

**Günther Valtinat**

## **Anziehverhalten hochtemperaturverzinkter, hochfester Schrauben**

Bericht Nr. 101  
des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V.

Sonderdruck aus TECHNISCHE RUNDSCHAU 78 (1986) 12, S. 62/67

Über die Ergebnisse von Anziehversuchen an hochtemperaturverzinkten, hochfesten Stahlbauschrauben der Festigkeitsklasse 10.9 hat die «Technische Rundschau» schon berichtet [1]. Mittlerweile wurden weitergehende Versuche in bezug auf die «Herstellerstreuung» durchgeführt. Diese Untersuchungen erfolgten mit Schrauben verschiedener Herkunft sowohl hinsichtlich des Grundmaterials als auch der Hochtemperaturverzinkung.

# Anziehverhalten hochtemperaturverzinkter, hochfester Schrauben

Von Günther Valtinat

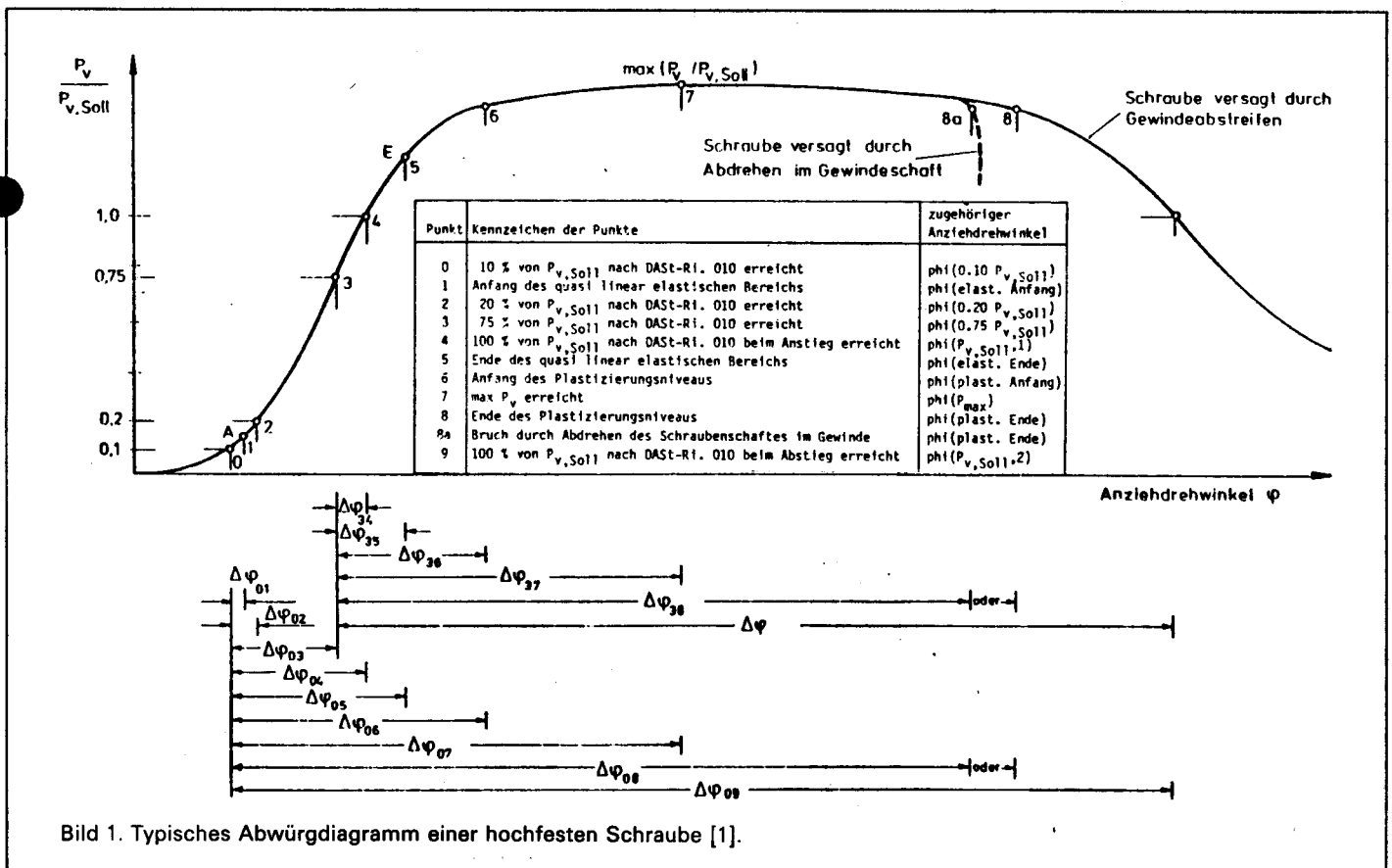
Prof. Dr.-Ing. GÜNTHER VALTINAT, Technische Universität Hamburg-Harburg. Die Betreuung des hier dargestellten Forschungsvorhabens lag beim Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. (GAV), Düsseldorf, die Finanzierung erfolgte durch den Bun-

desminister für Wirtschaft (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AIF), Köln. Die Auswertungen des Datenmaterials erfolgten im Rechenzentrum der Universität Karlsruhe.

