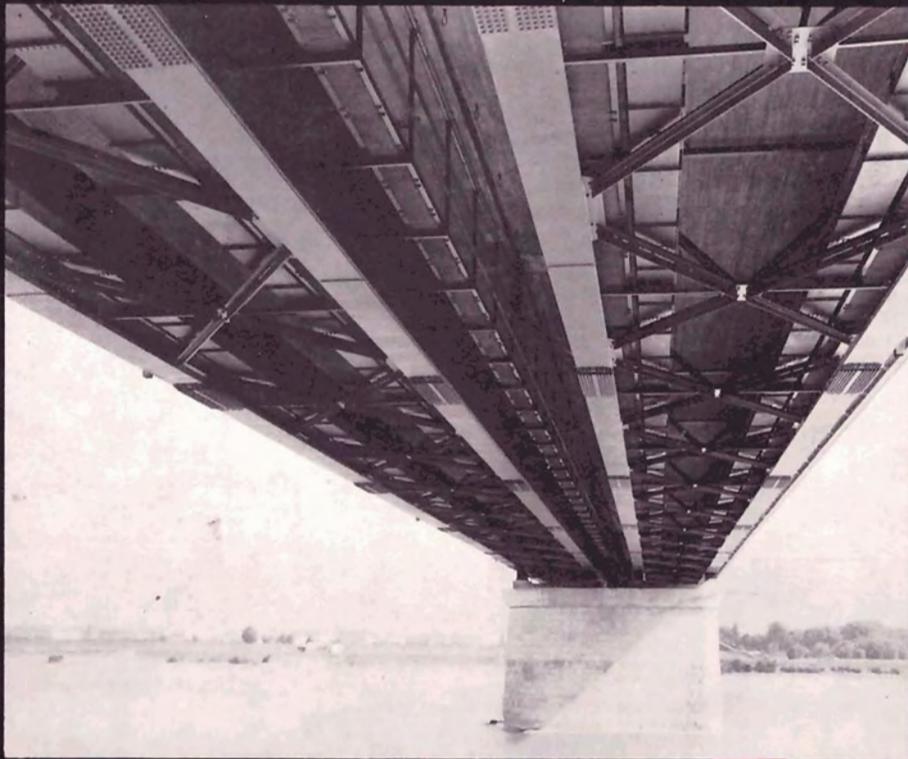


ZEITSCHRIFT DES ÖSTERREICHISCHEN STAHLBAUVERBANDES



Stahlbau
Kundschau

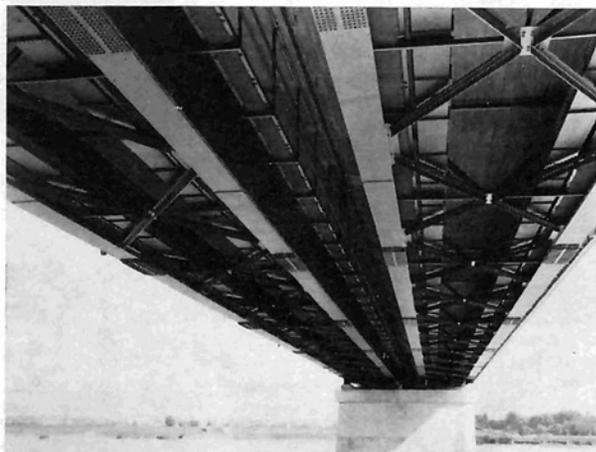
Heft 30 – 1966

Inhalt

Der heutige Stand der Forschung und der praktischen Anwendung der HV-Schrauben (Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. H. Beer)	Seite 1
Anforderungen an Stähle für hochfeste Schrauben als Verbindungselement im Stahlhochbau (Dr. Ing. H. Laizner und Dipl.-Ing. R. Schoßmann)	Seite 13
Die HV-Schraube unter Zugbelastung (Dipl.-Ing. H. Weiß und Dipl.-Ing. F. Wallner)	Seite 18
Anziehverfahren und Anziehgeräte für hochfeste vorgespannte Schrauben (Dr. Ing. W. Schmid)	Seite 22
Die praktische Anwendung der HV-Verbindung im Stahlbau, I und II (Dipl.-Ing. A. Köhler und Ing. R. Leidl)	Seite 39
Extracts	Seite 47

Contents

The actual state of theory and practical application of High Strength Friction Grip Bolts (HSFG) (Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. H. Beer)	Page 1
Requirements demanded for steel for High-Strength-Bolts to be used as joining elements in elevated constructional steelwork (Dr. Ing. H. Laizner and Dipl.-Ing. R. Schoßmann)	Page 13
Strength bolts under tension stress (Dipl.-Ing. H. Weiß and Dipl.-Ing. F. Wallner)	Page 18
Tightening method and tightening equipment for High Strength Prestressed Bolts (Dr. Ing. W. Schmid)	Page 22
Use of high strength bolts for construction of structural steelwork, I and II (Dipl.-Ing. A. Köhler and Ing. R. Leidl)	Page 39
Extracts	Page 47



Stromtragwerk der Nordbrücke in Wien,
Untersicht mit HV-Gurtstößen

Superstructure of Northern Bridge in Vienna.
High strength flange joints, view from below

Eigentümer und Herausgeber: Österreichischer Stahlbauverband, Wien; für den Inhalt verantwortlich: Dr. Hugo Dienes, beide 1090 Wien, Fürstengasse 1 (Palais Liechtenstein); Verleger: Dipl.-Ing. Rudolf Bohmann Industrie- und Fachverlag, 1010 Wien, Canovagasse 5; Redaktionelle Gestaltung: Ing. H. Wanke; Druck: Buchdruckerei Weiss & Co., 1030 Wien, Ungargasse 2, Tel. 73 23 12

Stahlbau

Kundschaun

Zeitschrift des Österreichischen Stahlbauverbandes

Heft 30

1966

Der heutige Stand der Forschung und der praktischen Anwendung der HV-Schrauben

Von H. Beer, Graz

A. Einleitung

Als Baustellenverbindung im Stahlbau hat sich neben dem Schweißen die Reibungsverbindung mit hochfesten vorgespannten Schrauben durchgesetzt und die Nietung stark zurückgedrängt. Man kann ohne Übertreibung sagen, daß die HV-Verschraubung heute im Stahlbau in der ganzen Welt angewendet wird und daß in den meisten Ländern auch Vorschriften oder Richtlinien für die richtige Dimensionierung und Ausführung dieser neuen Verbindungsart bestehen. Bedeutende technische Verbände und Vereinigungen haben sich auf internationaler und nationaler Basis mit dieser neuen Verbindung befaßt, so zum Beispiel die Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau (IVBH), die Europäische Konvention der Stahlbauverbände [1], die Union Internationale de Chemin de Fer (UIC) und schließlich hat auch in Österreich ein seit dem Jahre 1955 arbeitender Ausschuß nicht nur Richtlinien [2], [3] für die Verwendung von hochfesten vorgespannten Schrauben im Stahlbau ausgearbeitet, sondern ist ständig damit befaßt, auf Grund von Forschungsarbeiten und Versuchen diese Richtlinien dem neuesten Stand der Technik anzupassen.

Betrachten wir einen zweischnittigen normal verschraubten Laschenstoß und einen entsprechenden HV-Stoß, so liegt bei weitgehender äußerlicher Ähnlichkeit der beiden Stoßverbindungen der grundsätzliche Unterschied darin, daß der Schraubenbolzen im ersten Fall durch seinen Scherwiderstand die Kräfte vom Konstruktionsteil auf die Laschen oder Anschlußteile überträgt, während im zweiten Fall die Reibung zwischen den Berührungsflächen von Konstruktionsteil und Laschen bzw. Anschlußteil für diese Kraftübertragung allein zuständig ist. Diese Reibung wird durch eine in den Schraubenschaft mittels Anziehen der Mutter mit besonderem Schlüssel eingeleitete Zugkraft (Vorspannkraft) erzeugt. Allerdings ist bei Reibungsüberwindung auch noch zusätzlich der volle Scherwiderstand der Schraubenschäfte aus

sehr hochfestem Material vorhanden, der jedoch erst nach einem Rutsch der Verbindung um das Lochspiel, so daß der Schraubenschaft am Lochrand zum Anliegen kommt, mobilisiert werden kann. Auch in diesem Fall wird neben dem Scherwiderstand der Bolzen noch ein beträchtlicher Reibungswiderstand wirken, so daß der Bruch der Verbindung im allgemeinen nicht durch Abscheren der Bolzen, sondern durch Versagen des Bauteiles im Nettoquerschnitt eintritt. Die HV-Schraubenverbindung selbst wird daher bei einem richtig dimensionierten Stoß nie zu Bruch gehen, da ihre Tragsicherheit stets höher ist als die Bruchsicherheit der anzuschließenden oder gestoßenen Bauteile. Das Rutschen der Verbindung um das Lochspiel kann jedoch die Brauchbarkeit des Bauwerkes beeinträchtigen, so daß dieser Fall zwar als unerwünschter Zustand, aber keineswegs als Katastrophe bezeichnet werden muß. Diese Feststellung ist für die weiteren Ausführungen, namentlich soweit Sicherheitsfragen angeschnitten werden, von besonderer Wichtigkeit.

Die Beanspruchung der HV-Schraube und die Beanspruchung in der Verbindung, vor allem aber die Bestimmung der übertragbaren Reibungskräfte sowie die konstruktive Formgebung der Stahlkonstruktion bei Anwendung von HV-Schrauben als Baustellenverbindung, waren und sind Gegenstand eingehender Forschungsarbeiten, über deren gegenwärtigen Stand hier kurz berichtet werden soll.

Die Anwendung der Reibungsverbindung hat zu nicht unerheblichen Ersparnissen an Stoß- und Anschlußmaterial geführt. Diese Ersparnisse werden sowohl durch die gegenüber Nieten oder Scherschrauben verminderte Zahl von HV-Schrauben als auch durch den engeren Abstand der letzteren bewirkt (Bild 1 und 2). Bei dünnen Blechen kann auch die geringe Tragkraft der Scherverbindung auf Lochleibung eine Vermehrung der Niet- oder Schraubenzahl sowie der Blechstärke im Anschluß bedingen. Bei Anwendung von HV-Schrauben ist hingegen die „Lochleibung“ nur in extremen Fällen für die Be-

messung maßgebend. Besonders wichtig ist, daß bei der HV-Verbindung das Aufreißen der Löcher auf der Baustelle meist entbehrlich ist, da das Lochspiel ausreicht, um die Maßtoleranzen auszugleichen. Schließlich erfordert die Ausführung einer HV-Verbindung nur angelernte Arbeiter und eine im Vergleich zum Nieten geringere Zahl von Arbeitskräften.

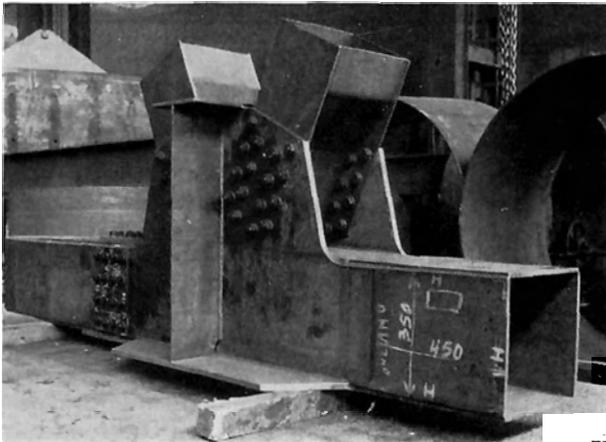


Bild 1: HV-verschraubter Untergurtnoten einer Fachwerkbrücke

Fig. 1: HSFG-bolted bottom chord joint of a lattice girder bridge

Die HV-Verbindung verlangt jedoch eine genaue Passung und große Sorgfalt in der Vorbehandlung der Kontaktflächen, damit sie tatsächlich als Reibungsverbindung wirkt und ein Rutschen ausgeschlossen wird. Auch der spätere Schutz der Kontaktflächen und der HV-Schrauben selbst gegen Korrosion ist besonders zu beachten.

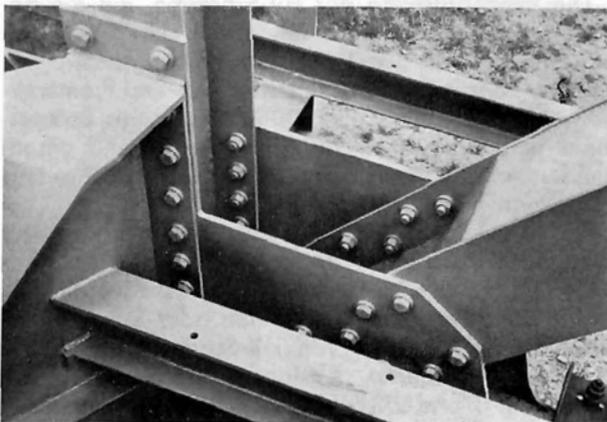


Bild 2: Ausführung eines zugbeanspruchten Stirnplattenanschlusses mit HV-Schrauben

Fig. 2: HSFG-bolted, tensile stressed, front plate joint

B. Ermittlung der Tragfähigkeit einer HV-Verbindung

Das Problem der Tragfähigkeitsermittlung einer HV-Verbindung läßt sich nicht auf theoretischem Wege allein lösen, sondern es muß der Laborversuch die wesentlichen Berechnungsgrundlagen liefern. Betrachten wir zuerst die Beanspruchungen in der Schraube während und nach dem Anziehen, das ja die Vorspannkraft im Schaft erzeugt. Maßgebend für die Ermittlung der zulässigen Vorspannkraft ist die Fließgrenze des Schraubenmaterials. Für den Stahlbau ist heutzutage überwiegend der Schraubenwerkstoff 10 K mit $\sigma_F = 9000 \text{ kg/cm}^2$ in Gebrauch. Vereinzelt wird auch der Schraubenwerkstoff 12 K mit $\sigma_F = 10800 \text{ kg/cm}^2$ für HV-Schrauben im Stahlbau angewandt.

Beim Anziehen der Schraube wird ein Drehmoment in den Schaft eingeleitet, das dort eine Normalspannung σ und eine Schubspannung τ erzeugt. Als Anstrengungsmaß kann hier die Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungstheorie mit $\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sigma \sqrt{1 + 3\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)^2} = \sigma \cdot C$ angesehen werden.

Der Widerstandsbeiwert C ist demnach abhängig vom Verhältnis $\frac{\tau}{\sigma}$ und damit tritt die Frage auf, wie groß das Anziedrehmoment sein muß, um die geforderte Vorspannkraft einzuleiten bzw. welchen Höchstbetrag mit Rücksicht auf die Beanspruchung in Schraubenschaft und Gewinde dieses Anziedrehmoment erreichen darf.

Es ist nun klar, daß eine rechnerische Ermittlung des erforderlichen Anziedrehmomentes nicht möglich ist, da dieses von der Mutterreibung an der Unterlagsscheibe, von der Gewindereibung und von der Beschaffenheit des Gewindes abhängt. Hierbei spielt der sogenannte Anlieferungszustand der Schraube eine wesentliche Rolle.

Für das in Österreich in Frage kommende metrische Gewinde wurde versuchsmäßig als oberer Grenzwert $C = 1,17$ ermittelt. Man kann diesen Wert auch dadurch erhalten, daß man die Beziehung des Anziedrehmomentes M_n und der Vorspannkraft P_v mit $M_n = k P_v D$ festsetzt, wobei P_v die Vorspannkraft in der Schraube und D den Nenndurchmesser der Schraube bedeuten, während der Wert k durch Versuche bestimmt wird. Es ergab sich ein mittlerer Wert von $k = 0,17$. Zur Spannungsermittlung benötigt man aber das Moment M_t , das ist jener Torsionsmomentenanteil, der vom aufgebrauchten Anziehmoment in den Schraubenschaft eingeleitet wird. Aus Versuchen kann $M_t = 0,42 M_n$ angenommen werden. Aus der Spannungsberechnung erhält man mit $\sigma = \frac{P_v}{F_{sp}}$ und $\tau = \frac{M_t}{\frac{1}{16} \pi d_{sp}^3}$ den Wert $\frac{\tau}{\sigma} = 0,2856 \frac{D}{d_{sp}}$.

Da der mit Gewinde versehene Teil des Schraubenschaftes für die Spannungsermittlung maßgebend ist, wird dieser durch einen vollen Zylinder ersetzt. Der Durchmesser dieses

Ersatzzylinders d_{sp} , kann für genormte metrische Gewinde etwa als Mittelwert zwischen Kern- und Flankendurchmesser angenommen werden. Daraus wird die Fläche für die Ermittlung der Normalspannung im Schaft (Spannungsquerschnitt) $F_{sp} = d_{sp}^2 \frac{\pi}{4}$ und das Widerstandsmoment für die Ermittlung der Schubspannung unter der Annahme einer linearen Verteilung über die Querschnittshöhe $W_{sp} = d_{sp}^3 \cdot \frac{\pi}{16}$. Für eine Schraube M 24 erhält man $d_{sp} = 20,9 \text{ mm}$ und somit $\frac{D}{d_{sp}} = \frac{24}{20,9} = 1,145$.

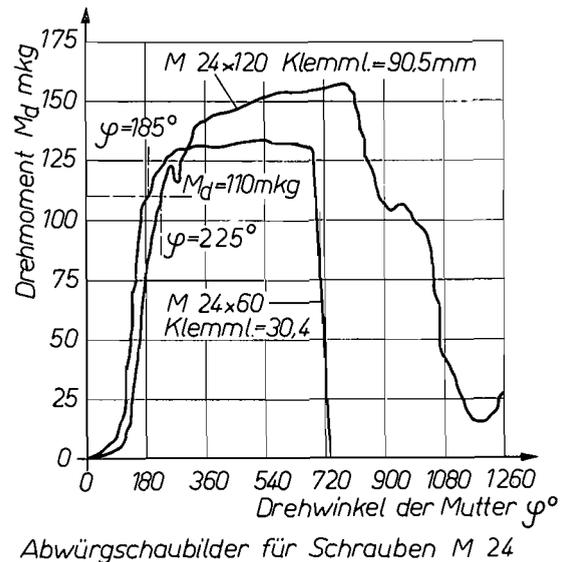
Nunmehr muß die zulässige Vergleichsspannung zul. σ_v festgesetzt werden. Hierbei ist zu beachten, daß die durch das Anziehdrehmoment M_a erzeugte Spannung einen Maximalwert darstellt, der nur im Augenblick des Anziehens auftritt und niemals größer werden kann, sondern sofort nach Beendigung des Anziehens absinkt. Auch während der Lebensdauer des Bauwerkes kann nur ein leichtes Absinken, aber niemals ein Ansteigen der Spannungen σ , τ eintreten. Es ist daher sicher ausreichend, wenn wir gegen das Zugfließen allein im Schraubenschaft eine Sicherheit von $0,8 \sigma_F$ einhalten. Dann wird die zulässige Vergleichsspannung zul. $\sigma_v = 1,17 \cdot 0,8 \cdot \sigma_F = 0,936 \sigma_F$.

Nun könnte man gegen diese Berechnungsmethode einwenden, daß damit nur die Beanspruchung im Schraubenschaft erfaßt ist und daß auch das Gewinde Überbeanspruchungen erleiden kann, die das Drehmoment begrenzen. Um diese Frage zu klären, wurden in Österreich sogenannte Abwüргеversuche durchgeführt und die Meßergebnisse in Diagrammen aufgezeichnet. Bild 3 zeigt ein charakteristisches Abwürgediagramm für zwei Schrauben M 24 aus dem Werkstoff 10 K verschiedener Klemmlänge. Das aufgebrauchte Drehmoment M_a als Funktion des Anziehdrehwinkels φ zeigt zunächst ein schwächeres Ansteigen von M_a bis zum Spannungssitz der Schraube und hierauf einen praktisch linearen Steilanstieg. In diesem Bereich liegt auch das zulässige Anziehdrehmoment von $110,0 \text{ mkg}$, das bei $\varphi = 185^\circ$ bzw. $\varphi = 225^\circ$ erreicht wird. Auch dann ist noch ein weiterer Steilanstieg zu beobachten, der bei der Schraube mit der kürzeren Klemmlänge bis zum $1,15$ -fachen Wert des zulässigen Anziehdrehmomentes ansteigt, während bei der Schraube mit größerer Klemmlänge ein noch stärkeres Anwachsen des Anziehdrehmomentes eintritt, bevor der Wert konstant bleibt und anschließend absinkt, was praktisch dem Abwürgen gleichkommt. Während die Schraube mit der kürzeren Klemmlänge bei einer Mutterdrehung von rund 700° im Schaft brach, wurde bei einer Schraube mit der größeren Klemmlänge das Gewinde zerstört, was auch aus dem Schaubild hervorgeht.

Zur Bestimmung der Vorspannkraft P_v im Schaft wurde auch die Dehnung ϵ als Funktion des Anziehdrehwinkels φ ermittelt. In Bild 4 ist dieses Diagramm neben dem $M_a(\varphi)$ -Diagramm eingetragen. Man erkennt, daß in beiden Diagrammen dieselben Tenden-

Bild 3: Abwürgediagramme für Schrauben M 24 verschiedener Klemmlänge

Fig. 3: Diagram of torque-angle of rotation for bolts M 24 with two different length of shanks



zen, nämlich schwacher Anstieg von M_a bzw. ϵ bis zum Spannungssitz der Schraube und dann annähernd linearer Anstieg bis über das zulässige Anziehdrehmoment hinaus, das für die hier untersuchte Schraube M 20 mit $M_a = 65,0 \text{ mkg}$ anzunehmen ist und ein allmählich schwächeres Zunehmen des Anziehdrehmomentes und besonders der Dehnung, bis der Kulminationspunkt erreicht ist. Auch hier erkennt man, daß die Vorspannkraft P_v noch auf etwa den $1,35$ -fachen zulässigen Wert anwachsen könnte, bis das Fließen des Schaftes eintritt.

Es ist nun bei der Kompliziertheit der Spannungsverhältnisse in der Schraube und besonders im Gewindeteil unbedingt erforderlich, statistisch auswertbares Versuchsmaterial auf breiter Basis zu erhalten,

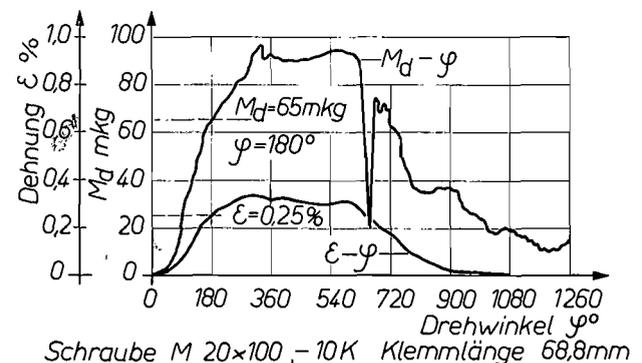


Bild 4: Abwürgediagramm und ϵ - φ -Diagramm einer Schraube M 20

Fig. 4: Diagrams of torque-angle of rotation and ϵ - φ of a bolt M 20

um eine Aussage machen zu können. Aus einer großen Zahl von solchen Abwürgeversuchen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

1. Nach Spannungssitz der Schraube ist bei Anliegen der Kontaktflächen eine halbe Umdrehung ausreichend, um das erforderliche Anziehdrehmoment M_n zu erzwingen. Bei großen Klemmlängen mit einer größeren Anzahl von Platten kann hierfür bis zu einer dreiviertel Umdrehung benötigt werden. Der Spannungssitz der Schraube kann durch festes Anziehen mit einem Handschlüssel erfolgen.
2. Auch beim Anziehen mit einem um 10% über dem zulässigen Wert liegenden Anziehdrehmoment tritt noch keine nennenswerte Plastizierung des Schraubenschaftes ein. Ein Abwürgen der Schraube wird mit ausreichender Sicherheit verhindert.

Aus weiteren im Rahmen der Kommission X der Europäischen Stahlbaukonvention durchgeführten Versuchen konnte ein nennenswertes Kriechen des Schraubenschaftes nicht festgestellt werden. Hingegen wurde bei Extrapolation der auf die Zeitdauer eines Jahres erstreckten Versuche auf zwanzig Jahre ein Verlust an Vorspannung von 5 bis maximal 10% festgestellt, der aber weniger auf ein Kriechen des Schraubenschaftes und des Gewindeteiles, sondern auf ein Einrasten der Bleche zurückgeführt werden muß. Diese Werte sind jedoch als obere Grenze aufzufassen.

C. Aufbringung des Anziehdrehmomentes

In Österreich erfolgt die Aufbringung des erforderlichen Anziehdrehmomentes mit Drehmomentenschlüssel (Bild 5), das heißt, das erforderliche Dreh-

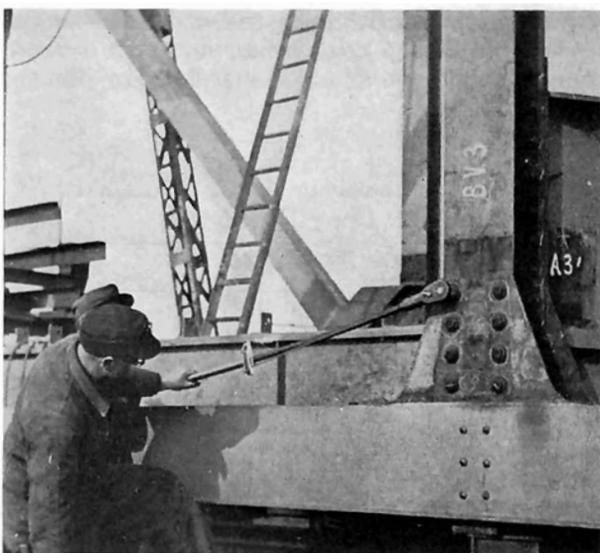


Bild 5: Drehmomentenschlüssel mit Ablesevorrichtung für das aufzubringende Anziehdrehmoment

Fig. 5: Torque wrench indicating the applied torque

moment kann abgelesen werden. Um die Unsicherheit in der Ablesung auszuschalten, wurden sogenannte selbstauslösende Drehmomentenschlüssel konstruiert, die durch das Ausklinken ein Anziehen über das geforderte Drehmoment hinaus verhindern. Auf einem ähnlichen Prinzip arbeiten die Schlag-schrauber, die die Schraubenumdrehung pneumatisch erzeugen und bei Erreichen des geforderten Drehmomentes automatisch auf Leerlauf schalten. In dieser Zeitschrift wird darüber W. Schmid ausführlich berichten.

Leider ist das Anziehen der Schraube mit einem Drehmomentenschlüssel, gleich welcher Art, mit nicht unerheblichen Unsicherheiten behaftet. Diese liegen teils im Schlüssel selbst und teils in den verschiedenen Reibungsverhältnissen zwischen Mutter und Unterlage und Mutter und Gewinde begründet. Auch kleine Unregelmäßigkeiten in der Gewindeform können die Relation zwischen Anziehdrehmoment und Vorspannkraft erheblich verändern. Wenn auch festgestellte Streuungen der Vorspannkraft von bis zu 30% zu den Ausnahmen gehören dürften, so muß man doch mit 10–15% Streuung in der Vorspannkraft bei Aufbringen des zugehörigen Anziehdrehmomentes rechnen. Die Schraube soll in leicht eingefettetem Zustand zum Einbau kommen, um die Reibung im Gewinde nicht über das in Rechnung gestellte Maß ansteigen zu lassen. Auch eine Graphit-schmierung hat sich bewährt.

Die Unsicherheit in der Aufbringung des Anziehdrehmomentes mit Hilfe von Drehmomentenschlüssel hat in einer Reihe von Ländern dazu geführt, als Maß für die aufgebrauchte Vorspannkraft den Umdrehungswinkel der Mutter selbst einzuführen. Die praktische Handhabung dieser Methode ist sehr einfach. Man bezeichnet die Anfangs- und Endstellung durch eine Marke auf der Mutter und zwei Marken an der Unterlagsscheibe und zieht die Schraube automatisch oder von Hand (Schlüssel mit langem Hebelarm) an. Die M_n - φ -Diagramme geben Aufschluß über das Umdrehungsmaß, welches zur Erzeugung der gewünschten Vorspannung erforderlich ist. Die bereits durchgeführten Versuche werden durch ein im österreichischen Arbeitsausschuß für HV-Schrauben bereits beschlossenes Versuchsprogramm ergänzt. In den USA hat man zunächst das Problem stark vereinfacht und eine ganze Umdrehung $\varphi = 360^\circ$ ausgeführt. Die Diagramme zeigen jedoch, daß man damit stark in den Bereich des Fließens sowohl im Schraubenschaft als auch im Gewindeteil kommt. Diese Tatsache wurde nun auch in den USA erkannt und man ist von der "one-turn-method" wieder abgekommen. Die neuen amerikanischen Specifications for Structural Joints using ASTM A 325 or A 490 Bolts machen nunmehr den Drehwinkel der Mutter von der Bolzenlänge abhängig, wobei für Klemmlängen unter 8 D bzw. 8" eine halbe Umdrehung und Klemmlängen, die darüber liegen, $\frac{2}{3}$ Umdrehungen vorgeschrieben sind. Voraussetzung ist, daß die Schrauben vorher handfest angezogen werden, was mit einem Drehmoment von etwa 5 kgm erfolgt.

Zu den beiden Methoden der Aufbringung des Anziehdrehmomentes ist folgendes zu bemerken:

- a) Die Arbeit mit einem das Drehmoment anzeigenden bzw. selbstauslösenden Schlüssel besitzt den geschilderten Nachteil der nicht unerheblichen Streuung in der Vorspannkraft, ist aber von der Klemmlänge und der Zahl der Bleche weitgehend unabhängig. Ein vollständiges Anliegen der Kontaktflächen auf einer Stoßhälfte ist hier nicht unbedingt erforderlich. Es genügt vielmehr, wenn eine ausreichende Berührung innerhalb dieser Stoßfläche gesichert ist. Hingegen ist es unbedingt notwendig, daß die Fugen zwischen den Kontaktflächen beider Stoßhälften vermieden werden (Bild 6), damit nicht ein Teil der Vorspannkraft für das Zusammenpressen verbraucht wird. Falls durch die im Stahlbau üblichen Toleranzen solche Fugen unvermeidlich sind, müssen Ausgleichsfutter, die mindestens 2 mm stark sind, verwendet werden.
- b) Die direkte Messung des Anziehdrehmomentes mit dem Drehwinkel φ (Methode der Mutterumdrehung) hat zweifellos den Vorteil größter Einfachheit und leichter Kontrollmöglichkeit. Die beim festgesetzten Anziehdrehwinkel φ erzielte Vorspannkraft P_v ist hingegen nicht nur von der Zahl und Dicke der Lamellen und dem Schraubendurchmesser, sondern auch von der Passung der Kontaktflächen in einer Stoßhälfte abhängig. In Bild 7 ist ein Beispiel hierfür gegeben. Es sei durch eine Schweißverziehung der Gurtlamelle eine leichte Abkrümmung entstanden, die nicht durch Nacharbeiten restlos beseitigt ist. Bei Anwendung der Methode der Mutterumdrehung wird nun ein Teil des Drehwinkels zum Anpassen der Lamelle an die Anschlußlasche verbraucht, so daß zur Erzielung der erforderlichen Vorspannkraft ein größerer Winkel φ benötigt wird. Die Methode der Mutterumdrehung kann daher nur dann befriedigende Ergebnisse erzielen, wenn auch die Kontaktflächen einer Stoßhälfte gut passen.

Die österreichischen Richtlinien setzen die Messung des Drehmomentes beim Anziehen fest, während etwa die Hälfte der in der Kommission X der Europäischen Konvention der Stahlbauverbände vertretenen Länder entweder die Messung der Mutterumdrehung vorschreiben oder beide Methoden zulassen. Es ist nun an der Zeit, die österreichischen Richtlinien in dieser Hinsicht zu überprüfen. Meines Erachtens kann dort, wo der Kontakt der reibungsübertragenden Flächen ausreichend gesichert ist – was mit einem Spion leicht nachgeprüft werden kann – auch die Methode der Mutterumdrehung wahlweise zugelassen werden. Bei vielen gleichartigen Anschlüssen wäre ein Eichen des erforderlichen Umdrehungsmaßes zweckmäßig.

D) Unterlagsscheibe

Bisher hat man bei der HV-Verschraubung gehärtete Unterlagsscheiben an der Mutter und Kopfseite verwendet. Sehr eingehende englische Versuche ha-

ben jedoch gezeigt, daß die Unterlagsscheibe an der Seite des Schraubenkopfes entbehrlich ist, wenn man die Lochgrate beim Bohren vermeidet oder dann beseitigt. Es hat sich herausgestellt, daß keine merkbare Eindrückung des Kopfes in das Grundmaterial entsteht und auch keine größeren Vorspannverluste auftreten als bei HV-Schrauben mit zwei Unterlagsscheiben. In die österreichischen Richtlinien wird daher der Satz eingefügt werden, daß die Unterlagsscheibe nur auf der Anziehseite (Mutter oder vereinzelt auch Kopf) erforderlich ist. Da noch keine ausreichenden Versuchsergebnisse vorliegen, bleibt die Anordnung von nur einer Unterlagsscheibe vorläufig auf Bauwerke beschränkt, die nicht auf Ermüdungsfestigkeit zu untersuchen sind. Die ersten Ermüdungsversuche, die in England ausgeführt wurden, haben jedoch ein günstiges Resultat ergeben.

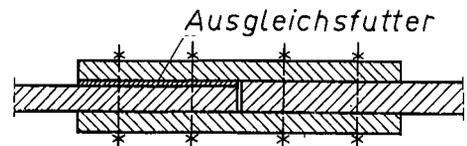


Bild 6: Ausführung eines HV-Stoßes mit einem Ausgleichsfutter zwischen den Stoßlaschen zur Vermeidung von Fugenbildungen

Fig. 6: Fitting the joint-plate with a filler slab

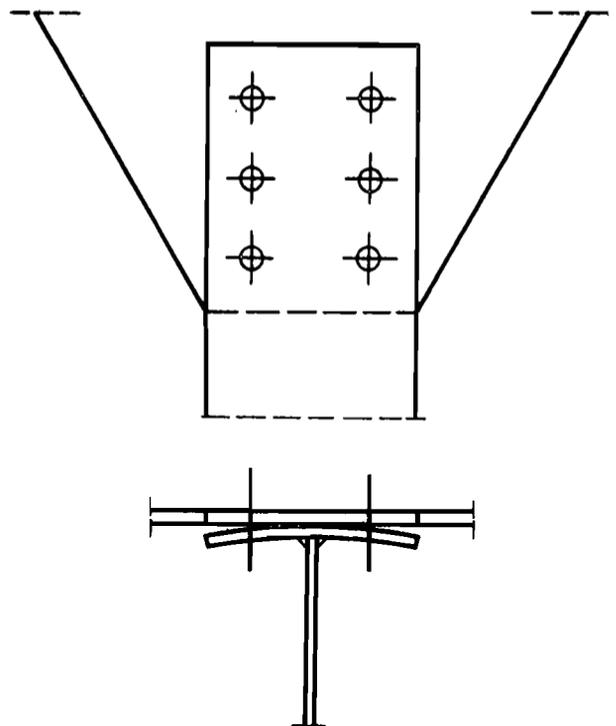


Bild 7: Mangelhafte Passung der Kontaktflächen einer HV-Verbindung durch nicht restlos beseitigte Schweißverziehung der Gurtlamelle

Fig. 7: Deficient fitting of the contact surfaces of a HSFJ-joint by not sufficiently removed welding-shrinkage

E) Reibbeiwert

Mit der Formel für die an einer Kontaktfläche übertragbare Kraft $P_s = \frac{\mu}{\nu} P_v$ tritt die Bedeutung des Reibungskoeffizienten μ in Erscheinung, da für eine gegebene Schraube die zulässige Vorspannkraft P_v festliegt und der Sicherheitskoeffizient ν mit der statistischen Streuung des Reibungskoeffizienten gekoppelt ist. Der Reibbeiwert μ ist von folgenden Faktoren abhängig:

1. Behandlung der Kontaktflächen bis zum Anziehen der Schrauben.
2. Material der zu stoßenden Konstruktions- und Anschlußteile.
3. Passung der Kontaktflächen beim Zusammenbau.
4. Schutz der Verbindung für die Zeitdauer des Bestandes.

