Neuere Erfahrungen mit HV-Schrauben im Stahlbau

Autor(en): **Limpert, G. / Gut, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **88 (1970)**

Heft 10: **2. Sonderheft "Stahlbau in der Schweiz"**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-84446

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Neuere Erfahrungen mit HV-Schrauben im Stahlbau

DK 621.882.2:624.014.26

Von Dr.-Ing. **G. Limpert** und **H. Gut**, dipl. Ing. ETH, Brugg

Vorgespannte Stahlbauschrauben mit hoher Festigkeit werden wegen ihrer unbestreitbaren Vorzüge im Stahlbau gerne eingesetzt. Ihre heute weitverbreitete Anwendung hat jedoch verschiedene Probleme zur Folge, von denen einige nachfolgend aufgeführt und Möglichkeiten ihrer Lösung dargelegt werden. Über den heutigen Stand der europäischen und schweizerischen «Richtlinien über HV-Verbindungen im Stahlbau» wird *R. Schlaginhaufen*, dipl. Ing., in nächster Zeit an gleicher Stelle berichten.

1. Anstrich der Reibflächen mit Zinkstaubfarbe auf organischer Grundlage

Bei den seit über 15 Jahren verwendeten Verbindungen mit HV-Schrauben konnte man gelegentlich feststellen, dass die ursprünglich bis auf den blanken Stahl gereinigten Reibflächen trotz aller Abdichtungsmassnahmen zu Anrostungen neigen. Wenn auch alle bisherigen Versuche mit solchen angerosteten Verbindungen vorläufig keine Beeinträchtigung der Tragfähigkeit zeigen, so ist doch diese Tatsache für manche Bauwerke, zum Beispiel Brücken, unbefriedigend. Hinzu kommt, dass das Abdecken der Kontaktflächen während der Korrosionsschutzarbeiten im Werk kostspielig und mit grossen Umtrieben verbunden ist. Das gleiche gilt für den Schutz der rohen Flächen während des Transportes und für das Entfernen von allfällig aufgebrachten Schutzlacken, wobei im letzteren Fall, wie die Versuche zeigen, mit einer beträchtlichen Verringerung des Reibungskoeffizienten gerechnet werden muss. In der Schweiz wurden daher parallel zu ausländischen, speziell deutschen Versuchen mit Zinksilikatanstrichen auf den Reibflächen solche mit den hier üblichen Zinkstaubanstrichen mit organischen Bindemitteln durchgeführt. Das Ziel bestand darin, die Anwendung von HV-Schrauben zu vereinfachen, verbunden mit einem Korrosionsschutz der Kontaktflächen, selbst wenn dadurch eine gewisse Verminderung der Tragkraft in Kauf genommen werden muss. Die inzwischen veröffentlichten Ergebnisse eines grossen Teiles dieser Versuche [1]) zeigen, dass für die meisten handelsüblichen organischen Zinkstaubfarben mit einem reduzierten Reibungsfaktor von $\mu = 0{,}4$ gerechnet werden kann (Tabelle 1). Es ist jedoch empfehlenswert, vor der Verwendung einer neuen Zinkstaubfarbe deren Reibungskoeffizient nachzuweisen. Die bei den erwähnten Versuchen gleichfalls durchgeführten Zeitstandsuntersuchungen zeigen ausserdem, dass bei diesen organischen Zinkstaubanstrichen unter Umständen während längerer Zeit mit Verschiebungen gerechnet werden muss, bis schliesslich die Bolzen in den Löchern zum Anliegen kommen. Sind diese Deformationen nicht zulässig, so ist bei diesen Verbindungen ein gewisser Prozentsatz HV-Passschrauben vorzusehen.

Man kann also bei Stahlkonstruktionen die Kontaktflächen der HV-Schraubenverbindungen mit dem üblichen organischen Zinkstaubanstrich von 0,040 mm Dicke versehen, muss dabei lediglich die Reduktion der Tragfähigkeit um rund 20 % berücksichtigen, also entsprechend mehr Schrauben für die betreffende Verbindung vorsehen. Werden Anstrichdicken von mehr als 0,040 mm verlangt, so sind allerdings für den hierzu notwendigen zweiten Auftrag die Kontaktflächen abzudecken. Kann die Reduktion der Tragfähigkeit nicht durch Vermehrung der Schrauben ausgeglichen werden, so empfiehlt es sich in diesem Fall, den Anstrich mit einer Zinksilikatfarbe, zum Beispiel entsprechend den Lieferbedingungen (TL) Nr. 918385 der deutschen Bundesbahn auszuführen. Auf Grund der im Bericht (1) angegebenen Versuchswerte kann hier mit einem Reibwert von $\mu = 0{,}5$ gerechnet werden (Tabelle 1).

