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

Band: 6 (1960)

Artikel: Einige Gesichtspunkte zur Anwendung hochfester, vorgespannter Schrauben

Autor: Beer, Hermann

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-7035

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: 08.08.2025

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

IIb1

Einige Gesichtspunkte zur Anwendung hochfester, vorgespannter Schrauben

Some Aspects of the Use of High Tensile Bolts in Metallic Structures

Quelques aspects de l'application des boulons à haute résistance

HERMANN BEER
o. Prof. Dr. techn., Graz

A. Einleitung

Die richtige Anwendung der neuen Verbindungsart im Stahlbau — die mit Hilfe von hochfesten, vorgespannten Schrauben die Übertragung der Stoß- und Anschlußkräfte ausschließlich durch Reibung bewirkt — wirft eine Reihe von Fragen auf, von denen hier drei eingehender besprochen werden sollen:

1. Die Erzielung der erforderlichen Vorspannung durch Festlegung eines bestimmten Umdrehungsmaßes erfordert die Kenntnis des elastisch-plastischen Verhaltens der Schraube bis zum Bruch als Funktion dieses Umdrehungsmaßes. An Hand von Abwürgediagrammen werden dieses Verhalten im Laboratoriumsversuch eingehend studiert und die Versuchsergebnisse diskutiert sowie ein Vorschlag für die praktische Ausführung gemacht.
2. Das Verhalten der Reibungsverbindung bei wiederholt von einer geringen Spannung auf die maximale Oberspannung anschwellender Belastung ist sehr wichtig für die Festlegung der Gleitsicherheit und zur Klärung der Frage des Lochspiels. In Österreich ausgeführte Versuche mit mehrreihigen HV-Verbindungen bei einer Oberspannung in der Nähe der Gleitgrenze werden eingehend besprochen und aus den Ergebnissen Schlußfolgerungen gezogen.
3. Statik und Konstruktion der Anschlüsse und Stoßverbindungen mit HV-Schrauben müssen neu entwickelt werden und dürfen nicht einfach die Prinzipien der Nietverbindungen übernehmen. Der Verfasser bringt hierzu einige Vorschläge, die dieser Entwicklung Rechnung tragen.

B. Abwürgeversuche

Zur Erzeugung der notwendigen Reibungskraft an den Kontaktflächen der Verbindung müssen die Schraubenbolzen längsvorgespannt werden. Diese Vorspannung wird erzielt durch die Aufbringung eines Drehmomentes an der Schraubenmutter oder am Schraubenkopf, wobei entweder eine direkte Ablesung dieses Drehmomentes an einer Anzeigevorrichtung möglich ist oder auf die Größe des Drehmomentes aus dem Umdrehungsmaß geschlossen werden kann. Letztere Form der Drehmomentenbestimmung soll hier behandelt werden. Sie geht auf die in den USA seit längerer Zeit gebräuchliche "one turn method" zurück, wobei jedoch bei einer vollen Umdrehung die Schraubengewinde im allgemeinen schon plastische Verformungen aufweisen, so daß es ratsam ist, den Drehwinkel auf das erforderliche Maß zu beschränken.

Während die untere Grenze des Umdrehungsmaßes durch die mindestens einzuleitende Vorspannung festgelegt ist, ergibt sich die obere Grenze aus der Forderung einer ausreichenden Sicherheit gegen das Abwürgen der Schraube. Ferner muß noch das Langzeitkriechen des Schraubenschaftes, welches zu

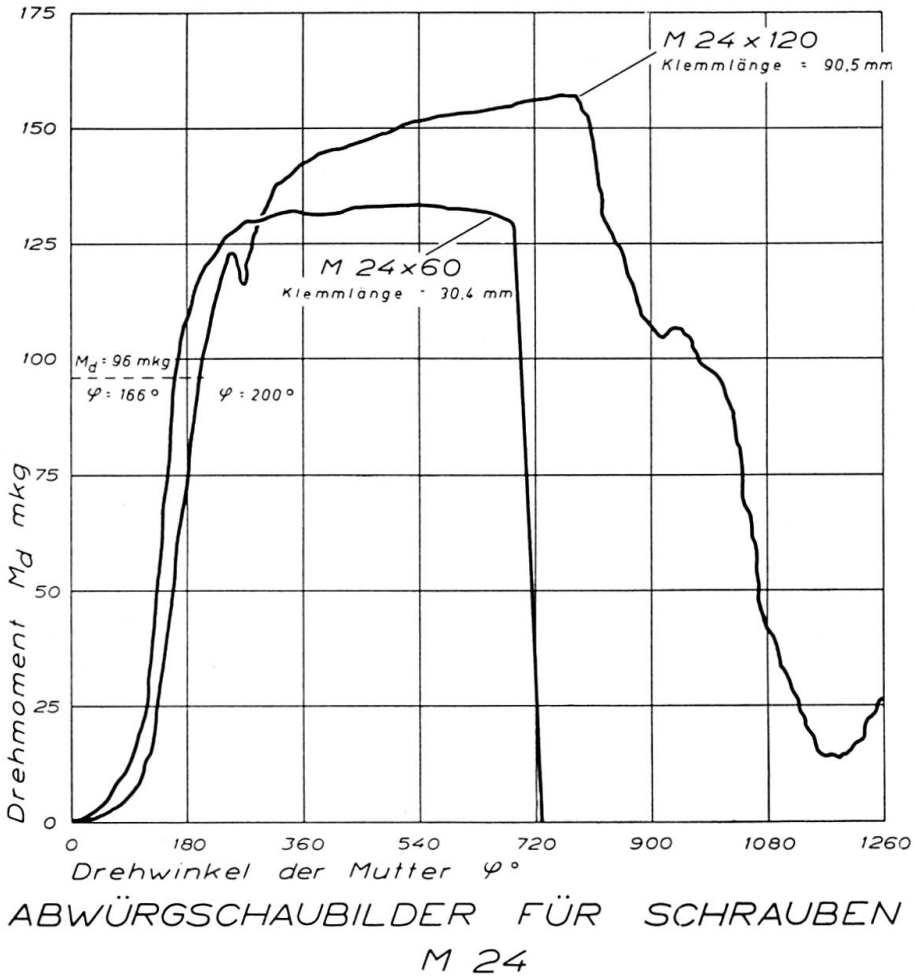

Fig. 1.

einem Vorspannverlust führen könnte, berücksichtigt werden. Eine theoretische Erfassung dieses Problems ist wegen der verwickelten Reibungsverhältnisse und Spannungszustände im Gewindeteil, Mutter und Unterlagscheibe kaum möglich, so daß zu Versuchen geschritten werden mußte. Diese sogenannten «Abwürgeversuche» waren Gegenstand eines Versuchsprogrammes der Schraubenfabrik Brevillier & Co. und A. Urban & Söhne, Wien, wobei die Versuche selbst an der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der TH Wien ausgeführt wurden.

