breite der Druckzone unter 20—30° (Fig. 2). Andere Versuche zeigen, daß die Druckverteilung auch von der Vorspannkraft, also auch vom Verhältnis von Schraubendurchmesser zur Blechdicke abhängt.

Die Verbindung auf Zug scheint die einfachste zu sein. Doch auch hier ist die genauere Berechnung des Anteiles, der von der äußeren Zugkraft Z auf die Schraube entfällt, noch ungelöst. Oft wird die Vergrößerung der Schraubenkraft (kZ) aus dem Verhältnis zwischen Schraubenfläche (F_s) und Kontaktfläche (F_k) berechnet,

$$kZ = \frac{F_s Z}{F_s + F_k}. \tag{1}$$

HIDEYUKI [6] zeigt, daß der Wert noch mit einem Formfaktor α auf

$$k = \frac{F_s}{F_s + F_k} \alpha \tag{2}$$

zu verbessern ist und findet für die von ihm untersuchte Verbindung α zwischen 0,49 und 0,73, was für einen «Formfaktor» doch etwas weit von Eins ist. Der Wert einer genaueren Berechnung liegt hauptsächlich in dem Aufzeigen der verschiedenen Einflüsse.

Betrachten wir eine Schraubenverbindung nach Fig. 3 mit einer mit P_v vorgespannten Schraube. Die äußere Zugkraft Z greife in den Blechen der Dicke l_Z an. Die Kraft Z überträgt sich mit kZ über die äußeren Bleche auf die Schraube, während sich in den inneren Blechen die Druckvorspannung um $(1-k)Z$ verringert, solange $(1-k)Z < P_v$ ist. Wenn $(1-k)Z = P_v$ ist, überträgt die Schraube die gesamte Kraft, da dann $P_v + kZ = Z$ ist.

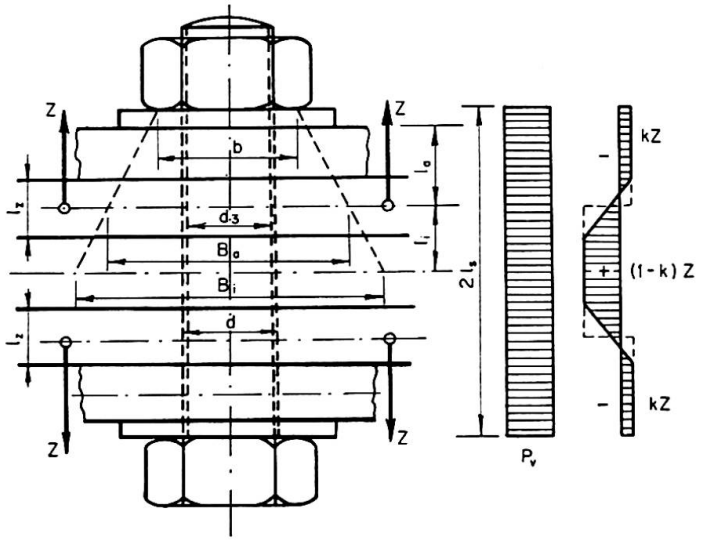

Fig. 3. Berechnung von zugbeanspruchten Schrauben.

Der Anteil k ergibt sich aus den Verformungen der einzelnen Teile, welche allerdings schwierig zu erfassen sind. Die Verformung der Schraube ist

$$E\,\delta_s = \frac{k\,l_s}{F_s}\,Z. \tag{3a}$$

Nehmen wir (etwas willkürlich) den Angriffspunkt der Kraft Z in der Mittelebene des Bleches der Dicke l_Z an[2]), so ist die Zusammendrückung der äußeren Teile

$$E\,\delta_a = \frac{k\,l_a}{F_a}\,Z, \tag{3b}$$

die Verlängerung der inneren Teile

$$E\,\delta_i = \frac{(1-k)\,l_i}{F_i}\,Z. \tag{3c}$$

---

[2]) Dies entspricht bei flachem Druckkegel näherungsweise der Annahme einer linearen Abnahme der inneren Kräfte im Querschnitt l_z von kZ auf $(1-k)Z$.

Nur in besonderen Fällen, z. B. bei der in [6] behandelten Verbindung können wir für F_a bzw. F_i die wirklichen Querschnittsflächen einsetzen.