[1]) Berichte des deutschen Ausschusses für Stahlbau, Heft 25 Versuche zur Anwendung vorgespannter Schrauben im Stahlbau, IV. Teil, mit ausführlichem Literaturverzeichnis.

2. Verzinken von HV-Schrauben

Bekanntlich besteht durch das Verzinken – sei es das galvanische oder das Feuerverzinken – die Gefahr der Wasserstoffversprödung. Diese Erscheinung wirkt sich vor allem bei HV-Schrauben 10.9 nachteilig aus. Es muss daher mit der Bestellung von verzinkten HV-Schrauben verlangt werden, dass innert drei Stunden nach der Verzinkung eine thermische Nachbehandlung erfolgt.

Tabelle 1. Mittlere Reibwerte von HV-Verbindungen mit Zinkstaubanstrichen (Gleitlastversuche)

μ_{St}	Handelsname des Anstriches	$\frac{\mu_F}{\mu_{St}}$ (%)	Bemerkungen	
	Organische Bindemittel:			
0,645	Vinozink	67		
	Zinga	79		
	Hesa	59	mit Wasser übergossen	
	Imerit grau	84		
	Imerit grau	59		
0,564	Imerit grau	62		stark genarbtes Blech
	Imerit grün	61		
	Aarolack grau	71		
	Aarolack grün	71		
0,512	Imerit grau	64	mit Stahlgusskies gestrahlt	
	Imerit grün	66		
	Aarolack grau	75		
	Aarolack grün	73		
0,582	Imerit grau	74	Kontrollversuche	
	Aarolack grau	73		
0,574	Aarolack (5%)	86		
	Aarolack (5%)	71	mit Wasser übergossen	
	Aarolack (10%)	84		
	Aarolack (10%)	82	mit Wasser übergossen	
0,472	Landolt	92		
	Landolt	87	mit Wasser übergossen	
	Landolt	97	6 Wochen gelagert	
	Landolt	99	80 μm Trockenschichtdicke	
	Anorganische Bindemittel:			
0,645	Zinksilikat nach TL 918384 DBB	90		
		91	mit Wasser übergossen	
0,604		90	mit Stahlgusskies gestrahlt	

μ_{St} = Reibungskoeffizient des unbehandelten Stahles; μ_F + Reibungskoeffizient mit Farbe.

Bemerkungen:

1 Angaben in Prozent der korundgestrahlten, ungestrichenen Oberfläche als Mittelwerte von drei Versuchsstäben.
2 Stahlqualität: Feinkornstahl mit Streckgrenze 36 kp/mm².
3 Trockenschichtdicke 40 μ m.
4 HV-Schrauben M 16-10.9, Probestab 70.14, Laschen 70.10.
5 Einige Versuchskörper wurden vor dem Zusammenbau mit Wasser übergossen.
6 Alle Versuche wurden in der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Technischen Universität Karlsruhe (Prof. *Steinhardt*) in der Zeit von Herbst 1966 bis Herbst 1968 durchgeführt.

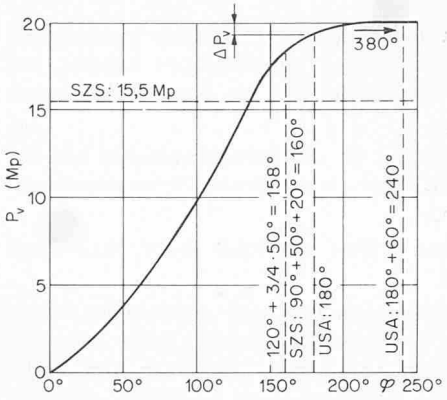

Bild 1. Vorspannkraft P_v in Abhängigkeit vom Anziehwinkel φ für die Schraube M 20 × 85; Klemmdicke t = 50 mm

Nach den SZS-Empfehlungen ergibt sich das Anziehdrehmoment nach der Formel

$$M_a = 0{,}192\ d\ P_v$$

zu 244 kpm, wobei mit $\mu = 0{,}15$ zu rechnen ist. Bei den EMPA-Versuchen wurde ein $\mu = 0{,}12$ festgestellt; damit ergibt sich mit der Formel

$$M_a = 1{,}17\ (\mu + 0{,}015)\ d\ P_v$$

ein Anziehdrehmoment von 200 kpm

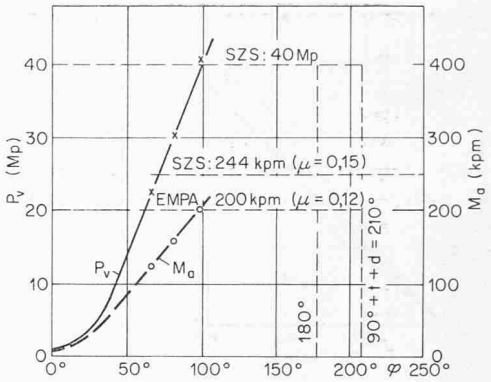

Bild 2. Anziehversuche an Kranbahnkonsolen mit 1¼"-HV-Schrauben 10 · 9, Mittelwerte von vier Schrauben, schwarz, gefettet, Klemmdicke t = 90 mm