In Fig. 1 sind die Abwürgediagramme (Drehmoment als Funktion des Umdrehungswinkels) für zwei Schrauben M 24 der Güte 10 K (nach DIN 267) dargestellt, wobei zum Vergleich zwei verschiedene Klemmlängen, und zwar 30 und 90 mm gewählt wurden. Die Schraubenmutter wurde zunächst «handfest» angezogen und sodann mit einer Torsionsmaschine allmählich bis zum Bruch der Schrauben (Abwürgen) verdreht. Man erkennt deutlich die zunächst stärkere Zunahme des Umdrehungsmaßes bis zum Spannungssitz der Schraube und hierauf einen praktisch linearen Anstieg des Drehmomentes mit dem Umdrehungswinkel über das Solldrehmoment von 96 mkg hinaus bis etwa auf dessen 1,3-fachen Wert (bei Klemmlänge 30 mm). Das erforderliche Solldrehmoment wurde hierbei nach den zur Zeit noch gültigen «Österreichischen Richtlinien» unter Annahme einer 1,4-fachen Sicherheit gegen Gleiten der Reibungsverbindung ermittelt. Beim Fall der Schraube mit 30 mm Klemmlänge findet nun nach Überschreiten der 1,3-fachen Sollvorspannung ein ausgesprochener Plastizierungsvorgang im Gewinde statt, der bei nahezu konstant, aber wirksam bleibendem Drehmoment einen starken Anstieg des Drehwinkels zeigt. Der Bruch der Schraube erfolgt nun plötzlich im Schaft (Gewindeteil) unter völligem Vorspannverlust bei zwei ganzen Umdrehungen der Schraube.

Das Diagramm für die Schraube von 90 mm Klemmlänge zeigt einen stärkeren, wenn auch relativ flachen Anstieg des Drehmomentes, der durch eine

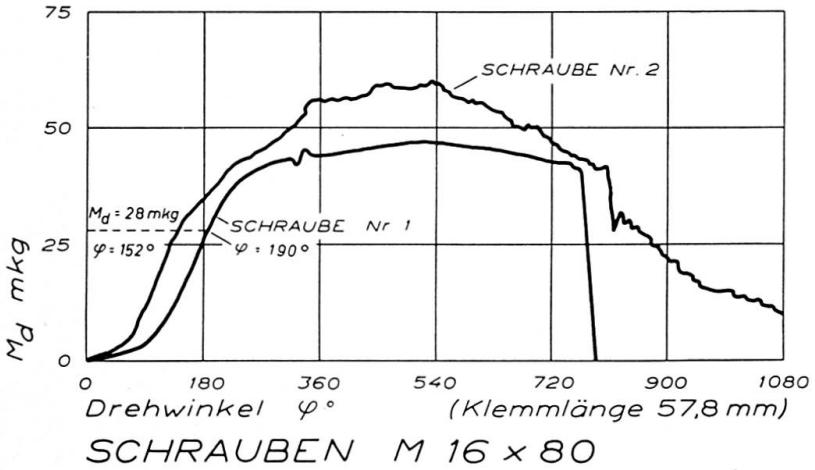

Fig. 2.

Teilplastizierung erklärbar ist, und sodann einen allmählichen Abfall dieses Momentes bei weiterer Zunahme des Umdrehungswinkels. Es zeigt sich jedoch keine ausgesprochene Brucherscheinung. Dieser Kurvenverlauf ist nur dadurch erklärlich, daß der Plastizierungsvorgang im Gewinde selbst den Abfall der Vorspannung einleitet, eine Tatsache, die auch aus den Versuchsergebnissen klar erkennbar war.

Bei einer mittleren Klemmlänge von etwa 58 mm (Fig. 2) kann sowohl der Schaftbruch (Schraube Nr. 1) als auch die Gewindeverdrückung (Schraube Nr. 2) eintreten, wie dies Versuche mit Schrauben M 16 gezeigt haben. Etwa 30 Versuche haben jedoch eine starke Streuung der Grenzklemmlänge zwischen Gewinde- und Schaftbruch ergeben. Offensichtlich haben ganz feine Unterschiede in der Gewindebeschaffenheit schon Einfluß auf die Bruchform. Hingegen tritt auch bei Schrauben M 16 die geschilderte Tendenz deutlich in Erscheinung (Fig. 3), wobei an diesen Kurven Linearanstieg und Fließbereich nicht so scharf abgegrenzt sind. Insbesondere fällt auf, daß auch nach drei Umdrehungen bei der Schraube mit 58 mm Klemmlänge noch ein erhebliches Drehmoment aufgenommen wird, während die Schraube mit 20 mm Klemmlänge den charakteristischen Steilabfall bei zwei Umdrehungen zeigt.

Zur Beurteilung der Klemmkraft selbst ist die Dehnung ϵ % als Funktion

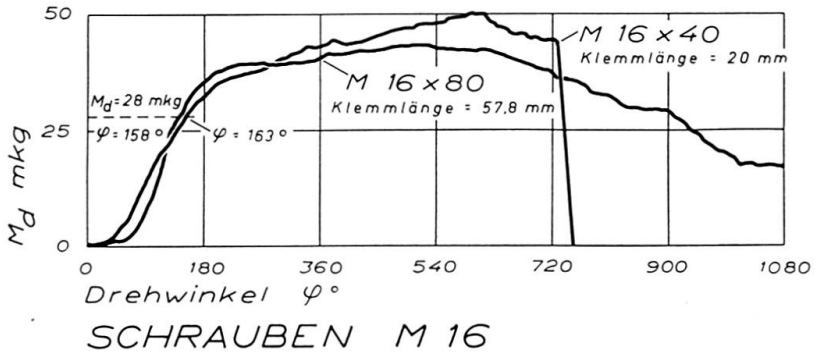

Fig. 3.