Zu 1: Behandlung der Kontaktflächen

Der Reibbeiwert ist entscheidend von der Behandlung der Kontaktflächen und dem Schutz dieser bis zum Anziehen der Schrauben abhängig. Die planmäßige und wirtschaftliche Anwendung der HV-Verbindung setzt voraus, daß der Reibbeiwert durch eine besondere Behandlung der Oberflächen möglichst hochgehalten wird und möglichst wenig streut. Als geeignete Behandlungsmethoden wurden das Flammstrahlen und das Strahlen mit besonderen Strahlmitteln (Quarzsand, Korund, Stahlschrott usw.), hier kurz Sandstrahlen genannt, eingeführt. Sie haben sich in der Praxis bewährt. Nachstehend soll hier kurz auf die beiden Methoden eingegangen und die bekannten Versuchsergebnisse einer kritischen Betrachtung unterzogen werden. Vorerst sei hier festgestellt, daß alle Versuchsergebnisse zu dem eindeutigen Schluß führen, daß durch die Behandlungsmethoden die Walzhaut an den Kontaktflächen möglichst vollständig entfernt werden muß.

Beim Flammstrahlen muß daher die Walzhaut unbedingt vorher so aufgelockert werden, daß sie sicher durch die auftretende Flamme weggeblasen wird, was am besten durch ausreichende Lagerung der Bauteile im Freien geschieht. Ferner sind beim Flammstrahlen genaue Regeln bezüglich des Gas-Sauerstoff-Gemisches und der Brennerführung zu beachten, wie sie auch in dem vom österreichischen Ausschuß für HV-Schrauben herausgegebenen „Merksblatt“ niedergelegt sind. Bei Erfüllung dieser Forderung ist es möglich, mit dem Flammstrahlen befriedigende Resultate zu erzielen.

Beim Sandstrahlen gelingt es im allgemeinen, die Walzhaut zu entfernen, doch ist eine vorherige Auflockerung auch hier von Vorteil, um ein zu intensives Strahlen zu vermeiden. Von den verschiedenen Strahlmitteln, wie Quarzsand, Korund, Hartgußkies und Drahtkorn wurden die besten Ergebnisse mit Quarzsand und Hartgußkies erzielt. Die wirksamste Körnung liegt bei 1,2 bis 2 mm. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß das Sandstrahlen nur so lange fortgesetzt werden darf, bis die metallische Oberfläche zum Vorschein kommt, da ein zu starkes Strahlen den Reibbeiwert wieder herabsetzt.

Die ausgedehnten Versuche befaßten sich sowohl mit dem Einfluß verschiedener Strahlmethoden auf den Reibbeiwert als auch der Lagerung der Proben vor dem Strahlen. Es stellte sich namentlich beim Flammstrahlen heraus, daß die vorher längere Zeit im Freien gelagerten Proben um zirka 30 bis 50 % günstigere Reibbeiwerte ergeben haben, da die Walzhaut so weit aufgelockert wurde, daß sie beim Strahlen sicher entfernt werden konnte. Walzfrische, flammgestrahlte Proben brachten sehr schlechte Ergebnisse.

Aus den Versuchen kann jedoch auch der Schluß gezogen werden, daß unter Beachtung dieser Gesichtspunkte das Flammstrahlen dem Sandstrahlen in bezug auf die erreichten Reibbeiwerte etwa gleichzusetzen ist. Allerdings muß hinzugefügt werden, daß beim Flammstrahlen in der praktischen Ausführung die hierfür herausgegebenen Richtlinien streng eingehalten werden müssen, da sonst niedrigere Reibbeiwerte zu erwarten sind. Die Arbeiter müssen daher eine entsprechende Schulung erfahren. Fehler werden oft auch dadurch gemacht, daß Öl und Farbspritzer oder irrtümlich an den Kontaktflächen aufgetragene Signierungen nicht sorgfältig chemisch entfernt werden, sondern daß man darüber flammstrahlt.

Zu 2: Material der zu stoßenden Konstruktions- und Anschlußteile

Zur quantitativen Festlegung des Einflusses der Baustahlgüte auf den Reibbeiwert wurden groß angelegte Versuche im Rahmen der Mitgliedsländer der IVBH und der Kommission X der Europäischen Konvention der Stahlbauverbände durchgeführt. Um zu einer vorläufigen Bemessungsgrundlage zu kommen, wurden von der Kommission X europäische Richtlinien ausgearbeitet, die für den Baustahl St 37 den Reibbeiwert von $\mu = 0,45$ und für St 52 und höherfeste Baustähle $\mu = 0,6$ festsetzen. Diese Werte gehen im wesentlichen auf die Vorschläge von Steinhardt und Möhler [4] zurück, die erstmalig in Europa systematisch den gesamten Fragenkomplex der HV-Schrauben durch Versuche erforscht haben.

Die zahlreichen weiteren in den letzten Jahren ausgeführten Versuche haben die Erkenntnis gebracht, daß die Relation der beiden Reibungskoeffizienten $\frac{0,60}{0,45} = 1,33$ nicht haltbar ist, sondern daß

dieses Verhältnis zwischen 1,1 und 1,2 liegt, wobei jedoch noch eine gewisse Abhängigkeit von der Behandlung der Kontaktflächen erkennbar wurde. Während bei unbehandelten Kontaktflächen keine Unterschiede im Reibbeiwert zwischen St 37 und St 52 festgestellt wurden, ist bei gestrahlten Kontaktflächen ein leichtes Ansteigen des Reibbeiwertes für St 52 zu erkennen, das beim Flammstrahlen etwas stärker ausgeprägt ist als beim Sandstrahlen. Die in jüngster Zeit an der TVFA der Technischen Hochschule Graz von Prof. Dr. Tschech durchgeführten Versuche mit HV-Laschenverbindungen aus St 52 haben durchwegs Reibbeiwerte $\mu \geq 0,6$ ergeben. Diese Versuche wurden mit verschiedenen Blechstär-

ken durchgeführt, wobei kein Einfluß der Blechdicke auf den Reibbeiwert erkennbar war.

Da noch weitere Versuche auch in Österreich laufen, die sich mit der Ermittlung des Reibbeiwertes von Laschenverbindungen aus St 52 mit verschiedenen Strahlmethoden befassen, kann noch kein abschließendes Urteil gefällt werden. Es herrscht jedoch die Meinung vor, daß der Reibbeiwert von St 37 von 0,45 auf mindestens 0,5 angehoben werden sollte. Ob eine Herabsetzung des Reibbeiwertes für St 52 erforderlich ist, soll nach Beendigung der laufenden Versuche entschieden werden. Der Verfasser vertritt die Meinung, daß bei sorgfältiger Behandlung der Kontaktflächen der Reibbeiwert von 0,6 sicher erreicht werden kann. Gegen die Herabsetzung des Reibbeiwertes für St 52 spricht auch die Tatsache, daß in aller Welt Tausende von Bauwerken mit HV-Verbindungen mit einem Reibbeiwert von 0,6 bemessen wurden, ohne daß sich, abgesehen von Montagefehlern, bisher irgendwelche Nachteile gezeigt hätten. So sind zum Beispiel beim Freivorbau von Brücken in Österreich die HV-Schrauben voll beansprucht worden, wobei die rechnerische Sicherheit gegen Gleiten nur 1,1 betrug. Vielleicht kommt hier auch die Tatsache zu Hilfe, daß es in Stoßverbindungen mit vielen Schrauben, die nicht eingepaßt sind, doch zu einem Anliegen einzelner Schrauben an den Lochrändern kommen kann, was die Tragkraft der Verbindung wesentlich erhöht.

Zu 3: Passung der Kontaktflächen

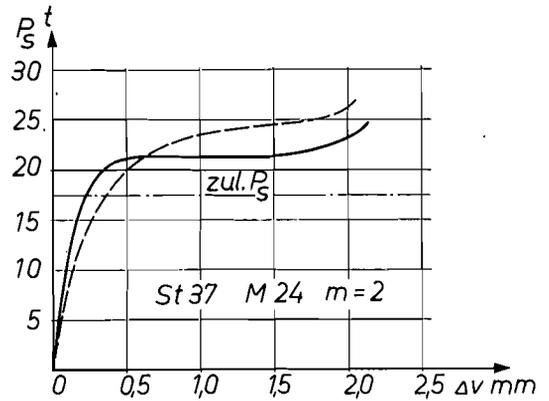
Die Wichtigkeit des satten Aufeinanderliegens der Kontaktflächen wurde bereits erwähnt. Versuche von Aurnhammer [5] haben gezeigt, daß sich die Druckübertragung bei gut passenden Flächen auf die unmittelbare Umgebung der Schraubenlöcher konzentriert, während bei nicht ganz ebenen Flächen auch noch jene Stellen Druck übertragen, an denen sich Blechbuckel berühren. Versuche bestätigen ferner die einfache Überlegung, daß der Dickenunterschied in den beiden Stoßteilen der Verbindung bei hintereinander angeordneten Schrauben einen bedeutend geringeren Einfluß hat als bei nebeneinander angeordneten Schrauben. Die lange Lasche der hintereinander angeordneten Schrauben kann den zum Dickenausgleich erforderlichen elastischen Verformungen leichter folgen, als dies bei der kurzen Lasche der nebeneinander angeordneten Schrauben der Fall ist.

Zu 4: Schutz der HV-Verbindung

Man muß hier unterscheiden zwischen dem Schutz der HV-Verbindung bis zum endgültigen Verschrauben und sodann dem für die Lebensdauer der Verbindung. Während man in Österreich ursprünglich an der Baustelle die Kontaktflächen vor dem Zusammenbau flammgestrahlt hat, neigt man gegenwärtig dazu, die Bearbeitung dieser Flächen im Werk mit Sandstrahlen durchzuführen und auf der Baustelle den sich eventuell bildenden Rost mit einer weichen Stahlbürste abzubürsten. Vielfach wurde auch dann

Bild 8: Rutschdiagramm einer zweischnittigen HV-Verbindung bei einmaliger Belastung bis zur Gleitgrenze

Fig. 8: Slipping-diagram of a double shear connection considering a single loading up to the slip-load



nochmals flammgestrahlt. Es hat sich in vielen Versuchen gezeigt, daß fest haftender Rost den Reibbeiwert nicht herabmindert, sondern eher etwas erhöht, so daß ein nochmaliges Flammstrahlen auf der Baustelle entbehrlich ist, wenn man den Feuchtigkeitseintritt in die Kontaktflächen nach dem Verschrauben sicher verhindern kann. Im allgemeinen ist daher ein Schutz der gestrahlten Kontaktflächen vor dem Einbau nicht erforderlich. Will man diese Flächen trotzdem schützen, so dürfte eine Umhüllung mit einem Plastikbeutel die beste Lösung sein.

Reibungsversuche mit einem Kaltzinkanstrich auf den Kontaktflächen haben bisher unterschiedliche Ergebnisse gezeigt. Man hat wohl einen relativ hohen Reibbeiwert (für St 37 $> 0,65$) bei Kurzzeitbelastung erhalten, jedoch sinkt dieser Wert bei Langzeitbelastung erheblich ab. Beigaben von Aluminium haben diesen Nachteil beseitigt, und es dürfte in absehbarer Zeit gelingen, einen Anstrich zu entwickeln, der bei Erhöhung des Reibbeiwertes auch einen Korrosionsschutz bringt. Die Schichtdicke des Anstriches soll jedoch unter 50μ liegen. In Österreich laufen zur Zeit Versuche mit Kaltzink- bzw. Aluminiumanstrichen verschiedener Schichtstärke.

Der Schutz der Verbindung während der Lebensdauer des Bauwerkes erfordert auch eine Sicherheit gegen das Eindringen von Feuchtigkeit durch das Gewinde (Kapillarwirkung bei Druckunterschieden) und in den Kontaktflächen. Hier ist eine Abdichtung mit thixotropen Stoffen (dickflüssige Mennige usw.) bzw. mit besonderen Pasten erforderlich, um die Feuchtigkeit fernzuhalten.

F. Wandersicherheit der HV-Verbindung

Das charakteristische Rutschdiagramm einer HV-Verbindung ist in Bild 8 dargestellt. Man erkennt, daß bei Belastungssteigerung zunächst sehr kleine Verschiebungen auftreten, die sehr langsam zunehmen. Erst wenn die Gleitlast erreicht wird, tritt bei nahezu konstant gehaltener Kraft ein plötzliches Rutschen bis zum Anliegen des Schraubenschaffes

an die Lochwandungen ein. Dieses Rutschen ist somit eine im Versuch sehr deutlich erkennbare Erscheinung und hebt den Reibungsschluß der Verbindung vorübergehend auf. Nach erfolgtem Gleiten tritt allerdings wieder ein Reibungsschluß ein, so daß die Verbindung als kombinierte Reibungs-Scherverbindung wirkt. Da die Bolzen aus sehr hochfestem Stahl bestehen, tritt das Versagen durch Fließen des Stoß- oder Anschlußmaterials und schließlich durch dessen Bruch ein.

Beim vorstehend beschriebenen Vorgang handelt es sich um eine einmalige Belastung bis zur Gleitgrenze. Es taucht nun die Frage auf, ob sich die unterhalb der Gleitgrenze auftretenden, sehr kleinen Verschiebungen nicht bei oftmals wiederholter Belastung so summieren können, daß es schließlich zum Anliegen des Bolzens am Lochrand kommt. In diesem Fall hätten wir es mit einem schrittweisen Gleitvorgang zu tun, dessen Kennzeichen sehr kleine, aber in großer Zahl auftretende und sich summierende Schritte sind. Dieser als „Wandern“ einer Reibungsverbindung bezeichnete Vorgang war Gegenstand von Untersuchungen, die der Verfasser gemeinsam mit F. Wallner [6] durchgeführt hat. Bild 9 zeigt ein charakteristisches Wanderdiagramm für eine HV-Verbindung mit je 6 Schrauben hintereinander. Die Kurven bedeuten die an den 6 Schrauben (7 bis 12) gemessenen bleibenden Verschiebungen als Funktion der Lastwechselzahl, wobei letztere im logarithmischen Maßstab aufgetragen ist. Man er-

kennt, daß eine Zunahme der bleibenden Verformungen (Gleitwege) erst bei Lasten eintritt, die dicht bei der statischen Gleitgrenze liegen. Ein Wandern der Reibungsverbindung unter höchst zulässiger Gebrauchslast tritt demnach nicht ein. Diese Tatsache ist zunächst überraschend, da die hintereinanderliegenden Schrauben bei niedrigeren Laststufen ungleichmäßig belastet werden und erst bei Eintritt eines Dehnweges die Last gleichmäßig übernehmen. Dieser Weg könnte sich – so nahm man an – bei jedem Lastwechsel summieren, da die Maximallast immer in derselben Richtung zur Wirkung kommt. Die Erklärung für die Versuchsergebnisse kann in der Mikroverzahnung der Kontaktflächen gefunden werden, die durch eine Art Kammwirkung wenn auch sehr geringe elastische und plastische Verschiebungen gestattet. Die auch im statischen Reibungsversuch anfänglich beobachteten sehr kleinen Verschiebungen deuten ebenfalls auf diesen Vorgang hin.

Aus dem Gesagten kann der Schluß gezogen werden, daß auch bei Bauwerken, die wiederholter Be- und Entlastung ausgesetzt sind, die Gleitsicherheit nicht erhöht zu werden braucht. Allerdings handelt es sich dabei nicht um das Problem der Materialermüdung, das nun getrennt behandelt werden soll.

G. Ermüdungsfestigkeit

Die ersten Versuche zur Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit von HV-Verbindungen stammen von

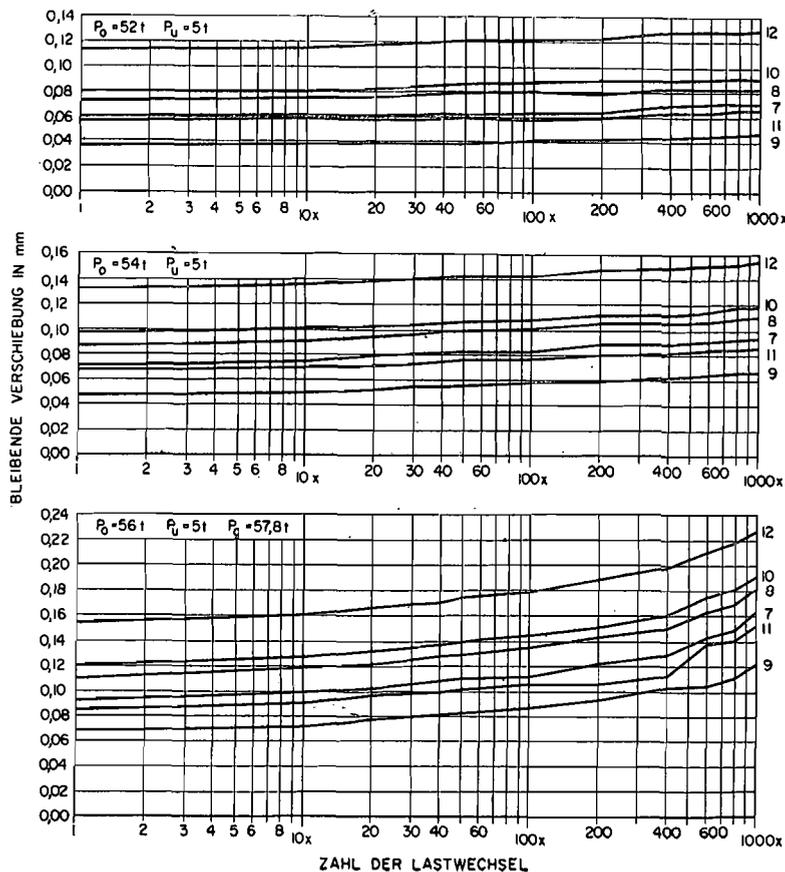


Bild 9: Wanderdiagramm einer HV-Verbindung bei oftmaligem Lastwechsel

Fig. 9: Characteristical graphs of stepwise sliding under a great number of loading cycles

O. Steinhardt und K. Möhler. Die beiden Forscher kommen zum Schluß, daß die Lebensdauer der HV-Verbindung gegenüber Niet- oder Scherschraubenverbindungen wesentlich höher liegt. Der Bruch trat vielfach im Bruttoquerschnitt auf. Weitere Versuche haben zwar einen häufigeren Bruch im Nettoquerschnitt ergeben, jedoch bei einer Laststufe, die erheblich über der Ermüdungsfestigkeit des Lochstabes lag. Die Versuchsergebnisse zeigen allerdings einen nicht unerheblichen Einfluß der Kantenbearbeitung (Brennschneiden mit und ohne Nachbearbeitung). Hingegen wurde einwandfrei festgestellt, daß die Behandlung der Kontaktflächen (Flammstrahlen, Sandstrahlen) keinen Einfluß auf die Ermüdungsfestigkeit der Verbindung hat. Auch ein Einfluß der Querpressung konnte nicht festgestellt werden, jedoch sind bei Fortlassung einer Unterlagsscheibe noch weitere Ermüdungsversuche erforderlich. O. Steinhardt und K. Möhler schlagen vor, daß man die erhöhte Ermüdungsfestigkeit der HV-Verbindung gegenüber der Nietverbindung durch Einführung des Bruttoquerschnittes statt des Nettoquerschnittes für die Spannungsermittlung berücksichtigt. Dies gilt allerdings nur für zweiseitige (symmetrische) Verbindungen.

Für einschnittige Verbindungen haben K. Klöppel und T. Seeger [7] ein umfangreiches Versuchsprogramm durchgeführt. Die beiden Forscher stellten bei einschnittigen Verbindungen sowohl bei Wechselbelastung als auch bei Schwellbelastung eine erhebliche Einbuße der Ermüdungsfestigkeit gegenüber zweiseitigen Verbindungen fest. Dieser große Unterschied liegt darin begründet, daß neben den Spannungen aus der Längskraft auch noch Biegespannungen aus dem exzentrischen Anschluß entstehen, welche sich den Normalkraftlängsspannungen überlagern. Eine Bemessung auf Ermüdungsfestigkeit nach dieser Summenspannung ist zwar auf der sicheren Seite, aber in vielen Fällen unwirtschaftlich, da die Steifigkeit des Anschlußteiles nicht in Rechnung gestellt wird. In der zitierten Arbeit sind unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse für die gebräuchlichen Anschlußtypen die Abminderungsfaktoren v_D angegeben, mit welchen die σ_{D0} -Werte der momentenfreien HV-Anschlüsse zu multiplizieren sind, um die zulässigen σ_{Dc} -Werte des exzentrischen Anschlusses zu erhalten, wobei zum Vergleich die reine Normalkraftspannung zugrundegelegt ist. Besonders ungünstig sind hier zum Beispiel die Anschlüsse von [- oder L-Profilen an das Knotenblech, wenn nur der Steg bzw. ein Schenkel am Knoten HV-verschraubt ist. Eine überschlägige Ermittlung kann durch Weglassung der abstehenden und nicht angeschlossenen Querschnittsteile erfolgen, so daß der an das Knotenblech oder die Lasche anliegende Teil die Kraft allein überträgt. Hierbei müssen dann die σ_{D0} -Werte des zentrischen Anschlusses eingehalten werden.

H. HV - Paßschrauben

Werden die Löcher einer Stoßverbindung im zusammengebauten Zustand aufgerieben und der

Durchmesser der HV-Schraube so gewählt, daß ein Paßsitz vorhanden ist, so spricht man von HV-Paßschrauben (HVP). Es handelt sich hier um eine kombinierte Reibungs-Scherverbindung von hoher Tragkraft, wobei – da ein Rutschen nicht eintreten kann – beide Verbindungsarten voll ausgenützt werden können. Zur Übertragung einer Kraft P beträgt demnach die Zahl der Schrauben:

$$n_{HVP} = \frac{P}{p_g + \text{zul } \tau_a F_a}$$

wenn $\text{zul } \tau_a$ die zulässige Scherkraft des Schraubenbolzens und F_a dessen Querschnitt ist. Die Gleitlast $p_g = \mu \cdot P_v$ ist hierbei ohne Sicherheit eingesetzt. Der Vergleich zeigt, daß bei Verbindungen mit HVP-Schrauben etwa 40% weniger Schrauben erforderlich sind als bei Verbindungen mit gewöhnlichen Schrauben, jedoch ist beim Spannungsnachweis im Nettoquerschnitt zu berücksichtigen, daß nur 40% vom Reibungsanteil vor dem Schraubenloch als übertragen angesehen werden dürfen.

Gegenüber den gewöhnlichen Paßschrauben ist aber bei den HVP-Schrauben nicht nur die Tragkraft höher, sondern auch die Spannungsverteilung im Nettoquerschnitt wesentlich günstiger (Bild 10), so daß die bekannte Spannungsspitze am Lochrand sehr stark abgebaut wird. Dem „Lochleibungsdruck“ braucht daher bei der HVP-Schraube nur insofern Beachtung geschenkt werden, als stärkere Plastizierungen um das Schraubenloch vermieden werden sollen.

Die HVP-Schraubenverbindung hat den einzigen Nachteil der höheren Anarbeitungs- und Montagekosten gegenüber der HV-Schraubenverbindung, da die Stöße zusammengepaßt und die Löcher entsprechend aufgerieben werden müssen. Für die praktische Anwendung kommt daher vor allem eine Kombination von HVP- und HV-Schrauben im selben Anschlußteil in Frage, so daß das Einpassen der Schrauben nur für einige Löcher erfolgt. Man kann dann nicht nur an Schraubenzahl sparen, sondern ein Rutschen des Stoßes verhindern, wobei jedoch – um starke örtliche Plastizierungen in den Anschlußteilen in unmittelbarer Umgebung der HVP-Schraube zu vermeiden – mindestens ein Drittel HVP-Schrauben angeordnet werden soll. Die Tragkraft der Reibungs- und Scherverbindung kann dann addiert werden.

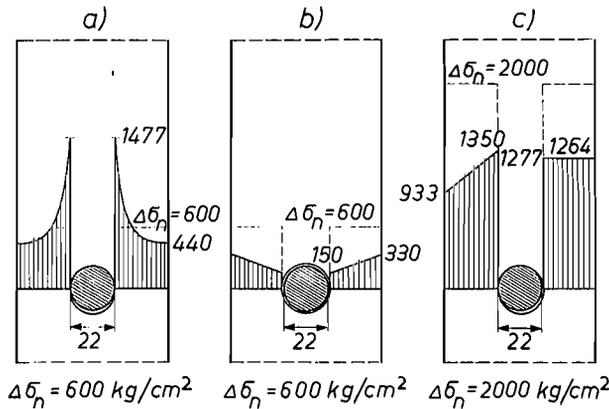
Schließlich wäre noch die Möglichkeit zu erwägen, einen nicht eingepaßten HV-Stoß so weit rutschen zu lassen, daß einzelne Schraubenbolzen an den Lochwandungen anliegen. Man hätte damit eine zusätzliche Rutschsicherheit und könnte eventuell den Sicherheitskoeffizienten $v = \frac{\mu \cdot P_v}{P_s}$ ermäßigen.

J. Zusammenwirken von Schweißnähten und HV-Schrauben

Das Zusammenwirken von Schweißnähten (Kehl- und HV-Schrauben) wurde durch Versuche von O. Steinhardt und K. Möhler einwandfrei bewiesen (Bild 11). Wie K. Dörnen durch eingehende Messungen und theoretische Untersuchungen festge-

Bild 10: Spannungsverteilung am Lochrand einer Schraubenverbindung mit gewöhnlichen Paßschrauben (a) und HV-Paßschrauben vor (b) bzw. nach (c) Überschreiten der Gleitgrenze

Fig. 10: Stress-distribution beside the hole of a HSFG-connection considering (a) fitted shear bolts; (b) HSFG-bolts before and (c) after slipping



stellt hat, ist die Reibungsverbindung zunächst der starrere Teil. Erst bei weiteren Laststeigerungen mit kleinsten Gleitungen kommt die Schweißnaht voll zum Tragen, bis sie schließlich abgeschert wird. Um einen Ausgleich der Schrumpfspannungen nach dem Schweißen zu ermöglichen, sollen die Schrauben erst danach voll angezogen werden. Die Vorteile dieser kombinierten HV-Schweißverbindung liegen in der geringeren Schraubenzahl bei größerer Rutschsicherheit und in der Möglichkeit, die Schweißnähte erst nach erfolgtem Zusammenbau auszuführen.

K. Die HV-Schraube unter Zugbelastung

Ein vorgespanntes System kann in Richtung der Vorspannung auf Zug belastet werden, wobei die Höhe der Belastbarkeit außer vom Material des Vorspannelementes und den Querschnitts- und Systemabmessungen auch noch vom Angriffspunkt der Zug-

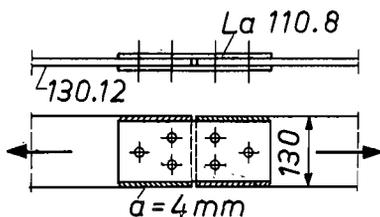


Bild 11: Kombinierte HV-Schweißverbindung

Fig. 11: Combined HSFG-welding connection

belastung und der Druckverteilung im vorgespannten Konstruktionsteil abhängig ist. H. Weiß und F. Wallner haben in ihrem Beitrag „Die HV-Schraube unter Zugbelastung“ [9] diese Abhängigkeit klar herausgestellt. Sie kommen zu dem Schluß, daß eine Zugbelastung der Schraube bis zum Wert der 0,7fachen Vorspannkraft P_v im ungünstigsten Fall des Kraftangriffes an den außenliegenden Stoßteilen eine zusätzliche Zugkraft im Schraubenbolzen ergibt, die 10% der Vorspannkraft nicht überschreitet, was eine ausreichende Sicherheit gegen das Fließen im Schraubenschaft ergibt. Die in den europäischen Richtlinien festgelegte obere Grenze der Zugbelastung mit $0,7 P_v$ ist damit gerechtfertigt und die österreichischen Richtlinien, die bisher mit $0,8 P_v$ rechnen, werden den europäischen Richtlinien angeglichen.

Die Zugbelastung der HV-Schraube bedingt eine Verminderung der zulässigen Tragkraft für die Reibungsverbindung. Während die europäischen Richtlinien zur Ermittlung der Restvorspannkraft P_{vr} , welche zur Reibungsübertragung herangezogen werden darf, die Formel

$$P_{vr} = \frac{1}{v} (P_v - Z)$$

anwenden und damit nicht berücksichtigen, daß die aufgebrauchte Zugkraft Z mit dem für die äußere Belastung gültigen Sicherheitsfaktor zu versehen ist, bevor sie von der Vorspannkraft abgezogen wird, haben die österreichischen Richtlinien richtig einen solchen Sicherheitsfaktor eingeführt, der gleich der Sicherheit gegen Gleiten mit 1,25 festgesetzt wurde. Die österreichische Formel lautet daher

$$P_{vr} = \frac{1}{v} (P_v - vZ) = \frac{P_v}{v} - Z$$

und ergibt geringere Restvorspannkraft für die Reibungsübertragung.

Ein Anwendungsbeispiel aus dem Stahlbau für die HV-Schraube unter Zugbelastung sind die Stirnplattenstöße zum Anschluß der Rahmenriegel an die Stützen im Hochbau oder der Querträger an die Hauptträger im Brückenbau. Bild 12 zeigt einen solchen Anschluß, der neben Quer- und Normalkräften auch ein erhebliches Biegemoment zu übertragen hat. Die Berechnung umfaßt zwei Grenzfälle (Bild 13):

1. Der Kontakt der Berührungsflächen ist unter der Gebrauchslast auch bei den zugbelasteten Schrauben vorhanden (13 a).
2. Der Kontakt der Berührungsflächen im Bereich der zugbelasteten Schrauben ist aufgehoben, so daß dort ein Klaffen der Fuge eintritt (13 b)

Zahlreiche Versuche haben gezeigt, daß das Verhalten der Verbindung sich mit steigender Belastung dem zweiten Grenzfall nähert, noch lange, bevor die Vorspannkraft durch die äußere Zugbelastung gänzlich aufgehoben ist. Es wird daher empfohlen, die Bemessung nach dem Grenzfall 2 durchzuführen, da man damit auch eine echte Sicherheit gegen Erreichen der Traglast erhält.

L. Sicherheit einer HV-Verbindung

Wir müssen hier zwei verschiedene Sicherheiten unterscheiden, nämlich gegen Gleiten und gegen Bruch. Betrachten wir zuerst die Gleitsicherheit:

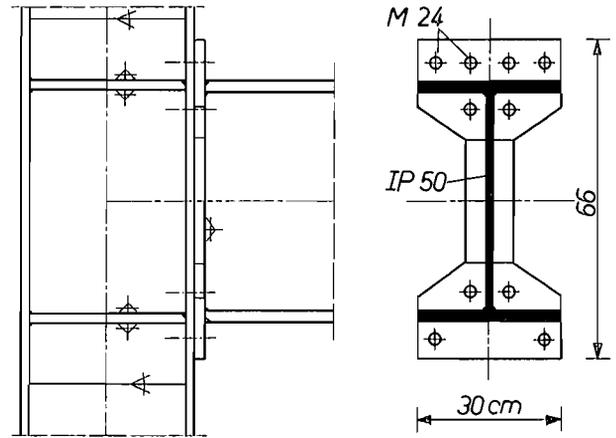
In den Vorschriften der einzelnen Länder ist man hier noch zu keiner einheitlichen Auffassung über die zu fordernde Mindestsicherheit gegen Gleiten gekommen. Dies mag zum Teil daran liegen, daß der Rutschvorgang und der Einfluß des erfolgten Rutschens auf die Brauchbarkeit des Bauwerkes verschieden beurteilt wird, hat aber auch seine Ursache im noch nicht restlos aufgeklärten Reibungs- und Gleitverhalten der Verbindung. Außerdem fehlt noch eine zuverlässige Messung des zu erwartenden Reibbeiwertes an der behandelten Kontaktfläche und schließlich hängt die Erzielung eines hohen Reibbeiwertes auch von der Geschicklichkeit des Arbeiters, der die Kontaktfläche präpariert, ab. So schreiben die europäischen Richtlinien einen Sicherheitsfaktor von $\nu = 1,25$ vor, während die UIC diesen Faktor auf 1,4 bzw. sogar 1,6 erhöht. Nach den deutschen Richtlinien wird für den Hochbau $\nu = 1,5$ für Lastfall H und $\nu = 1,1$ für den Lastfall HZ gefordert, während der Brückenbau (auch Straßenbrücken) und der Kranbau mit 1,4 bzw. 1,6 relativ schlecht wekommt. In Anpassung an die europäischen Richtlinien haben wir in Österreich einen Sicherheitsfaktor $\nu = 1,25$ für beide Lastfälle entsprechend unserer zulässigen Beanspruchung festgesetzt, während bei Eisenbahnbrücken dieser Sicherheitsfaktor auf 1,4 erhöht werden muß.

Zur Beurteilung der Gleitsicherheit müssen wir uns vor Augen halten, welche Folgen das Rutschen einer HV-Verbindung für das Bauwerk hat. Der Einfluß eingetretener Gleitungen auf die weitere Verwendung des Bauwerkes hängt von der Größe der eingetretenen Verformung, also vom zulässigen Lochspiel, und vom besonderen Bauwerkstyp ab. Im allgemeinen wird bei 1 mm Lochspiel selbst beim Rutschen des HV-Stoßes keine unzulässig große Verformung auftreten, jedoch reicht dieses geringe Lochspiel nicht aus, um ein Aufreiben der Löcher auf der Baustelle auszuschalten. Bei einem Lochspiel von 2 mm wird hingegen diese Verformung bei einer größeren Zahl von Bauwerkstypen nicht mehr toleriert werden können, so daß Korrekturen vorgenommen werden müssen, die meist schwierig, oft auch überhaupt nicht ohne großen Aufwand durchzuführen sind. Aber auch im zweiten Fall wird es zu keiner Gefahr für den Bestand des Bauwerkes selbst kommen, da im Gegensatz zur klassischen Schrauben- oder Nietverbindung auch nach dem Gleiten die Reibung plus dem vollen Scherwiderstand der Bolzen wieder wirksam wird und der HV-Anschluß sich in einen HVP-Anschluß verwandelt. Auf keinen Fall wird also das Gleiten den Bruch der Verbindung einleiten, denn dieser kann nur durch das Versagen des Nettoquerschnittes der Anschluß- oder Laschenteile hervorgerufen werden.

Der Sicherheitsfaktor μ hat neben den Unsicherheiten in der Festsetzung des Reibbeiwertes auch noch die Unsicherheit in der Belastung sowie der

Bild 12: Stirnplattenstoß mit HV-Schrauben

Fig. 12: HSFQ-front plate joint



Berechnung und Ausführung zu decken. Dadurch wird auch hier das Problem der Festsetzung des Sicherheitskoeffizienten auf die wahrscheinlichkeitstheoretische Basis verlagert. Berücksichtigt man die Tatsache, daß ein Rutschen der HV-Verbindung für das Bauwerk einen unerwünschten Zustand, aber keine Katastrophe bedeutet, so darf man sagen, daß eine gleichzeitige Lasterhöhung gegenüber den Normen, verbunden mit zu günstigen Berechnungsannahmen und ebenfalls gleichzeitiger Unterschreitung der erforderlichen Reibung in der HV-Verbindung so unwahrscheinlich ist, daß die Unsicherheitsfaktoren hier nur wenig größer als 1 sein brauchen. Mit dem globalen Wert 1,25 haben wir sicherlich bei Baustahl St 37 eine völlig ausreichende Sicherheit, zumal die Wahrscheinlichkeit der Reibungsunterschreitung dort nur verschwindend klein ist. Beden-

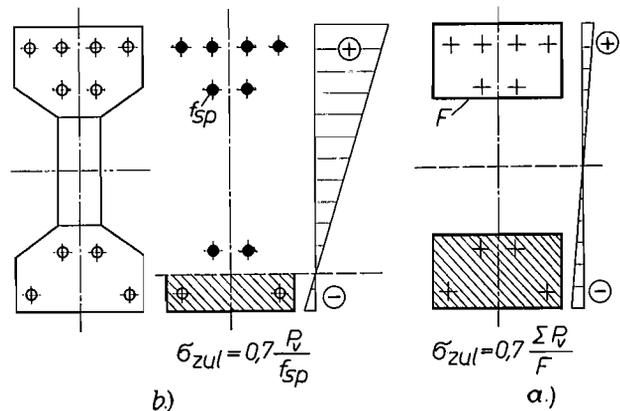


Bild 13: Grenzfälle der Spannungsverteilung für die Berechnung eines Stirnplattenstoßes

Fig. 13: Inferior and superior limits of stress distribution considering a front plate joint

ken, vom jetzt gültigen Reibbeiwert 0,45 auf 0,5 hinaufzugehen, bestehen hier nicht. Beim Baustahl St 52 muß noch geprüft werden, ob es gelingt, durch Verbesserung der Behandlungsmethoden der Kontaktflächen unter Anwendung der gleichen Sicherheit von 1,25 den Reibbeiwert auf 0,6 zu halten, worüber ein umfangreiches Versuchsprogramm, das zur Zeit in Durchführung begriffen ist, endgültig Aufschluß geben wird. Dort, wo das Rutschen der Verbindung äußerstenfalls toleriert werden kann, wäre es sicher möglich, beim Baustahl St 37 auf die 1,1fache Sicherheit hinunterzugehen.