Da beim Feuerverzinken wegen der verhältnismässig dicken Zinkauflage die Gewinde, in der Regel bei der Mutter, unterschnitten werden müssen, kann eine bis auf rund 50 % geringere Flankenüberdeckung im Gewinde entstehen, so dass dadurch der vorbestimmte Kraftverlauf Bolzen-Mutter empfindlich gestört wird und damit in festigkeitstechnischer Hinsicht die Voraussetzungen für die HV-Schrauben nicht mehr gegeben sind.

Anziehversuche mit feuerverzinkten HV-Schrauben haben ausserdem gezeigt, dass es noch aus anderen Gründen kaum möglich ist, das in den Empfehlungen vorgesehene Drehmoment in die verlangte Vorspannkraft umzusetzen. Die nach der üblichen Oxydation veränderte Zinkoberfläche weist nämlich im allgemeinen selbst bei Schmierung mit Molybdensulfit einen grösseren Reibwert als entsprechend behandelte schwarze Schrauben auf. Zudem verformt sich die Zinkschicht infolge der grossen Flächenbelastung stark plastisch, so dass sich die Gewindegänge beim Drehen verkeilen und dadurch das Bolzengewinde auf Torsion abgeschert wird, ohne dass die Schraube auch nur annähernd die verlangte Vorspannkraft erreicht hat. Versuchswerte liegen zum Teil bis zu 50 % unter dem Sollwert, wobei diese niedrigen Versuchswerte allerdings auch durch ein Abstreifen des Bolzen oder Muttergewindes infolge der erwähnten geringen Gewindeüberdeckung verursacht sein können. Feuerverzinkte HV-Schrauben kommen daher höchstens für Sonderausführungen ohne eigentliche Vorspannung in Frage.

Die anzustrebende Vorbehandlung von HV-Schrauben ist daher das galvanische Verzinken, obgleich der Einfluss der oxydierten Oberfläche und der Keilwirkung des Zinkauftrages in vermindertem Masse auch hier auftritt, so dass bei dieser Ausführungsart gleichfalls eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Grösse der erzeugten Vorspannkraft vorhanden ist. Es ist zudem empfehlenswert, HV-Schrauben nicht erst nachträglich galvanisch zu verzinken, sondern dies gleich bei der Bestellung in der Schraubenfabrik mit aufzugeben, denn nach den technischen Lieferbedingungen DIN 267 und VSM 13190 ist für das Gewinde von Stahlbauschrauben üblicherweise eine Toleranz 7H/9g (grob) vorgesehen. Eine H-Passung lässt jedoch für die Muttern nur eine galvanische Schutzschicht zu, wenn das Toleranzfeld nicht bis zur Null-Linie ausgenutzt wird. In diesem Fall sollten die Schrauben und Muttern besser mit einer Toleranz 7G/8e ausgeführt werden, um die erwähnten Nachteile beim Anziehen möglichst klein zu halten. Die Gewinde galvanisch verzinkter HV-Schrauben sind vor dem Einbau ebenfalls einzufetten.

3. Vorspannen der HV-Schrauben nach der Drehwinkelmethode

Nach den schweizerischen Empfehlungen ist es zulässig, die Vorspannung unter Zuhilfenahme eines vorgegebenen Drehwinkels aufzubringen, wie dies in den USA praktisch ausschliesslich üblich ist. Dieser Anziehdrehwinkel soll betragen: in den USA $\varphi = 180°$ für $t < 8\,d < 200$ mm, in der Schweiz, in Deutschland und in Österreich $\varphi = 90° + t + d$; der neue deutsche Vorschlag sieht vor $\varphi = 120° + \frac{3}{4}\,t$. Dabei sind t und d in mm einzusetzen.