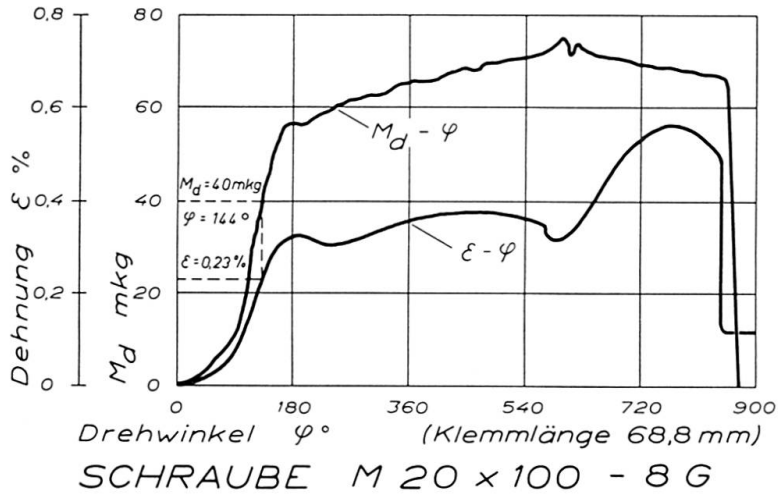

Fig. 4.

des Umdrehungswinkels aufgetragen. Man erkennt für das weichere Material 8 G (Fig. 4) einen Verlauf der ϵ-φ-Kurve, der bis etwa $1\,^1/_2$ Umdrehungen jenem der M_d-φ-Kurve ähnlich ist. Sodann findet jedoch infolge stärkerer Plastizierung ein weiterer Dehnungsanstieg bei leichtem Abfall des Drehmomentes statt, worauf schließlich der plötzliche Bruch eintritt. Das härtere Material 10 K zeigt diesen Drehmomentenanstieg nach der ersten Umdrehung nicht (Fig. 5), so daß der Dehnungsanstieg fortfällt und ein flaches Ausklingen der ϵ-φ-Kurve die Folge ist.

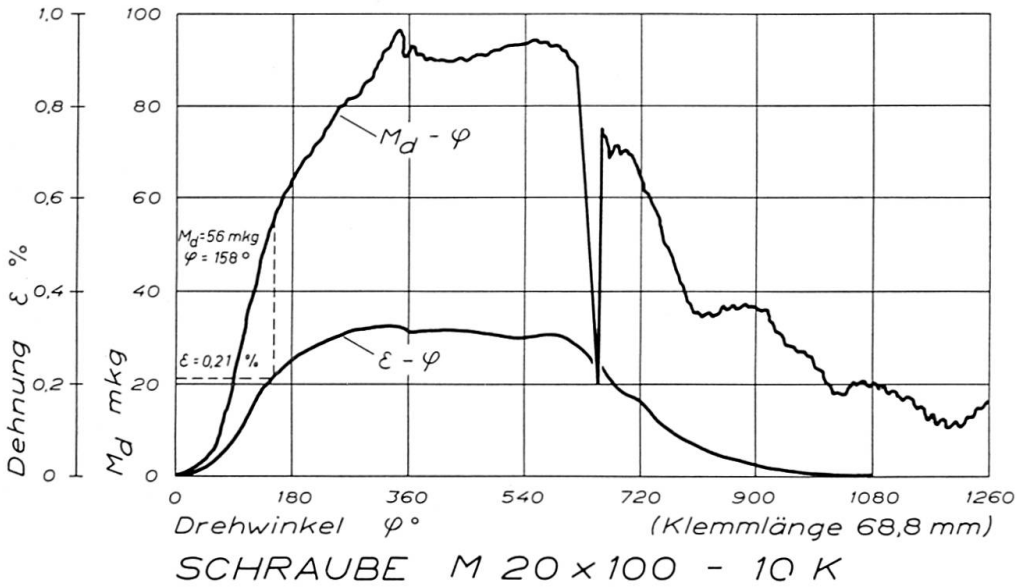

Fig. 5.

Das Ergebnis von etwa 30 Versuchen und ihre Deutung kann folgend zusammengefaßt werden:

a) Sämtliche Abwürgediagramme zeigen eindeutig, daß nach Spannungssitz der Schraube eine halbe Umdrehung genügt, um die erforderliche Vorspannkraft der Schraube mit Sicherheit zu erreichen.
b) Die zugehörige Dehnung im Schraubenschaft liegt hierbei zwischen 0,2 % und 0,3 %, so daß eine stärkere Plastizierung noch nicht anzunehmen ist.
c) Ein Nachlassen der Vorspannung infolge Langzeitkriechen konnte bei einer halben Umdrehung nicht festgestellt werden.
d) Bei Anwendung der Methode der «halben Umdrehung» nach Spannungssitz ist eine große Sicherheit der Schraube gegen Abwürgen vorhanden.

Die Untersuchungen bezogen sich bisher auf die üblichen verlaschten, einteiligen oder mehrteiligen Stoßverbindungen. Bei Anschlüssen von relativ steifen Konstruktionsteilen mit ungenauer Passung oder mit Schrumpfverformungen aus dem Schweißprozeß kann nach dem Spannungssitz noch ein gewisses Umdrehungsmaß dazu verbraucht werden, um die Kontaktflächen satt aneinander zu pressen. Man muß in diesen Fällen entweder den Spannungs-

sitz durch stärkeres Voranziehen soweit erzwingen, daß die Kontaktflächen sich berühren oder aber für Typenanschlüsse eine Eichung des Umdrehungsmaßes mit Hilfe eines Drehmomentenschlüssels vornehmen.