Den weitaus besten Beweis für die Bewährung der Reibungsverbindung bilden aber die zahllosen ausgeführten Bauten. Sowohl in der Europäischen Konvention der Stahlbauverbände als auch in der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau (IVBH) herrscht hier völlige Offenheit, und soweit bekannt, konnte während der Zeit der Anwendung der HV-Verbindungen – abgesehen von ganz vereinzelt Rutschungen durch Montagefehler – kein einziges Gleiten einer HV-Verbindung festgestellt werden. Die Wahrscheinlichkeit des Rutschens ist hier, an der Zahl der ausgeführten Bauwerke gemessen, offensichtlich außerordentlich gering und zeugt von der vollen Bewährung dieser Verbindungsart.

Betrachten wir nun die Sicherheit einer HV-Verbindung gegen Bruch. Hier verdienen die Untersuchungen von K. Klöppel [8] besonders hervorgehoben zu werden, da sie über das Verhalten der HV-Verbindung bis zum Bruch erschöpfend Auskunft geben. Klöppel weist nach, daß das System mit der Überwindung der Reibung seinen statischen Aufbau verändert und daher die Bruchlast einer HV-Verbindung durch den Nettoquerschnitt bestimmt wird. Der bisher in den „Richtlinien“ enthaltene Spannungsnachweis, bei dem die Annahme getroffen wird, daß bei jeder im maßgebenden Nettoquerschnitt angeordneten HV-Schraube bereits 40 % der Kraft durch Reibung übertragen ist, führt zu Tragsicherheiten, die je nach dem Schraubentyp und dem Schraubendurchmesser verschieden sind. Dies ist darin begründet, daß durch die Systemänderung keine Linearität zwischen Kraft und Spannung herrscht und daher aus der Spannung im Querschnitt vor Erreichen der Gleitgrenze nicht auf die Bruchspannung geschlossen werden kann. So hat der zweischnittige Laschenstoß mit nur einer Schraube großen Durchmessers bei selbem Bruttoquerschnitt eine geringere Tragsicherheit als der Laschenstoß mit mehreren Schrauben kleinen Durchmessers, die hintereinander angeordnet sind. Da dieser Unterschied bei nach den „Richtlinien“ bemessenen Stoßverbindungen nicht zum Ausdruck kommt, müssen diese geändert werden. K. Klöppel schlägt vor, einen Traglastnachweis mit dem Nettoquerschnitt durchzuführen und eine Tragsicherheit von etwa 1,85 festzusetzen.

M) Schlußbetrachtung

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, daß die Forschungsarbeiten für die wirtschaftliche und sichere

Anwendung der HV-Schrauben noch keineswegs abgeschlossen sind. Neben der Verbesserung des Reibbeiwertes für die zur Anwendung gelangenden Baustähle ist vor allem der Schutz der HV-Verbindung gegen Korrosion zur Zeit Gegenstand ausgedehnter Versuchsreihen. Vor allem sollen metallische Überzüge entwickelt werden, die die Reibung hinaufsetzen, wobei bisher die besten Erfahrungen mit Zink-Aluminiumschichten ($< 50 \mu$) gemacht wurden. Auch der Korrosionsschutz der Schraube selbst bedarf noch weiterer Forschungen.

In Zukunft wird sich die Stoßverbindung mit HV-Schrauben und einer kleineren Zahl von HVP-Schrauben und Kehlnähten weiter durchsetzen und zu einer Erhöhung der Rutschsicherheit bei gleichzeitiger Verminderung der Schraubenzahl führen. Aber auch das absichtlich bei der Montage herbeigeführte Rutschen bis zum Anliegen einzelner Schrauben an den Lochrändern kann in manchen Fällen den HV-Stoß verbessern. Ferner bedürfen noch die komplizierten Zusammenhänge des Reibbeiwertes mit der Baustahlgüte und der Oberflächenbeschaffenheit einer Klärung, die nur durch systematische Forschungsarbeiten unter Zugrundelegung der Mikrostruktur der Oberfläche erhalten werden kann. Eine einfache Meßmethode zur Kontrolle des Reibbeiwertes an der behandelten Oberfläche am Bauwerk wäre ebenfalls sehr erwünscht. Die vorgespannte Klebeverbindung (VK-Verbindung) steht derzeit noch im Versuchsstadium. Man sollte aber auch diese Untersuchungen weiter betreiben.

Das Ziel aller Forschungsarbeiten über HV-Schrauben muß es sein, eine Behandlung mit nachfolgendem Belag der Kontaktflächen zu erzielen, so daß nicht nur der Reibbeiwert möglichst hoch wird, sondern auch ein wirksamer Korrosionsschutz während der Lebensdauer des Bauwerkes erzielt wird. Daneben müssen aber auch weitere Untersuchungen über die Rutsch- und Tragsicherheit von HV-Verbindungen unter besonderer Beachtung des Zustandes nach dem Gleiten durchgeführt werden.

a. Prof. Dr. techn. Hermann Beer,
Technische Hochschule Graz

Literaturangaben

- [1] Europäische Richtlinien für die Verwendung hochfester, vorgespannter Schrauben im Stahlbau. Europäische Konvention der Stahlbauverbände, Kommission X (Vorsitz: Prof. Ir. A. A. van Douwen).
- [2] Neufassung der Richtlinien für die Verwendung hochfester, vorgespannter Schrauben im Stahlbau, 1963. Österreichischer Stahlbauverband.
- [3] Merkblatt für die Ausführung von Verbindungen mit hochfesten, vorgespannten Schrauben. Österreichischer Stahlbauverband 1965.
- [4] O. Steinhardt und K. Möhler: Versuche zur Anwendung vorgespannter Schrauben im Stahlbau I., II. und III. Teil, Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau.
- [5] G. Aurnhammer: Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, 7. Kongreß, Vorbericht, S 414–430.
- [6] H. Beer und F. Wallner: Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, 7. Kongreß, Vorbericht, S 371–378.
- [7] K. Klöppel und T. Seeger: Dauerversuche mit einschneidigen HV-Verbindungen aus St 37. Der Stahlbau 1964, S 225 usw. und S 335 usw.
- [8] K. Klöppel und T. Seeger: Sicherheit und Bemessung von HV-Verbindungen aus St 37 und St 52 nach Versuchen unter Dauerbelastung und ruhender Belastung. Veröffentlichungen des Institutes für Statik und Stahlbau der Technischen Hochschule Darmstadt. 1965.
- [9] H. Weiß und F. Wallner: Die HV-Schraube unter Zugbelastung. Stahlbau-Rundschau. Heft 24/1963.

Anforderungen an Stähle für hochfeste Schrauben als Verbindungselemente im Stahlhochbau

Von H. Laizner und R. Schobmann, Donawitz

Die Verwendung von hochfesten, vorgespannten Schrauben für die Verbindung von Bauteilen hat im Stahlbau in zunehmendem Maße an Bedeutung gewonnen. Damit wurden die herkömmlichen Verfahren des Nietens, einfachen Verschraubens und Schweißens in den letzten Jahren durch eine besondere Verbindungsart bereichert.

Bei der Nietung und einfachen Verschraubung nützt man zur Kraftübertragung die Scherkräfte oder die Leibungsdrücke aus. Anders liegt der Fall bei HV-Schraubenverbindungen. Hier werden durch Anziehen der Mutter bzw. in Ausnahmefällen auch des Kopfes, zwischen den zu verbindenden Elementen hohe Druckspannungen aufgebracht. Die senkrecht auf den Schraubenschaft gerichteten Kräfte werden dabei durch Reibung zwischen den verschraubten Teilen übertragen.

Die Wirksamkeit der HV-Verbindung hängt demnach hauptsächlich von der Größe der Vorspannkraft und vom Reibungswiderstand der zu verbindenden Teile ab. Durch die Größe der Vorspannkraft wird in erster Linie die Form und vor allem die verwendbare Schraubengüte bestimmt. Die Höhe der Ausnutzung der Schraubentragkraft ist durch allgemeine Sicherheitsbestimmungen geregelt. Für Österreich beträgt nach der Richtlinie des Stahlbauverbandes die Vorspannkraft $P_V = 0,8\sigma_F \cdot F_{sp}$. Dabei bedeuten σ_F die 0,2-%-Dehngrenze und F_{sp} den Spannungsquerschnitt der Schraube.

Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen werden für HV-Verbindungen grundsätzlich spezifisch hoch belastbare Schraubengüten verwendet und in den einschlägigen Richtlinien auch vorgeschrieben.

Im folgenden sei eine kurze Zusammenstellung der in Österreich für die Herstellung von HV-Schrauben üblichen Werkstoffe wiedergegeben. Diese Aufstellung und die anschließende Beschreibung der Werkstoffeigenschaften soll keinesfalls einen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Es werden hier vielmehr an wenigen, kennzeichnenden Beispielen die für HV-Schrauben notwendigen Materialanforderungen kurz geschildert.

Nach den in Österreich geltenden Richtlinien werden für HV-Verbindungen Schrauben der Güten 8 G (Mutter 6 S) und 10 K (Mutter 8 G) vorgeschrieben. Diese Güteschrauben werden aus den in Tafel 1 angeführten Werkstoffen hergestellt.

Außer den in Tafel 1 wiedergegebenen Stählen werden in Sonderfällen, wie bei Einzelanfertigung oder bei besonders dicken Schrauben auch noch Werkstoffe entsprechend den Qualitäten 34 Cr 4, 34 Cr Mo 4, 42 Cr Mo 4 und ähnliche verarbeitet. Die Verwendung von Automatenstählen für durch Zerspanen hergestellte Schrauben ist für die Güten 8 G und 10 K allgemein nicht zulässig.

Voraussetzung für die Eignung eines Stahldrahtes oder Stabstahles für die Herstellung von HV-Schrauben ist eine bestimmte Oberflächengüte sowie besondere Werkstoffeigenschaften wie genügend hohe Warm- bzw. Kaltbildsamkeit und Vergütbarkeit.

An die Oberflächenbeschaffenheit dieser Stähle werden wegen der Beanspruchung bei der Verarbeitung auf Schrauben, insbesondere beim Kaltpressen durch den Stauchprozeß, aber auch auf Grund der hohen Belastung der fertigen Schraube im Bauwerk große Anforderungen gestellt. Das Ausgangsmaterial muß frei von Rissen, Überwalzungen, Schuppen und ähnlichen Oberflächenfehlern sein. Um dies sicherzustellen wird daher das an sich bereits mit besonderer Sorgfalt gewalzte Draht- bzw. Stabmaterial in den Walzwerken einer strengen Ausgangskontrolle unterworfen, an die sich meist noch eine Eingangskontrolle durch die Schraubenhersteller anschließt. Als Prüfmethode werden Warm- oder Kaltstauchproben, Verwindproben und Ätzproben angewendet. In letzter Zeit werden in verstärktem Umfang auch zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Kontrolle auf Oberflächenfehler eingesetzt. Es sind dies vor allem elektro-induktive oder magnet-induktive Verfahren, die auf der Messung elektrischer oder magnetischer Streufelder beruhen und vielfach eine automatisierte Oberflächenprüfung mit hohen Prüfgeschwindigkeiten gestatten.

Bezeichnung nach ÖNORM M 3167	C %	Mn %	Si %	P % max.	S % max.	Cr %
C 35 SP	0.30-0.40	0.50-0.90	max. 0.30	0.04	0.04	—
C 45 SP	0.40-0.50	0.60-1.00	max. 0.30	0.04	0.04	—
41 Cr 4 SP	0.38-0.44	0.50-0.80	0.15-0.35	0.035	0.035	0.90-1.20

Tafel 1: Stähle für die Herstellung der Schrauben 8 G und 10 K (nach ÖNORM M 3167)

Table 1: Steel for making bolts 8 G and 10 K (as per ÖNORM M 3167)

Nenndurchmesser in mm	bis 6	über 6 bis 7	über 7 bis 8	über 8 bis 9	über 9 bis 10	über 10 bis 12	über 12 bis 14	über 14 bis 20
Entkohlungstiefe in mm	0.08	0.09	0.10	0.11	0.125	0.15	0.18	0.20

Tafel 2: Max. zulässige Randentkohlung nach DIN 1654

Table 2: Maximum permissible decarbonization (as per DIN 1654)

In den Begriff „Oberflächengüte“ bei Stählen für hochfeste Schrauben fällt auch noch die Forderung nach einer möglichst geringen Randentkohlung. Diese kann als Folge einer unsachgemäßen Ofenführung im Walzwerk oder auch bei der späteren Glühung des Stab- oder Drahtmaterials entstehen. Nur durch eine ständige Überwachung des Erzeugungsablaufes und eine sorgfältige Abstimmung der Wärmebehandlung auf die Stahlzusammensetzung kann die geforderte geringe Randentkohlung gewährleistet werden. Das Glühen des Fertigmaterials erfolgt aus diesem Grunde auch meist unter Schutzgas. Die maximal zulässige Tiefe der Randentkohlung ist in den einschlägigen Normen festgelegt und darf beispielsweise nach DIN 1654 die in Tafel 2 angegebenen Werte nicht überschreiten.

Zur Überprüfung der Tiefe der Randentkohlung wird ein Schrägschliff mit einer Neigung von 10–30° zur Längsachse der Probe angefertigt. Ein von 850°C gehärteter Probeabschnitt wird nach Ätzung mit alkoholischer Salpetersäure untersucht, wobei die Tiefe der helleren, die Entkohlung anzeigende Randzone nach folgender Formel errechnet werden kann:

$$t = \frac{1}{2} (d - \sqrt{d^2 - a^2 + i^2}).$$

Entsprechend Bild 1 bedeuten nach DIN 1654:

- a) die Breite des Anschliffes in der senkrecht zur Stabachse gedachten Meßlinie,
- i) die Breite der Meßlinie in dieser dunklen Zone und
- d) den Drahtdurchmesser.

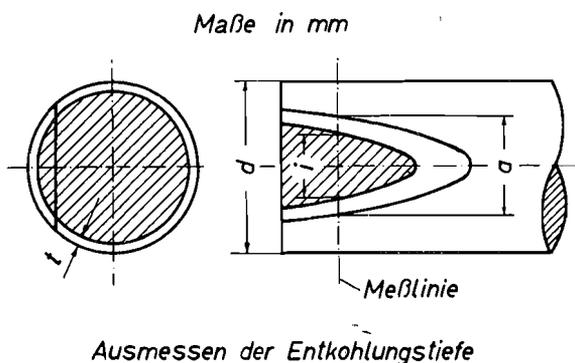


Bild 1: Probe zum Ausmessen der Entkohlungstiefe

Fig. 1: Test specimen for determining decarbonization depth

Die Vorschriften bezüglich Randentkohlung sind bei diesen Vergütestählen durch die Forderung nach gleichmäßiger Vergütefestigkeit auch in der Randzone der Schrauben begründet. Ein durch stärkere Randentkohlung auftretender größerer Festigkeitsabfall würde nämlich außer der geringeren Gesamtbelastbarkeit auch eine untragbare Herabsetzung der Dauerfestigkeit solcher Schrauben mit sich bringen.

Hochfeste Schrauben werden heute nahezu ausschließlich spanlos, also durch Kalt- bzw. Warmverformung hergestellt. Bei Material, das im kalten Zustand verpreßt wird, kommt daher der Kaltbildsamkeit des Werkstoffes eine überragende Bedeutung zu. Beeinflusst wird diese vor allem durch die Gefügeausbildung und in deren Folge durch die mechanischen Eigenschaften des zu verformenden Stahles. Die Beurteilung der Verformbarkeit im kalten Zustand an Hand der Ergebnisse des Zugversuches ist nicht ohne weiteres möglich. Ein klarer und eindeutiger Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit, Streckgrenze, Streckgrenzenverhältnis, Bruchdehnung einerseits und Kaltverformbarkeit andererseits konnte nämlich bisher nicht in allen Fällen nachgewiesen werden. Lediglich die Brucheinschnürung gestattet gewisse Rückschlüsse auf die Eignung zur Kaltverformung. Aus diesem Grunde werden in den einschlägigen Normvorschriften neben einer maximalen Zugfestigkeit auch Mindestwerte für die Brucheinschnürung vorgeschrieben.

Wie bereits oben erwähnt, ist für eine erfolgreiche Kaltverarbeitbarkeit die Gefügeausbildung von entscheidender Bedeutung. Wichtig ist dabei neben der Korngröße die Art der Ferrit- und Perlitausbildung und Verteilung. In den Bildern 2 bis 7 ist das Mikrogefüge der Werkstoffe C45 SP und 41 Cr4 SP im normalgeglühten bzw. weichgeglühten und vergüteten Zustand wiedergegeben. Für kalt zu stauende Schrauben wird allgemein der weichgeglühte Zustand mit körnigem Zementit angestrebt, da streifiger Perlit eine Erhöhung des Verformungswiderstandes und eine Verminderung der Verformbarkeit mit sich bringt. Wie aus den Gefügebildern ersichtlich ist, wird durch das Weichglühen der streifige oder schalige Zementit in eine körnige Form übergeführt. Bei den hier besprochenen Stählen besteht die Weichglühung in einem einige Stunden dauernden Halten auf Temperaturen bei 720°C mit nachfolgender langsamer Abkühlung bis 650°C. Nach dem Erreichen dieser Temperatur kann das Material rasch abgekühlt werden.

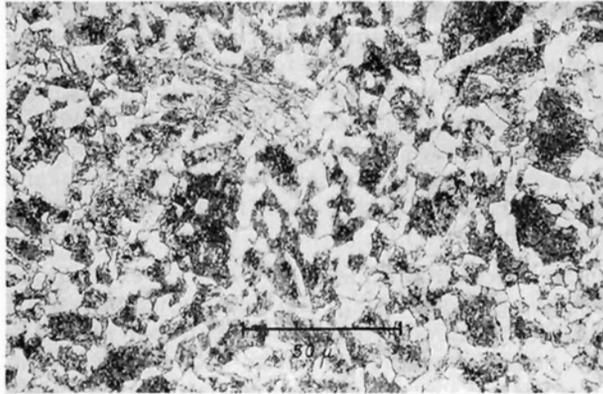


Bild 2: Werkstoff C 45 SP, normalisierter Zustand, Ätzung 3% HNO₃

Fig. 2: Material C 45 SP normalised condition etching 3% HNO₃



Bild 5: Werkstoff 41 Cr 4 SP, normalisierter Zustand, Ätzung 3% HNO₃

Fig. 5: Material 41 Cr 4 SP normalized condition etching 3% HNO₃

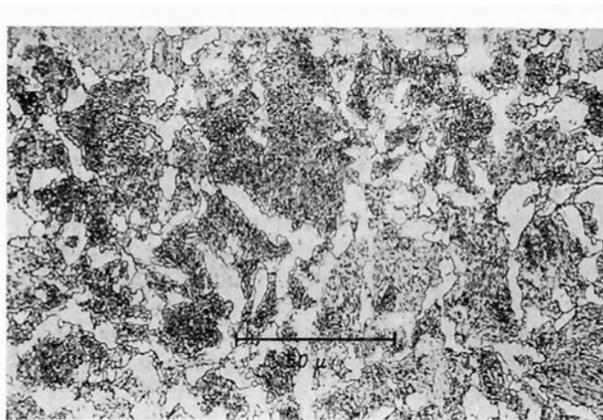


Bild 3: Werkstoff C 45 SP, weichgeglühter Zustand, Ätzung 3% HNO₃

Fig. 3: Material C 45 SP soft annealed condition etching 3% HNO₃



Bild 6: Werkstoff 41 Cr 4 SP, weichgeglühter Zustand, Ätzung 3% HNO₃

Fig. 6: Material 41 Cr 4 SP quenched and tempered condition etching 3% HNO₃

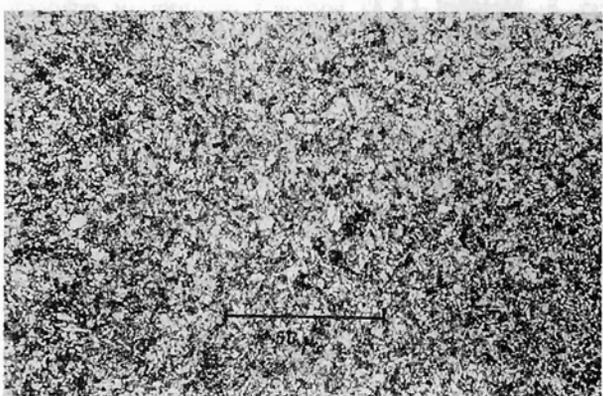


Bild 4: Werkstoff C 45 SP, vergüteter Zustand, Ätzung 3% HNO₃

Fig. 4: Material C 45 SP quenched and tempered condition etching 3% HNO₃

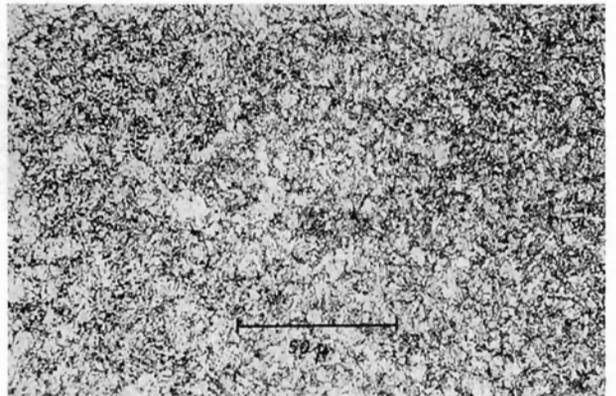


Bild 7: Werkstoff 41 Cr 4 SP, vergüteter Zustand, Ätzung 3% HNO₃

Fig. 7: Material 41 Cr 4 SP quenched and tempered condition etching 3% HNO₃

Für Kaltstauchzwecke soll der Werkstoff eine mittlere Korngröße aufweisen. Zu feines Korn bedingt eine höhere Formänderungsarbeit, bei grobkörnigen Stählen besteht wiederum die Gefahr einer Verminderung der Zähigkeitseigenschaften. Zu der Kornanordnung sei erwähnt, daß eine stark zeilige Struktur die Gefahr von Schubrißbildung beim Anstauchen der Schraubenköpfe verursachen kann und daher vermieden werden sollte.

Von besonderer Bedeutung ist schließlich die Vergütbarkeit der für HV-Schrauben verwendeten Stähle. Bei den Werkstoffen C 35 SP und C 45 SP handelt es sich um unlegierte, im Falle des Stahles 41 Cr 4 um einen legierten Vergütungsstahl. Unter Vergüten wird das Härten des Stahles mit nachfolgendem Anlassen verstanden. Dabei werden die Härtetemperaturen auf die Stahlzusammensetzung sowie auf das Abschreckmedium abgestimmt. Sie sollen innerhalb der in Tafel 3 angegebenen Grenzen liegen. Die Anlaßtemperaturen richten sich nach der geforderten Festigkeit, müssen jedoch laut Norm mindestens 500°C betragen.

Schrauben für HV-Verbindungen kommen im durchvergüteten Zustand zum Einsatz. Dies bedeutet, daß die geforderten Vergüteeigenschaften über den ganzen Querschnitt, also auch im Kern der Schrauben erreicht werden müssen. Die Durchvergütbarkeit wird dabei außer von der Zusammensetzung des Werkstoffes auch von den geforderten Festigkeitswerten abhängen und je nach Höhe derselben unterschiedlich sein.

Die Durchhärtungsfähigkeit und in deren Folge die Durchvergütbarkeit wird am gebräuchlichsten durch die Stirnabschreckprobe beurteilt. Dabei wird eine auf Härtetemperatur erhitze Probe von 25 mm Durchmesser und 100 mm Länge an ihrer Stirnfläche durch einen Wasserstrahl abgeschreckt. Die sich nach dem Abschrecken einstellende Härte wird an der seitlich angeschliffenen Mantelfläche, die selbst vom Abschreckmedium nicht unmittelbar berührt wurde, gemessen. Da die Abkühlungsgeschwindigkeit mit zunehmender Entfernung von der Stirnfläche abnimmt, gibt der Härteverlauf dieser Probe einen Aufschluß über die Härteannahme des geprüften Stahles bei verschiedenen Abkühlungsgeschwindigkeiten. Diese Prüfwerte können daher als Anhalt für die Beurteilung der bei einem bestimmten Stahl erreichbaren Einhärtungstiefe herangezogen werden.

In welcher Weise Stahlzusammensetzung und Anlaßtemperatur auf die nach der Härtung verschieden hohe Härte wirken, sei beispielsweise an Hand der Härtekurven angelassener Stirnabschreckproben in den Bildern 8 und 9 veranschaulicht. Am Härteverlauf dieser Stähle kann man sehr gut auch das Verhalten beim Anlassen erkennen. Mit steigender Anlaßtemperatur tritt ein immer stärkerer Ausgleich zwischen der Härte am rasch abgekühlten und am langsamer abgekühlten Teil der Stirnabschreckprobe auf.

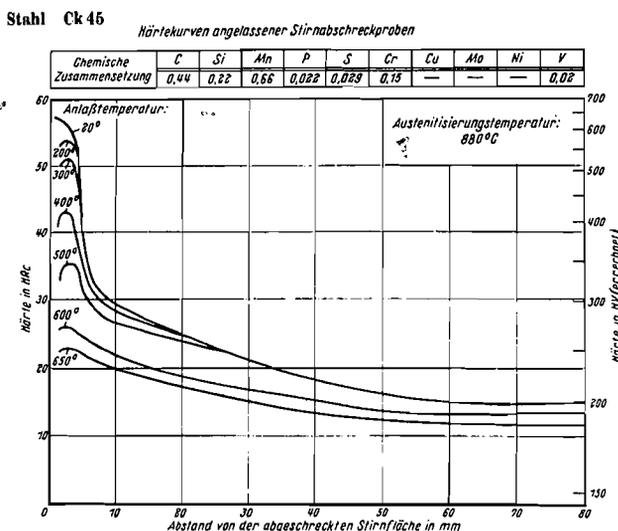


Bild 8: Werkstoff CK 45, Härtekurven angelassener Stirnabschreckproben (nach F. Wever und A. Rose: Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle)

Fig. 8: Material CK 45 hardness diagram of tempered Jominy specimen (F. Wever and A. Rose: Atlas for heat treatment of steels)

Werkstoff	Normalglühen °C	Weichglühen °C	Härten in		Anlaßtemperatur °C
			Wasser °C	Öl °C	
C 35 SP	860–890	650–700	840–870	850–880	530–670
C 45 SP	840–870	650–700	820–850	830–860	530–670
41 Cr 4 SP	850–880	680–720	820–840	830–850	530–670

Tafel 3: Temperaturen für die Wärmebehandlung
Table 3: Temperatures for heat-treatment

Bild 9: Werkstoff 41 Cr 4, Härtekurven angelassener Stirnabschreckproben (nach F. Wever und A. Rose: Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle)

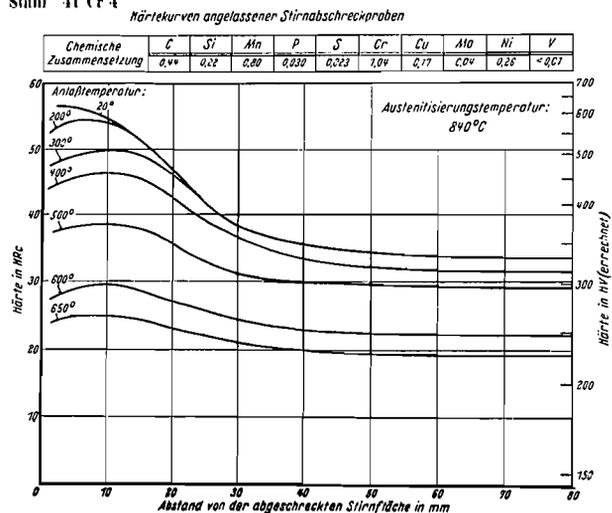
Fig. 9: Material 41 Cr 4 hardness diagram of tempered Jominy specimen (F. Wever and A. Rose: Atlas for heat treatment of steels)

Mit den vorstehenden Ausführungen wurde versucht, in knapper Form die wichtigsten Erfordernisse anzuführen, die bei Auswahl und Erzeugung des Vormaterials für die Herstellung von HV-Schrauben zu beachten sind. Jedenfalls steht fest, daß sowohl der Stahlhersteller bzw. das Walzwerk als auch der Schraubenerzeuger mit großer Sorgfalt die Werkstoffauswahl treffen wie auch den Erzeugungsablauf festlegen und überwachen muß. Erst damit ist die Gewähr gegeben, daß die letztlich in der Stahlkonstruktion verwendete HV-Schraube als Verbindungselement mit Sicherheit den dort aufzunehmenden hohen Beanspruchungen standhält.

Zusammenfassung

Es werden die verwendeten Schraubengüten für HV-Verbindungen kurz angeführt. Weiters werden Hinweise über chemische Zusammensetzung, mechanische Eigenschaften und Gefügeausbildung der für die Herstellung von HV-Schrauben verwendeten Werkstoffe gegeben. Ergänzt wurde dies durch einen Überblick über die vor allem bei der Verarbeitung durch Kaltstauchen erwachsenden Anforderungen. Abschließend wird die Wärmebehandlung dieser Stähle kurz geschildert.

Stahl 41 Cr 4



Schrifttum

- [1] F. Wever und A. Rose: Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle, Ausgabe 1958.
- [2] J. Billigmann: Stauchen und Pressen, Ausgabe 1953.
- [3] H. Wedl: Kaltstauchstähle für die Herstellung vergüteter Stahlschrauben, Draht 11 (1960), Nr. 8. S. 425/428.

Direktor-Stellvertreter Dr.-Ing. Hans Laizner
und Dipl.-Ing. Reinhard Schoßmann,
ÖAMG Donawitz

Die HV-Schraube unter Zugbelastung

Von H. Weiß und F. Wallner, Linz-Donau*)

1. Zweck der Versuche

Bei den in Heft 24, 1963, der „Stahlbau-Rundschau“ beschriebenen Versuchen an HV-Schrauben, die einer zusätzlichen axialen Zugbelastung ausgesetzt wurden, haben sich Abweichungen der Meßwerte von den rechnerisch ermittelten Werten im Bereich des theoretischen Unstetigkeitspunktes im X-Z-Diagramm (Bild 1) ergeben. Nach Ansicht der Verfasser kommt es bei Druckkörpern mit üblich vorbereiteten Berührungsf lächen zu keiner plötzlichen, sondern zu einer allmählichen Öffnung der Fugen. Im folgenden wird über Versuche berichtet, die sich mit dem Einfluß der Oberflächenrauigkeit der Berührungsf lächen und der Anzahl der Zwischenfugen befassen.

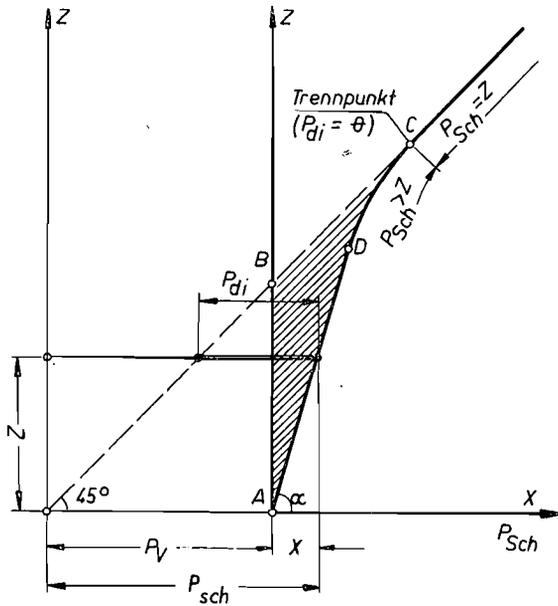


Bild 1: X-Z-Diagramm, schematisch

X = Krafterhöhung im Schraubenschaft
 Z = zusätzlicher axialer Zug
 Pv = Vorspannung der Schraube
 Psch = Pv + X = Gesamte Schraubenzugkraft
 Pdi = Druckkraft zwischen den Zugangriffspunkten
 /Pda/ = /Psch/... Druckkraft außerhalb der Zugangriffspunkte

Fig. 1: XZ-diagram, schematic

X = increase of strength in the bolt-shaft
 Z = additional axial tension
 Pv = prestressing of the bolt
 Psch = Pv + X = total tension stress of bolt
 Pdi = Compressive force between the points of tension-application
 /Pda/= /Psch/... compressive force outside the points of application

2. Die Versuche

2.1 Ungeteilte Druckkörper

Um die Einflüsse der Zustände der Berührungsf lächen, gegenüber allen anderen Einflüssen, auszuschalten, wurden zwei Versuche an Probekörpern vorgenommen, deren Aufbau in Bild 2 oben (A) skizziert ist. Der Druckkörper (1) besteht aus einem 200 mm langen ungeteilten Zylinder mit einer Innenbohrung von 20 mm und einem Gewinde von 34 mm Außendurchmesser und 32 mm Kerndurchmesser. Im Druckzylinder befindet sich die mit beidseitigem Gewinde versehene hochfeste Schraube M 16 (2). Die Beilagscheiben (3) wurden durch ein zusätzliches Scheibenpaar mit kugelförmiger Auflagefläche und mit Zentrierhals ergänzt, um ein Zentrieren der Schraube im Druckkörper und eine gleichmäßige Einleitung der Schraubkraft in den Druckkörper sicherzustellen. Die Einleitung der axialen Zugkraft erfolgte direkt am Druckkörper mit Hilfe der Überwurfmutter (5), die es gestatten, den Lastangriffspunkt innerhalb der Länge des Druckkörpers beliebig zu wählen. Die Messung der Schraubkraft und deren Veränderung geschah mit je zwei Dehnmeßstreifen (4), die in der Mitte der Schraube um 180 Grad versetzt angeklebt waren.

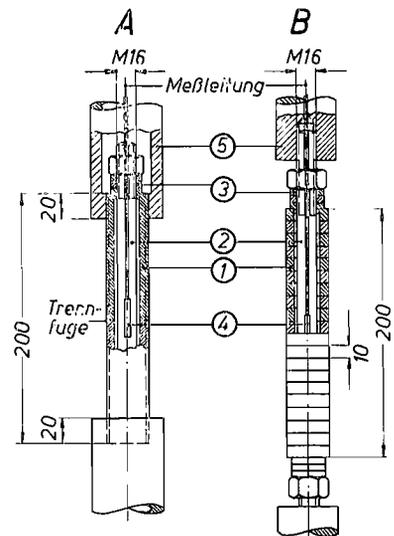


Bild 2: Versuchsanordnung der Druckkörper

Fig. 2: Test arrangement of compression pieces

Das verwendete Schraubenmaterial entsprach der Güte 10 K, die Muttern und Beilagscheiben lagen in der Güte 8 G vor. Die Druckkörper waren aus

*) Fortsetzung und Abschluß der Beiträge in Heft 24, 1963, und Heft 26, 1964.