Versuche, die in der letzten Zeit in der Schweiz, u. a. in der EMPA (Bild 1) durchgeführt wurden, ergaben jedoch, dass diese empfohlenen Anziehdrehwinkel nicht immer eine zuverlässige Vorspannung der betreffenden Schraube liefern, wobei ausserdem wegen der verschiedenen Reibungswerte und den im Kapitel 2 erläuterten Erscheinungen auch noch erhebliche Unterschiede zwischen geschmierten und nichtgeschmierten, galvanisch verzinkten und schwarzen Schrauben auftraten. Bei den EMPA-Versuchen (Bild 2) betrug der Reibungsfaktor im Gewinde 0,12, bei anderen Versuchen bis zu 0,19; den Empfehlungen liegt dagegen ein Wert von 0,15 zugrunde. Auch andere in aller Welt mit der Drehwinkelmethode durchgeführten Versuche zeigen durchwegs sehr unterschiedliche und schwer zu deutende Ergebnisse. Das liegt wohl daran, dass es bei solchen Versuchen schwierig ist, einerseits die Schraubenvorspannung wirklich einwandfrei zu messen, anderseits, bei Ausschaltung einer allfällig vorhandenen Elastizität der Prüfvorrichtung, für die Feststellung der Drehwinkel die Elastizität der zusammenspannenden Teile praxisnahe zu berücksichtigen. Die Einhaltung des Voranziehdrehmomentes, das mindestens 10 % des verlangten Drehmomentes betragen soll, ist von besonders grosser Bedeutung.

Die Drehwinkelmethode hat den unbestreitbaren Vorteil, dass bei genügend grossem Drehwinkel mit grosser Wahrscheinlichkeit die verlangte Vorspannkraft aufgebracht wird, denn die Kurve Vorspannkraft in Abhängigkeit vom Drehwinkel verläuft nach Überschreitung der Proportionalitätsgrenze immer flacher (Bild 3). Das bedeutet, dass die Vorspannkraft nur noch unwesentlich selbst bei Überschreitung des vorgegebenen Drehwinkels steigt und zwar bei einer Überschreitung, die nach den USA-Vorschriften bis 60° durchaus zulässig ist. Dagegen darf eine Unterschreitung nicht vorhanden sein. Damit befindet man sich also bei der Drehwinkelmethode auf jeden Fall auf der sicheren Seite.

Eine zusätzliche Belastung von auf diese Art angezogenen Schrauben durch Zugkräfte sollte allerdings vermie-

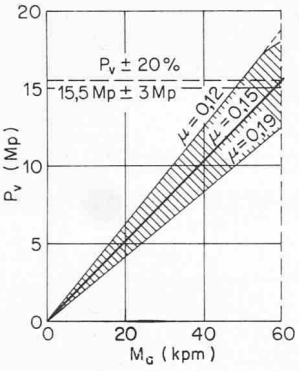

Bild 3a. Streubereich der Vorspannkraft P_v beim Anziehen nach der Drehmomenten-Methode (Schraube wie bei Bild 1)

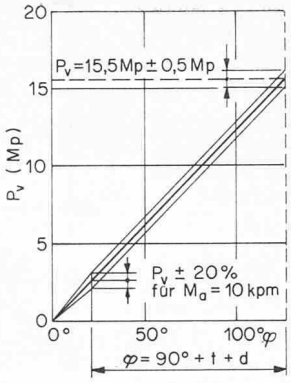

Bild 3b. Streubereich der Vorspannkraft beim Anziehen nach der Drehwinkel-Methode (Schraube wie bei Bild 1)

den werden, da bei den im Stahlbau üblichen Schraubenanschlüssen ein gewisser Anteil der Betriebslast zur Vorspannkraft hinzu kommen kann, bei elastischer Betrachtung bis zu 30 %.

Der Nachteil dieser Methode ist, dass die Drehwinkel einerseits auf der Baustelle nicht ganz einfach einzustellen sind; anderseits besteht ohne ständige Überwachung die Gefahr, dass die HV-Schrauben letzlich doch nach Gefühl angezogen werden. Es ist daher vorzuziehen, einen Schlagschrauber an einem Prüfgerät für den verlangten Drehwinkel zusätzlich 10 % fest einzustellen. Ausserdem sollten speziell bei dieser Methode folgende Montagebedingungen eingehalten werden:

- Vor dem Einbau der HV-Schrauben sind sowohl das Bolzen- als auch das Muttergewinde sorgfältig mit einem Fettlappen einzureiben (Molybden-Sulfit, kein Öl!). Gleichzeitig sind auch die Unterlagsscheibe auf der Seite, auf der die Mutter aufliegt, und die betreffende Mutternseite einzufetten.
- Vor dem Einbau sollen sämtliche Muttern probehalber auf die zugehörigen Bolzen aufgeschraubt werden, um festzustellen, ob dies leicht und bis zum Gewindeende möglich ist.
- Es ist zu kontrollieren, ob die Schraubenlöcher auf die ganze Klemmdicke einen einwandfreien Schraubendurchgang aufweisen.
- Die Kontaktflächen sollen möglichst dicht ohne Spalt aufeinanderliegen.
- Bei grösseren Materialstärken und Schraubengruppen kann durch eine geeignete Reihenfolge beim Anziehen und allenfalls durch vorgängiges Einsetzen von Hilfsschrauben das satte Aufliegen noch zusätzlich gefördert werden.