Die unerläßliche Voraussetzung für die klaglose Anwendung der hier entwickelten Gesichtspunkte in der Praxis ist jedoch die Gleichmäßigkeit in der Schraubenherstellung, die sorgfältige Ausrundung der Übergänge und die Abfasung der Unterlagscheibe.

C. Lastwechselversuche

Sowohl die statische als auch die Ermüdungsfestigkeit der HV-Verbindung sind sehr eingehend von O. STEINHARDT und K. MÖHLER[1]) untersucht worden. Die bei diesen Versuchen erzielten Ergebnisse lassen aber noch keinen Schluß auf das Verhalten dieser Reibungsverbindung bei wiederholter Belastung (Schwellbelastung) zu, die in der Nähe der Gleitgrenze liegt. Dieses Verhalten ist jedoch unbedingt zu klären, um die Frage beantworten zu können, ob ein schrittweises Gleiten (Wandern) an den Kontaktflächen möglich ist. Damit in engem Zusammenhang stehen auch die Festsetzungen für das zulässige Lochspiel und die erforderliche Sicherheit gegen Gleiten der Verbindung.

Es wurden daher im Auftrage des Österreichischen Stahlbauverbandes bei der VÖEST in Linz einschlägige Versuche durchgeführt, deren wesentliche Ergebnisse hier gebracht werden. Fig. 6 zeigt die Versuchsanordnung mit sechs hintereinander gereihten Schrauben M 20 der Materialgüte 10 K. Das Lochspiel wurde mit 2 mm festgelegt und die Löcher der Laschen gegenüber jenen des Mittelteiles, wie aus dem Teilschnitt der Fig. 7 ersichtlich ist, so versetzt, daß das volle Lochspiel als eventueller Wanderweg zur Verfügung steht. Fig. 8 zeigt die Anordnung der Marken zur Beobachtung des Gleitens.

Vor der Festlegung der Oberlast für die Schwellbeanspruchung wurden

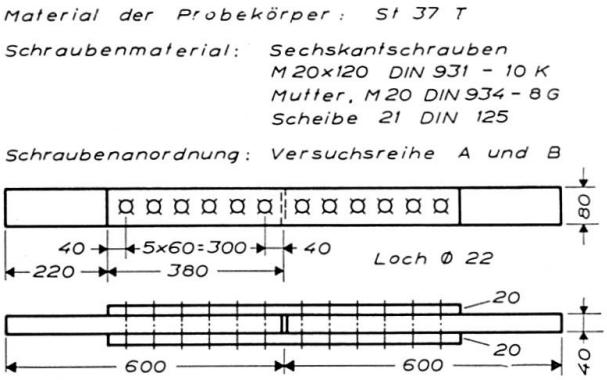

Fig. 6.

[1]) STEINHARDT, O. und MÖHLER, K., Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, H. 18 und H. 22.

die Reibungsbeiwerte einzelner Proben ermittelt. Sie sind in Tabelle 1 zusammengestellt und liegen sämtlich über dem für den hier verwendeten Baustahl St 37 geforderten Wert. Tabelle 2 zeigt das Ergebnis der Schwellzugversuche mit geringer Lastspielzahl ($n \leqq 100$), wobei die Oberlast zwischen 50 t und 60 t variierte.

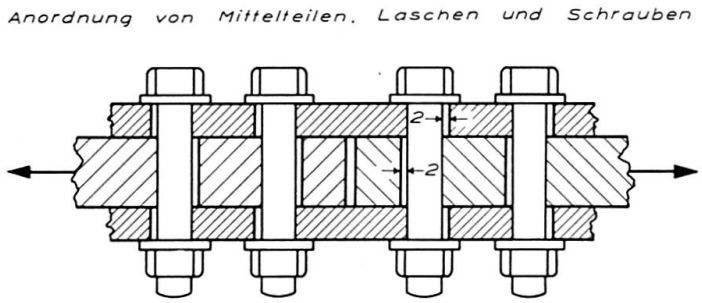

Fig. 7.

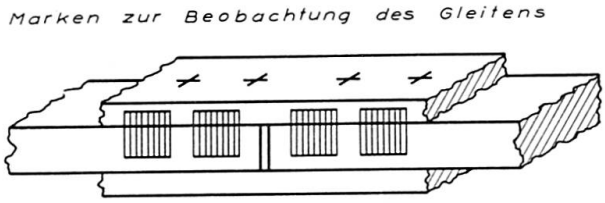

Fig. 8.

Tabelle 1. Ergebnisse der Probenreihe A (Zugversuch mit einmaliger Belastung bis zur Gleitlast)

Probe Nr.		Vorspannung M_a mkg	Vorspannung P_v t	Gleitlast t	Reibungswert μ
1	oben	32	9,4	55,2	0,49
	unten			60,0	0,53
2	oben			56,2	0,50
	unten			57,6	0,51
3	oben			54,6	0,48
	unten			55,4	0,49

Zunächst ist die Tatsache bemerkenswert, daß ein schrittweises Gleiten (Wandern) der Berührungsflächen in keinem einzigen Versuch eintrat. Das Rutschen erfolgte auf einmal ruckartig bei Oberlasten, die in der Nähe der statischen Gleitgrenze liegen. Nur drei Proben zeigten etwas vorzeitiges, aber gleichfalls ruckartiges Gleiten, wobei der niedrigste, entsprechende Reibungsbeiwert 0,41 betrug. Bei nochmaligem Zusammenbau zeigte auch diese Probe wieder den durchschnittlich hohen Reibungsbeiwert.