Stahl St 50 M gefertigt. Das Anziehdrehmoment wurde mit 20 mkp (gegenüber 33 mkp nach den Richtlinien des Österreichischen Stahlbauverbandes) festgelegt, um einen ausreichend großen Spielraum der Belastbarkeit der Schrauben sicherzustellen.

Das bei diesen Versuchen gefundene X-Z-Diagramm stellt erwartungsgemäß eine Gerade dar, wie dies in Bild 3 für den Lastangriff in Mitte des Druckkörpers (Versuch A 1) und für den Lastangriff an den Enden des Druckkörpers (Versuch A 2) dargestellt ist. Die Neigungen der beiden Geraden hängen von der Länge des Druckteiles zwischen Angriffspunkten der Zugkraft (l_1) ab. Bei Versuch A 1 mit möglicher Annäherung der gegenseitigen Zugangriffspunkte ist das l_1 und damit die Abweichung der X-Z-Graden von der Y-Achse sehr klein. Eine Nachrechnung¹⁾ ergibt ein l_1 von etwa 30 mm. Dieser Wert ist in der Versuchsanordnung praktisch begründet.

Bei Lastangriff am Ende des Druckkörpers wird die Abweichung von der Z-Achse entsprechend dem l_1 größer, wobei auch hier der theoretisch gefundene Wert von $l_1 = 175$ mm in der Versuchsanordnung begründet ist.

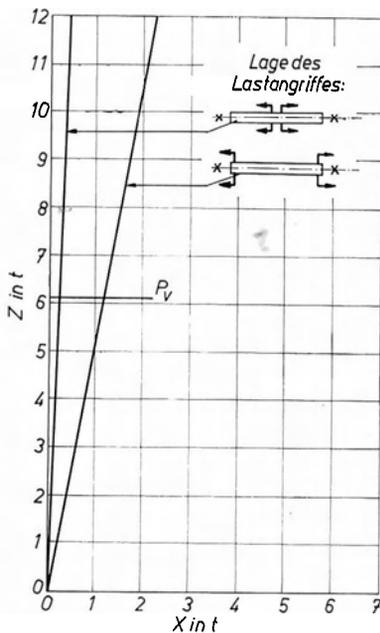


Bild 3: X-Z-Diagramme von ungeteilten Druckkörpern, Versuchsanordnung A

Fig. 3: XZ-diagrams of undivided compression pieces, test arrangement A

2.2 Druckkörper mit einer Trennfuge

Für diese Versuche wurde die gleiche Versuchsanordnung wie vorher beschrieben (Bild 2 links, A) verwendet. Der Druckkörper (1) bestand jedoch aus zwei Zylindern mit je 100 mm Länge. Vor dem Zusammenbau der Druckkörper wurden die beiden Be-

rührungsflächen der Druckkörperhälften einer Oberflächenbehandlung durch Polieren, Sandstrahlen, Aufrauen mit Schruppfeile oder Sägeschnitt unterworfen. Das Aussehen der Berührungsflächen nach dieser Behandlung bzw. Bearbeitung zeigt Bild 4. Darin sind auch Angaben über die gemessene Rauhtiefe zu finden. Die Meßwerte entsprechen dem Zustand der Flächen nach einem einmaligen Verschrauben.

	Bearbeitung der Berührungsfläche	Rauhtiefe nach Belastung auf 7 t (arithmetischer Mittelrauhwert) μ^*
	poliert	0,15
	sandgestrahlt	5,5
	plangedreht	2,6
	mit Schruppfeile aufgerauht	85
	gesägt	21,0

* Mittelwert aus 5 Messungen

Bild 4: Druckkörper mit einer Trennfuge, Aussehen der Berührungsflächen

Fig. 4: Compression piece with one separating joint, appearance of the contact surfaces

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Bild 5 zusammengefaßt. Die oberen Diagramme des Bildes geben die Verhältnisse bei Lastangriff in Druckkörpermitte, die unteren Schaubilder bei Lastangriff an den Druckkörperenden wieder. Die Neigung der unteren Geraden der X-Z-Kurve ist, wie erwartet, unabhängig vom Oberflächenzustand der Berührungsflächen. Der Übergang der unteren Geraden der X-Z-Kurve zur 45°-Geraden ($P_V = P_{sch}$) wird hingegen vom Zustand der Berührungsflächen sehr stark beeinflusst. Bei sehr anliegenden und polierten Berührungsflächen stimmt der Verlauf der X-Z-Kurve gut mit den theoretischen Überlegungen überein und ist durch einen ausgeprägten Knickpunkt (Trennpunkt) gekennzeichnet. Bei sandgestrahlten Berührungsflächen erfolgt der Übergang in Form einer stetigen Ausrundung. Bei den Proben, deren Berührungsflächen mit Schruppfeile aufgerauht bzw. gesägt wurden, trat ein Effekt auf, der offenbar damit zu erklären ist, daß die beiden Fugen zueinander nicht parallel waren. Dadurch ergab sich im Bereich des Öffnens der Trennfuge ein zweiter gerader Kurvenanteil (man kann diese Erscheinung einer Unstetigkeit in der Druckflächenveränderung zuschreiben).

¹⁾ Formel (1 a) des Beitrages in Heft 24, 1963.

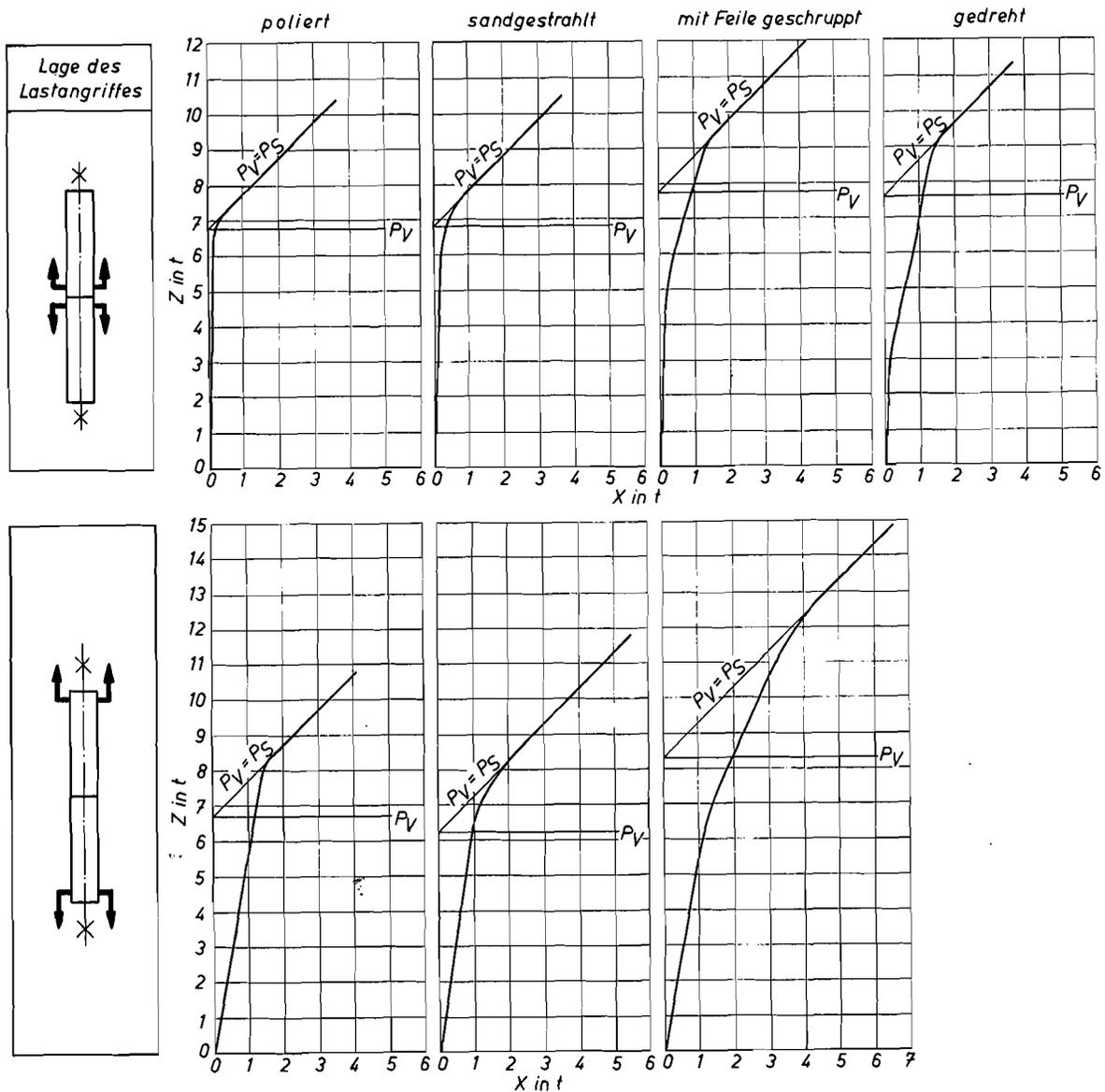


Bild 5: X-Z-Diagramme von Druckkörpern mit einer Trennfuge, Versuchsanordnung A

Fig. 5: XZ-diagrams of compression pieces with one separating joint, test arrangement A

2.3 Druckkörper mit mehreren Trennfugen

Für Versuche an Druckkörpern mit mehreren Trennfugen wurden Probekörper entsprechend Bild 2 unten, B, verwendet. Der Druckkörper bestand aus je 20 Scheiben (1) mit 10 mm Höhe, 20 mm Innendurchmesser und 35 bzw. 62 mm Außendurchmesser. Die Schraube (2) hatte einen Nenndurchmesser von 16 mm und war mit beidseitigem, verlängertem Gewinde versehen. Die Einleitung der zusätzlichen axialen Kraft erfolgte direkt an der Schraube. Im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Versuchsreihen sind bei diesen Versuchen die Vorgänge im Schraubengewinde und in den Beilagscheiben beim Öffnen der

Trennfugen nicht ausgeschaltet und im Meßergebnis enthalten. Die Berührungsflächen der einzelnen Scheiben waren durch Schleifen, Sandstrahlen, Plan-drehen bzw. Sägen vorbehandelt. Kennzeichnende Ergebnisse dieser Versuchsreihe werden in Bild 6 gezeigt. Die HV-Schraube übernimmt bei einem solchen System von Beginn an einen Großteil der axialen Zugkraft zusätzlich zur Vorspannkraft, und es besteht über den ganzen Verlauf praktisch kein linearer Zusammenhang zwischen X und Z.

Das Öffnen der Trennfugen tritt erst bei sehr hohen axialen Zusatzkräften auf. Der mehrfach geteilte Druckkörper kann in seiner Wirkungsweise mit einer Feder verglichen werden.

3. Deutung der Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der vorbeschriebenen Versuche haben wohl die Annahme bestätigt, daß die Art der Umlagerung axialer Zugkräfte auf die vorgespannte Schraube einerseits und auf den vorgedrückten Konstruktionsteil andererseits neben den Werkstoffkennwerten und den Querschnittsabmessungen noch von folgenden Faktoren abhängig ist: von der Entfernung der Zugangriffspunkte im Verhältnis zur Schraubenlänge, von der Oberflächenbeschaffenheit der Trennfugen, von der Parallelität der zusammengehörenden Trennfugenufer, von der Anzahl der Trennfugen zwischen den Zugangriffspunkten.

Die Versuchsergebnisse gestatten zweifellos folgende qualitative Aussagen:

Mit zunehmender Entfernung der Zugangriffspunkte, mit zunehmender Rauigkeit und Unebenheit der Trennfugen, mit zunehmender Anzahl der Trennfugen zwischen den Zugangriffspunkten wird der zusätzlich zur Vorspannung von der Schraube aufzunehmende Zugkraftanteil und damit auch die Gefahr einer unzulässigen Beanspruchung der Schraube größer. Dieser negativen Aussage steht aber auch eine positive gegenüber, nämlich die, daß unter den vorgenannten Voraussetzungen die Restdruckkraft im Druckteil langsamer abnimmt und damit auch die Tragkraft der Reibungsverbindung.

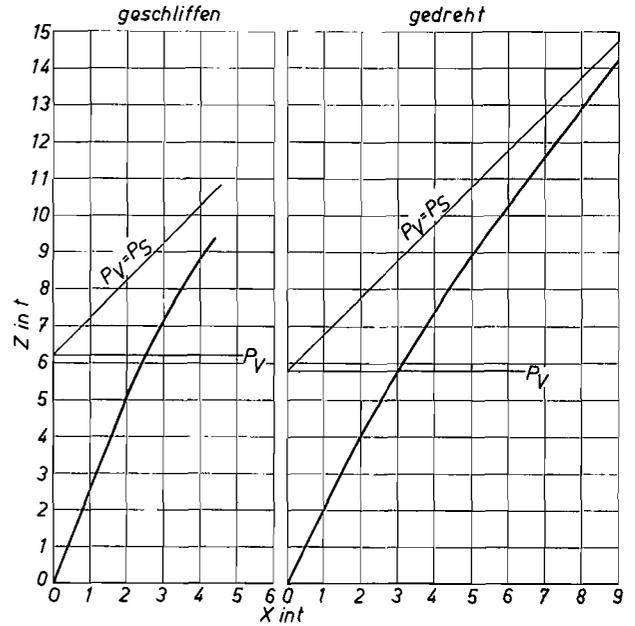


Bild 6: X-Z-Diagramme von Druckkörpern mit mehreren Trennfugen, Versuchsanordnung B

Fig. 6: XZ-diagrams of compression pieces with multiple separating joints, test arrangement B

Dir.-Stv. Dipl.-Ing. Hans Weiß
und Dipl.-Ing. Felix Wallner,
Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke AG, Linz/Donau

Anziehverfahren und Anziehgeräte für hochfeste vorgespannte Schrauben

Von W. Schmid, Wien

Übersicht

- 1 Einführung
- 2 Anziehverfahren
 - 2.1 Drehmomentenverfahren
 - 2.2 Drehwinkelverfahren (Turn-of-the-nut-Methode)
- 3 Anziehgeräte
 - 3.1 Allgemeines
 - 3.2 Drehmomentenschlüssel
 - 3.21 Biegestab-Drehmomentenschlüssel
 - 3.22 Drehmomentenschlüssel mit Ausklinkvorrichtung
 - 3.3 Kraftvervielfältiger
 - 3.4 Schlagschrauber
 - 3.41 Schlagschrauber ohne einstellbares Drehmoment
 - 3.42 Schlagschrauber mit einstellbarem Drehmoment
 - 3.43 Schlagschrauber mit einstellbarem Drehwinkel
 - 3.5 Eichvorrichtungen
 - 3.51 Allgemeines
 - 3.52 Eichung der Anzeige des Drehmoments
 - 3.53 Eichung der Anzeige der Vorspannkraft
 - 3.6 Fehlergrenzen und Meßunsicherheit

1 Einführung

Für die Tragfähigkeit einer Verbindung mit hochfesten vorgespannten Schrauben (HV-Schrauben) sind ein gutes, sattes Aneinanderliegen der zu verbindenden Teile, eine sorgfältige Vorbehandlung der Berührungsflächen und die Pressung in diesen Flächen maßgebend. Der Druck in den Berührungsflächen wird durch ein planmäßiges Anspannen hochfester Schrauben erreicht. Die dafür bekannten Verfahren und die dazu benötigten Geräte sind in dem vorliegenden Bericht behandelt.

Hinsichtlich des Anspannens ist zwischen dem Drehmomenten- und dem Drehwinkelverfahren zu unterscheiden. Als Geräte kommen die von Hand betätigten Drehmomentenschlüssel und die pneumatisch angetriebenen Schlagschrauber in Betracht.

Der Vollständigkeit halber sei auch auf die Möglichkeit eines unmittelbaren Anspannens der Schrauben durch Zug, so wie es mit den Spannstählen im Spannbetonbau geschieht, hingewiesen. Dieses Verfahren hat jedoch aus verschiedenen Gründen in die Praxis der HV-Verschraubung noch nicht Eingang gefunden, weshalb es – vor allem auch mit Rücksicht auf den Umfang dieses Berichts – hier nicht weiter behandelt werden soll.

2 Anziehverfahren

2.1 Drehmomentenverfahren

Mit der Einführung der HV-Schrauben hat der Stahlbau vom Maschinenbau die Technik übernommen, die notwendige Vorspannkraft durch ein bestimmtes Drehmoment aufzubringen und so die hohe Festigkeit des verwendeten Schraubenmaterials voll auszunützen. Durch planmäßiges Anziehen der Muttern gegen den Widerstand der zu verbindenden Teile wird in den Schrauben die verlangte Längskraft erzeugt.

Zwischen dem erforderlichen Drehmoment M_b und der verlangten Vorspannkraft P_v besteht die Beziehung:

$$M_b = K D P_v,$$

worin D der Schraubendurchmesser ist und K einen Beiwert darstellt, der von der Art und dem Zustand des Gewindes abhängt. Steinhardt [1] hat den Wert K durch Versuche bestimmt und bei leicht gefetteten Gewinden und Berührungsflächen zwischen Muttern und Unterlagsscheiben für

Schrauben M 16 : $K = 0,163$ (Streuung 0,160–0,170) und für

Schrauben M 22 : $K = 0,167$ (Streuung 0,164–0,170)

gefunden. Mit einem Sicherheitszuschlag von 10 % erhält man im Mittel $K = 0,18$, welcher Wert in die meisten europäischen Richtlinien Eingang gefunden hat. Für Schrauben im Anlieferungszustand rechnet man allgemein mit Schwankungen zwischen 0,15 bis 0,19, je nach Durchmesser, Zustand der Gewinde und Art des Schmieröls. Als Mittelwerte aus 360 Messungen hat Aurnhammer für Schrauben im Anlieferungszustand 120 % und nach leichtem Ölen 91 % des Sollwerts für das benötigte Anziehmoment erhalten [3]. Man kann diese Ungenauigkeiten zum Teil dadurch ausschalten, daß man auch bei Drehmomentenschlüsseln, so wie es bei Schlagschraubern verlangt wird, die Schrauben in die Eichung einbezieht (vgl. Punkt 3.53).

Um das verlangte Moment zu gewährleisten, schreiben die verschiedenen Richtlinien Anziehmomente vor, die um 5 bis 10 % über den erforderlichen Werten liegen. Damit sollen vor allem die unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Anziehgeräte abgedeckt werden.

Das Anziehen der Schrauben soll bei den starren Teilen der Verbindung beginnen und nach den freien Enden fortschreiten. Im allgemeinen wird man also zuerst das Gerät bei den Schrauben in der Mitte eines Stoßes oder Anschlusses ansetzen. Es ist bei einem solchen Vorgehen fast unvermeidlich, daß mit

dem Anspannen weiterer Schrauben die zuerst angezogenen Bolzen sich wieder etwas lockern. Daher wird ein nochmaliges, bei sehr sperrigen Teilen auch ein zweimaliges Nachspannen erforderlich sein, bis alle Schrauben die verlangte Vorspannkraft haben. Verschiedentlich wird auch empfohlen, zunächst nur etwa 75 % des Sollmoments aufzubringen und erst bei einem zweiten Durchgang bis zur vollen Höhe anzuspannen.

Sind nur wenige Bolzen anzuziehen, genügen Drehmomentenschlüssel allein. Ein längeres Arbeiten damit ist ermüdend, daher werden bei einer größeren Zahl von Schrauben meist pneumatisch angetriebene Schlagschrauber verwendet. Über die verschiedenen Gerätetypen wird in Abschnitt 3 berichtet. Schlagschrauber mit einstellbarem Drehmoment gewährleisten nur unter bestimmten Voraussetzungen die Einhaltung der verlangten Anziehmomente. Es müssen ein Eichen der Geräte an der Einbaustelle für jede Bolzenart und ein häufiges Nachprüfen verlangt werden. Darüber hinaus ist ein Druckregler vor jedem Schlagschrauber notwendig, wenn man allein mit solchen Geräten das Auslangen finden will.

Sehr viele Stahlbauanstalten gehen diesen Schwierigkeiten aus dem Weg und ziehen es vor, die Bolzen mit Schlagschraubern nur bis etwa 90 % des Anziehmoments anzuspannen und den Rest mit Drehmomentenschlüsseln aufzubringen. Sie verwenden dazu Schlagschrauber ohne Drehmomenteneinstellung und gewinnen dabei den Vorteil, mit leichteren handlicheren Geräten arbeiten zu können. Die Grenze, bis zu welcher der Schlagschrauber verwendet wird, bleibt dem Gefühl des Monteurs überlassen, der jede Schraube sofort mit dem Schlüssel prüfen und danach sein Vorgehen einrichten kann.

2.2 Drehwinkelverfahren (Turn-of-the-nut-Methode)

Neben den Drehmomentenverfahren ist hauptsächlich in Amerika ein zweites Verfahren im Gebrauch, bei dem von einer bestimmten Ausgangslage aus allein mit einer festgelegten Drehung der Mutter die verlangte Vorspannkraft im Bolzen überschritten oder zumindest erreicht wird. Daß diese Methode im europäischen Stahlbau noch nicht allgemein Eingang gefunden hat und – sieht man von den Richtlinien der Kommission X der Konvention der Stahlbauverbände und den Empfehlungen der Schweizer Stahlbau-Vereinigung ab – allenfalls nur am Rand erwähnt wird, liegt daran, daß die Zusammenhänge zwischen Vorspannkraft, Drehwinkel und Klemmlänge noch nicht genügend erforscht sind und daher das Verfahren allgemein als zu ungenau angesehen wird. Vielleicht ist es auch eine gewisse Scheu vor den dabei auftretenden Plastizierungen in den Gewindequerschnitten der Bolzen und vor allem auch in den Gewindegängen der Mutttern, die einer richtigen Verankerung – in den europäischen Richtlinien bisher im Wege stand. Da das Verfahren vielleicht in der Lage wäre, die HV-Verschraubungen wirtschaftlicher zu gestalten, sei der Entwicklung und Anwendung in Amerika hier etwas breiterer Raum gegeben.

Die Anfänge der Drehwinkelmethode gehen auf Untersuchungen des Verbandes der amerikanischen Eisenbahnverwaltungen zurück, der nach einem Weg suchte, bei Brückenrevisionen auch in entlegenen Gegenden einzelne lockere Nieten ohne besonderen Geräteaufwand durch HV-Schrauben zu ersetzen. Man suchte das Maß der Mutterdrehung als Kriterium einzuführen und kam zu der Erkenntnis, daß eine Umdrehung der Mutter (One-Turn) vom handfesten Sitz aus für alle Schraubendurchmesser und Klemmlängen im praktisch vorkommenden Bereich ein sicherer Weg zur Erzielung der verlangten Vorspannkraft sei. Der handfeste Sitz als Ausgangspunkt für die Mutterdrehung war nach dem Zusammenspannen der zu verbindenden Teile mit Heftschrauben herzustellen. Die Mindestvorspannkraft war in der Regel bereits nach einer halben Umdrehung erreicht. Zwei bis drei Mutterdrehungen waren erforderlich, um die Bolzen abzuwürgen [4–6].

Die Vorschläge der Bahnverwaltung fanden bereits 1955 Eingang in die amerikanischen Richtlinien. Der dortige Stahlbau hatte zuletzt die gleichen Methoden angewandt, mit denen heute in der Deutschen Bundesrepublik und in Österreich gearbeitet wird und war auf der Suche nach Möglichkeiten, die ein zeitraubendes Eichen der Schlagschrauber für jede Schraubenart und jeden Einbauort bzw. ein Nachziehen mit Drehmomentenschlüsseln entbehrlich machen. Er ging daher schnell zur "One-Turn"-Methode über, erkannte dabei aber bald, daß die „Handfestigkeit“ für die Praxis keine geeignete Ausgangslage ist. Abgesehen davon, daß dieser Begriff einen sehr weiten Bereich umfassen kann, sollten die Stahlbaumonteur aus praktischen Erwägungen alle Anspannarbeiten mit maschinellen Schlagschraubern leisten.

So wurde der "snug-fit", der „Festsitz“ der Schrauben, als neuer Ausgangspunkt für die bestimmte Mutterdrehung eingeführt [8]. Nach dem Zusammenspannen der Konstruktionsteile mit Heftschrauben, wie dies vom Nieten her in Gebrauch ist, werden die lockeren Mutttern mit Schlagschraubern in durchlaufender rotierender Bewegung niedergedreht. Mit dem Wirksamwerden einer stärkeren Reibung zwischen den Unterlagscheiben und Oberflächen des Werkstücks und in den Gewinden reicht das Drehmoment aus der reinen Drehung des Motors nicht mehr aus, und die zusätzliche Schlagarbeit setzt ein. Der Beginn dieses Schlagens wird als der sogenannte „Festsitz“ angesehen. Da das Zusammenziehen bereits vorher durch die Heftschraube besorgt wurde, ist der „Festsitz“ davon unabhängig. Abweichungen der verschiedenen Gerätetypen und der Druckluft sollen wesentlich kleiner als die Unterschiede in der Handfestigkeit sein.

Die Bethlehem-Steel Company hat umfangreiche Versuche durchgeführt, um den notwendigen Drehwinkel in Abhängigkeit von der Klemmlänge und dem Bolzendurchmesser zu bestimmen. Zusammen mit einer Tabelle der Drehmaße wurden genaue Anweisungen für die Montagegruppen herausgegeben [8]. Berücksichtigt man noch die dazu bekanntgewordenen Einwände, dann sind folgende Schritte not-

wendig, um eine zielsichere Anwendung des Drehwinkelverfahrens zu gewährleisten:

1. Die Stahlkonstruktion ist planmäßig auszurichten und die verlangte Form durch eine ausreichende Zahl von Dornen zu sichern. Die Dorne dürfen erst entfernt werden, wenn entsprechend viele HV-Schrauben voll angespannt sind.
2. In die noch offenen Löcher sind HV-Schrauben einzubauen und die Muttern aufzudrehen.
3. Die Konstruktionsteile sind in einem entsprechend verteilten Raster mit einer Anzahl dieser Bolzen, den Heft- oder Montageschrauben unter Verwendung von Schlagschraubern so zusammenzuspannen, daß sie zu einem möglichst festen satten Anliegen kommen. Die Heftschrauben sind besonders zu kennzeichnen.

4. Mittels Schlagschraubern sind die noch lockeren HV-Schrauben zuerst zum „Festsitz“ und unmittelbar weiter bis zur vorgeschriebenen Mutterdrehung anzuspinnen. Durch Verwendung besonderer Stecknüsse, die in die Oberfläche der Muttern Marken einfräsen, kann man Ausführenden und Prüfern zeigen, welche Bolzen bereits fertig angespannt sind (Bild 1).
5. Daran anschließend sind die Dorne durch HV-Schrauben zu ersetzen, die in gleicher Weise, wie unter [4] beschrieben, anzuziehen sind.
6. Zuletzt muß für eine ordnungsgemäße Anspannung der als Heftschrauben verwendeten Bolzen gesorgt werden. In einfacheren Fällen erscheint es angängig, allein aus dem Verhalten des Schlagschraubers zu beurteilen, ob eine zusätzliche Mutterdrehung notwendig ist.

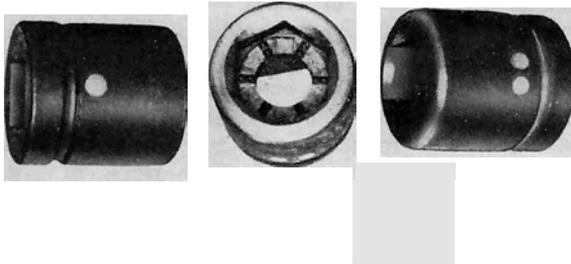


Bild 1: Stecknüsse der Bethlehem-Steel Comp. für das Drehwinkelverfahren

Fig. 1: Sockets of the Bethlehem-Steel Comp. for the turn of nut method

Zuverlässiger ist es, wenn man diese Schrauben nochmals löst und dann beim Wiederanspannen über den Festsitz hinaus die vorgeschriebene Mutterdrehung ausführt. Ein solches Vorgehen muß vor allem bei vorwiegend dynamisch beanspruchten Bauwerken, also in erster Linie bei Eisenbahnbrücken verlangt werden. Neuere Versuche der Lehigh University in Bethlehem, Pa., lassen erkennen, daß ein Lösen der Bolzen und ihre Wiederverwendung auch bei Verformungen in den plastischen Bereichen innerhalb gewisser Grenzen möglich sind [9]. Bild 2 zeigt die Arbeitslinie eines Bolzens, der über den Festsitz hinaus mehrmals mit einer halben Umdrehung gespannt und wieder entlastet wurde. Dies konnte mehr als viermal wiederholt werden, ehe der Bolzen zu Bruch ging. Bei der dritten und vierten Mutterdrehung sank allerdings die erreichte Vorspannkraft merklich ab. Reichte man die einzelnen Drehungen aneinander, so war die Gesamtverformung die gleiche, die bei fortlaufend zügiger Drehung erreicht wurde.

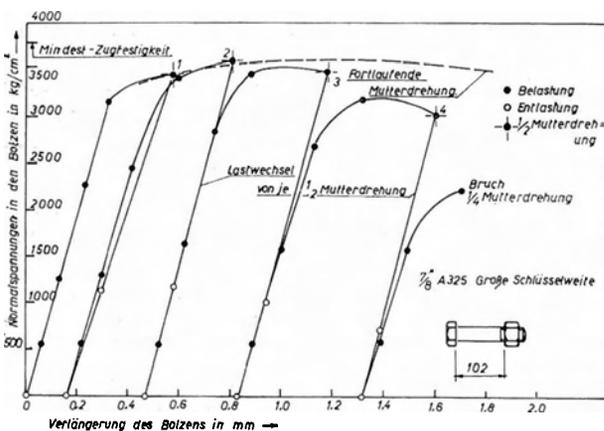


Bild 2: Wiederverwendbarkeit vorbelasteter HV-Schrauben (Nach J. L. Rumpf [9])

Fig. 2: Reapplication of preloaded high strength bolts (according to J. L. Rumpf [9])

Ein Lösen der Muttern bei der vorgeschriebenen Prüfung der Verbindungen scheint bei der Drehwinkelmethode nicht am Platz. Es genügt, mit einem geeichten Drehmomentenschlüssel die Muttern anzuspinnen, wobei man zu beachten hat, daß die Reibung der Ruhe zu überwinden ist und das planmäßige Drehmoment daher etwa 10 % größer sein soll. Dreht sich dabei die Mutter nicht weiter, so ist sichergestellt, daß die verlangte Vorspannkraft überschritten oder zumindest erreicht ist. Damit werden auch beim Drehwinkelverfahren zuverlässige Drehmomentenschlüssel nicht entbehrlich.

Die amerikanischen Richtlinien vom März 1964 verlangen bei Bolzenlängen kleiner als der achtfache Durchmesser oder 200 mm $\frac{1}{2}$, darüber hinaus $\frac{2}{3}$ Mutterdrehungen. Haben sowohl die Aufsitzflächen des Bolzens wie der Mutter eine größere Neigung als 1 : 20 und werden keine Keilscheiben verwendet, ist eine $\frac{3}{4}$ -Drehung vorgeschrieben.

Es gibt auch eine ganze Reihe Vorschläge europäischer Fachleute für den Zusammenhang zwischen Drehwinkel und Vorspannkraft. Einen Fortschritt brachten Versuche der Lehigh-University, die sich mit dem Einfluß der Klemmlänge und der Länge des unter der Mutter herausragenden freien Gewinde-

teils auf die Gesamtverlängerung der Bolzen und die Vorspannkraft befassen [9]. Solange die Bolzenspannungen in allen Teilen unterhalb der Proportionalitätsgrenze bleiben, nimmt die Gesamtverlängerung mit der Klemmlänge zu. Die Elastizitätsgrenze wird zuerst im Gewindeteil erreicht, der plastiziert wird, während der Schaft sein elastisches Verhalten beibehält. Da die plastischen Formänderungen bei weitem überwiegen, ist die gesamte Längenänderung der Bolzen und die Bruchverformung von der Klemmlänge im wesentlichen unabhängig, sofern die freie Gewindelänge gleich ist. Die Abhängigkeit der Zahl der Mutterdrehungen bis zum Bruch von der Länge dieses Gewindeabschnitts läßt Bild 3 erkennen. Nach diesen Versuchen ist sowohl bei aufgerolltem und bei gedrehtem Gewinde als auch bei Köpfen mit normalen und mit großen Schlüsselweiten im wesentlichen nur die Länge der Gewindeteile unterhalb der Mutter für den Abwürgwinkel und damit für die Sicherheit gegen Bruch maßgebend.

Es liegt auf der Hand, daß diese Erkenntnisse nicht unmittelbar auf europäische Verhältnisse übertragen werden können. Sie müssen an einer ausreichenden Zahl von Probekörpern und mit sorgfältigen Messungen mit den hier verwendeten metrischen Schrauben nachgeprüft werden. Dabei wird man auch der Kerbschlagzähigkeit der Werkstoffe im Hinblick auf ein Absprengen der Köpfe unter den höheren Beanspruchungen beim Drehwinkelverfahren einige Aufmerksamkeit widmen müssen.

Die Firma Brevillier & Co. und A. Urban & Söhne, Wien, hat bereits vor mehreren Jahren an der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt der TH Wien Abwürgversuche an HV-Schrauben durchführen lassen. Beer hat darüber berichtet und festgestellt, daß eine halbe Mutterdrehung vom „Festsitz“ aus genügt, um die verlangte Vorspannkraft mit Sicherheit zu erreichen [2]. Plastische Verformungen in den glatten Bolzenschäften wurden nach dem Bruch nicht beobachtet. Die Abwürgwinkel schwankten zum Teil beträchtlich, was wohl auf unterschiedliche Längen des Gewindes unterhalb der Mutter zurückzuführen war.

Die Notwendigkeit einer Rationalisierung der Arbeitsweisen und der Mangel an qualifizierten Facharbeitern wird den Stahlbau wahrscheinlich veranlassen, dem Drehwinkelverfahren in Hinkunft mehr Aufmerksamkeit zu widmen. Es scheint heute schon festzustehen, daß die verlangten Traglasten damit sicherer erreicht werden können als mit dem Drehmomentenverfahren. Voraussetzung ist eine entsprechend sorgfältige Handhabung, wie sie oben aufgezeigt ist. Hinsichtlich der festzusetzenden Mutterdrehung kommt es darauf an, eine Abstufung der Drehwinkel für die gebräuchlichsten Bolzenabmessungen möglichst zu vermeiden, um nicht einen der größten Vorteile, nämlich die Einfachheit, zunichte zu machen. Diese Mutterdrehung sollte so festgelegt werden, daß die Streckgrenze im Gewindeteil um ein geringes, jedoch nicht zu großes Maß überschritten wird. Notfalls unter Änderung der gültigen Schraubennormen mußten die Gewindeanlagen so

festgelegt werden, daß eine ausreichende Sicherheit gegen Abwürgen vorhanden ist.