Bei Platten können wir die Verformung der vom Schraubendruck erfaßten kegelstumpfförmigen Teile angenähert so berechnen, als ob es sich um Zylinder mit den Querschnittsflächen

$$F_a = \pi \sqrt{(b-d)^2 (B_a - d)^2} \tag{4a}$$

bzw.

$$F_i = \pi \sqrt{(B_a - d)^2 (B_i - d)^2} \tag{4b}$$

handelte.

Es ist

$$k = \frac{\delta_i}{\delta_s + \delta_a + \delta_i}. \tag{5a}$$

Da der Öffnungswinkel des Kegels der Druckverteilung nicht konstant ist, ist die Berechnung nur eine rohe Schätzung.

In Wirklichkeit sind noch die Verformungen in den einzelnen Kontaktflächen zu berücksichtigen, welche wir summarisch mit Δ_a für die äußeren und Δ_i für die inneren Flächen bezeichnen wollen, so daß

$$k' = \frac{\delta_i + \Delta_i}{\delta_s + \delta_a + \delta_i + \Delta_a + \Delta_i} > k \tag{5b}$$

wird.

Den größeren Einfluß übt Δ_i aus; Δ_a kann gegen die übrigen Größen meist vernachlässigt werden. Die Größen Δ_a und Δ_i sind nicht linear abhängig von Z. Solange Z klein gegen P_v ist, bleibt eine durch P_v plangedrückt Blechausbiegung eben ($\Delta_i = 0$), erst bei Anwachsen von $(1-k)\,Z$ wird sich das Blech abheben. Ähnlich werden sich auch kleine Unebenheiten der Blechoberflächen auswirken. Um diesen Zusammenhang etwas zu klären, wurden folgende einfache Messungen ausgeführt [14].

Aus einem 25 mm dicken Blech aus St. 37 wurden Scheiben von 50 mm Durchmesser[3]), mit einer Bohrung ⌀ 18 und zwei ringförmigen Vorsprüngen zum Ansatz der Meßgeräte gedreht (Fig. 4). Mit gegenüberliegenden induktiven Meßgebern Philipps PR 9310 wurden mit einer Genauigkeit von 0,5 μm die Änderung der Entfernung a bei Veränderung der äußeren Belastung P gemessen. Die gemessene Größe setzt sich zusammen aus der elastischen Verformung der Meßstrecke a, $\delta_c = \frac{P}{EF} a$ und der Verformung Δ_i in den Kontaktflächen. Fig. 5 gibt einige charakteristische Meßergebnisse wieder. Linienzug A_1 entspricht der Verformung Δ_i bei dem Aufliegen zweier roher Blechoberflächen, die nur von losem Zunder reingebürstet wurden. Linienzug A_2 gehört zu demselben Versuchskörper nach dreimaliger Vorbelastung mit $P = 50\,Mp$.

---

[3]) Der Durchmesser entspricht etwa dem Durchmesser des «Druckkegels» einer Schraubenverbindung.

Es trat hiebei eine bleibende Verformung der Strecke a um etwa 13 μm auf; bei Belastungen bis 20 Mp waren die Verformungen wieder elastisch, nur etwas kleiner als vorher. Nach Abfräsen und Schleifen beider Berührungsflächen ergab sich Linienzug A_3, also praktisch sattes Aufliegen.

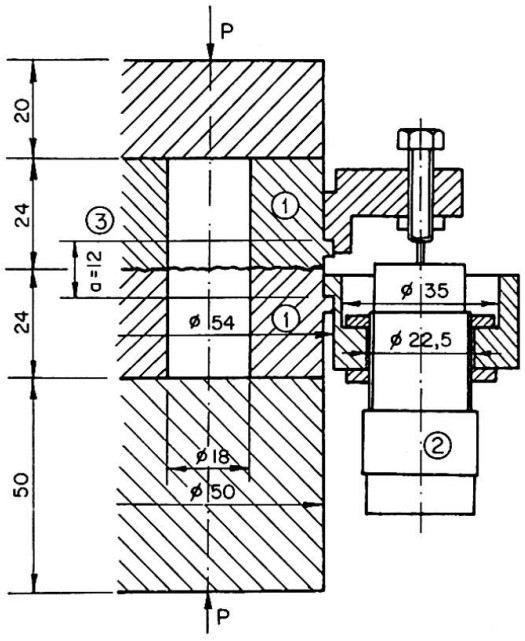

Fig. 4. Versuchsanordnung zur Messung der Federung in einer Kontaktfläche:

1. Versuchskörper.
2. Induktive Geber Philips PR 9310 (gegenüberliegend).
3. Kontaktfläche, unbearbeitet, bzw. bearbeitet.