Tabelle 2. Ergebnisse der Probenreihe B (Zugversuch mit mehrmaliger Belastung zwischen einer bestimmten Ober- und Unterlast)

Probe Nr.		Wiederholte Belastung					Anschließende statische Belastung bis zur Gleitgrenze	
		Anzahl der Lastwechsel bei Unterlast 5 t und Oberlast				Gleitlast (vorzeitig. Gleiten)	Gleitlast	Reibungswert
		50 t	55 t	58 t	60 t	t	t	μ
4	oben	45				47,0 [1]		
	unten	100	20				57,0	0,50
5	oben	50					54,0	0,47
	unten	50					55,0	0,48
6	oben	50	20				60,0	0,53
	unten	50	20				63,8	0,56
7/4	oben	50	20				60,8	0,53
	unten	50	20				65,1	0,57
8	oben		50	20	20		61,4	0,54
	unten		50	20	20		71,0	0,62
9	oben		20	50	20		77,2	0,68
	unten		20	50	20		70,0	0,61
10	oben		35			53,4 [2]		
	unten		35			50,2 [3]		
11/10	oben		50	20	20		72,6	0,64
	unten		50	20	20		72,6	0,64

[1]) entsprechend $\mu = 0{,}41$ [2]) entsprechend $\mu = 0{,}47$ [3]) entsprechend $\mu = 0{,}44$

Eine weitere Versuchsreihe diente der Beantwortung der Frage, ob eine Erhöhung der Lastwechselzahl das «Wandern» hervorrufen könnte. Da diese Versuche in der Pulsatormaschine mit begrenzter Oberlast von 40 t durchgeführt werden mußten, wurden die Schraubenanordnungen nach Fig. 9 gewählt, wobei die Proben 12 und 13 der Skizze C_1 und die Proben 14 und 15 der Skizze C_2 entsprachen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt und es ist festzuhalten, daß auch hier kein «Wandern» beobachtet werden konnte. Ferner trat bei der hier begrenzten Oberlast in keinem Fall ein Gleiten ein, obwohl die entsprechend rückgerechneten Reibungsbeiwerte sämtlich über 0,45 lagen.

Aus den Versuchen, die zur Zeit fortgesetzt werden, kann man den Schluß ziehen, daß das von Fachleuten befürchtete «Wandern» an den Kontaktflächen nicht eintritt und daher von dieser Seite der Reibungsverbindung keine Gefahr droht. Das Versagen erfolgt auch bei Schwellbelastung auf einmal ruckartig

Tabelle 3. Ergebnisse der Probenreihe C (Schwellzugversuche)

Probe Nr.		Anzahl der Schrauben	«Schwellzugversuche» Anzahl der Lastwechsel bei Unterlast 5 t und Oberlast 40 t	Anschließende statische Belastung bis zur Gleitgrenze	
				Gleitlast t	Reibungswert μ
12	oben	je 5	300 000	62	0,65
	unten			60	0,63
13	oben		700 000	66	0,70
	unten			73	0,77
14	oben	je 4	300 000	50	0,66
	unten			53	0,70
15	oben		200 000	55	0,72
	unten			56	0,74

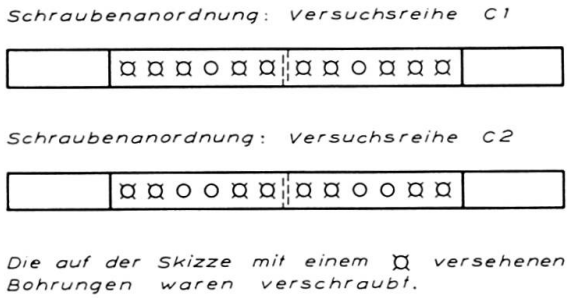

Fig. 9.

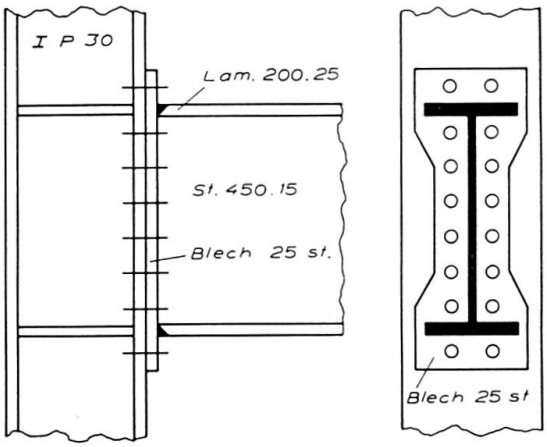

Fig. 10.

bei Lasten, die in der Nähe der Gleitgrenze liegen. Diese Erscheinung könnte dadurch erklärt werden, daß sich die Kontaktflächen ineinander verzahnen (Mikroverzahnung), so daß eine, wenn auch sehr kleine Nachgiebigkeit ohne Schlupf durch elastische Verformung der Verzahnung möglich ist. Für die Annahme einer Mikroverzahnung spricht auch die Tatsache, daß die Reibungsbeiwerte mit der Festigkeit des Materials ansteigen. In Österreich durchgeführte Versuche haben für den hier verwendeten Baustahl St 44 mit einer Regelstreckgrenze von 29 kg/mm² und einer Mindestzugfestigkeit von 44 kg/mm² einen Reibungsbeiwert von 0,52 ergeben, der in statistischer Auswertung zahlreicher Versuche etwa mit demselben mittleren Fehler behaftet ist wie die von STEINHARDT und MÖHLER ermittelten Werte von 0,45 für St 37 und von 0,60 für St 52. Der Wert 0,52 entspricht sehr gut einer Interpolation auf der Basis der Streckgrenze der drei Baustähle.

Aus den Versuchen kann weiters die für die Praxis wichtige Schlußfolgerung gezogen werden, daß gegen ein Lochspiel von 2 mm keine Bedenken bestehen, so daß ein Aufreiben der Löcher auf der Baustelle nicht mehr erforderlich wird.