Entwicklung, Vor- und Nachteile der Hochtemperaturverzinkung von hochfesten 10.9-Schrauben, DIN 6914 bis 6918, wurden in [1] dargelegt. Die gleichmäßigere Schichtdicke dieser Verfahrenstechnik erlaubt ein relativ genaues Einhalten diesbezüglicher Forderungen, so daß die großzügigen Überschnitte nach den ISO-Dokumenten TC2/WG9 im Interesse eines gleichartigen Einsatzes und einer ebensolchen Ausnutzung wie schwarze HV-Schrauben entfallen könnten.

Die in [1] beschriebenen wirtschaftlichen Vorteile, aber auch die Gefahren der Hochtemperaturverzinkung für die Festigkeitskennwerte führten zu sieben Fragestellungen, deren Lösung in der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe und im Institut für Werkstoffkunde der Technischen Hochschule Darmstadt erarbeitet wurde; [1] bis [5]. Diese Aussagen bezogen sich im wesentlichen auf einen Hersteller von Schrauben und einen Verzinkereibetrieb. Die vorliegende Arbeit beantwortet folgende Fragen:

- Welche Anziehdrehmoment-Anziehdrehwinkel-Vorspannkraft-Beziehung und welche zugehörige Streuungen stellen sich in Abwürgversuchen an hochtemperaturverzinkten, hochfesten Schrauben verschiedener Her-



steller und verschiedener Verzinkereibetriebe heraus?

- Können die Anziehvorschriften nach DIN 18 800, Teil 7, die für schwarze und normaltemperaturverzinkte HV-Schrauben gültig sind, allgemein auch auf hochtemperaturverzinkte, hochfeste Schrauben angewendet werden, ohne daß Abstriche in den übertragbaren Gleitlasten gemacht werden müssen?
- Bleibt die Schmierung mit  $\text{MoS}_2$  im Gewinde und in der Fuge zwischen den bewegten Teilen (im allgemeinen Mutter/Scheibe) optimal?

## Versuchsmaterial

Das Versuchsmaterial wurde etwa zu gleichen Anteilen von den deutschen Schraubenherstellern Peiner Maschinen- und Schraubenwerke AG, Peine, und August Friedberg, Nieten- und Schraubenfabrik GmbH, Gelsenkirchen, zur Verfügung gestellt. Als Verzinkereibetriebe waren die Firmen Wirtz und Co., Gelsenkirchen, Niedax-Werke GmbH, Linz/Rhein, und die HAKU-Werke, Braunschweig, beteiligt.

Insgesamt standen die Versuchsstücke gemäß Tabelle zur Verfügung. Dabei handelte es sich um Schrauben mit verschiedenen Durchmessern und Längen, jedoch mit dem Ziel, von beiden Schraubenherstellern möglichst etwa gleiche Typen zu haben. Die ungeschwärzten Vergleichsschrauben der Firma Friedberg sind auch exakt das Vormaterial für die feuerverzinkten Schrauben dieser Firma; sie waren nach dem Anlaßprozeß besonders behandelt worden, um eine Oberfläche zu schaffen, die eine äußerst kurze Beizzeit zur Vorbereitung der Verzinkung benötigt. Die Vergleichsversuche wurden dennoch gefahren, obwohl feststeht, daß Schrauben mit solchen Oberflächen nie zum Einsatz kommen.

Die Schmierung erfolgte bei allen Schrauben durch  $\text{MoS}_2$  (Molykote), und zwar durch Einsprühen des Schraubengewindes und jener Scheibe, auf der gedreht wird (Mutterseite).

## Forschungsziel und Versuchsdurchführung

Das Forschungsziel ist die Ermittlung des Anziehdrehmoment-Anziehdrehwinkel-Vorspannkraft-Verhaltens mit seinen Mittelwerten, Standardabweichungen und Fraktilwerten, und zwar zunächst für die Einzelfabrikate und dann für alle Fabrikate gemeinsam.