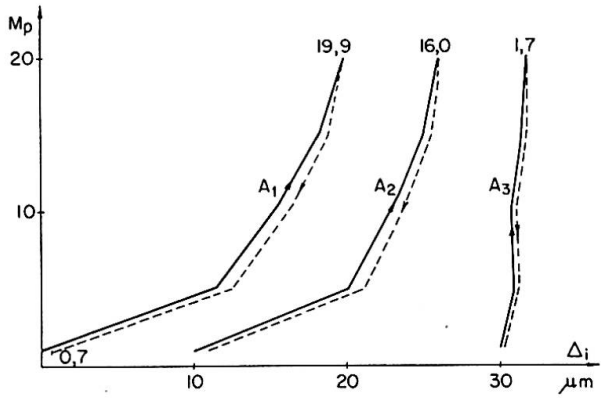

Fig. 5. Gemessene Verformungen der Kontaktfläche.

Die Bewegungen der Spalte haben bei unbearbeiteter Blechoberfläche einen stark nichtlinearen Charakter und sind in Gl. (5b) nicht zu vernachlässigen. Bei einer Beanspruchung von $\sigma = 1000\,\mathrm{kp/cm^2}$ in der Berührungsfläche entspricht Δ_i der Zusammendrückung einer Länge l_i von 60 mm. Der Einfluß von Δ_i wurde bisher in keiner Arbeit berücksichtigt.

Zu all diesem kommt noch die Vergrößerung der Schraubenkraft durch eine eventuelle Hebelwirkung nicht genügend steifer Stirnplatten, worauf auch [3] aufmerksam macht. Dieser Einfluß, der sich hauptsächlich nach Überschreiten der Vorspannkraft geltend machen wird, wurde z. B. von GENIEV [12] und DOUTY [13] untersucht. Er ist um so größer, je weicher die Stirnplatten sind. In [5] ist dieser Einfluß, der große Werte annehmen kann, vernachlässigt.

Es ist also zu erwarten, und alle Versuche bestätigen dies, daß die nach [5] berechnete Vergrößerung der Schraubenkraft nur sehr angenäherte Werte liefern kann.

Für die in [6] in Tafel 2 angeführten Versuche sind die Werte k nach (5a) in Tafel I zusammengestellt. Die Übereinstimmung zwischen Berechnung und Versuch[4]) ist hier besser wie in [6]. Daß der Kraftanstieg in der Schraube erst bei höherer Belastung rascher als linear ansteigt, deutet auf eine sorgfältige Bearbeitung der Kontaktflächen hin.

Tafel I. Berechnung der Schraubenkräfte nach (6)

Versuch Nr.	l_s cm	F_s cm²	$l_a=l_i$ cm	$F_a=F_i$ cm²	$E\,\delta_s$	$E\delta_a=E\delta_i$	$E\,(\delta_s+\delta_a+\delta_i)$	k	(k)*)
Nr. 1 (⌀ 22)	24,6	6,1	11,9	57,4	4,03	0,207	4,4	0,0465	0,061
Nr. 2 (⌀ 19)	24,6	4,4	11,9	41,4	5,59	0,288	6,17	0,0467	0,065
Nr. 3 (⌀ 22)	24,6	6,1	11,9	43,6	4,03	0,273	4,57	0,0597	0,060
Nr. 4 (⌀ 19)	24,6	4,4	11,9	37,0	5,59	0,322	5,91	0,0545	0,060

*) Nach Versuchen in [6].

In Fig. 6 sind die Ergebnisse von Versuchen von ŠEDIVEC [11] gezeigt. Z ist die aus dem Biegemoment berechnete Belastung einer Schraube, kZ der Mittelwert der gemessenen Schraubenkräfte[5]).

In dem Diagramm sind außerdem die nach (5a) berechneten Werte von kZ unter drei verschiedenen Annahmen der Ausbreitung des Druckkegels angeführt.

Die ganze Betrachtung zeigt, daß die Mechanik des Zugstoßes noch keinesfalls als geklärt anzusehen ist. Nur genauere Untersuchungen und detaillierte Spannungs- und Verformungsmessungen können hier Aufschluß bringen.