D. Statik und Konstruktion

Die neue Verbindungsart, welche die Kräfte durch Reibung überträgt, erfordert grundsätzlich neue Überlegungen für die konstruktive Gestaltung und die statische Berechnung der Anschlüsse und Stoßverbindungen. Zunächst sei hier an die Verbindung zweier senkrecht zueinander stehender, biegefester Stäbe gedacht, wie sie z. B. im Stahlskelettbau bei Rahmenecken auszuführen ist. Fig. 10 zeigt einen Vorschlag, der in Herstellung und Montage sehr einfach ist. Der Anschluß ist in der Lage, neben Querkräften auch Biegemomente und Normalkräfte zu übertragen, da die vorgespannten Schrauben Zugkräfte, ohne wesentliche Veränderung ihrer Längsbeanspruchung aus der Vorspannung, aufnehmen können. Die statische Berechnung dieses Anschlusses hat unter der Annahme zu erfolgen, daß die Schrauben mit ihrem Spannungsquerschnitt Zugkräfte und das Stirnblech auf Kontakt Druckkräfte aufnimmt. Nimmt man zunächst die Gültigkeit der Navierschen Spannungsverteilung auch für den Anschlußquerschnitt an, so ermittelt sich die Spannungsnullinie für Biegung aus der Gleichheit der statischen Momente der zug- und druckaufnehmenden Flächen mit Hilfe der quadratischen Gleichung (Fig. 11):

$$\xi^2 + \frac{2\,\xi}{a\,b} \sum_{i=1}^{i=n} f_{sp} - \frac{2\,f_{sp}}{a^2\,b} \sum_{i=1}^{i=n} a_i = 0\,.$$

Ist die Lage der Nullinie ermittelt, so läßt sich auf bekannte Weise das Trägheitsmoment und die Spannungsverteilung auf die Schrauben infolge eines Anschlußmomentes M bestimmen. Sind vier oder mehr Schraubenreihen vorhanden, so läßt sich die Berechnung dadurch vereinfachen, daß man näherungsweise eine kontinuierliche Aufteilung des zugaufnehmenden Spannungsquerschnittes der Schrauben vornimmt (Fig. 11), der durch einen lotrechten Zugstreifen von der Breite

$$b_1 = \frac{n\,f_{sp}}{a}$$

ersetzt wird. Mit

$$\alpha = \frac{b_1}{b}$$

wird dann die Lage der Spannungsnullinie:

$$\xi = \frac{x}{a} = \alpha \left[\sqrt{\frac{1}{\alpha} + 1} - 1 \right]$$

und das Trägheitsmoment des Anschlußquerschnittes:

$$J_{N-N} = \frac{b\,a^3}{3}\left[3\,\alpha\,(\tfrac{1}{2}-\xi)^2+\xi^3+\frac{\alpha}{4}\right],$$

woraus sich mit

$$W_0 = \frac{J_{N-N}}{a\,(1-\xi)}$$

die Zugbeanspruchung des obersten Schraubenpaares ermittelt zu:

$$P_z = \frac{M}{W_0} f_{sp}.$$

Bezeichnet man mit ν den Sicherheitsfaktor gegen Gleiten der Verbindung, welche den Reibungsbeiwert μ besitzt, und ist schließlich $\sum V$ die gesamte reibungserzeugende Vorspannkraft, so wird die außer dem Biegemoment M noch aufnehmbare zulässige Querkraft:

$$\text{zul}\,Q = \frac{\mu \sum V}{\nu}.$$

Es läßt sich leicht zeigen, daß die Aufnahme eines Biegemomentes keinen Verlust an reibungswirksamer Vorspannung $\sum V$ bringt, da aus Gleichgewichtsgründen die Gleichung gilt:

$$\sum V = n\,P_v + b_1 \int_0^{-(a-x)} \frac{M}{W_0}\,\frac{u}{a-x}\,d\,u - b_0 \int_0^{x} \frac{M}{W_u}\,\frac{u}{x}\,d\,u = n\,P_v.$$

Die Voraussetzung der linearen Spannungsverteilung bedeutet hier keine Einschränkung, da diese Gleichung auch für jede beliebige, vom Geradlinien-

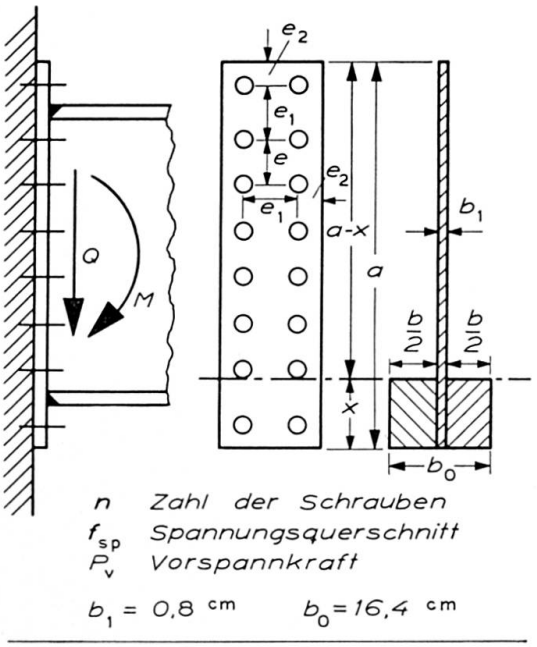

Fig. 11.

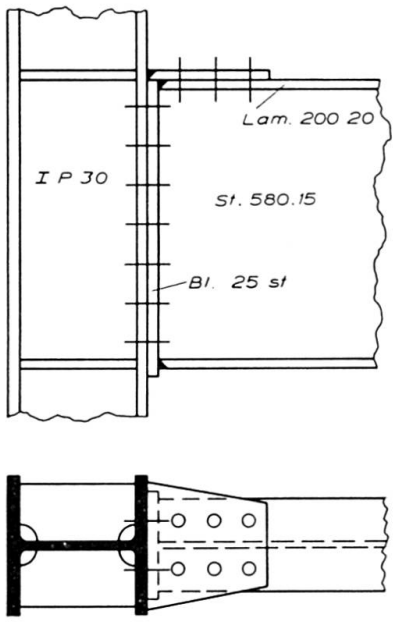

Fig. 12.

gesetz abweichende Spannungsverteilung gelten muß. Es ändert sich sodann lediglich die Längszugspannung in den einzelnen Schrauben, was jedoch in den meisten praktischen Fällen ohne Bedeutung ist, da die zulässige Zugbeanspruchung der Schrauben im allgemeinen nicht ausgenützt werden kann.

Für die in Fig. 10 eingetragenen Abmessungen wird für Baustahl St 37 mit $\mu = 0{,}45$ und $\nu = 1{,}1$ bei Anordnung von sechzehn Schrauben M 24, Materialgüte 10 K:

$$P_v = 21{,}5\,\text{t}, \quad M = 50\,\text{mt}, \quad P_z = 18{,}2\,\text{t}, \quad \text{zul}\,Q = 140\,\text{t}.$$

Der Träger selbst ist aber unter Ausnutzung der zulässigen Spannungen nur in der Lage $M = 46$ mt und $Q = 73$ t aufzunehmen. Es ist daher hier möglich, entweder die Schraubenzahl zu reduzieren oder Schrauben der Güte 8 G zu verwenden.