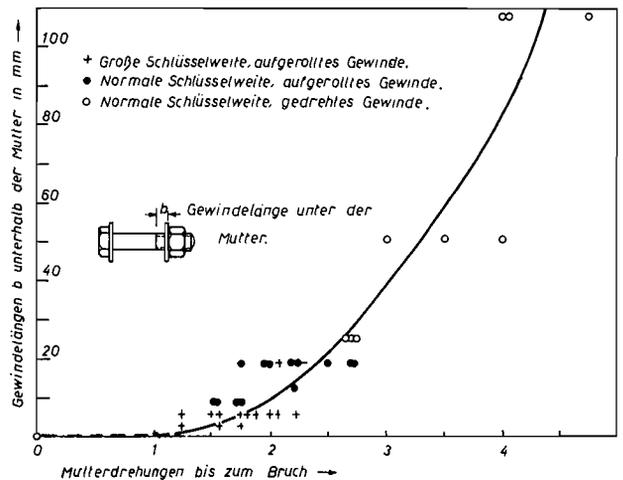


Bild 3: Einfluß der Gewindelänge unter der Mutter auf den Abwürgwinkel (Nach J. L. Rumpf [9])

Fig. 3: Influence of the thread length below the nut upon the patch angle (as per J. L. Rumpf [9])

3 Anziehgeräte

3.1 Allgemeines

Für das Anziehen von Schrauben mit einem bestimmten planmäßigen Drehmoment hat die Werkzeugindustrie eine Vielzahl von Geräten entwickelt; ein Großteil von ihnen ist auf die Bedürfnisse des Maschinen- und Flugzeugbaues ausgerichtet und für das Fließband bestimmt. Die Interessen des Stahlbaues beschränken sich auf Geräte für Anziehmomente zwischen 13 und 165 kgm, wie sie für Schrauben der Stärken M 12 bis M 27 in der Güte 10 K verlangt werden. Daneben muß beachtet werden, daß HV-Verbindungen fast ausschließlich auf Baustellen beim Zusammenbau Verwendung finden. Bei einer Auswahl der Geräte muß daher auch auf die Möglichkeiten und Gegebenheiten des Baustellenbetriebes Rücksicht genommen werden.

Da, wie bereits ausgeführt, eine Entwicklungsrichtung in der Technik der HV-Verbindungen dahin geht, nicht das Drehmoment, sondern den Drehwinkel zu messen, sollen zu Vergleichszwecken in diese Betrachtungen auch Geräte ohne Lastanzeige einbezogen werden, die für diese Zwecke besonders geeignet erscheinen. Dabei kann gerade hier die Auswahl nur eine sehr überschlägige sein. Überhaupt wollen die nachfolgenden Aufstellungen in keiner Weise den Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Zusätzliche Ausstattungen, wie Ratschen und ähnliches wurden weggelassen.

Es gibt eine Vielzahl von Gesichtspunkten, die Brauchbarkeit und Eignung eines Gerätes bestimm-

men. Eine Umfrage bei den großen österreichischen Stahlbaufirmen und vereinzelt auch bei Firmen in der Deutschen Bundesrepublik zeigte oft sehr unterschiedliche Auffassungen. Neben der verlangten Genauigkeit, der Leistung, der Dauerhaftigkeit und der Möglichkeit der Ersatzteilbeschaffung sind es die Abmessungen und vor allem das Gewicht, die der Beurteilung zugrunde gelegt werden. Daher wurden diese Zahlenwerte, soweit sie dem Verfasser zur Verfügung standen, in die Tabellen aufgenommen. Eine Gewähr für diese Angaben kann nicht übernommen werden.

3.2 Drehmomentenschlüssel

3.2.1 Biegestab-Drehmomentenschlüssel

In der Gruppe der Biegestab-Drehmomentenschlüssel sollen alle von Hand betätigten Geräte eingeordnet werden, bei denen das auf die Schraubenmutter ausgeübte Drehmoment aus der durch das Anziehen hervorgerufenen elastischen Verformung des Schlüssels allein bestimmt wird. In der Tabelle 1 ist eine Auswahl solcher Schlüssel zusammengestellt.

Bild 4 zeigt schematisch das Prinzip eines solchen Geräts. Maßgebend für die Durchbiegung δ als Maß für das Anzugmoment M_a ist die Momentenfläche F_M . Verlängert man den Hebelarm l um eine Strecke Δl , dann vergrößert sich bei gleichem M_a F_M um ΔF_M . Damit wird die Durchbiegung größer, das heißt, bei gleicher Anzeige δ ist M_a kleiner. Die Größe des Fehlers durch eine Verschiebung des Lastangriffes hängt von den Einzelabmessungen ab und ist für jede Type verschieden. Es kann notwendig sein, die Handgriffe durch Stellringe einzuengen, um diese Fehlerquelle in möglichst engen Grenzen zu halten. Wenn vereinzelt in Firmendruckchriften angeführt ist, daß man solche Geräte ohne weiteres auch mit Verlängerungsstangen benutzen könne, ist dies unrichtig.

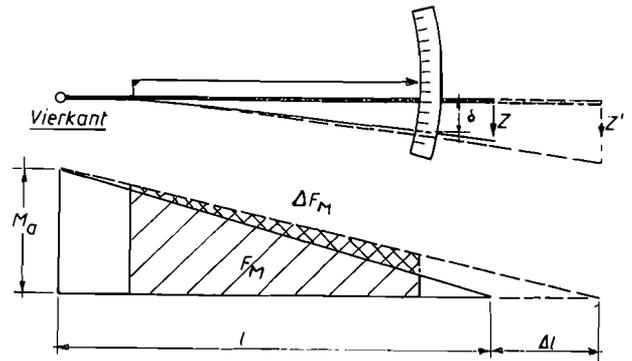


Bild 4: Schema eines Biegestab-Drehmomentenschlüssels

Fig. 4: Schematic diagram of bending bar torque wrench

In seiner einfachsten Form (Bauart I) ist ein solcher Schlüssel in Bild 5 dargestellt. Die Durchbiegung wird an einer Skala abgelesen, die mit 0 beginnt und entsprechend der Größe des Schlüssels bei einem bestimmten Wert endet. Die unvermeidlichen Ablesefehler an der Skala sind von der Größe des Drehmoments unabhängig. Damit erreichen Drehmomentenschlüssel dieser Art im unteren Drittel oder Viertel des von 0 ansteigenden Meßbereichs oft nicht die erforderliche Genauigkeit.

Ein Drehmoment von 110 kgm verlangt bei einem Hebelarm von 1,5 m eine Zugkraft von rund 74 kg. Bei einer solchen körperlichen Anstrengung ist eine gleichzeitige genaue Ablesung der Skala schwierig, wenn nicht unmöglich, zumal das Auge dabei senkrecht über dem Zeiger stehen muß. Hinzu kommt, daß die Arbeit durch das langsame „Hinfühlen“ an den verlangten Wert erschwert wird. Es wird dann ein zweiter Mann erforderlich, der die Ablesung besorgt und dem anderen das Erreichen des Sollwertes anzeigt. Das Gerät, das den Vorteil größter Einfachheit für sich in Anspruch nehmen kann, ist daher in dieser Form sehr wohl für Arbeiten in Laboratorien

Tabelle 1

Biegestab-Drehmomentenschlüssel

Bauort	Hersteller	Fabrikat	Typenbezeichnung	Größtes Drehmoment, Skalenbereich kgm	Skalenteilung, Intervalle, kgm	Länge mm	Gewicht kg
I	Eduard Wille D-5600 Wuppertal-Cronenberg	Manoskop	73/50	15-50	2,5	976	4,6
			73/75	25-75	5	976	5,1
			73/110	35-110	5	1643	8,4
I Ia Ia	P. A. Sturtevant Addison, Illinois, USA	Standard Exakt Accurat	Nr. 519	42	1	870	4,8
			Nr. 509	42	1	870	4,8
			Nr. 510	80	4	1645	10,2
II III	Facom, Villeneuve-le-Roi, Seine-et-Oise, France	Facom	K 200	80	2,5	900	6,3
			M 200	250		3000	
III	Snap-On Tools Corporation, Kenosha, USA	Torquometer	TQC-420 L	55	1	813	8,7
			TQC-602 AL	80	2	1076	
			TQC-1003 AL	130	2	1690	
			TQC-1503 AL	200	10	2009	

Bild 5: Drehmomentenschlüssel,
Bauart I, Fabrikat: Wille,
Manoskop

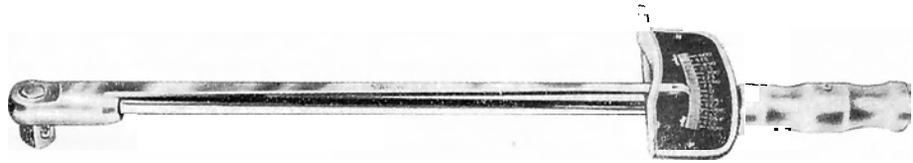


Fig. 5: Torque wrench, type I,
make: Wille, Manoskop

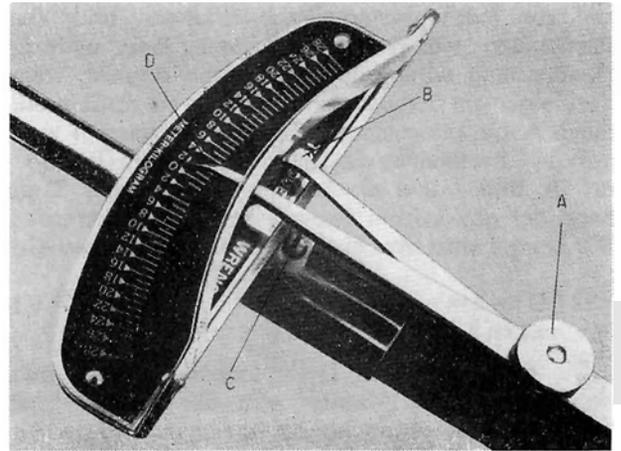


Bild 6: Drehmomentenschlüssel mit Anschlag, Bauart Ia

Fig. 6: Torque wrench with stop (type Ia)

Bild 7: Drehmomenten-
schlüssel mit Lichtsignal,
Bauart III, Fabrikat:
Snap-On- Torqometer



Fig. 7: Torque wrench
with light signal, type III,
make: Snap-On, Torqo-
meter

Bild 8: Drehmomenten-
schlüssel mit Lichtsignal,
Bauart III, Fabrikat:
Facom

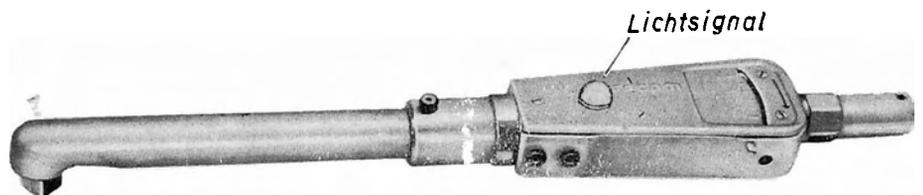


Fig. 8: Torque wrench
with light signal, type III,
make: Facom

Bild 9: Drehmomenten-
schlüssel mit Ausklink-
vorrichtung, Bauart IV,
Fabrikat: Facom

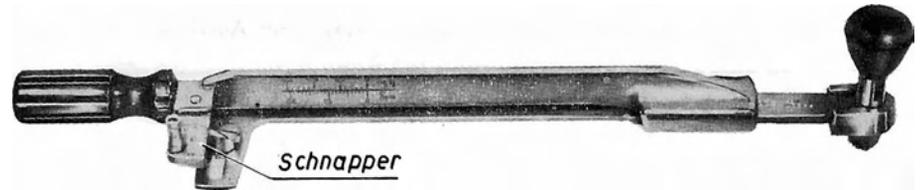


Fig. 9: Torque wrench
with release device, type
IV, make: Facom

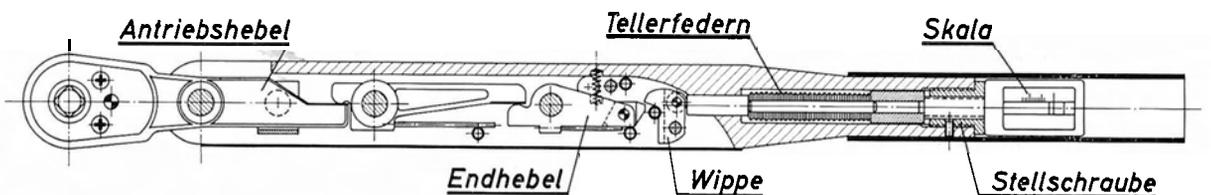
Bild 10: Drehmomenten-
schlüssel mit Ausklink-
vorrichtung, Bauart V,
Fabrikat: Herder, Rahsol



Fig. 10: Torque wrench
with release device, type
V, make: Herder, Rahsol

Bild 11: Schnitt durch Drehmomentenschlüssel der Bau-
art V, Fabrikat: Wille, Manoskop

Fig. 11: Cut through a torque wrench of type V, make:
Wille, Manoskop



oder in Werkstätten, nicht aber auf Baustellen und Gerüsten wirtschaftlich.

Um die Ablesung zu erleichtern, hat man an der Skala einen verstellbaren Anschlag angebracht (Bauart Ia, Bild 6). Die Ablesung wird verbessert, wenn man die Zeigerbewegung auf eine Meßuhr überträgt und Schleppzeiger vorsieht (Bauart II). Das ganze Meßgestänge ist in ein Gehäuse eingebaut und damit vor mechanischen Beschädigungen und Verschmutzung weitgehend geschützt. Eine einfache Handhabung wird jedoch erst dann erreicht, wenn der Zeiger am Sollwert einen Stromkreis schließt und durch Aufleuchten eines Lichtsignals angezeigt wird, daß ein bestimmtes Drehmoment erreicht ist (Bauart III, Bild 7 und 8). An der Meßuhr oder Skala kann der gewünschte Grenzwert eingestellt werden. Die Lampe wird von einer kleinen Batterie gespeist.

3.22 Drehmomentenschlüssel mit Ausklinkvorrichtung

Die Entwicklung der Drehmomentenschlüssel muß dahingehen, den Arbeiter von der gleichzeitigen körperlichen Anstrengung des Anziehens und der Ablesung einer Skala oder Meßuhr zu befreien. Eine erste Bauart, die dieser Forderung entspricht, ist bereits bei den Biegestab-Drehmomentenschlüsseln mit Lichtsignal erwähnt worden.

In der Tabelle II sind solche Geräte zusammengefaßt, die mit einem akustischen Zeichen oder mit einem Ausklinken des ganzen Schlüssels das verlangte Anziehmoment anzeigen.

Die Bauart IV (Bild 9) könnte man auch in die Gruppe der Biegestabgeräte einordnen. Der dargestellte Schlüssel ist allerdings nur für Schrauben bis zur Größe M 18 geeignet. Bei dem vorher eingestell-

ten Wert gibt der Zeiger einen Schnapper frei, der sich um einen Zapfen dreht und dabei unter dem Zug einer Feder gegen den Schaft des Schlüssels schlägt.



Bild 12: Drehmomentenschlüssel, Bauart VI, Fabrikat: Cory Brothers, Acratork

Fig. 12: Torque wrench, type VI, make: Cory Brothers, Acratork

Bild 10 zeigt ein Gerät der Bauart V; der Schnitt durch ein solches Gerät ist in Bild 11 dargestellt. Der Antriebshebel am Kopf des Schlüssels wird über eine Hebelkette von einer Wippe im Gleichgewicht gehalten, gegen die eine gespannte Feder drückt. Überschreitet das Anziehmoment einen bestimmten Wert, dann geben diese Feder und die Wippe nach und der Endhebel schlägt gegen einen Bolzen bzw. gegen das Gehäuse. Durch eine Feder wird der Hebel nach der Entlastung sofort wieder in seine Ausgangslage zurückgeführt. Der Schlag ist bei einiger Aufmerksamkeit deutlich zu hören und auch am Arm wahrnehmbar. Durch Andrehen oder Lösen einer Schraube am Griffende wird die Federkraft und damit das auslösende Moment verstellt. Eine Skala am Handgriff gibt einen Anhalt für die Größe des Anziehmoments. Für die Auslösung des Endhebels, das heißt, für den Anschlag, ist allein das

Tabelle II

Drehmomentenschlüssel mit Ausklinkvorrichtung

Bauart	Hersteller	Fabrikat	Typenbezeichnung	Arbeitsbereich Drehmoment kgm	Länge mm	Gewicht kg
	Facom, Villeneuve-le Roi, Seine-et-Oise, France	Facom	S 203	- 60	1320	5,6
V	Richard Abr. Herder, D-5650 Solingen, BRD	Rahsol	756 D 756 DS 756 E	28- 76 52-100 75-200	812 812 1600	2,8 2,8 7,5
V	Eduard Wille, D-5600 Wuppertal-Cronenberg, BRD	Manoskop	750/50 750/75	15- 50 25- 75	984 1134	3,3 3,6
VI	Cory Brothers 5 Co, LTD Cardiff, Great Britain	Acratork	B/5 B/7 B 7/1	21-62 35-117 35-138	990 1524 1524	10,9 22,2 22,2
VII	Saltus-Werk, Max Forst, D-5650 Solingen, BRD	Saltus	DSG 4 DSG 5 DSG 6 DSG 7	14- 40 30- 75 50-120 100-200	860 960 1260 1980	4,7 6,6 9,2 14,5
VII	North Bar Tool Co. LTD. Cardiff, Great Britain	Torque Spanner	Nr. 4 Nr. 5 Nr. 5A Nr. 6 Ratchet	21- 55 41- 83 70-135 105-275	965 1270 1473 2210	4,7 6,8 12,5 34

Bild 13: Ausklinkmechanismus eines Drehmomentenschlüssels der Bauart VI, 1 = Kreisrunder Nocken, 2 = Rolle, 3 = Wippe, 4 = Führungsstift, 5 = Feder; Fabrikat: Cory Brothers, Acratork

Fig. 13: Release mechanism of a torque wrench, type VI, 1 = circular cam, 2 = roller, 3 = rocker, 4 = guide pin, 5 = spring, make: Cory Brothers, Acratork

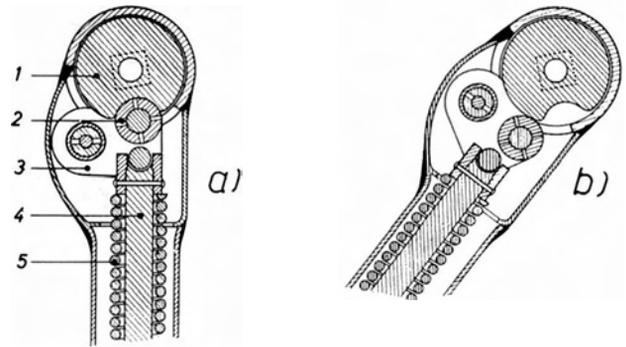
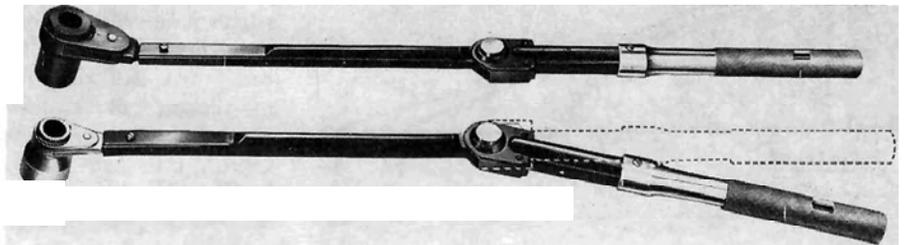


Bild 14: Drehmomentenschlüssel der Bauart VII vor und nach Ausklinkung im Schaft, Fabrikat: Saltus

Fig. 14: Torque wrench of type VII prior and after release in the shaft, make: Saltus



Moment am Kopf des Schlüssels, das heißt also, an der Schraubenmutter, maßgebend. Schlüssel dieser Bauart können also ohne Änderung der Einstellung mit oder ohne Verlängerungsstange benutzt werden.

Bei der Bauart VI schlägt bei dem kritischen Anziehmoment der Schlüssel durch. Bild 12 zeigt eine Ansicht, Bild 13 einen Schnitt durch den Kopf vor und nach Erreichen des kritischen Momentes. Auch hier ist die Länge des Hebelarmes, das heißt, des Schlüssels, ohne Einfluß auf das Ergebnis. Der dargestellte Mechanismus zeigt eine Rolle, die von einer Feder in eine Nut des Antriebsnockens gedrückt wird. Überschreitet beim Anziehen der HV-Schraube das Drehmoment den eingestellten Sollwert, dann rastet die Rolle aus der Nut aus und rollt am Nocken ab, bis sie nach einer Umdrehung wieder einklinkt. Zur Verminderung der Reibung ist das ganze Gehäuse mit Schmierfett gefüllt. Mit einer Änderung der Federkraft können auch hier der Anpreßdruck der Rolle und damit das kritische Moment eingestellt werden. Ein plötzliches Durchschlagen des Schlüsselarms kann zur Folge haben, daß der Monteur am Gerüst das Gleichgewicht verliert. Er muß sich daher entsprechend sichern, wenn er nicht in Gefahr kommen will.

Der Schlüssel nach Bauart VII, den Bild 14 zeigt, klinkt nicht am Kopf aus, sondern winkelt etwa im Schaftmitte um 20° ab. Ähnlich wie bei Bauart VI ist es auch hier ein federbelastetes Rollensystem, das bei einem bestimmten Biegemoment in Bewegung gerät und damit das Ausklinken bewirkt (Bild 15). Ein ähnliches Gerät englischer Bauart, das in Bild 16 dargestellt ist, winkelt um 12° aus. Für die Auslösung ist nur das Moment an der Knickstelle maßgebend.

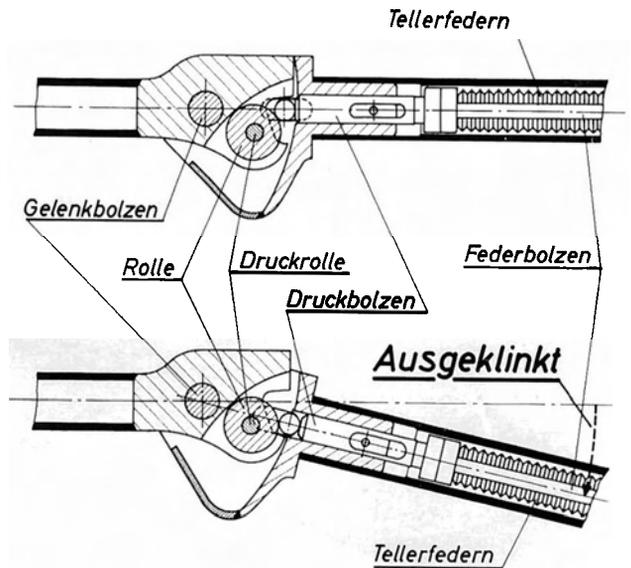


Bild 15: Ausklinkmechanismus eines Drehmomentenschlüssels der Bauart VII, Fabrikat: Saltus

Fig. 15: Release mechanism of a torque wrench type VII, make: Saltus

Benützt man zu diesem Schlüssel eine Verlängerungsstange, so ist beim kritischen Moment M_g an der Gelenkstelle das Anziehmoment M_a am Schlüsselkopf, auf das es ankommt, kleiner (Bild 17). Auch hier muß also der Handgriff durch Stellringe eingegengt werden, um systematische Fehler zu vermeiden.

Bild 16: Drehmomentenschlüssel, Bauart VII, mit Kraftvervielfältiger, Fabrikat: North Bar Tool, Torque Spanner

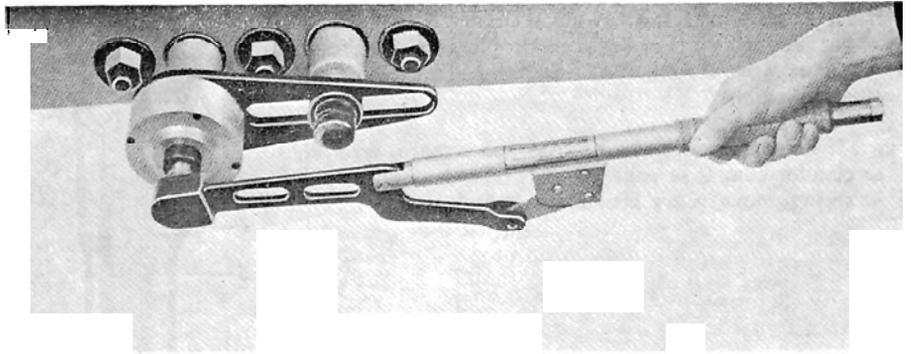


Fig. 16: Torque wrench type VII with force multiplier, make: North Bar Tool, Torque Spanner

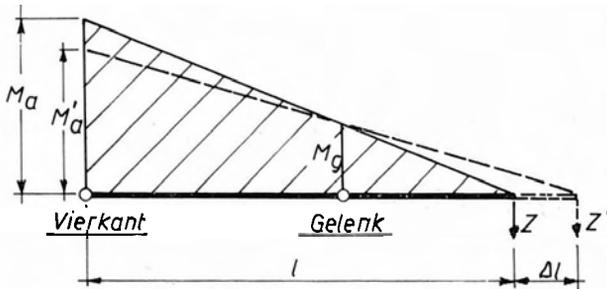


Bild 17: Drehmomentenschlüssel mit Ausklinkung im Schaft, Bauart VII, Änderung des Anziehungsmoments M_a bei Vergrößerung des Hebelarms!

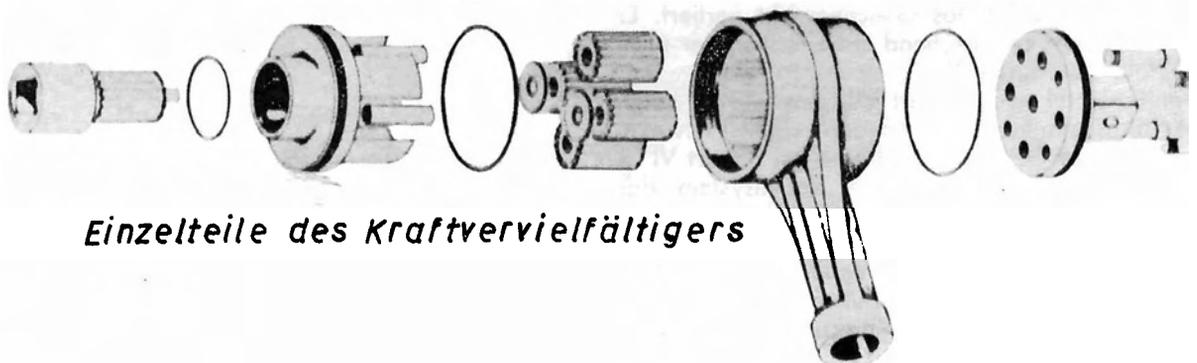
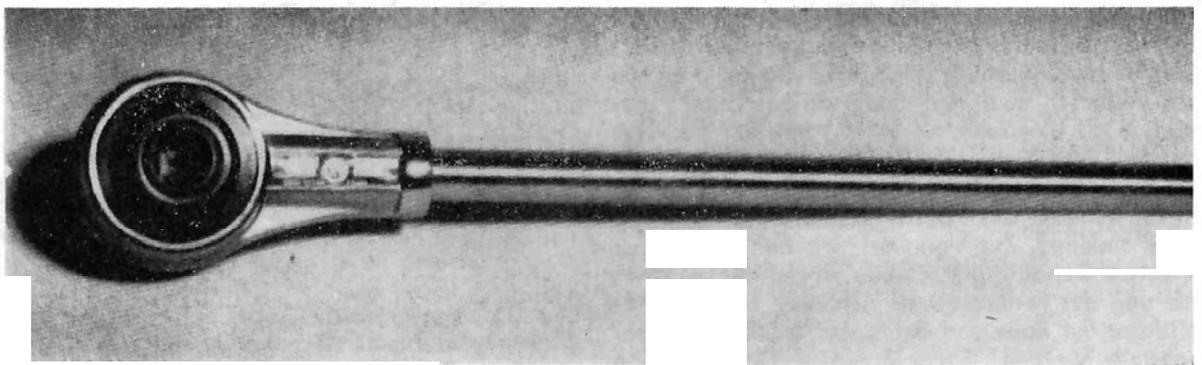
Fig. 17: Torque wrench with release in the shaft, type VII, change of the starting moment M_a at extension of lever arm

3.3 Kraftvervielfältiger

Als Kraftvervielfältiger werden – bisher hauptsächlich im Maschinenbau – Vorrichtungen verwendet, die mit relativ kleinem Hebelarm und kleiner Kraft das Aufbringen größerer Anziehungsmomente ermöglichen. Es handelt sich dabei um Planetengetriebe, deren Aufbau Bild 18 erkennen läßt. Das Gerät, das zum Beispiel bei einer zulässigen Belastung von 175 kgm zirka 5,5 kg wiegt, wird auf die Mutter aufgesetzt, während mit einem zweiten gewöhnlichen Schlüssel das Getriebe bewegt und dabei die Schraube angezogen wird. Der Kraftvervielfältiger muß gegen ein Verdrehen festgehalten werden; bei einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 4 und gleichen Hebelarmen ist für das Gegenhalten das Vierfache der Anzugskraft notwendig (Bild 19). Wo die Verhältnisse es erlauben, kann man dazu die Vorrichtung gegen andere Konstruktionsteile abstützen (Bild 16). Entsprechend dem Übersetzungsverhältnis ist der Drehwinkel des Anziehschlüssels größer als die Drehung der Mutter, weshalb hier Ratschen besonders vorteilhaft sind.

Bild 18: Kraftvervielfältiger

Fig. 18: Force multiplier



Einzelteile des Kraftvervielfältigers

Es ist natürlich auch möglich, für das Anziehen Drehmomentenschlüssel zu verwenden (Bild 16), doch muß dabei nicht nur das Übersetzungsverhältnis, sondern auch der Wirkungsgrad des Getriebes berücksichtigt werden. Für den Stahlbau könnten solche Geräte bei Einführung des Drehwinkelverfahrens an Interesse gewinnen.

3.4 Schlagschrauber

3.4.1 Schlagschrauber ohne einstellbares Drehmoment

Um die Verschraubung wirtschaftlicher zu gestalten, hat die Werkzeugindustrie bereits vor mehreren Jahrzehnten damit begonnen, elektrisch und pneumatisch angetriebene Schraubgeräte zu entwickeln. Der Einsatz einer Stecknuß in einer Bohrmaschine war nur für kleinste Schrauben möglich. Das gleiche Drehmoment, das zum Anziehen verlangt wurde, mußte der Monteur mit der Hand entgegenhalten, wenn er das Schraubgerät nicht irgendwie abstützen konnte. So kam man zu der Überlegung, die vom Motor geleistete Dreharbeit periodisch zu speichern und in tangentiale Drehschläge umzusetzen. So wie ein Handwerker einen Schraubenschlüssel oft ruckweise anzieht oder mit einem Hammer dagegen schlägt, sollten der Antriebsvierkant und mit ihm die Stecknuß und die Mutter ruck- bzw. schlagartig angetrieben werden. Der Monteur am Gerät muß in diesem Fall nur mehr das Drehmoment entgegenhalten, das der laufenden Motorleistung entspricht.

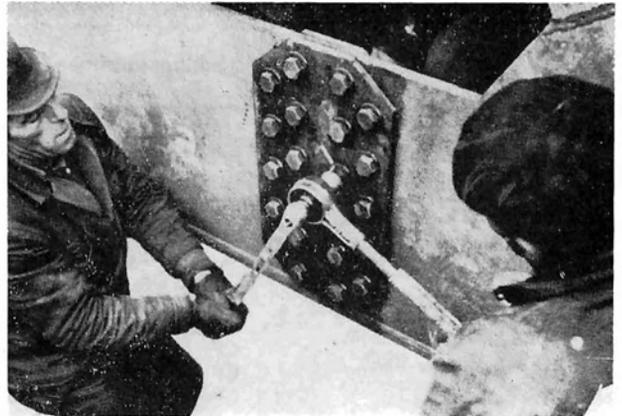


Bild 19: Kraftvervielfältiger im Einsatz auf einer Baustelle

Fig. 19: Force multiplier in use at job site

In der Tabelle III ist eine Auswahl solcher Schlagschrauber zusammengestellt, wie sie zum Anziehen hochfester vorgespannter Schrauben in Betracht kommen. Den Gegebenheiten einer Baustelle entsprechend wird zum Antrieb fast nur Druckluft verwendet. Die Höchstleistung eines Gerätes kann nur mit großer Einschränkung angegeben werden. Sie hängt unter der Voraussetzung eines einwandfreien Erhaltungszustandes auch der Zuleitungen ab

Tabelle III

Schlagschrauber ohne Drehmoment-Einstellung

Hersteller	Typenbezeichnung	Maximal für HV-Schrauben 10K	Baulänge mm	Seitliche Ausladung mm	Gewicht kg	Antriebsvierkant Zoll
Atlas Copco, Stockholm 1, Schweden	LMS 41 V	M 20	200	51	7,7	1
	LMS 43	M 20	460	51	10,0	1
	LMS 64 G	M 24	280	58	9,0	1
	LMS 64 P	M 24	195	58	9,0	1
Deutsche Gardner Denver GmbH, D-1087 Westhausen, BRD	18B - 9T	M 24	350	54	9,5	1
Ingersoll-Rand Company New York, USA	518	M 20	200	52	10,6	1
	8100	M 20	197	43	5,0	3/4
	8341	M 27	332	52	9,2	1
	8440	M 30	365	64	15,0	1 1/2
PREMAG GmbH, D-6222 Geisenheim am Rhein, BRD	SS 3 K	M 20	335	50	7,0	3/4
	SS 4 K	M 27	430	60	12,4	1
	SS 63 P-1	M 20	250	40	4,8	3/4
	SS 64	M 27	400	55	9,8	1
	CP 606 RS	M 20	230	48	4,8	3/4
	610 RS	M 27	280	53	9,3	1
CP 612 RP	M 30	425	60	12,5	1 1/2	
Gebrüder Böhler & Co. AG, 1010 Wien	TF 3 K	M 20	335	50	7,0	3/4
	TF 4 K	M 27	430	60	12,4	1
	TF 63 P-1	M 20	250	40	4,8	3/4
	TF 64	M 27	400	55	9,8	1
Thor Tools LTD., London SW 9, Great Britain	W 125 G	M 20	305	51	8,1	1

Tabelle IV

Schlagschrauber mit Drehmoment-Einstellung

Hersteller	Typenbezeichnung	Einstellbares Drehmoment kgm	Baulänge mm	Seitliche Ausladung mm	Gewicht kg	Antriebsvierkant Zoll
Ingersoll-Rand Company New York, USA	5340 TO	21- 80	616	51	14,3	1
PREMAG GmbH, D-6222 Geisenheim am Rhein, BRD	SS 3 DK	20- 55	355	50	9,5	3/4
	SS 4 DK	50-120	480	60	13,5	1
	CP 3630 RTP	26- 75	415	50	9,0	1
	CP 606 RTS	18- 55	260	48	5,2	3/4
	CP 610 RTP	50-175	420	53	10,0	1
	CP 612 RLTP	100-250	483	60	13,5	1 1/2
Gebrüder Böhler & Co. AG, 1010 Wien	TF 3 DK	20- 55	335	50	9,5	3/4
	TF 4 DK	50-120	480	60	13,5	1

- a) von der Höhe des Luftdrucks am Gerät und der zugeführten Luftmenge sowie von gewissen atmosphärischen Bedingungen,
- b) von der Einwirkungsdauer des Gerätes auf den Bolzen und
- c) von der elastischen Gegenwirkung am Antriebsvierkant, das heißt von der Federung des Bolzens und damit von dessen Länge und Durchmesser.

Die Angaben über die größten Schraubenstärken, die nach Firmendruckschriften mit den einzelnen Geräten noch angezogen werden können, sind daher nicht allgemeingültig. Das gleiche gilt auch für die in der Tabelle IV angeführten Drehmomentenbereiche. Ein objektiver Leistungsvergleich ist nur mit gleichen Schrauben bei konstantem Luftdruck etwa an einem Tensimeter (vergleiche Punkt 3,53) möglich.

Im wesentlichen besteht ein solcher Schlagschrauber aus einem Lamellenmotor, fallweise einem Getriebe, das die hohen Umdrehungszahlen des Motors herabsetzt, und dem Schlagmechanismus. Bei letzterem kann man als hauptsächliche Bestandteile den Hammer und den Amboß oder die Arbeitsspindel unterscheiden. Sieht man von dem in der Tabelle III an letzter Stelle angeführten Thor-Schlag-

schrauber ab, der von einem oszillierenden Preßluftmotor angetrieben wird, erkennt man überall den gleichen Arbeitsvorgang. Kennzeichnende Unterschiede bestehen nur im Schlagwerk. Im vorliegenden Fall dürfte es daher genügen, zwei charakteristische Ausführungsformen kurz zu erläutern.