Dies gilt in vollem Umfange um so mehr für den Biegestoß, mit dem sich im Vorbericht einige Referate beschäftigen [3, 5, 7] und der auch schon Gegenstand der Beratungen in Stockholm war [13]. Nach obigen Ausführungen

---

[4]) In der letzten Spalte sind die den Versuchsergebnissen entsprechenden Werte k angeführt.

[5]) Die Unterschiede in der Beanspruchung der äußeren und inneren Schrauben waren verschwindend.

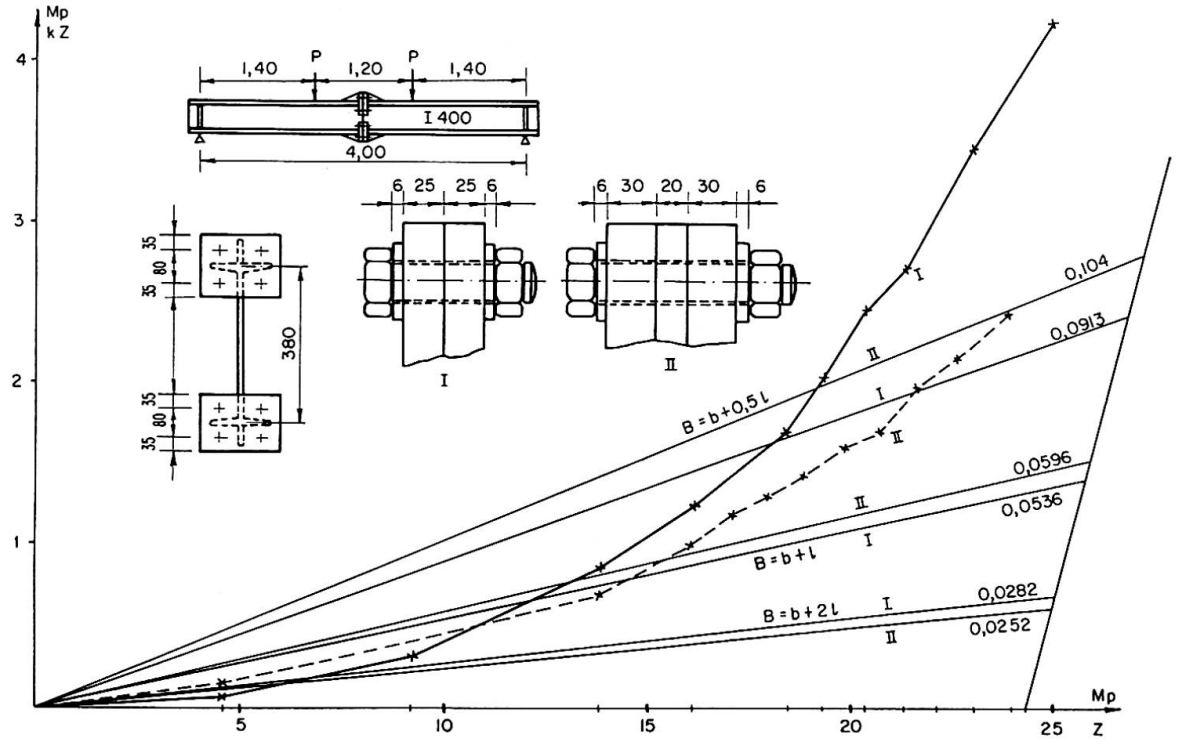

Fig. 6. Nichtlineares Anwachsen der Schraubenkraft bei Zugbelastung.

sollte theoretisch für das erste Stadium der Belastung mit $(1-k)\,Z < P_v$ nach Fig. 7a zu rechnen sein. Für weitere Stadien, in denen nacheinander in den äußeren Reihen $(1-k)\,Z > P_v$ wird, kommt das Rechenschema nach Fig. 7b zur Geltung. Ob eine solche genauere Berechnung nötig ist, soll hiemit nicht behauptet werden.

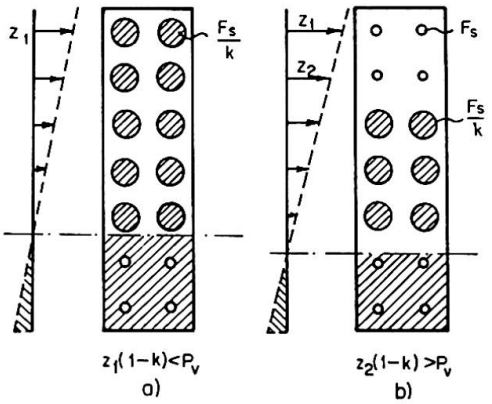

Fig. 7. Berechnung eines Biegestoffes.