4. Dauerfestigkeit von HV-Schrauben bei Zugbeanspruchung

HV-Schrauben werden in vermehrtem Masse zur Übertragung von Zugkräften eingesetzt. Bei bestimmten Konstruktionen, wie zum Beispiel bei der Befestigung von Kranbahnkonsolen, Aufhängung von Kranbahnen an Dachbindern usw., sind diese Schrauben zudem wechselnder Belastung ausgesetzt. Diese Lastwechsel mit maximal zulässiger Belastung mögen zwar bei üblichen Kranbahnen die Zahl 100 000 nicht überschreiten. Durch Versuche in der EMPA wurde jedoch festgestellt, dass normale 10.9-Schrauben bei 43 ± 15 kg/mm² Spannung im Kernquerschnitt kaum mehr als 25 000 Lastwechsel aushalten. Man kann jedoch die Dauerfestigkeit auf über 100 000 Lastwechsel steigern, wenn man das Schraubengewinde erst nach dem Vergüten rollen lässt. Das bedingt allerdings entsprechende Mehrkosten und lässt sich nur bei kleinen Stückzahlen durchführen.

Adresse der Verfasser: Dr.-Ing. *G. Limpert* und *H. Gut*, dipl. Ing., bei Wartmann & Cie AG, 5200 Brugg.

Offener Brief an Adolf Ostertag

DK 92

Lieber alter Freund!

Wenn Sie am nächsten Freitag Ihren 75sten Geburtstag begehen, werden Sie aus Nah und Fern sicherlich eine grosse Zahl von guten Wünschen für Gesundheit und Wohlergehen erhalten, denen ich mich von ganzem Herzen anschliesse.

Viele – und ich mit ihnen – haben aber heute das Bedürfnis, Ihnen vor allem Dank zu sagen. Denn immer und immer wieder haben Sie, ausser der hervorragenden Betätigung als Ingenieur in Ihrem Fachgebiete, auf die menschlich ethischen Werte hingewiesen, die auch in unserem scheinbar so ausschliesslich nüchternen und materiell ausgerichteten Tun beschlossen sind. In einer Zeit, die in Weltbild und Lebensauffassung alles Mass und Ziel verloren zu haben scheint und deren Menschen wir in Verwirrung gestürzt sehen, tut die Besinnung auf die wunderbare, alles ausgleichende Verbindung von Realem und Idealem besonders not. Sei's der Bettag, sei's der Jahreswechsel oder sonst ein Anlass – immer wieder sind Sie es, der zu jener Besinnung aufruft.

So mögen Sie als weiser Mentor noch manches Jahr weiterwirken zu Ihrer eigenen Freude und zum Troste aller, denen Sie nahe stehen. Und zu diesen gehört auch in freundschaftlicher Verbundenheit Ihr

Baden, 1. März 1970 *K. Sachs*

Dank sagen auch wir unserem Seniorchef dafür, dass er, bei kaum verminderter Arbeitszeit, immer noch täglich mitwirkt an der Gestaltung unserer SBZ, vom Grundsätzlichen bis zum letzten Detail wachen Geistes und mit ganzem Herzen.

Das Team der SBZ, geordnet nach Dienstalter: *Werner Jegher, Erwin Strehler, Hilde Bertschi, Gertrud Würth, Gaudenz Risch, Werner Imholz, Max Künzler, Gertrud Schenk.*

Ernst Göhner 70 Jahre

DK 92

Wie im letzten Heft bereits mitgeteilt, wurde Ernst Göhner, Bürger von Zürich, am 28. Februar 1900 geboren. Er war das fünfte von sechs Kindern des Schreinermeisters Gottlieb Göhner-Schwenninger. Sein Vater starb 1920. Sein Sohn Ernst, der kurz zuvor die Schreinerlehre beendigt hatte, übernahm erst 20jährig das Einzelunternehmen, das damals sechs Arbeiter beschäftigte.

Schon bald erwies der blutjunge Unternehmer eine ungewöhnliche Weitsicht und Initiative. Dafür zeugte schon die Einführung einer beschränkten Zahl von Fensterformen