Bild 20 zeigt einen Schlagvorgang in vier Phasen (a-d). Der Hammer ist in Längsrichtung beweglich. Er steht mit der Antriebswelle nicht unmittelbar, sondern über 2 Kugeln in Verbindung, die sowohl in der Welle wie im Hammer in gekrümmten Führungen laufen. Unter dem Druck eines Preßluftkolbens, der im Bild nicht weiter dargestellt ist, greifen die Klauen der Arbeitsspindel oder des Amboßes und des Hammers kupplungsartig ineinander. Die Geschwindigkeit der Antriebswelle wird in dieser Phase (a) als fortlaufende Drehbewegung unmittelbar auf die Mutter übertragen. Die Kugeln liegen dabei im flachen Bereich der Führungen und können in dieser Lage nur ein kleines Drehmoment übertragen. Tritt an der Verschraubung ein stärkerer Widerstand auf, rollen die Kugeln in die steileren Bereiche ihrer Führungen und ziehen den Hammer dabei etwas vom Amboß weg (b). Mit wachsendem Drehmoment steigen die Kugeln weiter, die Geschwindigkeit der

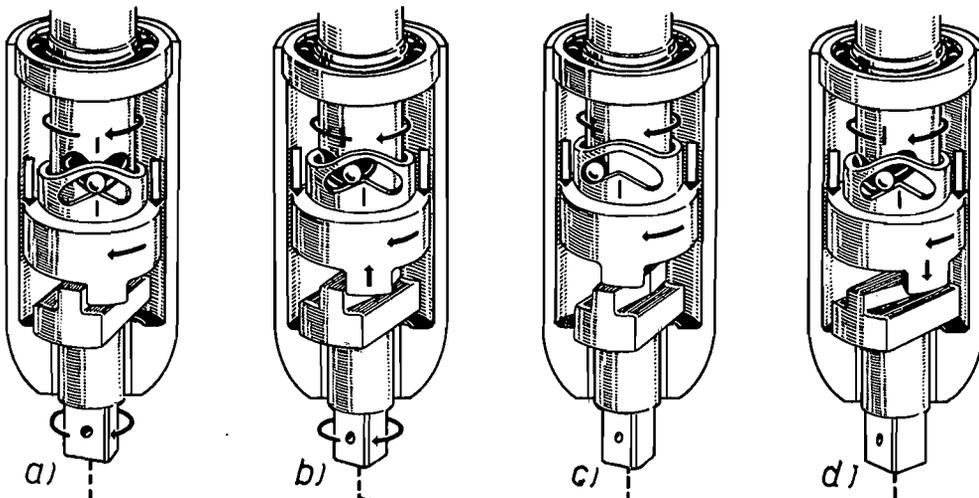
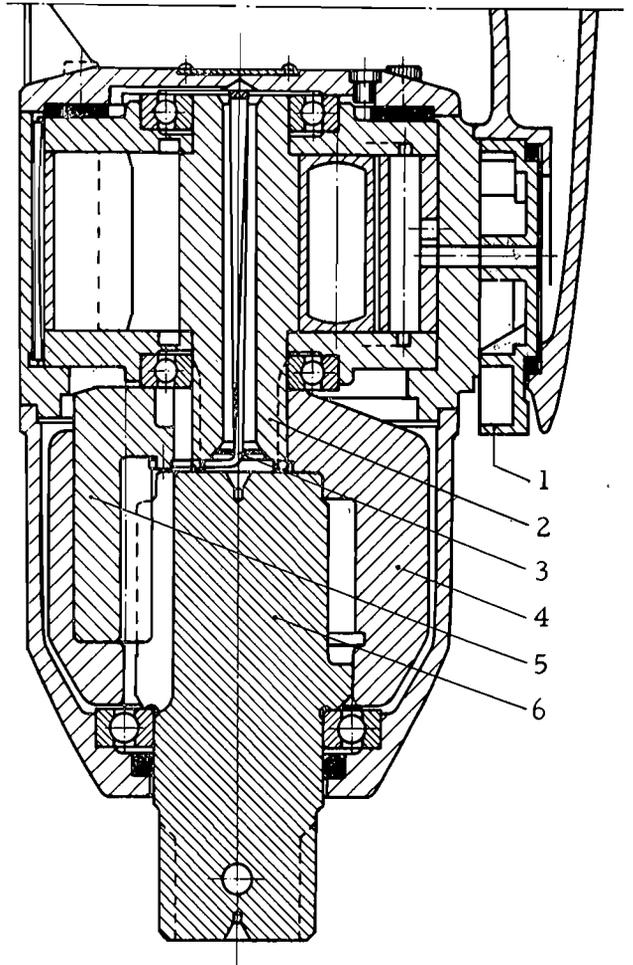


Bild 20: Schlagmechanismus eines Schlagschraubers mit längsbeweglichem Hammer, Fabrikat: Atlas Copco LMS 43

Fig. 20: Impact mechanism of an impact tool, hammer with longitudinal movement, make: Atlas Copco LMS 43

Bild 21: Längsschnitt durch einen Schlagschrauber: 1 = Umsteuerventil, 2 = Rotor, 3 = Auslösefeder, 4 = Hammer, 5 = Kupplungsklaue, 6 = Amboß; Fabrikat: Atlas Copco LMS 64

Fig. 21: Longitudinal cut through an impact tool: 1 = reversing valve, 2 = rotor, 3 = release spring, 4 = hammer, 5 = clutch dog, 6 = anvil; make: Atlas Copco LMS 64



Arbeitsspindel geht zurück, bis der Hammer aus den Klauen ausklinkt (c). Der Hammer ist nun frei, er wird vom Motor beschleunigt, zugleich aber vom Preßluftkolben wieder nach vorne gedrückt und dabei so geführt, daß er gegen den Amboß schlägt, während die Kugeln wieder in den waagrechten Bereich ihrer Führungen zurückkehren (d).

Das zweite hier dargestellte Modell (Bild 21) unterscheidet sich vom ersten vor allem dadurch, daß der Hammer keine Auf- und Abwärtsbewegung vollführt und bei einer Umdrehung nur einmal tangential gegen den Amboß schlägt. Ohne Einschaltung eines Getriebes ist der Hammer unmittelbar mit dem Rotor verbunden und schließt den Amboß vollkommen ein. Die auch um eine eigene Achse schwenkbare Kupplungsklaue dreht sich mit dem Hammer um den Amboß und bewirkt in einer bestimmten Stellung den tangentialen Schlag. Die verschiedenen Phasen dieses Schlages läßt Bild 22 erkennen. Um das Bild zu vereinfachen, sind Amboß und Arbeitsspindel immer in der gleichen Lage, das heißt, ohne fortschreitende Drehung dargestellt.

Der Hammer vollführt nach Ausführung des letzten Schlages mit großer Geschwindigkeit eine Drehung um etwa 340° und erhält dabei eine hohe Beschleunigung. Durch die Nocke des Amboßes wird die linke Ecke der Kupplungsklaue nach außen und damit die rechte nach innen in Schlagrichtung gedrückt (a und b). Nach Ausführung des Schlages (c) wird die Klaue durch eine Auslösefeder in einer Bohrung der Motorwelle zurückgedreht (d), so daß sich der Hammer nunmehr wieder frei bis zum nächsten Eingriff bewegen kann (e und f).

3.42 Schlagschrauber mit einstellbarem Drehmoment

In Abschnitt 3.41 sind unter a) bis c) die wesentlichsten Punkte aufgezählt, die das Drehmoment am Antriebsvierkant eines Schlagschraubers und damit seine Höchstleistung beeinflussen. Will man an einem Gerät das Drehmoment auf einen bestimmten Wert einstellen und erreichen, daß keine höhere An-

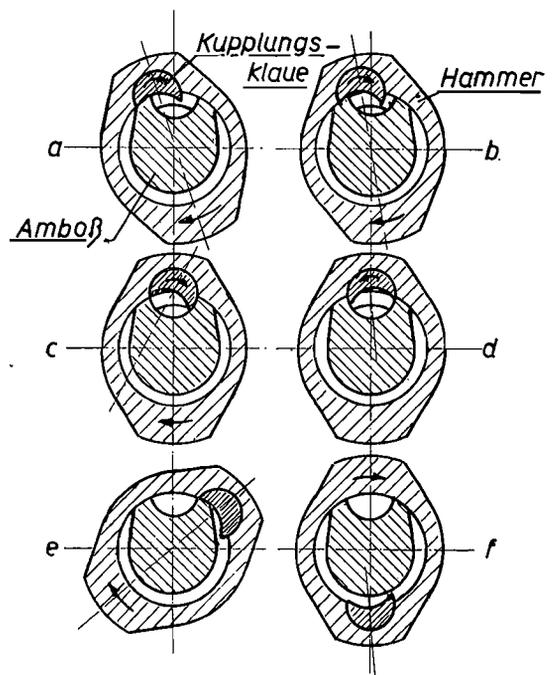


Bild 22: Schlagmechanismus eines Schlagschraubers, Fabrikat: Atlas Copco LMS 64

Fig. 22: Impact mechanism of an impact tool, make: Atlas Copco LMS 64



Bild 23: Schlagschrauber im Einsatz auf einer Baustelle, Fabrikat: Atlas Copco LMS 41

Fig. 23: Impact tool in use on job site, make: Atlas Copco LMS 41

ziehungskraft ausgeübt wird, muß man alle diese Voraussetzungen beachten. Eine ganze Reihe der in der Tabelle III aufgezählten Schlagschrauber hat eine Drosselklappe, mit der die zugeführte Luftmenge innerhalb gewisser Grenzen geändert werden kann. Da eine solche Regelung allein noch nicht als Drehmomenteneinstellung gewertet werden kann, sind diese Geräte nicht in der Tabelle IV der Schlagschrauber mit einstellbarem Drehmoment angeführt.

Um dem Verlangen nach einer solchen Einstellmöglichkeit zu entsprechen, hat eine Herstellergruppe neben dem Luftmengenregler ein Relais ein-

gebaut, das eine konstante Zeitdauer für jeden Schraubvorgang gewährleisten soll. Beim Einschalten beginnt die Druckluft das in einer Kammer eingeschlossene Spezialöl durch eine Drosselbohrung in einen zweiten ebenfalls dichten Behälter zu verdrängen. Sobald nach etwa 4 bis 5 Sekunden die gesamte Ölmenge in die zweite Kammer gedrückt ist, wird über ein Ventil ein Steuerkolben betätigt und die Luftzufuhr zum Gerät abgesperrt. Der Luftmengenregler soll so eingestellt sein, daß das verlangte Drehmoment in etwa 3 Sekunden erreicht ist. Bei einem Druckabfall in der Zuleitung wird durch längere Laufzeit des Relais der größere Zeitbedarf für die Erreichung des verlangten Drehmoments gewährleistet.

Eine andere Art der Drehmomenteneinstellung beruht darauf, mit einer entsprechenden Gegenwirkung am Antriebsvierkant, das heißt einem bestimmten Rückschlag, ein Ventil zu schließen und damit den Schlagschrauber auszuschalten. Auch hier sind verschiedene Wege beschriftet worden.

Die Wirkungsweise einer solchen Steuerung ist an dem in Bild 24 dargestellten Gerät zu erkennen, das in seinem Schlagmechanismus mit längsbeweglichem Hammer grundsätzlich dem Modell auf Bild 20 gleicht. An Stelle des Druckluftkolbens drückt hier eine starke Feder den Hammer gegen den Amboß. Der Arbeitsspindel ist ein sogenannter Torsionsstab vorgesetzt. Eine durch Torsion gespannte Blattfeder wird am hinteren Ende von der Arbeitsspindel und am vorderen von einer mit der Federhülse verzahnten Muffe gehalten. Ein kleines Spiel in dieser Verzahnung ermöglicht es, daß die Feder beim Anziehvorgang dann eine zusätzliche Beanspruchung durch Verdrehen erhält, wenn der Widerstand der Schraubenmutter größer wird als die Torsionsvorspannung. Durch das Zurückschnellen der Torsionsfeder um diese zusätzliche Drehung erhält der Hammer beim Ausklinken aus dem Amboß einen Rückschlag, der ihn

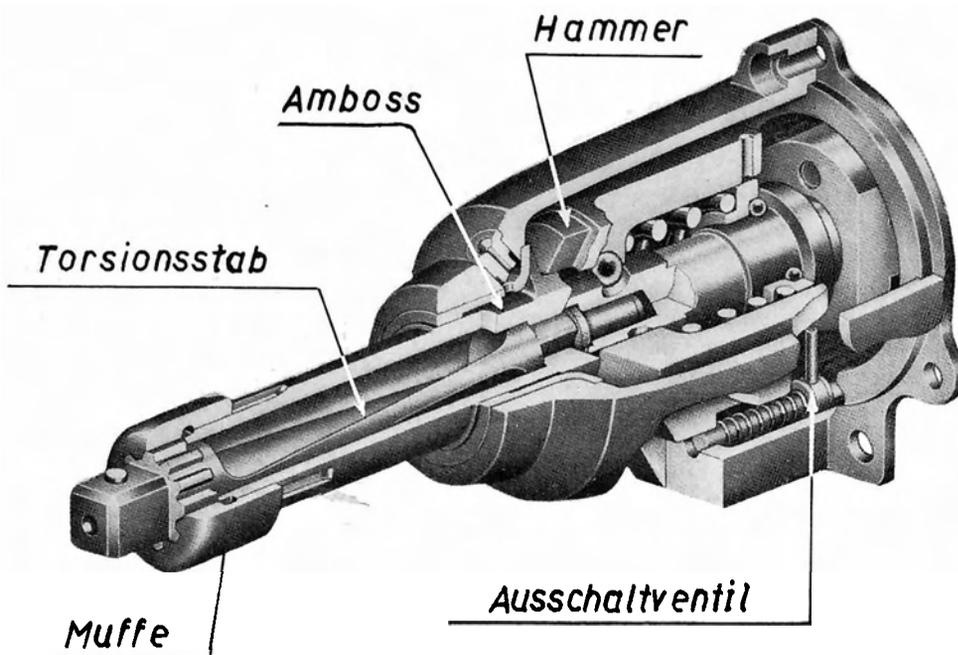


Bild 24: Modell eines Schlagschraubers mit einstellbarem Drehmoment (Torsionsstab), Fabrikat: Ingersoll Rand, Reihe 500

Fig. 24: Model of an impact tool with adjustable torque, make: Ingersoll Rand, Reihe 500

Bild 25: Schlagschrauber mit Eichvorrichtung für Anzeige der Bolzenkraft, Fabrikat: Ingersoll-Rand und Skidmore Wilhelm

Fig. 25: Impact tool with calibrating device for indication of bolt force, make: Ingersoll-Rand and Skidmore Wilhelm



weiter zurücktreibt und damit über ein Ventil die Luftzufuhr sperrt. In einer entsprechenden Vorrichtung können durch Verdrehen der Muffe am vorderen Ende des Torsionsstabes die Vorspannung der Feder und damit das kritische Drehmoment verändert werden.

Der vom Antriebsvierkant kommende Rückschlag ist, wie schon erwähnt, nicht nur vom aufgebrachtene Drehmoment, sondern auch von der elastischen Gegenwirkung der HV-Schraube selbst abhängig. Bei der Eichung eines Schlagschraubers muß daher die zur Verwendung bestimmte Schraubenart einbezogen werden und die Einstellung des Gerätes nach der verlangten Vorspannkraft erfolgen. Mit der in Punkt 3.52 beschriebenen Vorrichtung stehen hierfür geeignete Hilfsmittel zur Verfügung, die ohne Schwierigkeit auch unmittelbar an der Einbaustelle verwendet werden können.

Bei kleinen Druckschwankungen in der Luftzufuhr bleiben die Abweichungen der Vorspannkraft innerhalb der zulässigen Toleranzen. Da oft jedoch auch – vor allem bei Verwendung mehrerer Schlagschrauber – mit Änderungen über 10 % des Betriebsdrucks von 6 bis 7 atü gerechnet werden muß, erscheint es in jedem Fall zweckmäßig, vor jedem Schlagschrauber mit einstellbarem Drehmoment in die Zuleitung einen Druckregler einzuschalten.

3.43 Schlagschrauber mit einstellbarem Drehwinkel

Im Hinblick auf das Drehwinkelverfahren zum Anziehen hochfester vorgespannter Schrauben sind in Amerika Schlagschrauber entwickelt worden, die nicht nach Erreichen eines bestimmten Drehmoments

oder einer verlangten Vorspannkraft, sondern nach einem bestimmten Drehwinkel abschalten. Die Messung dieses Winkels beginnt mit der Einschaltung des Schlagmechanismus. Näheres über diese Schlüssel ist hier noch nicht bekannt. Bei dem in Bild 26 dargestellten Modell läßt sich der verlangte Drehwinkel innerhalb eines Bereiches von 300° beliebig verstellen.

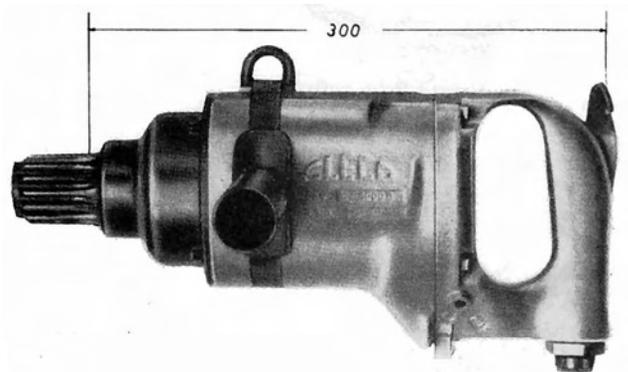


Bild 26: Schlagschrauber mit Drehwinkeleinstellung, Fabrikat: Cleco

Fig. 26: Impact tool with turning angle-adjustment, make: Cleco

3.5 Eichvorrichtungen

3.51 Allgemeines

Alle Anziehgeräte bedürfen, vor allem wenn sie ihrer Aufgabe als Meßgeräte gerecht werden sollen, einer sorgfältigen Wartung und Pflege. Drehmomentenschlüssel mit Ausklinkvorrichtungen sind einem Verschleiß ausgesetzt, der sich auf die Lastanzeige auswirken kann. Da der Mechanismus sehr verschieden ist, lassen sich Regeln dafür, in welchen Abständen die Geräte nachzueichen sind, nicht aufstellen. So ist es zu verstehen, daß die Richtlinien nur sehr allgemeine Angaben darüber enthalten. Der für die HV-Verschraubung in jeder Stahlbauanstalt zuständige Ingenieur wird bei einer neuen Schlüsseltype durch häufiges Nacheichen bald selbst erkennen, wie er vorgehen muß, um die Meßunsicherheit in den notwendigen Grenzen zu halten. Dringend erforderlich ist ein Kontrollbuch, in das alle Eichungen, Reparaturen u. dgl. eingetragen werden.

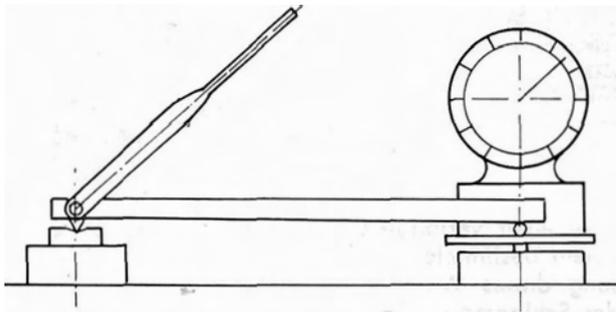


Bild 27: Eichung eines Drehmomentenschlüssels mit einer Neigungswaage. Schematische Anordnung

Fig. 27: Calibration of a torque wrench with an inclinometer scale, schematic arrangement

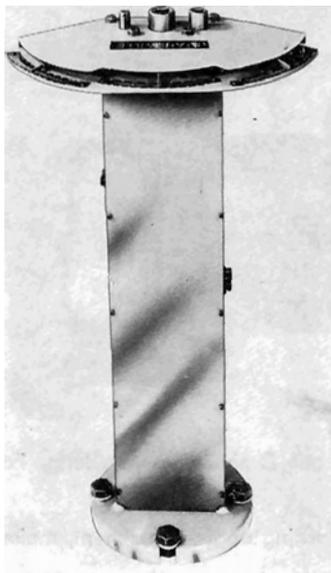


Bild 28: Eichvorrichtung für Anzeige des Drehmomentes, Fabrikat: Wille

Fig. 28: Calibration device for indication of torque, make: Wille

3.52 Eichung der Anzeige des Drehmoments

Eine Eichung der Drehmomentenanzeige kommt praktisch nur für Handschlüssel in Betracht. Man kann, wenn keine anderen Hilfsmittel zur Verfügung stehen, punktförmig einzelne Anzeigen dadurch überprüfen, daß man auf den Antriebsvierkant des Schlüssels eine bestimmte Last mit einem bekannten Hebelarm einwirken läßt. Eine Vorrichtung unter Zuhilfenahme einer Neigungswaage ist in Bild 27 schematisch dargestellt. Sind Arbeitsbereich des Schlüssels, Länge des Verbindungsstabes und Skala der Waage entsprechend aufeinander abgestimmt, kann man damit den gesamten Bereich des Geräts und auch ein bestimmtes Ausklinkmoment überprüfen.

Als feststehende dauerhafte Einrichtung ist in Bild 28 ein Gerät wiedergegeben, bei dem an der Verdrehung verschieden starker Torsionsfedern das am Schlüssel angezeigte Drehmoment überprüft wird. Je nach seinem Arbeitsbereich wird der Schlüssel mit seinem Antriebsvierkant an einem der drei Ansätze aufgesetzt und die Anzeige des Prüfgeräts mit der der Eichvorrichtung verglichen.

Bei der in Bild 29 dargestellten Dezimalwaage wird das Anziehmoment je nach dem verlangten Meßbereich von einem der drei Ansätze mit einer entsprechenden Anzahl von Übersetzungen auf den Meßbalken übertragen und am Schiebegewicht der Wert abgelesen.

Die Eichvorrichtung nach Bild 30 arbeitet nach dem Prinzip einer Federwaage. Der Federweg wird mittels Zahnstange und Zahnrad auf die Lastanzeige übertragen.

Auch das hydraulische Prinzip, auf das in Punkt 3.53 mit den Bildern 25 und 33 verwiesen wird, findet bei Geräten mit Drehmomentenanzeige Verwendung.

Die Entwicklung von Drehmomentenschlüsseln, die das Sollmoment durch ein bestimmtes Signal anzeigen, verlangt auch Eichgeräte, mit denen man die Einhaltung in einfacher Weise überprüfen kann. Zumindest sollten dazu solche Geräte, wie sie hier dargestellt sind, mit einem Schleppzeiger ausgerüstet sein.

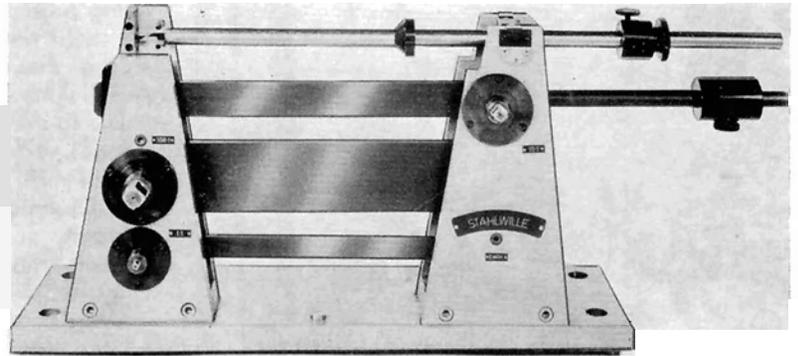
3.53 Eichung der Anzeige der Vorspannkraft

Wie bereits ausgeführt, müssen Schlagschrauber mit einstellbarem Drehmoment auf die verlangte Bolzenkraft geeicht werden. Dazu werden meist mehrere für die Verwendung vorgesehene Bolzen ausgewählt, in eine Vorrichtung eingebaut und mit dem Schlagschrauber angespannt. Dabei wird die Vorspannkraft im Bolzen gemessen. Diese Eichung muß, um auch Schlauchlänge und Luftdruck berücksichtigen zu können, am Einbauort erfolgen. Die Geräte müssen daher so handlich und robust sein, daß sie auch auf einem Gerüst verwendet werden können.

Bild 31 zeigt eine Vorrichtung, die diese Bedingungen erfüllt; ihren Einsatz auf einer Baustelle veranschaulicht Bild 32. Es kann je nach Größe mit ein

Bild 29: Prüfwaage für Anzeige des Drehmomentes, Fabrikat: Wille

Fig. 29: Testing scale for indication of torque, make: Wille



oder zwei Schrauben an einem abstehenden Flansch oder Winkelschenkel angeklemt werden. Das Prinzip der Kraftmessung gleicht dem eines Meßbügels; durch die Bolzenkraft wird der klauenförmige Schlitz des Gerätes zusammengedrückt. Mit einer keilförmigen Lehre wird die Verformung gemessen und daraus die Kraft bestimmt. Es gibt Meßlehren, bei denen man an der Eindringtiefe des Keils die Kraft ablesen kann und Grenzlehren mit einem Anschlag, welche die Einstellung einer bestimmten Bolzenkraft am Schlagschrauber erleichtern. Für Feinmessungen in einer Werkstätte können auch Meßuhren eingesetzt werden.

Das amerikanische Gerät nach Bild 25 arbeitet nach einem hydraulischen Prinzip. Die Wirkungsweise läßt der Schnitt durch ein englisches Erzeugnis gleicher Bauart erkennen (Bild 33). Durch das Anspannen eines in der Mitte durchgesteckten Bolzens werden zwei Platten und damit zugleich ein ringförmiger, mit Öl gefüllter Behälter zusammengedrückt. Der Öldruck ist ein Maß für die Bolzenkraft und wird an einem Manometer abgelesen.



Bild 30: Prüfwaage für Anzeige des Drehmomentes, Fabrikat: Cory Brothers, Acratorck

Fig. 30: Testing scale for indication of torque, make: Cory Brothers, Acratorck

3.6 Fehlergrenzen und Meßunsicherheit

Die Richtlinien für hochfest vorgespannte Schrauben verlangen eine Genauigkeit der Drehmomentenschlüssel zwischen ± 5 und 10% . Um die Minustoleranzen auszugleichen, sind – wie bereits erwähnt – beim Drehmomentenverfahren die Anziehmomente entsprechend überhöht. In gleicher Weise werden mit Rücksicht auf die Ungenauigkeit der Schlagschrauber und Meßvorrichtungen größere Vorspannkraft verlangt, als sie theoretisch erforderlich sind. Damit sind Grenzen festgelegt, innerhalb derer die Ergebnisse, das heißt die Anziehmomente bzw. Vorspannkraft unrichtig sein dürfen.

Folgt man den Bestimmungen der Din 1319 für die Grundbegriffe der Meßtechnik [13], so können die auftretenden Fehler systematischer und zufälliger Natur sein.

Die systematischen Fehler werden in erster Linie durch die Unvollkommenheit der Geräte hervorgerufen. Die Quellen sind zum größten Teil nachweisbar. Auf einzelne grobe Fehler wurde bereits hingewiesen. Andere können ihre Ursachen darin haben, daß bei größeren Ausbiegungen der Schlüssel die Linearität zwischen Belastung und Verfor-

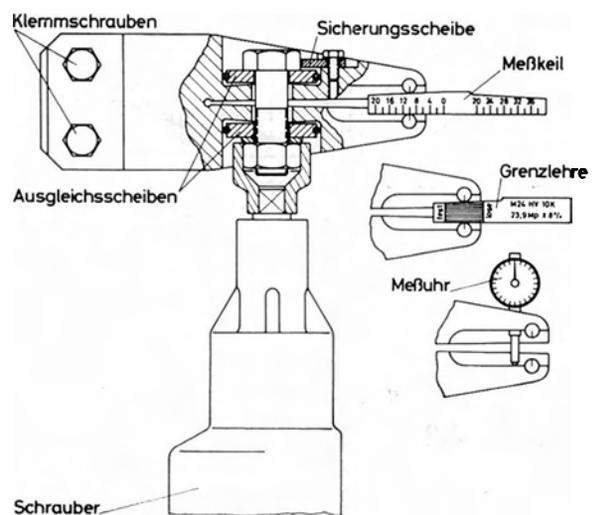


Bild 31: Eichvorrichtung für Anzeige der Bolzenkraft, Fabrikat: Wille, Tensimeter

Fig. 31: Calibration device for indication of bolt force, make: Wille, Tensimeter



Bild 32: Eichvorrichtung für Schlagschrauber, Fabrikat: Wille, Tensimeter

Fig. 32: Calibration device for impact tool, make: Wille, Tensimeter

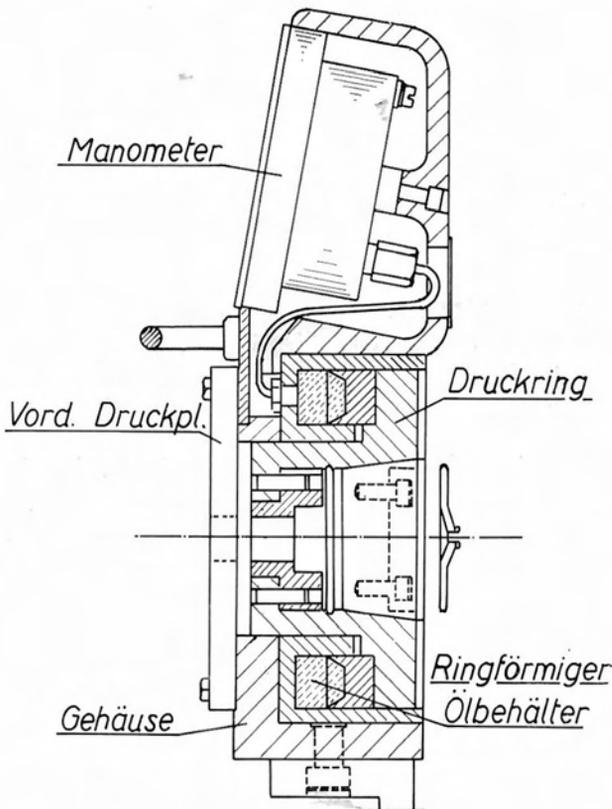


Bild 33: Längsschnitt durch Eichvorrichtung für Anzeige der Bolzenkraft, Fabrikat: North Bar Tool

Fig. 33: Longitudinal cut through calibration device for indication of bolt force, make: North Bar Tool

mung nicht mehr mit ausreichender Genauigkeit zutrifft. Zu den systematischen Fehlern gehören auch solche, die durch eine mechanische Abnutzung des Ausklinkmechanismus entstehen.

Die in den Richtlinien des Deutschen Stahlbau-Verbandes verlangte Prüfung durch eine amtliche Stelle müßte nicht nur für Schlagschrauber, sondern auch für Drehmomentenschlüssel gelten. Ein amtliches Zeugnis, das die möglichen Grenzen der Anwendbarkeit und etwa notwendige Berichtigungen aufzeigt, wäre für jede Gerätetype zu verlangen.

Werden die systematischen Fehler ausgeschieden, kommt das Verfahren in den statistisch erfaßbaren Bereich [11 und 12]. Es handelt sich dann um zufällige Fehler, wie sie beispielsweise durch nicht kontrollierbare Reibungen hervorgerufen werden. Sie folgen einem mathematischen Gesetz, der sogenannten Gaußschen Normalverteilung, das vor allem für die einzelnen Gerätetypen sehr verschieden sein kann. Eine hinreichend große Zahl von Messungen macht es möglich, die Standardabweichungen vom wahren Wert und für eine verlangte statistische Sicherheit die Vertrauensgrenzen und damit den Vertrauensbereich anzugeben. Ein solches Vorgehen mit ein- und demselben Anziehgerät und der gleichen Meßvorrichtung ist auch anwendbar, wenn noch gewisse, nicht erkannte oder nicht erfaßbare systematische Fehler vorhanden sind. Damit kann für das betreffende Gerät die Meßunsicherheit bestimmt werden. Der Vertrauensbereich kennzeichnet dann die Grenzen, innerhalb welcher mit der vereinbarten Sicherheit von beispielsweise 99 % die einzelnen verlangten Vorspannkkräfte erreicht werden.

Dr.-Ing. Wolfgang Schmid,
Zentralinspektor der Österreichischen Bundesbahnen
Wien I

Schrifttum

- [1] Steinhardt, O. und K. Möhler, Versuche zur Anwendung vorgespannter Schrauben im Stahlbau, Heft 18 der Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, I. Teil, Köln 1954.
- [2] Beer, H., Einige Gesichtspunkte zur Anwendung hochfester, vorgespannter Schrauben, Schlußbericht des VI. Kongresses der IVBH in Stockholm 1960, S. 157.
- [3] Aurnhammer, G., HV-Verbindungen, Überlegungen, Beobachtungen, Versuche, Vorberichte des VII. Kongresses der IVBH in Rio de Janeiro, 1964, S. 415.
- [4] Tightening High-Strength Bolts, Proc. Am. Soc. of Civ. Eng. 81 (1955) Sep. No. 659. — dazu Schmid, W., über das Anspannen hochfester Schrauben, Bauing. 31 (1956), S.183.
- [5] Drew, F. P., Tightening High-Strength Bolts, Proc. Am. Soc. of Civ. Eng. Structural Division, 81 (1955) Paper No. 786.
- [6] Schmid, W., Die zulässige Beanspruchung hochfester Schrauben, Bauing. 33 (1958) S. 101.
- [7] Oberndorfer, K., Erfahrungen bei Stahlbaumontagen mit hochfesten Schraubverbindungen, Acier Stahl Steel, 29 (1964) S. 34.
- [8] Ball, E. F. und J. J. Higgins, Installation and Tightening of High-Strength Bolts, Proc. Am. Soc. of Civ. Eng., Structural Division, 85 (1959) S. 117.
- [9] Rumpf, J. L. und J. W. Fisher, Calibration of A 325 Bolts, Proc. Am. Soc. Civ. Eng., Structural Division 89 (1963) S. 215.
- [10] Bernabo Pierre, Installazione, serraggio e controllo dei bulloni ad alta resistenza, Costruzioni metalliche 18 (1966) S. 100.
- [11] Quillen, C., A system for the control of tightening operations, Za-Fasteners 9 S. 10.
- [12] Weber, Neal E., Bolt-torque inspection by statistical analysis, Civ. Engineering 32 (1961) S. 69.
- [13] DIN 1319 Grundbegriffe der Meßtechnik, Ausgabe Dezember 1963.

Die praktische Anwendung der HV-Verbindung im Stahlbau*)

Von A. Köhler, Wien, und R. Leidl, Linz/Donau

Allgemeines

Durch die Verwendung der HV-Schraube (hochfeste vorgespannte Schraube) ist eine völlig neuartige Verbindungsart im Stahlbau eingeführt worden, welche die bereits jahrzehntlang bewährten Verbindungen ergänzt bzw. ersetzt. Sie nimmt ihren Platz neben Nietung, Schraubung, Schweißung und neuerdings auch Klebung dort ein, wo ihre Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Im Maschinenbau wurden hochfeste Schrauben bereits früher verwendet, wobei sie hauptsächlich axial in Richtung ihrer Vorspannkraft beansprucht wurden, ohne die Kraftübertragung durch Reibung auszunützen.

Wirtschaftlichkeit

In Österreich werden vorwiegend HV-Schrauben der Güte 10 K mit einer Mutter der Güte 8 G sowie bisher mit je 2 Scheiben der Güte 10 K verwendet. Da die Kosten für eine solche Schraube beträchtlich sind und wesentlich über den Materialkosten eines Nietes gleichen Durchmessers liegen, ist es die Aufgabe des entwerfenden Ingenieurs, HV-Schrauben dort zu wählen, wo sich zufolge Ersparnis an der Zahl der Verbindungsmittel, insbesondere bei Lochleibungsfällen bzw. durch Arbeitserleichterung insgesamt eine wirtschaftliche Konstruktion ergibt. Die Wirtschaftlichkeit ist bei jedem Konstruktionsteil getrennt zu untersuchen und ergibt bei vielen Bauwerken eine Verwendung verschiedener Verbindungsmittel unmittelbar nebeneinander. Daneben erweist sich die Reibverbindung durch ihre Starrheit überaus geeignet, im gleichen Anschluß mit Schweißverbindungen gemeinsam verwendet zu werden; gemeinsame Kraftübertragung von Schweißung und Nietung sind im Anschluß ja bekanntlich wegen der verhältnismäßig großen Nachgiebigkeit der Nietverbindung auszuschließen.