Aus den Versuchen von Goffi [5] kann jedoch nicht wie dort erwähnt geschlossen werden, daß sich die Vorspannung der Schrauben nicht auswirkt. Die Versuche zeigen im Gegenteil deutlich den Vorteil der Vorspannung. Bei der höchsten Laststufe ist allerdings in den äußeren Zugschrauben $Z > P_v$,

also die Vorspannung bereits aufgehoben, wozu auch die Hebelwirkung der dünnen Winkelschenkel beigetragen haben mag.

Die Mehrzahl der Beiträge beschäftigt sich mit den eigentlichen Reibungsverbindungen und vor allem mit den Reibungsbeiwerten μ. Diesen Ausführungen sollte in der Diskussion besonderes Interesse gewidmet werden. Ein einfaches Baustellenprüfgerät zum «zerstörungsfreien» Nachweis der Oberflächengüte wird sehr benötigt. Es zeigt sich, daß nur bei sorgfältiger Arbeit und bei nicht walzfrischem Material mit nicht festhaftendem Zunder mit Flammstrahlen die in den meisten Normen vorgesehenen Werte μ zuverlässig erreicht werden. Auch unsere Versuche bestätigen diese Ergebnisse. Wir ziehen daher bei Brücken Flammstrahlen schräg zur Kraftrichtung vor; besser ist jedenfalls entsprechendes Sandstrahlen.

Es wäre wünschenswert, durch eingehendere Versuche die physikalischen Grundlagen der hier auftretenden Vorgänge näher zu beleuchten, um dem schönen Ausdruck «Mikroverzahnung» einen wissenschaftlich-technischen Inhalt zu geben. Versuche wie in [1, 2, 7] über das «Einspielen» der Verbindung können hier wertvolle Hinweise geben und über den Mechanismus der Kraftübertragung unterrichten. In den angeführten Gleitbeiwerten sind auch einige Widersprüche enthalten. So bringt z. B. ein Anrosten der Berührungsflächen nach [1] eine Verminderung der Reibung um 15%; nach [8] wird eine Vergrößerung erwartet, die der Wirkung der Relaxation entgegenwirken soll. Unsere Versuche mit zinkgespritzten Flächen [11] gaben auf St. 37 im Gegensatz zu [1] und [8] befriedigende Ergebnisse.

In diesem Zusammenhang verdient die amerikanische Praxis, die in [4] durch vorbildliche Versuche belegt ist, besondere Erwägung. Während man in Europa durch besondere Behandlung der Berührungsflächen den Reibbeiwert hochzüchtet und die Vorspannkraft durch Messung des Drehmomentes genau zu dosieren versucht, begnügt man sich dort mit dem niedrigen Wert von $\mu = 0{,}32$ und der einfachen «Half-turn»-Methode, allerdings auf Kosten einer kleineren zulässigen Tragfähigkeit. Auch die Zulassung von Schrauben ohne Unterlagscheiben ist nachahmenswert. In manchen Fällen hat diese «vereinfachte» Anwendung der HV-Schrauben ihre besonderen Vorteile und sollte in den Vorschriften zugelassen werden. Erwähnt seien hier die sowjetischen Vorschriften für Stahlkonstruktionen vom Jahre 1962, die für St. 37 drei Reibungskoeffizienten vorsehen:

$\mu = 0{,}45$ für sandgestrahlte oder geflämmte Flächen,
$\mu = 0{,}35$ für gebürstete, ungestrichene Flächen,
$\mu = 0{,}25$ für ungereinigte Flächen (bei Ersatz von Nieten durch HV-Schrauben).

Aufschlußreich sind auch die in [4] enthaltenen Versuchsergebnisse über das «Aufknöpfen» von Verbindungen mit langen Schraubenreihen. Der Abfall der Tragfähigkeit ist kleiner als man erwarten sollte. Die gemessenen Gleitun-

gen sind hiebei kleiner als das Spiel von $1^1/_2$ mm zwischen Schraubenschaft und Lochdurchmesser. Es drängt sich bei Betrachtung der Unterschiede zwischen Versuchen auf Stahl A 7 mit Reibungsbeiwerten von $\mu = 0{,}35$—$0{,}40$ und den Versuchen auf härterem Stahl A 440 mit Reibungsbeiwerten von $\mu = 0{,}30$ bis $\mu = 0{,}32$ die Frage auf, ob sich diese Ergebnisse auch auf die in Europa üblichen Verhältnisse übertragen lassen.