Besondere Aufmerksamkeit verdient die Aufnahme der Querkraft im Steg der Stütze IP 30.

Hier können bei schwächeren Stützenstegen örtliche Stegverstärkungen notwendig werden. Bei Mittelstützen wird die zu übertragende Querkraft im allgemeinen geringer sein, so daß bei den üblichen Stützenprofilen nur selten Stegverstärkungen erforderlich werden. Auch die Vergrößerung der Anschlußhöhe durch Rahmenecken ist natürlich ein Mittel zur Reduktion der Querkraft, wenn nicht andere Gesichtspunkte gegen diese Eckausbildung sprechen.

Vielfach wird im Stahlskelettbau der Anschluß des Unterzuges an die Stütze noch durch eine Durchbindelasche verstärkt (Fig. 12). Beim HV-Schraubenanschluß ist hiervon ein wesentlicher Gewinn nicht zu erwarten, da eine Vergrößerung des zulässigen Anschlußmomentes mit Rücksicht auf die Krafteinleitung in die Stütze und die Tragkraft der anzuschließenden Unterzüge nicht ausgenützt werden kann.

Man erhält in diesem Fall mit Fig. 13 und den Bezeichnungen

$$\alpha = \frac{b_1}{b}; \qquad \bar{\alpha} = \alpha + \frac{F_L}{a\,b}; \qquad \bar{\bar{\alpha}} = \alpha + \frac{2\,F_L}{a\,b}\,\frac{a_1}{a}$$

die Lage der Nullinie:

$$\xi = \frac{x}{a} = -\bar{\alpha} + \sqrt{\bar{\alpha}^2 + \bar{\bar{\alpha}}}$$

und die Querschnittswerte:

$$J_{N-N} = \frac{b\,a^3}{3}\left[3\,\alpha\,(\tfrac{1}{2} - \xi)^2 + \xi^3 + \frac{\alpha}{4} + \frac{3\,F_L}{a\,b}\,\frac{a_1^2}{a^2}\left(1 - \xi\,\frac{a}{a_1}\right)^2\right],$$

$$W_0 = \frac{J_{N-N}}{a\,(1-\xi)}, \qquad W_u = \frac{J_{N-N}}{a\,\xi}.$$

Die Summe der Vorspannkräfte beträgt:

$$\sum V = n P_v + b_1 \int_0^{-(a-x)} \frac{M}{W_0} \frac{u}{a-x} d u + b_0 \int_0^{x} \frac{M}{W_u} \frac{u}{x} d u$$

$$= n P_v - \frac{M a}{2} \left[\frac{b_1 (1-\xi)}{W_0} - \frac{b_0 \xi}{W_u} \right],$$

woraus die zulässige Querkraft wird:

$$\text{zul}\, Q = \frac{\mu \sum V}{\nu}.$$

Mit den Abmessungen der Fig. 12 wird für Baustahl St 52:

$$F_L = 40\,\text{cm}^2; \quad \xi = 0{,}200; \quad J_{NN} = 70700\,\text{cm}^4;$$
$$W_0 = 1403\,\text{cm}^3; \quad W_u = 5615\,\text{cm}^3.$$

Unter der Annahme eines Biegemomentes von 60 mt wird $\sum V = 344 - 86{,}2 + 110{,}5 = 368{,}3$ t und die aufnehmbare Querkraft zul $Q = 151$ t. Hier ist bemerkenswert, daß dem Verlust der Vorspannkraft in der Zugzone ein größerer Gewinn in der Druckzone gegenübersteht, so daß die aufnehmbare Querkraft vergrößert wird. Daraus folgt eine geringere Beanspruchung der oberen Randschrauben von nur $P_z = 13{,}4$ t. Das von den Schrauben im Rahmen der zulässigen Spannungen aufnehmbare Moment von 60 mt würde jedoch die Lasche überbeanspruchen. Im Hinblick auf ihre zulässige Spannung kann vom Anschluß tatsächlich nur ein Moment von 34 mt aufgenommen werden, so daß es auch hier möglich wäre, entweder ein Schraubenmaterial geringerer Festigkeit zu verwenden oder die Lasche fortzulassen. Natürlich würde eine Zuglasche aus noch hochfesterem Material (z. B. Alfortstahl) die Momentenaufnahmefähigkeit des Anschlusses verbessern.

Eine Anwendung des HV-Schraubenanschlusses mit Zuglasche bilden die

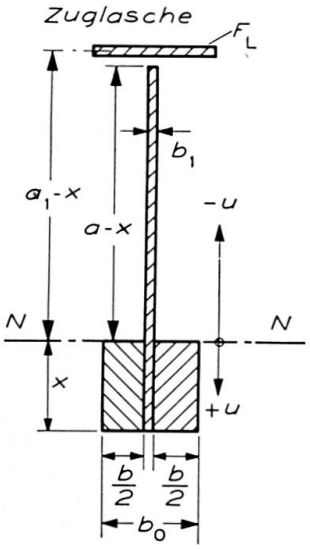

Fig. 13.

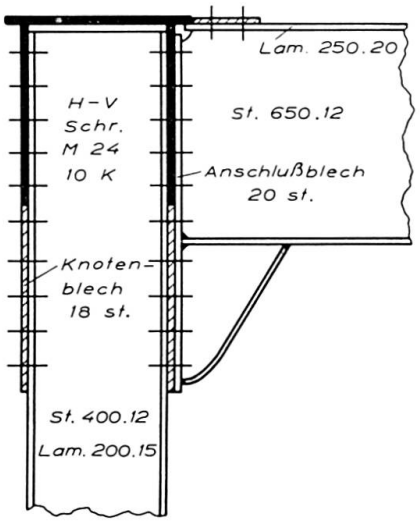

Fig. 14.