Verwendung der HV-Schraube im Personenseilbahnbau

Eine der ersten Verwendungen von HV-Schrauben im Stahlbau in Österreich erfolgte als Verbindungsmittel bei Personenseilbahnen. Da diese Anlagen der Seilbahnbehörde unterstehen und daher strengsten konstruktiven Anforderungen genügen müssen, waren bis dahin alle Bauteile fast ausschließlich ge-

nietete Fachwerkstützen und -stationen. Eine Verwendung von rohen Schrauben darf nach Vorschrift nicht erfolgen. Die Anlage von Personenseilbahnen erfolgt naturgemäß in äußerst schwierigen Geländebedingungen, meist im Hochgebirge, wo die einzelnen Bauwerke errichtet werden müssen. Es war bisher notwendig, für die Verbindung der Teile an der Baustelle ein Nietaggregat bis zu jeder Seilbahnstütze und der Bergstation zu bringen, um die Verbindung überall herstellen zu können. Ferner waren für das Nieten auf den Stützen Nietgerüste erforderlich, die entsprechend groß und stabil sein mußten, um ein sorgfältiges Schlagen der Niete zu ermöglichen. Durch die Verwendung von HV-Schrauben ist es möglich, ohne oder mit verhältnismäßig einfachen Gerüsten das Auslangen zu finden. Ferner ist der Zeit- und Personalaufwand für das Verschrauben einer HV-Verbindung kleiner als der für das Schließen einer Nietverbindung.

Konstruktiv ergibt sich aus der größeren Tragfähigkeit einer HV-Schraube gegenüber der eines Nietes eine kürzere Krafteinleitungsstrecke, was zu kleineren Knotenblechen und dadurch zu geringerem Materialaufwand führt.

Die bei Verwendung von HV-Schrauben erforderliche Behandlung der Berührungsflächen an der Baustelle erahnt allerdings eine zusätzliche Arbeit, die auch größte Sorgfalt verlangt, da die Flächen vollkommen frei von Fett, Anstrich, Walzhaut und Rost sein müssen. Üblicherweise werden die einzelnen Bauteile von der Werkstätte mit einem Grundanstrich geliefert, wobei die Teile der Berührungsflächen ungeschützt bleiben. Der ungeschützte Versand hat sich als günstig erwiesen, da durch die Luftfeuchtigkeit das Abrosten der reibungsvermindernden Walzhaut gefördert wird. An der Baustelle, unmittelbar vor dem Einbau, werden die Verbindungsflächen flammgestrahlt und mit einer weichen Stahlbürste abgebürstet.

Da die Löcher von HV-Schrauben größer als deren Schaftdurchmesser sind (nach der „Neufassung der Richtlinien für die Verwendung hochfester vorangespannter Schrauben im Stahlbau“ des Österreichischen Stahlbauverbandes bis 2 mm größer), kann die Formgebung der Konstruktion bei der Montage nicht allein durch das HV-Verschrauben erfolgen. Die Form des Bauteiles muß entweder durch Paßdorne (Dorne, die den vollen Durchmesser des Loches ausfüllen) vor der Verschraubung hergestellt werden, oder es muß ein jeder Bauteil vor dem endgültigen Verschrauben der Verbindung nach allen Dimensionen eingemessen und ausgerichtet werden.

*) Unter diesem Titel nehmen zwei Autoren zu demselben Problem Stellung, und zwar im Teil I A. Köhler, Wien, im Teil II R. Leidl, Linz/Donau.

So hat sich bisher im Personenseilbahnbau die Verwendung der HV-Schrauben als Baustellenverbindung als wirtschaftlich und sicher erwiesen und wird fast allgemein verwendet. Die Werkstättenverbindungen werden jedoch weiterhin meist genietet oder geschweißt.

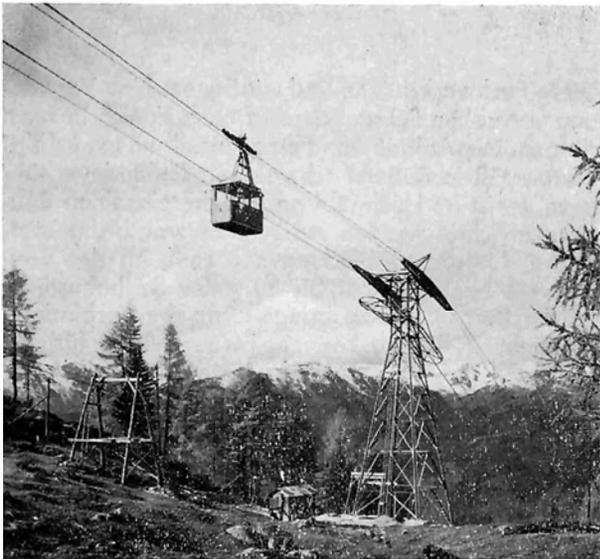


Bild 1: Stütze der Seilschwebbahn auf den Gerlosstein
Fig. 1: Tower for the aerial ropeway "Gerlosstein"

Verwendung der HV-Schrauben im Brückenbau

Auch im Brückenbau hat die Verbindung mit HV-Schrauben weitgehend Eingang gefunden. So ist auch bei den größten Brückenbauten Österreichs der letzten Jahre dieses Verbindungsmittel gewählt worden.

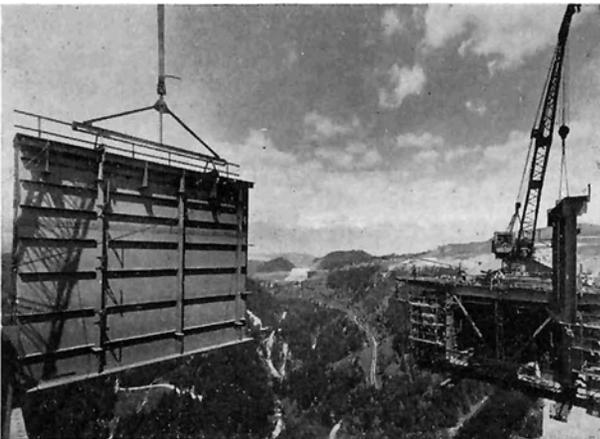


Bild 2: Einbau eines Hauptträgersteiges beim Freivorbau der Europabrücke

Fig. 2: Main girder web being installed by the cantilever method for the "Europa Bridge"

Bei der Erbauung der Europabrücke der Brenner Autobahn in Tirol wurden nach den vorerwähnten wirtschaftlichen Erwägungen folgende Verbindungen ausgeführt:

Der geschlossene Torsionskasten wurde in der Werkstätte geteilt angearbeitet. Die Kastenstegbleche wurden in 2 bis 3 horizontalen Teilen (je nach Steghöhe) und mit 9 m Länge in der Werkstätte geschweißt. Die Längsverbindung der Stegbleche erfolgte auf einem Vorplatz der Baustelle durch Nietung. Ebenso wurden die Längsanschlüsse der oberen und unteren Deckbleche am Einbauplatz genietet. Da es sich hier um Reihenanschlüsse handelt, die aus der Schubbeanspruchung verhältnismäßig geringe Spannungen erhalten, ist die Verwendung von HV-Schrauben nicht gegeben. Die HV-Schraube bringt, wie vorerwähnt, eine große Kraftkonzentration an jedem Schraubenanschlußpunkt. Die Entfernung zwischen den einzelnen Schrauben soll möglichst gering sein. Da bei Reihennietung die Beanspruchung meist sogar die maximale Verbindungsmittellentfernung zuläßt, kann die Qualität der HV-Schrauben nicht ausgenützt werden. Die Nietung erweist sich in solchen Fällen als billiger. Bei den Biegestößen der Hauptträgerstege und den Längsrippen der orthotropen Platte liegt ein anderes Verhältnis vor. Da die Lochleibung nicht zum Tragen herangezogen wird, ist es bei der großen Reibungstragkraft der HV-Schrauben möglich, Stegbleche bis 10 mm einreihig (mit je einer Vertikalreihe Schrauben beidseits des Stoßes) zu stoßen. Bei der Europabrücke erfolgte die Montage im Freivorbau. Es war daher notwendig, die Formgebung der vorgebauten Brückenteile, wegen der größer als der Schraubenschaft gebohrten Löcher, durch Paßdorne vor dem endgültigen Verschrauben zu erreichen. Bei diesem Bauwerk wurden die Oberflächen der Berührungsflächen ebenfalls nur handentrostet und nicht gestrichen. An der Baustelle erfolgte die Oberflächenbehandlung der Teile durch Flammstrahlen. Obwohl die Beanspruchung des Tragwerkes im Bauzustand rechnermäßig bis zur Proportionalitätsgrenze reichte und nur mit einer Sicherheit von 1,15 gegen Gleiten gerechnet wurde, wurde in keinem einzigen Fall ein Rutschen der Verbindungen festgestellt. Es wurde damit bewiesen, daß auch bei Handentrostung und sorgfältigem Flammstrahlen die nach der „Neufassung der Richtlinien für die Verwendung hochfester vorgespannter Schrauben im Stahlbau“ geforderten Reibwerte in der Verbindung einwandfrei erreicht werden. Das geforderte Anziehdrehmoment wurde mittels Drehmomentenschlüssels aufgebracht.

Bei einer der bedeutendsten Eisenbahnbrücken, die in den letzten Jahren in Österreich gebaut wurden, der Trisannabrücke, wurden ebenfalls HV-Schrauben als Baustellenverbindung verwendet. Das System der Brücke war ein Stabbogen mit kontinuierlich gekrümmtem Bogen, es wurde von einem Mittelmontageturm nach beiden Seiten hin freivorgebaut. Auf Wunsch des Bauherrn wurde jedoch nur der Versteifungsträger mit HV-Schrauben verbunden, der Bogen selbst genietet. Zuzufolge Auftrag des Bauherrn, in diesem Falle die Österreichischen Bundes-

Bild 3: Tragwerk der Trisannabrücke auf Montageturm gelagert, kurz vor dem Einschieben in die endgültige Lage

Fig. 3: Superstructure for Trisanna Bridge resting on erection staging, shortly before hauling into its final position

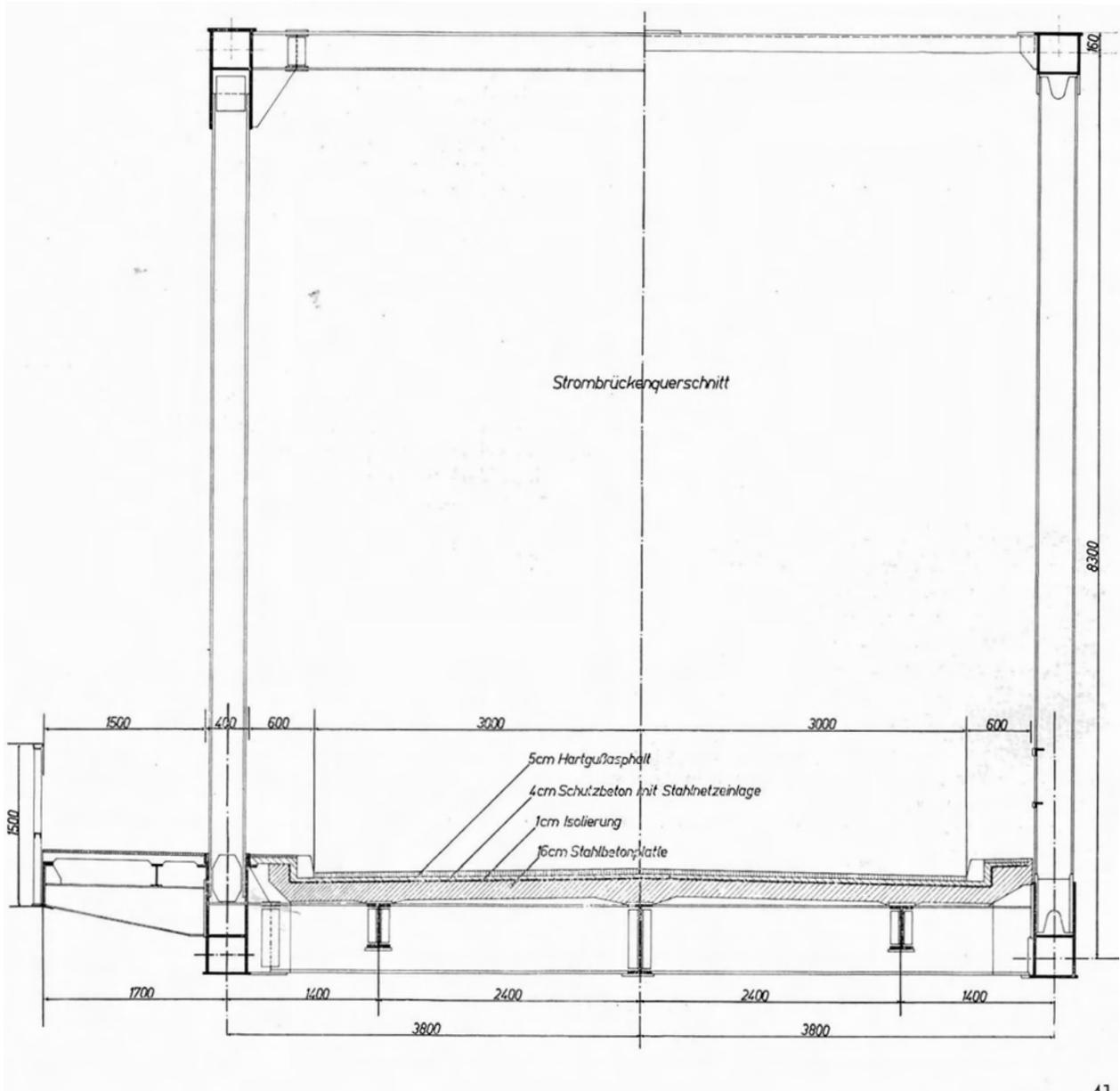


bahnen, wurde das gesamte Tragwerk und somit auch die Verbindungsstellen in der Werkstätte sandgestrahlt. An der Baustelle wurden die Berührungsflächen der Stöße vor der HV-Verschraubung flammgestrahlt.

Bei der Verwendung von HV-Schrauben im Eisenbahnbrückenbau ist natürlich deren Verhalten bei Schwell- und Wechselbeanspruchung von großer Bedeutung. Die Untersuchungen von HV-Verbindungen ergaben, daß bei Beanspruchung auf Ermüdung der Bruch in der Regel im vollen Querschnitt des Versuchsstabes und nicht im Lochquerschnitt auftrat.

Bild 4: Strombrückenquerschnitt der Mauthausenbrücke

Fig. 4: Cross section of the bridge across the river Danube in Mauthausen



Daher ist auch die HV-Verbindung in der Norm für den Wöhlerfestigkeitsnachweis (ONorm B 4600, 3. Teil) in der Gruppe C eingeteilt. Damit ist die Verbindung einem durch Längskraft beanspruchten Bauteil mit Löchern gleichgestellt. Dieses günstige Verhalten für Wöhlerbeanspruchung macht die HV-Schraube zu einem bevorzugten Verbindungsmittel im Eisenbahnbrückenbau.

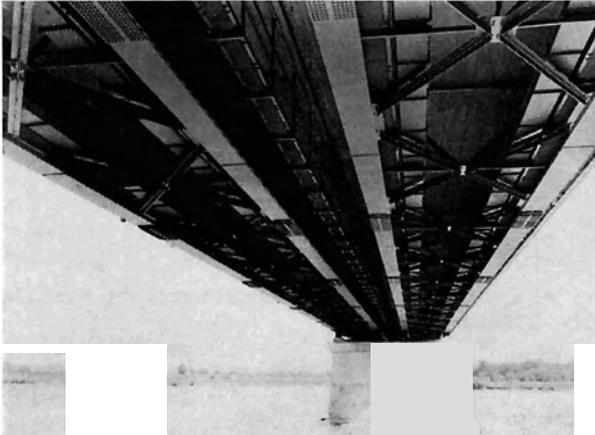


Bild 5: Stromtragwerk der Nordbrücke in Wien. Untersicht mit HV-Gurtstößen

Fig. 5: Superstructure of Northern Bridge in Vienna. High strength flange joints, view from below

Die Verwendung von HV-Schrauben ermöglicht eine Verbindungsart, die mit Nietung nicht möglich ist, nämlich den Stirnplattenanschluß. Da die HV-Schrauben zusätzlich zu ihrer Scherkraftübertragung im Gegensatz zum Niet auch hohe Zugkräfte übertragen können, kann, wie das Beispiel der Mauthausenbrücke (Bild 4) zeigt, der Anschluß des



Bild 6: Autobahnbrücke über die Westbahn und die Bundesstraße 1 bei Blindenmarkt

Fig. 6: Highway bridge over the Westbahn and the state road No. 1 near Blindenmarkt

Querträgers am Hauptträger mit Stirnplatten erfolgen. Es wird hierbei auf Anschlußwinkel verzichtet und der Querträger an beiden Enden mit einer im rechten Winkel hierzu aufgeschweißten Stirnplatte versehen. Über diesen Anschluß wird sowohl die Querkraft als auch das Biegemoment übertragen. Die Tragfähigkeit der HV-Schrauben auf Reibung ist dabei nach der in der „Neufassung der Richtlinien für die Verwendung hochfester vorgespannter Schrauben im Stahlbau“ angegebener Formel abzumindern. Die Längsträger wurden wie üblich an die Querträger mit Beiwinkeln angeschlossen, da der Stirnplattenanschluß keine Korrektur der Länge des Bauteiles erlaubt. Dies könnte durch Addition von ungünstigen Längentoleranzen zu einer Querverbiegung der Querträger und zu unzulässigen Nebenspannungen führen.

Die Trisannabrücke war das erste Eisenbahntragwerk, das mit den gegenüber der „Neufassung der Richtlinien für die Verwendung hochfester vorgespannter Schrauben im Stahlbau“ niedrigeren zulässigen Reibbeiwerten (jetzt in der ONorm B 4603 festgehalten) ausgeführt wurde.

Die bereits vorher ausgeführte Eisenbahn-Grenzbrücke zwischen Österreich und der CSSR über die March wurde noch mit den Reibbeiwerten der „Vorläufigen Fassung der Richtlinien für die Verwendung hochfester vorgespannter Schrauben im Stahlbau“ ausgeführt. Die dort ausgeführte Konstruktion ist ein Fachwerkträger über zwei Felder mit geschweißten, geschlossenen Gurt- und Ausfachungsstäben. Alle Baustellenverbindungen wurden mittels HV-Schrauben ausgeführt. Bei der Verbindung der Gurte ist besonders darauf zu achten, daß die Verbindungsstellen wasserdicht sind. Es besteht sonst die Möglichkeit, daß an diesen Stellen in die geschlossenen Hohlkästen Wasser eindringen kann. Es wird daher bei allen dem Regen ausgesetzten HV-Verbindungen der Anschluß nach dem Verschrauben und vor dem Streichen mit Spezialkitt wasserdicht verschlossen. Das Verkitten erfolgt zwischen Schraube und Scheibe – vor allem zwischen Mutter und Schraubengewinde – zwischen Scheibe und Stoßlasche sowie zwischen Stoßlasche und Grundquerschnitt. Es besteht nämlich die Gefahr, daß die Fläche der Stoßlasche (besonders bei geringeren Stoßlaschenstärken) durch das Aufbringen der hohen Vorspannkraft der Schraube nicht eben bleibt und an den äußeren Enden geringfügig klafft. Für den Anschluß der Streben eines Fachwerkes eignet sich der HV-Anschluß wiederum besonders, da die Anschlüsse sehr kurz gestaltet werden können.

In den letzten Jahren wurden in Österreich noch etliche Brücken mit HV-Verbindungen ausgeführt, unter anderem die Nordbrücke über die Donau in Wien (Verbundkonstruktion) sowie zwei Tragwerke im Zuge der Gürtelbrücke, die Donaubrücke Mauthausen (Strombrücke als Fachwerkkonstruktion, Flutbrücken als Vollwandträger im Verbund), die Autobahnbrücken bei Blindenmarkt, bei Brunn am Gebirge bei Wien sowie die im Bau befindliche Autobahnbrücke beim Autobahnknoten Steinhäusl. Ferner wurden et-

liche Krane mit HV-Verbindungen gebaut. So unter anderem die Portalkrane von Aschach und Wallsee. Bei all diesen Konstruktionen haben sich die Baustellenverbindungen mit HV-Schrauben ohne Nachteile bestens bewährt.

Verwendung von HV-Schrauben im Ausland

Auch im Ausland verwendet man HV-Schrauben seit Jahren mit großem Erfolg. Dort ist jedoch die Voraussetzung für die Verwendung und Anwendung eine andere. So ist nach amerikanischen und englischen Normen die HV-Schraube normalerweise nicht von der Güte 10 K, sondern mit etwa 8 G vergleichbar. Die Tragfähigkeit wird nach den Vorschriften einer Paßschraube gleichgesetzt, das Anziehen der Verbindung erfolgt üblicherweise nicht wie bei uns mittels eines Drehmomentenschlüssels, sondern nach der sogenannten „Turn of the nut“-Methode. Dabei wird die Schraube bis zum satten Anliegen der Verbindung händisch angezogen, sodann erfolgt ein zusätzliches Anziehen mit einem Schlagschrauber um einen nach Norm angegebenen Winkel, der von dem Schraubendurchmesser und von der Länge abhängig ist. Dabei wird meist nur an der Seite, an der die Verbindung angezogen wird, eine Scheibe vorgese-

hen. Die Schrauben sind bei Verwendung in diesen Ländern verhältnismäßig billiger, so daß die Wirtschaftlichkeit der Verwendung in größerem Ausmaß als bei uns gegeben ist. Auch österreichische Firmen haben bei mehreren Konstruktionen im Ausland nach dieser Methode gearbeitet, und auch hier hat sich keinerlei Nachteil dieser Methode ergeben.

Zusammenfassung

Die HV-Schraube hat sich heute ihre Position als Verbindungsmittel erobert. Verteuernd wirkt sich die verhältnismäßig präzise Baustellenarbeit des Flammstrahlens zur Reinigung der Verbindungsflächen und in Österreich das Anziehen mit einem vorgeschriebenen Drehmoment aus. Diese Arbeiten verlangen große Sorgfältigkeit und Überwachung, damit die Voraussetzungen zur Verwendung und das Erreichen der vorgeschriebenen Anziehdrehmomente gewährleistet sind. Die Konstruktionen sind jedoch sehr starr, bleibende Verformungen bei Probelastungen, wie sie bei genieteten Tragwerken durch Niet-schlupf auftreten, fehlen fast völlig.

Günstiges Verhalten bei Ermüdungsbeanspruchung und rasche Arbeit an den Baustellen machen die HV-Schrauben heute zu einem fast allgemein verwendeten Baustellenverbindungsmittel.

Dipl.-Ing. Alfred K ö h l e r
Waagner-Biro AG, Wien

II

Seit über 10 Jahren bestehen Richtlinien für die Verwendung hochfester vorgespannter Schrauben im Stahlbau. Die Bemessung von gleitfesten Schraubenverbindungen und die Herstellung und bauliche Durchbildung von HV-Verbindungen ermöglichen dem Stahlbaustatiker und dem Konstrukteur neue Gesichtspunkte für die Ausbildung hochbeanspruchter Stahlbauwerke. So hat die HV-Verschraubung in der kurzen Zeit ihrer Anwendung bereits in allen Sparten des modernen Stahlbaues Einzug gehalten und wird im besonderen bei Hochbauten verschiedenster Verwendungsart, im Straßen- und Eisenbahnbrückenbau, im Kranbau und den Konstruktionen für Seilbahnausrüstung angewendet.

Das intensive Bestreben, die hochfesten Schraubenverbindungen auf speziellen Gebieten des Stahlbaues zu verwenden, erweckte bereits im Jahre 1956 den Gedanken, Seilbahnstützen mit der damals neuartigen Stoßverbindung herzustellen. Meistens stehen die Seilbahnstützen auf sehr schwer zugänglichen Gebirgskuppen oder in Steilhängen und können oft nur durch schmale, nur für die Zeit der Bauarbeiten errichtete Zufahrtswege erreicht werden. Der Antransport der einzelnen Bauteile erfolgt durchwegs mit leichten Materialeilbahnen, so daß die Größe und Gewichte der vom Konstrukteur festgelegten Bauteile schon im vorhinein begrenzt sind. Diese Auf-

lage ergibt, je nach den Geländeverhältnissen, bei hohen Stützen sehr viele Einzelteile und damit auch eine Unzahl von Verbindungsstellen. Bei der Überlegung, diese Verbindungsstellen möglichst klein auszubilden, ergab sich die zweckmäßige Anwendung der HV-Verschraubung.

Es wäre ein Rückschritt beim heutigen Stand der Technik, hiefür die altherkömmliche Nietverbindung weiter anzuwenden. Nicht nur der Einsatz eines Kompressors für die Durchführung der Nietarbeiten, sondern auch die wesentlich schwereren Gerüstungen würden erhebliche Mehrleistungen beim Antransport ergeben. Auch die Höhenlage wirkt sich auf die Leistung des Kompressors und damit auf die Güte der Nietverbindung aus.

Wenn man den Aufwand, der zur Herstellung einwandfreier Nietverbindungen erforderlich ist, mit dem einer statisch gleichwertigen HV-Verschraubung vergleicht, so liegt der Vorteil eindeutig bei der HV-Verbindung. In der Praxis angestellte Vergleiche haben gezeigt, daß die Arbeitersparnis zwischen 40 und 50 % liegt. Dieser Vorteil ergibt eine wesentliche Verkürzung der für die Montage erforderlichen Zeit und somit einen für die Bauherrschaft vorteilhaften Ablauf der für die Gesamtanlage oft sehr engbegrenzten Bauperiode. Gerade in den letzten Jahren herrschten im Hochgebirge abnormal

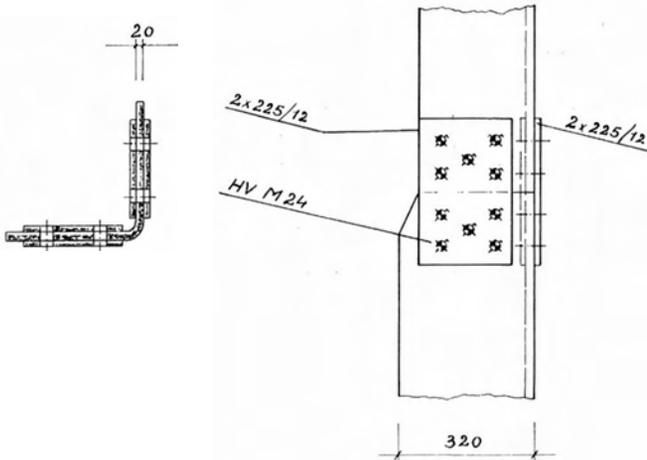


Bild 1: Seilbahnstütze, Stoßstelle an einem als Winkel ausgebildeten Stützenfuß

Fig. 1: Leg-joint of aerial ropeway tower (angle shape)

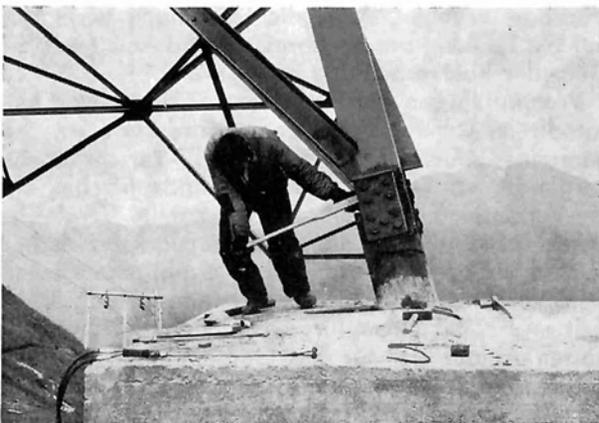


Bild 2: Flammstrahlen der Berührungsfläche

Fig. 2: Flame blasting of contact area

Bild 3: Anziehen der Muttern mit Drehmomentenschlüssel von Hand aus

Fig. 3: Tightening of nuts by hand with torque wrench



schlechte Witterungsverhältnisse, welche die Montagegruppen öfters vor fast unüberwindliche Schwierigkeiten stellten, so daß man stets danach trachten mußte, alle Arbeitsgänge auf ein Minimum zu reduzieren. Ohne Anwendung der HV-Verschraubung der Montagestöße hätten die Bautermine auch nicht annähernd eingehalten werden können.

Besonders vorteilhaft erweist sich die Anwendung der HV-Verschraubung mit den verhältnismäßig wenigen Schrauben bei den Anschlüssen der Eckstiele an die meist vorweg einbetonierte Stützenfüße. Bei der in den Bildern 1 und 2 dargestellten Stoßstelle sind in jedem Schenkel des als Winkel ausgebildeten Stützenfußes nur 5 Schraubenlöcher auf der Baustelle zu bohren und somit jede Stoßplatte mit nicht mehr als 10 HV-Schrauben mit Stützenfuß und Eckstiel zu verbinden. Das Reinigen der Berührungsflächen von Resten der Walzhaut, Rost, Öl oder anderen Verunreinigungen erfolgt durch Flammstrahlen mit einem handlichen Azetylen-Sauerstoff-Brenner.

Die weiteren Bilder 3 und 4 zeigen das Anziehen der Muttern mit einem geeichten Drehmomentschlüssel und das sofort anschließende Abdichten der Fugen mittels einer aus Tuben aufzutragenden Dichtungsmasse.

Wie schon vorhin erwähnt, wurde die Anwendung der HV-Verschraubung an Seilbahnstützen erstmals im Jahre 1956 bei der Sonnenalmbahn (Bild 5) erfolgreich angewendet und findet seither im Seilbahnbau nicht nur bei Seilbahnstützen, sondern auch bei Stationsausrüstungen Verwendung.

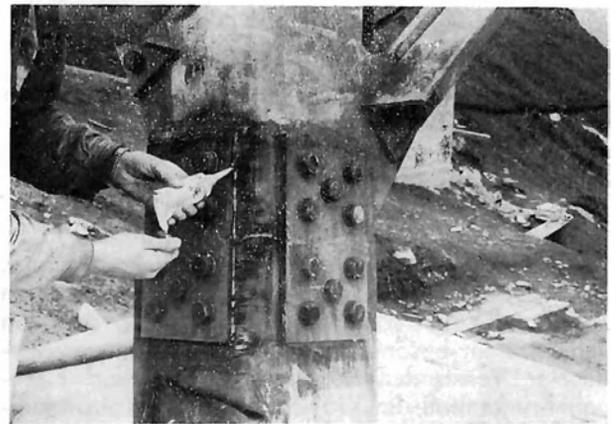


Bild 4: Auftragen der Dichtungsmasse in den Fugen

Fig. 4: Applying of sealing material into joint

Ein weiteres interessantes Anwendungsgebiet für die HV-Verschraubung stellt der Brückenbau dar. Hier zeichnet sich auch die Vereinfachung der Hauptträgerstöße im Vergleich zur Nietung ab. Insbesondere tritt dies bei Stößen von Vollwandträgern mit großer Bauhöhe und weiten Spannfeldern besonders augenfällig in Erscheinung. Dicke Gurtlamellen und vielschnittige Verbindungen können heute auf

der Baustelle einwandfrei mit hochfesten vorge-
spannten Schrauben hergestellt werden. Besonders
vorteilhaft wirken sich die einfachen, sauberen Kon-
struktionen der Trägerstöße bei den auf der Bau-
stelle auszuführenden Arbeiten aus. Gerade bei den
an Hauptträgern oftmals bis über 5 Meter hohen
Stegblechstößen lassen sich sehr gute Vergleiche
zwischen der Ausführung in HV-Verschraubung und
der Nietung anstellen. So beträgt zum Beispiel die
Einsparung an Arbeitszeit bei HV-geschraubten Ver-
bindungen durch den Entfall bei im Werk aufzu-
reibenden Nietlöchern zirka 40% und bei den auf
der Baustelle anfallenden Reibarbeiten zirka 70%.
Das Aufreiben der Schraublöcher auf der Baustelle
entfällt zur Gänze. Ferner ist beim Zusammenbau
der schweren Hauptträger keine provisorische Ver-
schraubung mehr erforderlich, denn es werden so-
fort die definitiven HV-Schrauben eingebaut. Dieser
Vorteil macht sich besonders bei der Montage von
Brücken im Freivorbau bemerkbar.



Bild 5: HV-verschraubte Seilbahnstütze der Sonnenalm-
bahn (ausgeführt 1956)

Fig. 5: Tower with high tensile bolt connection for
Sonnenalm aerial ropeway (built 1956)

Ferner sind die für die Montage und das Ver-
schrauben zu errichtenden Gerüstungen nicht so
schwer auszubilden, wie sie bei Nietung erforderlich
wären, und das Versetzen derselben kann sofort
nach der Verschraubung erfolgen. Das Reinigen der
Berührungsflächen und das Anziehen der Schrauben
mit anschließendem Aufbringen der vorgeschriebe-

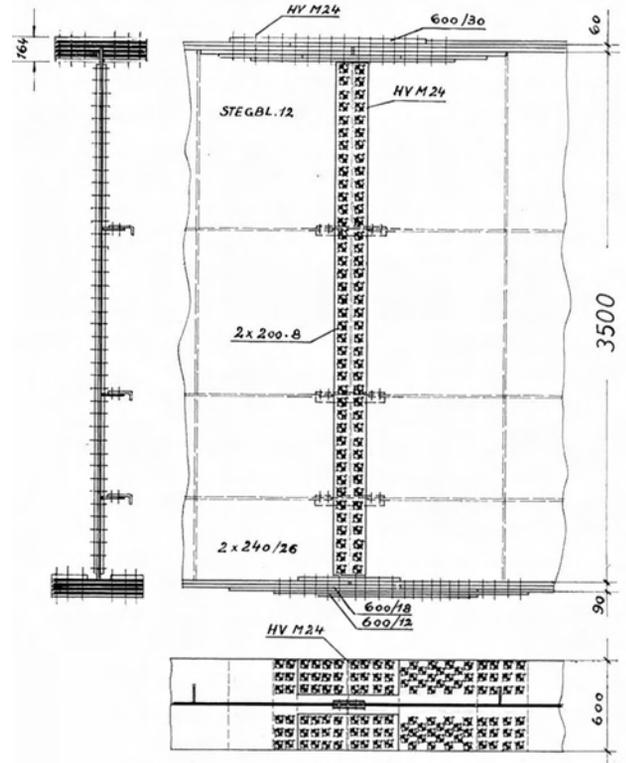
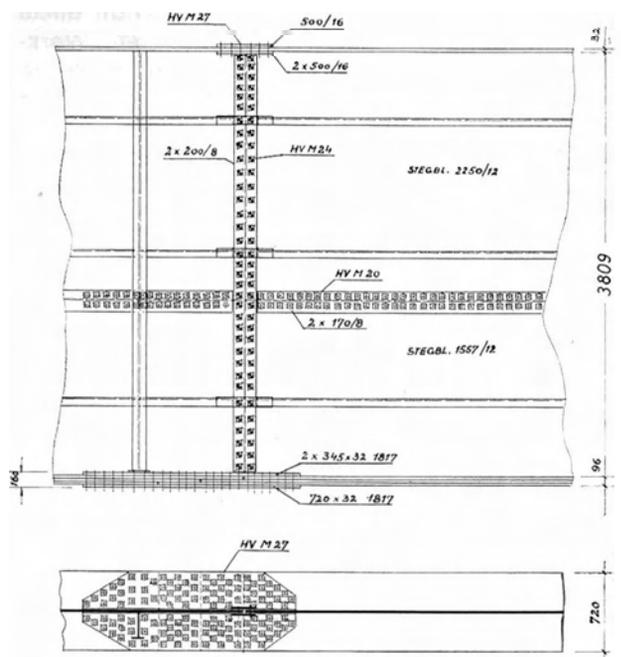


Bild 6: Ausbildung des Hauptträgerstoßes einer Straßen-
brücke

Fig. 6: Main girder joint of a road-bridge

Bild 7: Ausbildung des Hauptträgerstoßes der Gschnitz-
talbrücke (in Montage)

Fig. 7: Main girder joint of the "Gschnitztal-Bridge"
(under construction)



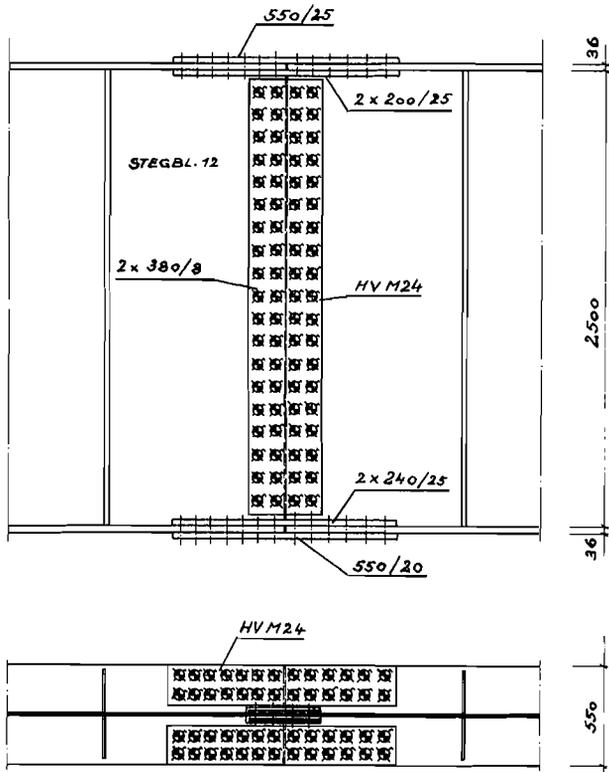


Bild 8: Ausbildung eines Kranbahnträgerstoßes eines Stahlwerkes, dessen Gesamtkonstruktion in Schweißkonstruktion ausgeführt wurde.