Auch die Tragfähigkeit der HV-Verbindungen bei Ermüdungsbeanspruchung kommt in einigen Beiträgen zur Sprache [5, 7, 8]. In [8] wird geschlossen, daß der Reibungsbeiwert und die Zahl der Schrauben in der Kraftrichtung die Ermüdungsgrenze maßgebend beeinflussen. Bei niedrigen Reibungsbeiwerten ist dies erklärlich, da dann durch das «Voreinbinden» der Kraft die Lochschwächung nur ungenügend gedeckt wird; die Begründung des Einflusses der Schraubenzahl ist aus den Unterlagen nicht ersichtlich, da die Abmessungen der Probekörper nicht angegeben sind.

Abschließend sei zusammengefaßt, daß die eingereichten Beiträge viel Wertvolles zur Abklärung noch offener Fragen enthalten, jedoch gemeinsam mit den Mitteilungen der Erfahrungen aus der Praxis neue Probleme aufgeworfen haben. Die HV-Verbindung hat sich als fortschrittliches Hilfsmittel des Stahlbaues praktisch bewährt; die noch offenen theoretischen Fragen sollten raschestens durch Gemeinschaftsarbeit gelöst werden.

Schrifttum

1. Aurnhammer: «HV-Verbindungen, Überlegungen, Beobachtungen, Versuche.»
2. Beer, Wallner: «Beitrag zur Wandersicherheit von HV-Verbindungen.»
3. Carpentier, Alemany: «Experience française des boulons à haute résistance.»
4. Fischer, Ramseier, Beedle: "Strength of A 440 Steel Joints fastened with A 325 Bolts."
5. Goffi: «L'emploi des boulons à haute résistance dans la construction métallique; leur comportement par rapport aux sollicitation alternées.»
6. Hideyuki, Takeo: "Experiment on Tensile Joints using High-Strength Bolts."
7. Konishi: "Studies on application of high strength bolted joints to bridges."
8. Tomonaga, Tajima: "The use of High-Strength Bolted Joints in Railway Bridges."
9. Sowjetische Normen für Stahlbauten, SNiP II-B 3-62, Moskau 1963.
10. Weiss, Wallner: «Die HV-Schraube unter Zugbelastung.» Stahlbaurundschau 1963, H. 24, S. 15—22.
11. Šedivec: Versuchsanstalt für Verkehrswesen, Prag, Bericht Nr. 2 15. 16 (1964).
12. Geniev: «Über die Berechnung von Flanschverbindungen» in Woprosy besopasnosti i protschnosti strojitelnych konstrukcij, Moskau 1954, Seiten 52—65.
13. Douty: "Discussion on Rivets and High-Strength Bolts." A. Symposium. ASCE Transactions Vol. 126 (1961) I, Paper 3241, Seiten 719—726.
14. Petřík: Versuchsanstalt für Bauwesen der Technischen Hochschule Prag, Bericht Nr. 1470/64 vom 22. 5. 64.

Zusammenfassung

An Hand der 9 eingereichten Beiträge wird über die Wahl des Schraubenstahles, die Größe und Art der Vorspannung, die Berechnung von Zug- und von eigentlichen Reibungsverbindungen diskutiert. Es wird an Hand eigener Versuchsergebnisse mit Zugschrauben auf den bisher wenig beachteten Einfluß der Beschaffenheit der Blechoberfläche hingewiesen.

Summary

On the basis of the nine papers which were presented, the author discusses the questions of the choice of the steel for the bolts, the magnitude and the application of the prestress, together with the design of assemblies subjected to tensile stresses and assemblies by actual friction. Tests carried out by the author with bolts under tension make it possible to reveal the importance, which has not hitherto been greatly studied, of the state of the surface of the sheet steel.

Résumé

Sur la base des neuf contributions qui ont été présentées, l'auteur discute les questions du choix de l'acier des boulons, de la grandeur et de la mise en œuvre de la précontrainte ainsi que du calcul des assemblages travaillant à la traction et des assemblages par frottement proprement dits. Des essais effectués par l'auteur avec des boulons tendus permettent de faire ressortir l'importance, jusqu'à présent peu étudiée, de l'état de surface des tôles.