Portale von Fachwerkbrücken, und zwar sowohl die biegesteifen Rahmenecken am Querträger (unterer Portalriegel) als auch am oberen Portalriegel (Fig. 14). Man erkennt hier deutlich die Vereinfachung der Konstruktion gegenüber der bisherigen genieteten Ausführungsweise.

Auch die konstruktive Entwicklung der Knoten von Fachwerkträgern geht neue Wege (Fig. 15). Die Diagonalen aus geschweißten Kastenprofilen werden an die mit den angeschweißten Knotenblechen versehenen Gurtungen vom selben Querschnittstyp herangeführt. Zur Unterbringung der HV-Anschlußschrauben sind die beiden senkrecht zur Knotenblechebene stehenden Stege eingezogen, so daß sich die Schrauben bequem anziehen lassen. Auch der Querträgeranschluß läßt sich einfach durchführen. Die Windverbandsdiagonalen aus Kastenprofilen erhalten ein am Anschluß eingeschweißtes Knotenblech (Fig. 16 u. Fig. 17), das mit HV-Schrauben an die Gurtungen angeschlossen ist.

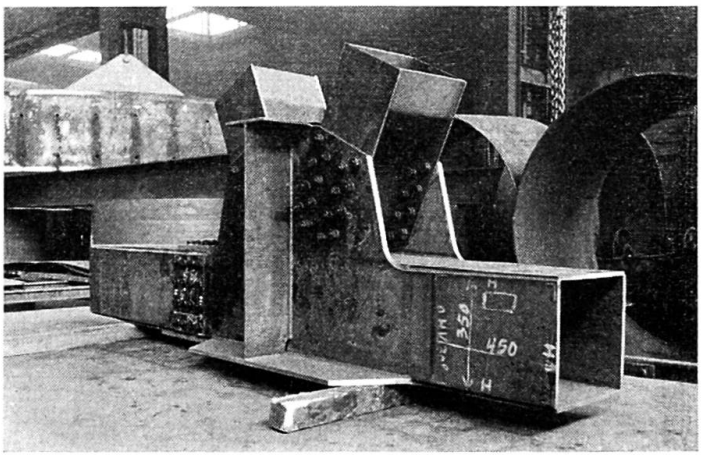

Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 17.

Zusammenfassung

In Österreich ausgeführte Abwürgeversuche zeigen, daß sich die Methode der halben Umdrehung nach Spannungssitz der Schraube als brauchbar erweist, um einerseits die notwendige Vorspannung zu erzielen und andrerseits genügende Reserven gegen das Abwürgen und gegen Spannungsverluste durch Kriechen zu erhalten. Österreichische Versuche mit zweischnittigen HV-Verbindungen bei Schwellbelastung, wobei die Oberlast in der Nähe der Gleitgrenze liegt, haben gezeigt, daß ein gegenseitiges schrittweises Gleiten («Wandern») der Kontaktflächen nicht eintritt. Die Überwindung der Reibung erfolgt auch hier plötzlich mit ruckartigem Gleiten bis zum Anliegen der Schraubenschäfte an den Lochwandungen, so daß an den Kontaktflächen eine elastische Kammwirkung angenommen werden muß. Gegen ein Lochspiel von 2 mm für HV-Verbindungen bestehen demnach keine Bedenken.

Die Anwendung von HV-Schrauben im Stahlbau verlangt neue konstruktive Entwicklungen für die Anschlüsse und Stoßverbindungen sowie eine sorgfältige Auswahl der Materialgüte. Der Beitrag bringt Vorschläge für die Gestaltung und Berechnung von Rahmenecken, wobei besonders die große Aufnahmefähigkeit des Stirnblechanschlusses für Biegemomente ins Auge springt. Auch die Knoten von Fachwerkbrücken erfahren eine grundsätzliche Neugestaltung im Sinne einer wesentlichen konstruktiven Vereinfachung.

Summary

In his contribution to the discussion, the author deals with tests carried out in Austria for the purpose of determining the effect of repeated cycles of loading and relieving of the load on prestressed bolted joints, in the case of loads approaching the friction limit. These tests showed no substantial reduction in the friction loads obtained during tests performed with static loads. As regards the use of the method of tightening high tensile bolts "to the turn of the nut", it is important to know the safe limit of failure through torsion of the shank of the bolts or of the threads for a given angle of rotation. Diagrams relating to the breaking load have been prepared which show that the most suitable angle of rotation after tightening home by hand is 180°.

The arrangement of high tensile bolts in the connections of truss bridges with welded box-section members involves new forms for these connections. The author gives design details relating to this problem as well to other questions.

Résumé

Des essais effectués en Autriche sur des boulons HR dont le serrage a été poussé jusqu'à la rupture, ont montré l'efficacité de la méthode «au demi-tour d'écrou» (half turn) après serrage préliminaire (snug fit); ce procédé permet en effet d'obtenir la précontrainte nécessaire tout en assurant une marge suffisante par rapport à la rupture de la tige ou des filets et aux pertes de serrage dues au fluage. D'autres essais autrichiens, effectués sur des assemblages HR travaillant au double cisaillement et soumis à des efforts répétés, ont montré qu'il ne se produit aucun cheminement graduel, au rythme des chargements et des déchargements, même lorsque la limite supérieure de la sollicitation appliquée est proche de la charge de glissement. La résistance au frottement est vaincue brusquement, avec un glissement saccadé jusqu'au contact des tiges avec les bords des trous; on doit par conséquent admettre que la friction des surfaces en contact est due à une sorte d'engrènement élastique de leurs rugosités. Le jeu de la tige dans le trou pourra donc atteindre sans danger 2 mm.

L'application des boulons à haute résistance en construction métallique requiert des développements nouveaux dans la technique des joints et des assemblages ainsi qu'un choix judicieux de la qualité du matériau. L'auteur présente quelques possibilités de réalisation et de calcul des attaches entre les traverses et les montants dans les portiques. On remarquera spécialement la grande résistance aux moments fléchissants des attaches comportant uniquement une tôle d'about. Quant aux nœuds des poutres en treillis, leur construction peut également être considérablement simplifiée grâce à une conception foncièrement nouvelle.