Fig. 8: Details of a crane-girder joint of a steelmill (all welded construction)

nen Drehmomente sowie das Abdichten der Fugen mit einem geeigneten Kitt kann in verhältnismäßig kurzer Zeit durchgeführt werden, so daß der Arbeitsablauf zügiger abgewickelt werden kann. Besonders vorteilhaft hat sich die Anwendung der HV-Verschraubung bei Brückenkonstruktionen für Lieferungen nach Ländern in Übersee bewährt. Nicht allein die wesentlichen Einsparungen an Geräten, Werkzeugen und Rüstungen, welche Einsparungen an Transportkosten ergeben, sondern auch der Einsatz angelernter einheimischer Arbeitskräfte für die Durchführung der HV-Verschraubungen legen ein Zeugnis dafür ab, daß die Anwendung der HV-Ver-

schraubung die Konkurrenzfähigkeit wesentlich beeinflussen kann. Bild 6 zeigt die klare Ausbildung des Hauptträgerstoßes einer in letzter Zeit in ein afrikanisches Land gelieferten und montierten Straßenbrücke. Bild 7 zeigt einen Hauptträgerstoß der in Montage befindlichen Gschnitztalbrücke der Brenner-Autobahn.

Wenn man über die Anwendung der HV-Verschraubung und deren Vorteile gegenüber der Nietung schreibt, darf man keinesfalls den Hochbau als klassisches Anwendungsgebiet vernachlässigen. Die vielen Möglichkeiten und die Vorteile der HV-Verschraubung wurden bereits oben erwähnt. Abschließend soll noch auf die in Bild 8 dargestellte Ausbildung einer vor kurzem in einem ausländischen Stahlwerk errichteten schweren Kranbahn hingewiesen werden. Die gesamte schwere Konstruktion des Stahlwerksgebäudes wurde in diesem speziellen Fall als Schweißkonstruktion ausgeführt.

Eine Schweißung der als Durchläufer ausgebildeten Kranbahn mit 24 m Stützweite erschien aus montage-technischen Erwägungen deshalb nicht zweckmäßig, weil auf der Baustelle nicht das zur Ausführung solch schwieriger Schweißungen erforderliche einheimische Personal zur Verfügung stand und die Montage dieses Werkteiles auch größtenteils in den Wintermonaten erfolgte. Die gewählte HV-Verschraubung der Kranbahnen ergab speziell in diesem Fall in Kombination mit der übrigen Schweißkonstruktion eine sehr zweckmäßige und vor allem wirtschaftliche Lösung, deren Anwendung bei ähnlichen Objekten empfohlen werden kann.

Zusammenfassend kann man mit Befriedigung behaupten, daß die Anwendung der HV-Verschraubung im Stahlbau wesentliche Vorteile in der Ausführung, Herstellung und Montage ergeben hat. Es wäre insbesondere von seiten der Montage aus zu begrüßen, wenn die HV-Verbindungen in noch größerem Maße Anwendung finden würden, da doch gerade heute – in Zukunft vielleicht noch in größerem Ausmaß – die Verkürzung der Montagezeiten einerseits für die Baufinanzierung und andererseits für die Überbrückung des Personalmangels von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Ing. Robert Leidl

Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke AG, Linz/Donau

Extracts

The actual state of theory and practical application of High Strength Friction Grip Bolts (HSFG)

by Prof. Dr. techn. H. Beer, Graz Page 1

The widespread application of HSFG-bolts has changed completely jointing methods on site. Paper gives an outline of the research work done in the field and the consequences for practical application. After a short introduction in the stress-calculation of the bolt, tests results are presented to obtain the relation between torque and angle of rotation of the nut, followed by some essential remarks about the practical application of torque by different methods and the control of the applied torque. The problem of the friction factor is treated more in detail considering all components which

may be of influence to obtain a high friction factor. A special chapter is dedicated to the behaviour of the friction connection under a great number of loading cycles coming to the conclusion that a stepwise sliding takes place only if the static slip-load is nearly achieved. The problem of fatigue life of a HSFG-joint is also revealed, as well as the compound actions between HSFG-bolts with and without hole-clearance (fitted bolts) and HSFG-bolts and welding seams. Finally the safety against slipping as well as the safety against collapses are discussed.

Requirements demanded for steel for High Strength Bolts to be used as joining elements in elevated constructional steelwork

by Dr.-Ing. H. Laizner and Dipl.-Ing. R. Schöbmann, Donawitz Page 13

The qualities of bolts used for high-strength bolt-connections are briefly discussed. In addition reference is made to the chemical composition, mechanical properties and the structure of material to be used for manufacturing of high strength bolts. Finally a view is given about the

increasing requirements resulting particularly during processing by upsetting.

Including the heat treatment of such steel qualities is briefly explained.

Strength bolts under tension stress

by Dipl.-Ing. H. Weiß and Dipl.-Ing. F. Wallner, Linz/Donau Page 18

In order to examine the influence of the number of separating joints and of the surface condition on the appearance of the XZ-diagram, tests with divided and undivided model compression pieces have been carried out.

increasing number of the separating joints between the points of application of the tensile force, the proportion of the tensile force which has to be absorbed by the bolt in addition to the prestress, and consequently the danger of undue loading of the bolt, rises.

On the basis of the test results, the following qualitative statements can be made:

Apart from this negative statement, a positive statement can also be made, namely that under the above conditions the remaining compressive force in the compressed part, and hence the bearing capacity of the friction bolt assembly, decreases more slowly.

With increasing distance between the points of application of the tensile force, with increasing roughness and unevenness of surfaces of the separating joints, with an

Tightening method and tightening equipment for High Strength Prestressed Bolts

by Dr.-Ing. W. Schmid, Wien Page 22

For applying the specified prestressing forces i. e. turning of high strength prestressed bolts the torque control system is still used in Europe, by which the nuts are being tightened with a specified moment.

and those with which the pre-set torque is achieved with a release device.

Apart from the torque wrench, mostly hydraulically operated impact tools are being used, some types of which are provided with a torque indication.

Apart from this the "turn of nut method" is also applied by which the prestressing forces are achieved by a specified turn of nut at a certain angle. For tightening, hand actuated torque wrenches are used, whereby it should be distinguished between wrenches with which through the elastic deformation of the equipment when turning the magnitude of load can be read from a scale or dial,

Calibrating units are required for continuous checking of the turning tools. They can be made thus to allow a check up of the torque applied at the drive square. For calibrating the impact tools, devices have to be used which allow inspecting of the required bolt stresses.

Use of high strength bolts for construction of structural steelwork, I and II

by Dipl.-Ing. A. Köhler, Wien, and Ing. R. Leidl, Linz/Donau Page 39

I
The high strength bolts have proved to be satisfactory as a joining element. The advantages of joints of this kind are the solid construction as well as a favourable behaviour at fatigue stresses, and the quick erection time on site.

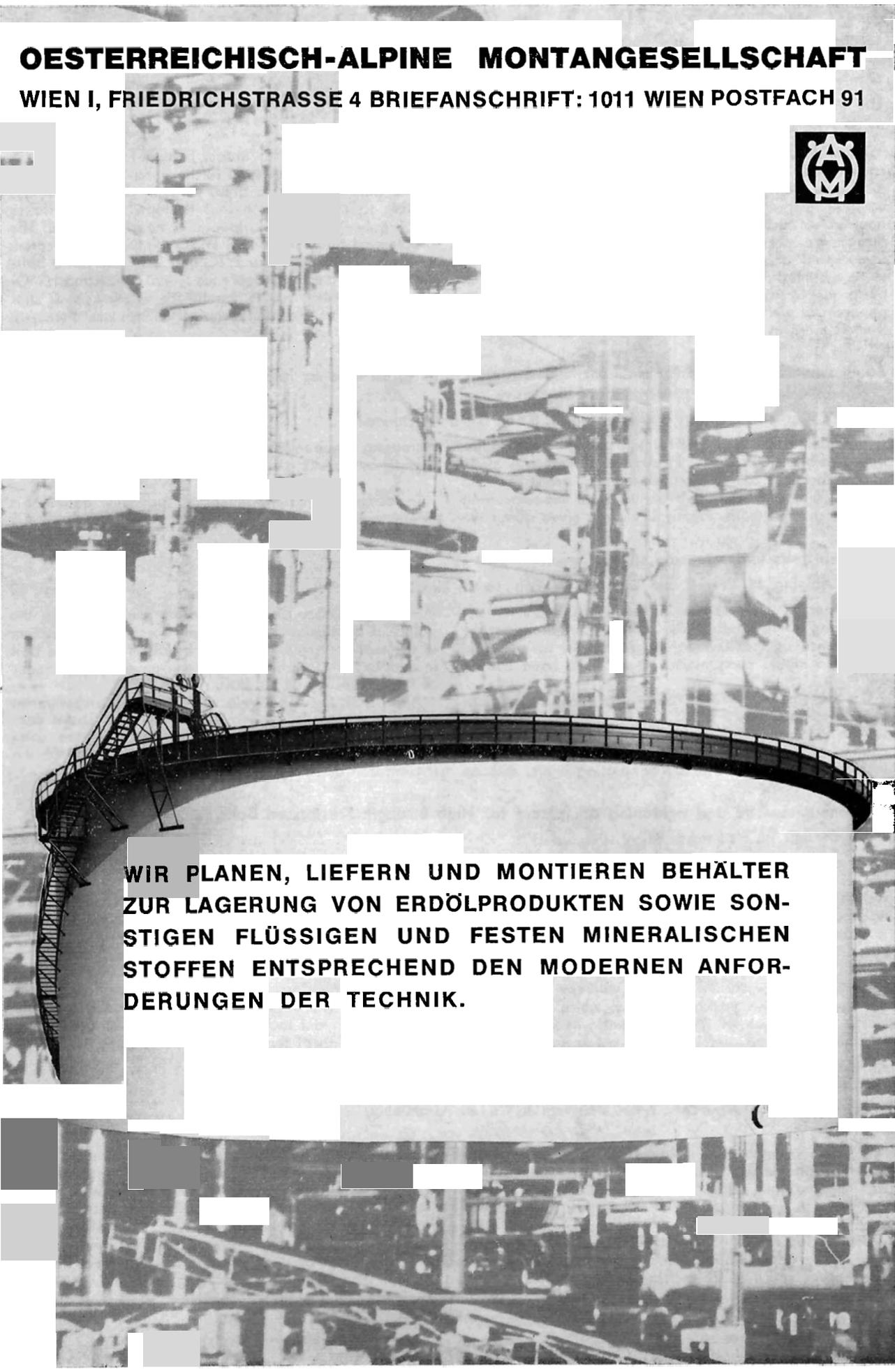
II
The advantages obtained with high strength bolt connections compared with other conventional connections in structural steelwork is demonstrated by projects carried out. The main advantage no doubt lies in the considerable shortening of the erection time.

Considering these advantages the price increase involved by flame blasting on site and tightening under a torque as specified in Austria are negligible.

If for instance the time required for rivet joints is compared with that of a statically equal high strength connection, then a saving in working time by 40-50% is obtained.

OESTERREICHISCH-ALPINE MONTANGESELLSCHAFT

WIEN I, FRIEDRICHSTRASSE 4 BRIEFANSCHRIFT: 1011 WIEN POSTFACH 91



**WIR PLANEN, LIEFERN UND MONTIEREN BEHÄLTER
ZUR LAGERUNG VON ERDÖLPRODUKTEN SOWIE SON-
STIGEN FLÜSSIGEN UND FESTEN MINERALISCHEN
STOFFEN ENTSPRECHEND DEN MODERNEN ANFOR-
DERUNGEN DER TECHNIK.**

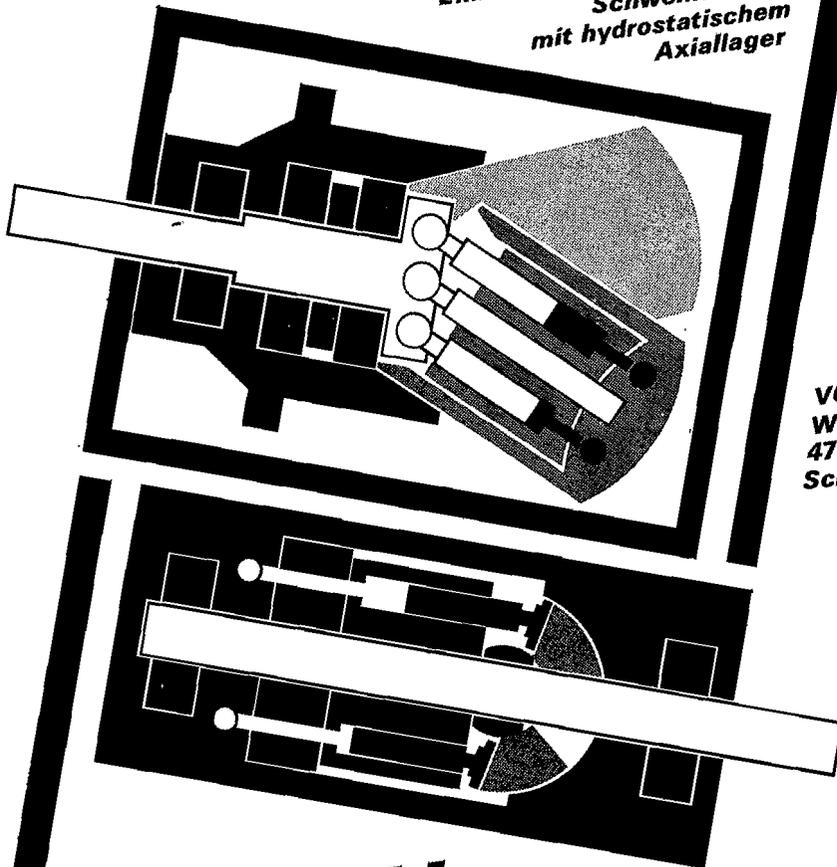
Welche HYDRO-Pumpen und -Motoren

arbeiten unter hohen Dauerdrücken
von 200–250 kp/cm²
und unter Spitzendrücken von 400–500 kp/cm²?

Kennen Sie welche?
Wir kennen welche; nämlich die unsrigen.
Wir haben zwei neue Baureihen geschaffen.
VON ROLL

VON ROLL TF-Reihe

Einheiten von 300–3000 PS
Schwenkeinheit
mit hydrostatischem
Axiallager

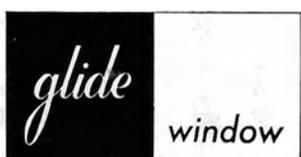


561
VON ROLL AG.
Werk Klus
4710 Klus
Schweiz

VON ROLL MK-Reihe

Einheiten von 3–300 PS
Taumelscheiben-Einheit
mit Gleitschuhen

Nach wie vor
bauen wir
unsere HT-Reihe



löst die Probleme der großflächigen Fenster in der modernen Architektur

ist durch Oberflächenveredlung korrosionsgeschützt und besitzt eine lange Lebensdauer

- verhindert durch elastische Dichtungen Zugluft und Wärmeverlust
- -Flügel laufen auf Kunststoffrollen mit oder ohne Kugellager, leicht und geräuscharm

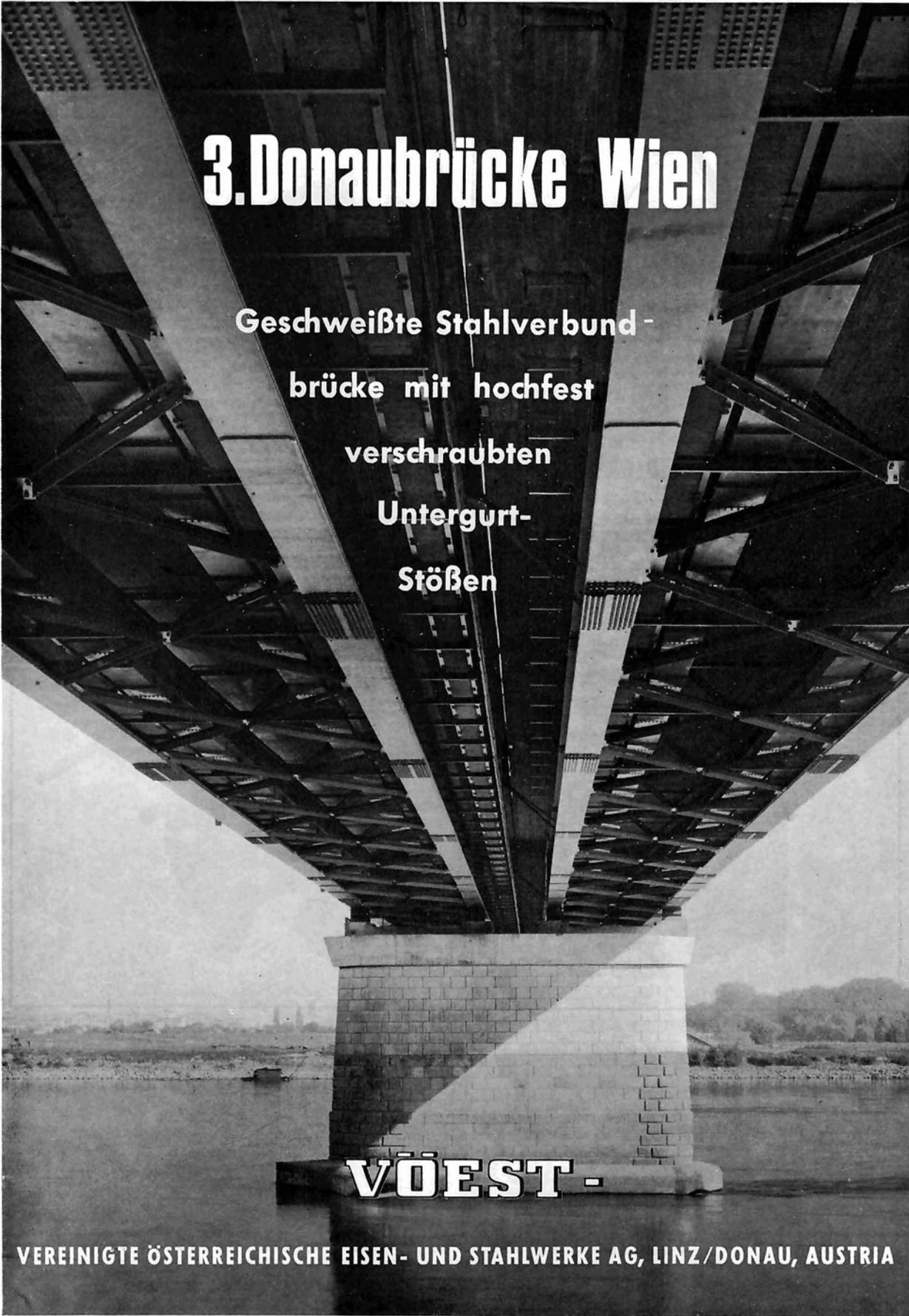
ist infolge ausgereifter Konstruktion und rationeller Bauweise immer preiswert

- -Referenzen stehen auf Anfrage zur Verfügung
- Beratung wird gern und unverbindlich übernommen

WAAGNER-BIRO

Zentrale: Margaretenstraße 70 – 1050 Wien 5
Fachabteilung Leichtbau, Telefon 57 81 37





3. Donaubrücke Wien

Geschweißte Stahlverbund -
brücke mit hochfest
verschraubten
Untergurt-
Stößen

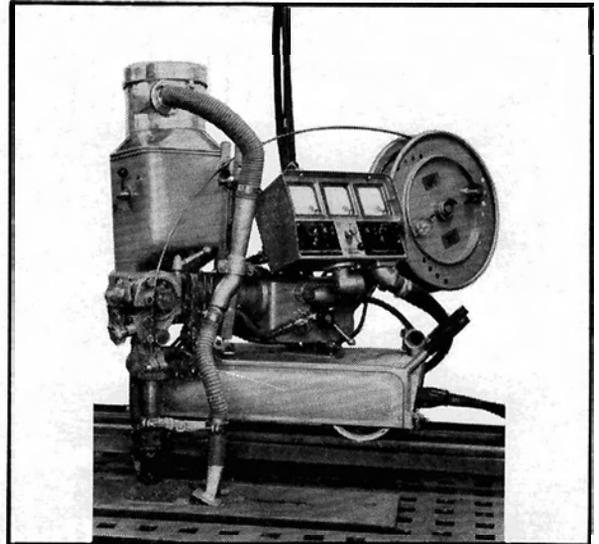
VÖEST-

VEREINIGTE ÖSTERREICHISCHE EISEN- UND STAHLWERKE AG, LINZ/DONAU, AUSTRIA

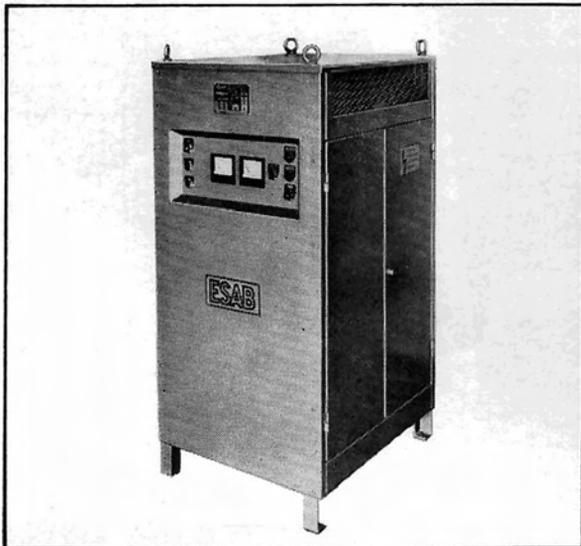
Aus unserem Erzeugungsprogramm



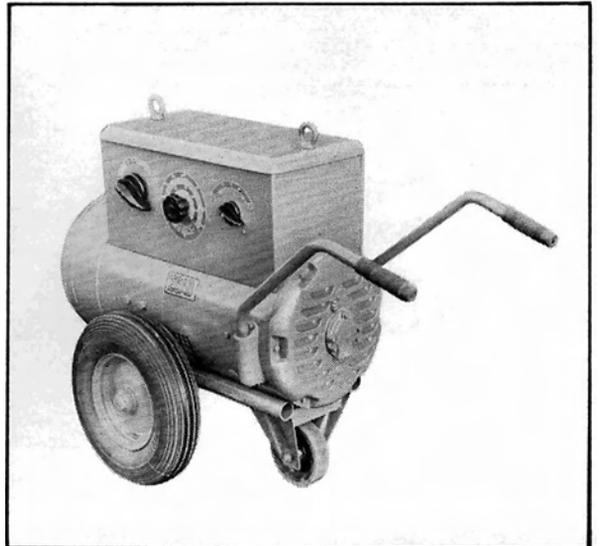
TBH-Schweißtransformatoren 250, 400 und 700. Modernste Bauform, ausgezeichnete Schweißeigenschaften.



A 6 – Automat für UP, CO₂ und Netzmantel-draht. Neu ist die hochmoderne Thyristorsteuerung.



LBF 1000 und LBF 2000. Mehrstellenschweißgleichrichter für rationelle Versorgung von vielen Schweißplätzen.



KB 375. KJELLBERG-ESAB Schweißumformer seit vielen Jahren bewährt und bestens bekannt. Oft nachgemacht – nie erreicht.



ESAB

KJELLBERG-ESAB Ges.m.b.H.

Dirmhirngasse 110, 1235 Wien-Liesing,
Tel.: (0222) 86 16 61 Δ, FS: 01-2013



2,46 m Aussendurchmesser

Dies ist das größte Timken-Kegelrollenlager. Es arbeitet im Raketenbau als Teil eines speziellen Herstellungsverfahrens. Bei einem Gewicht von 3,5 t beträgt der Außendurchmesser 2460 mm. Die betrieblichen Anforderungen verlangen eine axiale Belastbarkeit von 680 t und eine radiale von 46 t. Dieses Riesenlager beweist, daß die Abmessungen weder das Prinzip noch die Laufgenauigkeit der Kegelrollenlager beschränken. Wie bei allen anderen Millionen von Timken-Lagern bleiben die präzisen Laufeigenschaften gewährleistet. Unsere Fertigung umfaßt 35 verschiedene Typen und 11 000 Größen mit Kleinstaußendurchmesser bis zu 32 mm.

Bitte geben Sie unseren Fachingenieuren einmal Gelegenheit, Ihnen die Vorzüge von Timken-Kegelrollenlagern für Ihre besonderen Anwendungsfälle zu erklären.

Timken-Lager werden in Australien, Brasilien, England, Frankreich, Kanada, Südafrika sowie den USA hergestellt und in 116 Ländern verkauft.

Timken Rollenlager GmbH, 4 Düsseldorf-Nord, Glockenstraße 16, Telefon 44 13 41. Vertretung für Österreich: Ing. Ferdinand Birner, Wien 1, Nibelungengasse 3, Telefon 57 95 61-64; Graz, Rösselmühlgasse 13, Telefon 8 65 08; Fa. Birner & Co., Linz an der Donau, Bürgerstraße 14, Telefon 2 84 75; Salzburg, Ignaz-Harrer-Straße 32, Telefon 3 22 19, 3 14 92

SICHERHEIT DURCH PRÄZISION

BBDO CL 5-32



TIMKEN® KEGELROLLENLAGER
EINGETRAGENES WAHLENZEICHEN

O. M. MEISSL & CO.

Gesellschaft m. b. H.

Sandstrahlentrostung und Spritzmetallisierung, Technische Anstriche

Büro:
1030 WIEN
III., Marxergasse 39

Telefon 72 42 01
FS 01/3403

Werk:
KLEIN-NEUSIEDL
Fischamender Straße 38

B (B) B

BRUNNER VERZINKEREI BRÜDER BABLIK

WIEN XVIII, SCHOPENHAUERSTRASSE 36

Telefon 42 76 36 – Fernschreiber 07-4526

Feuerverzinkungen

AGA



QUALITÄTSGERÄTE
für alle Schweißverfahren

SCHWEISSGASE: Dissousgas
Sauerstoff, Argon, Mischgase

sind unentbehrliche Helfer für den Stahlbau

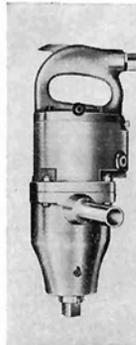
AGA · WERKE WIEN 4., Prinz Eugen-Strasse 72 - 65 66 31

**BUNDU-
HV-SCHRAUBEN
ERHÖHEN DIE
SICHERHEIT
IM STAHLBAU**



BREVILLIER-URBAN
WIEN - NEUNKIRCHEN

**Schneller
rationeller
müheloser**



Druckluft-Schlagschrauber

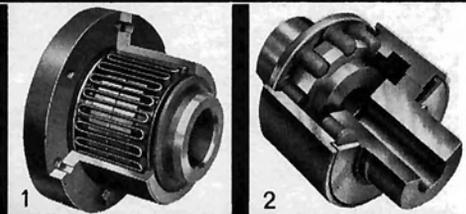
zum rationellen Anziehen und Lösen von Schrauben und Muttern. Premag bietet Ihnen 35 Schlagschraubertypen für M 6 bis M 80 und mehr Schraubengröße einschl. solche mit Drehmomentkontrolle. Bitte fordern Sie unsere Prospekte an!

PREMAG GmbH Preßluftwerkzeug- und Maschinenbau
6222 Gelsenheim Telegr.: Premag Ruf: [06722] 8344

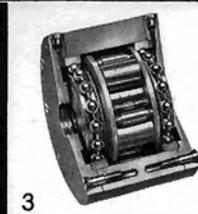
Alleinvertretung und Auslieferung für Österreich:
BLASCHKE & VAHL, Wien I, Hegelgasse 15, Telefon: 52 49 53

Unser Fertigungs-Programm

**Drehelastische
Kupplungen**

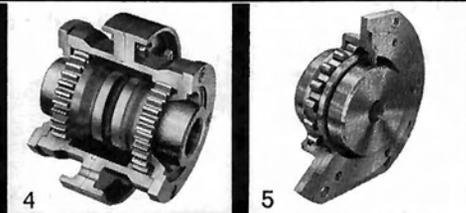


**Richtungsgeschaltete
Kupplungen**



- 1 Bibby-Kupplungen
- 2 Elastoflex-Kupplungen
- 3 Überholungskupplungen
- 4 Zahnkupplungen mit balligen Zähnen
- 5 Tonnenkupplungen Einbaugelenke

**Drehstarre
Kupplungen**



MALMEDIE

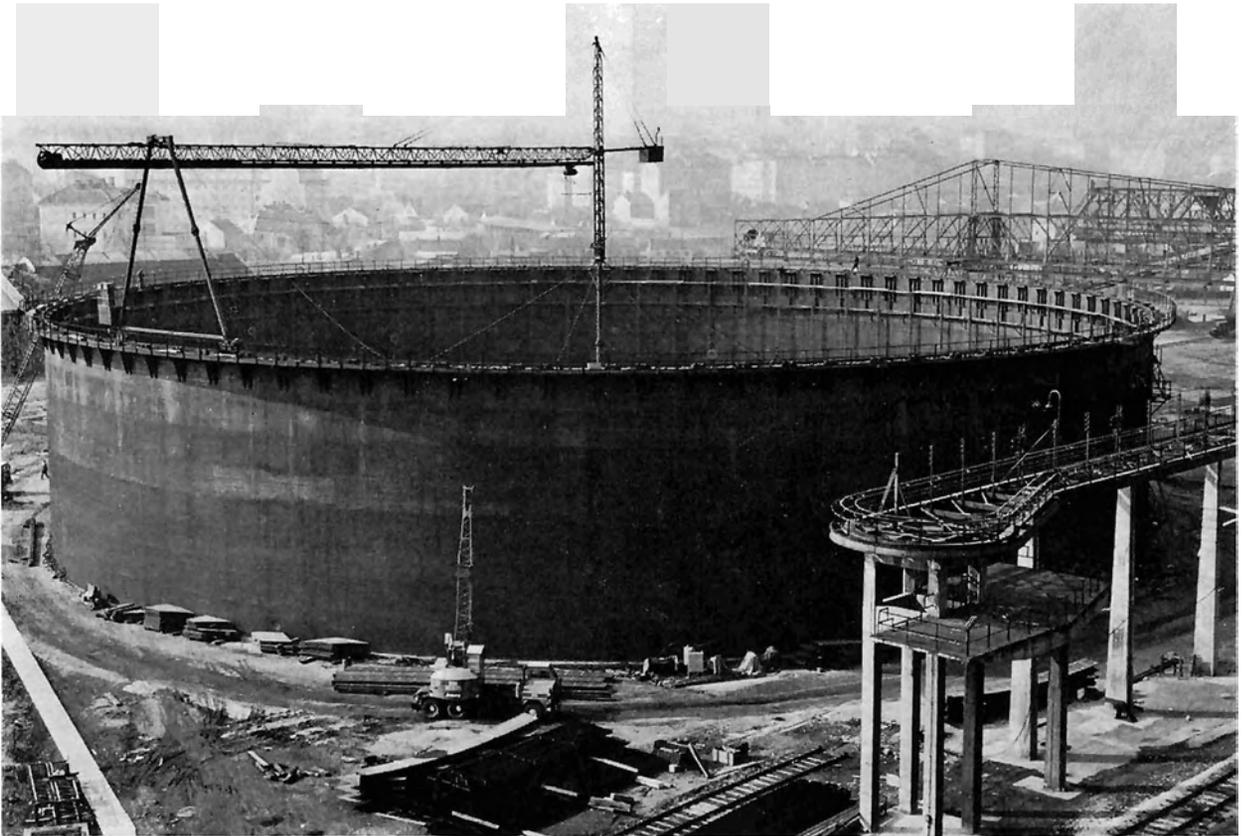


Malmedie & Co
Maschinenfabrik GmbH Postfach 5408
4 Düsseldorf Telefon 78 52 31
Königsberger Straße 87 Fernschreiber 08-582 651

Alleinvertretung für Österreich: **BLASCHKE & VAHL**, Wien I, Hegelgasse 15



Stahl- und Behälterbau



**Montage des 300.000-m³-Schraubengasbehälters
für das Gaswerk Wien-Simmering**



WIENER BRÜCKENBAU- UND EISENKONSTRUKTIONS-AG.
WIEN X, HARDTMUTHGASSE 131-135 • FERNRUF 64 36 86 • TELEX 1785



RUDOLF RENGSHAUSEN

KOMMANDITGESELLSCHAFT
METALLSPRITZTECHNIK

1034 Wien 3/40, Verlängerte Erdbergstraße 88



STAHL- UND METALLSPRITZAPPARATE / SANDSTRAHLGEBLÄSE UND -TROMMELN / TECHNISCHE BERATUNGEN / LOHNMETALLISIERUNGEN / LOHN-SANDSTRAHLARBEITEN IM WERK UND AUF BAUSTELLEN / MONTAGEN

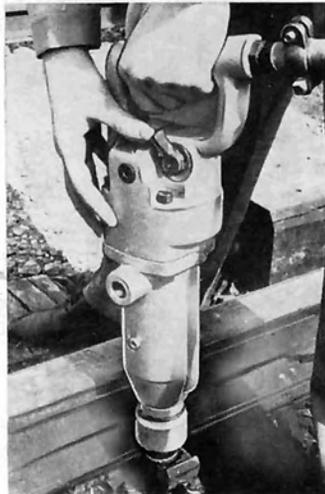
Hochwertigen Korrosionsschutz

für alle Industriebereiche bieten unsere

Spritzmetallisierungen

auch in Verbindung mit Kunstharzbefilmung

Ausführung aller einschlägigen Arbeiten in unserem Betrieb und auf Baustellen / Montagen



Atlas Copco - Schlagschrauber

bauten die Europabrücke, die Wiener Nordautobahnbrücke über die Donau und viele andere Stahlkonstruktionen in aller Welt.

Die neuen Atlas-Copco-Schlagschrauber der

SERIE 4

arbeiten mit nur 5 bewegten Teilen

und sind daher leicht, betriebssicher und einfach zu warten.

Druckluftmaschinen in aller Welt
ATLAS COPCO GES. M. B. H.
1111 Wien, Mühsangergasse
6020 Innsbruck, Egger-Lienz-Str. 1 d