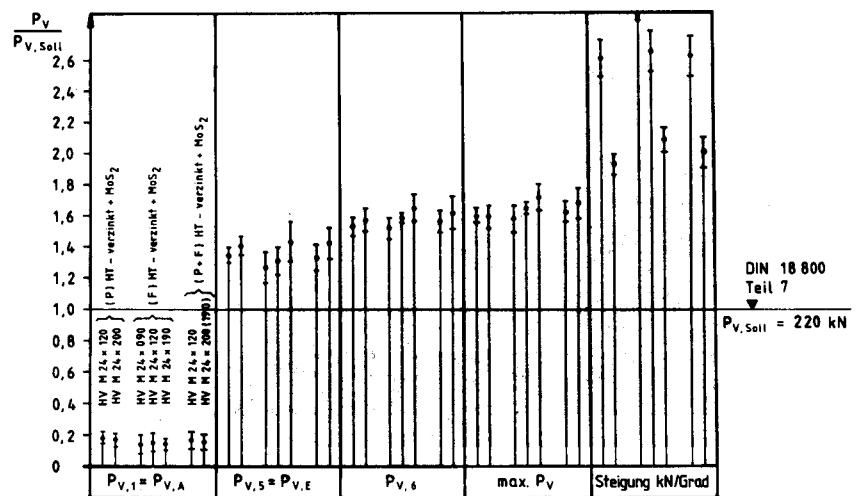


Bild 2. Vorspannkraft  $P_V$  (Schrauben HV M24, hochtemperaturverzinkt).

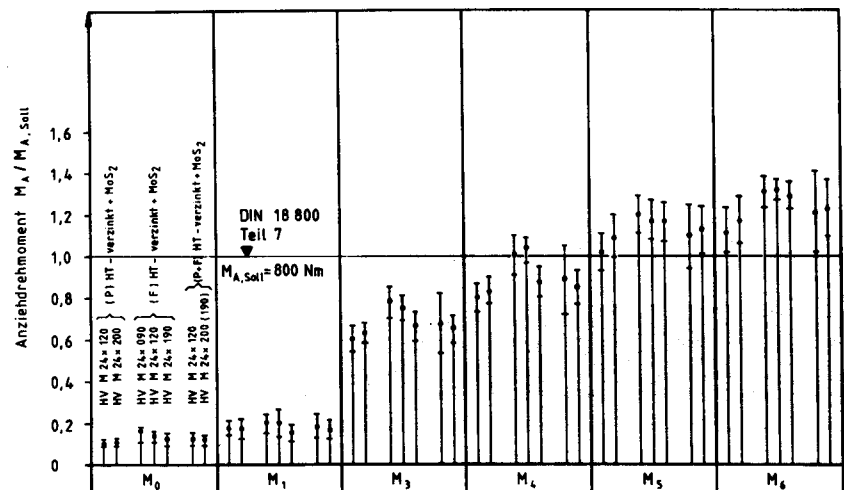


Bild 3. Anziehdrehmoment  $M_A$  (Schrauben HV M24, hochtemperaturverzinkt).

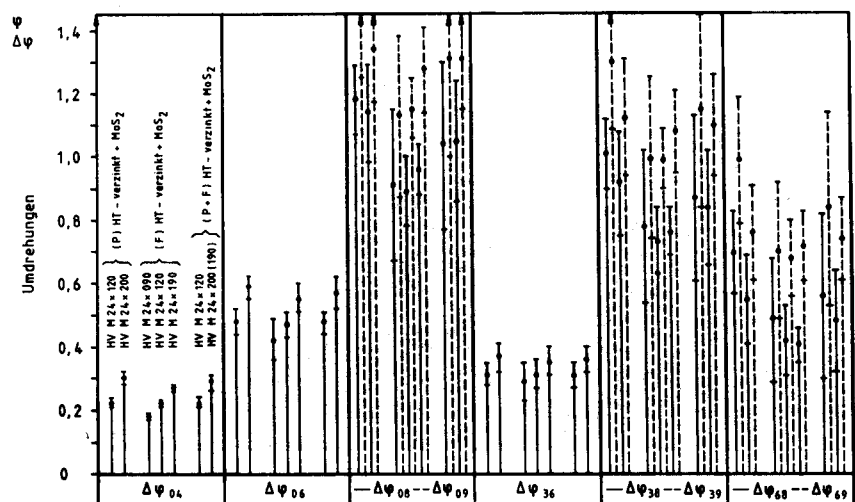


Bild 4. Anziehdrehwinkel  $\phi$ ,  $\Delta\phi$  (Schrauben HV M24, hochtemperaturverzinkt).

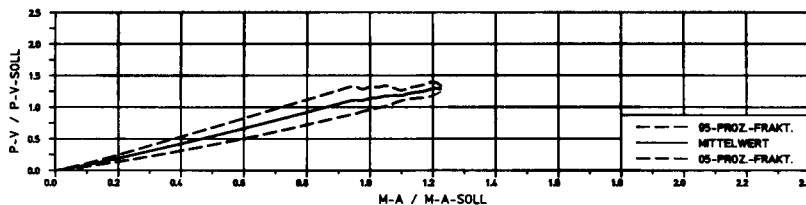
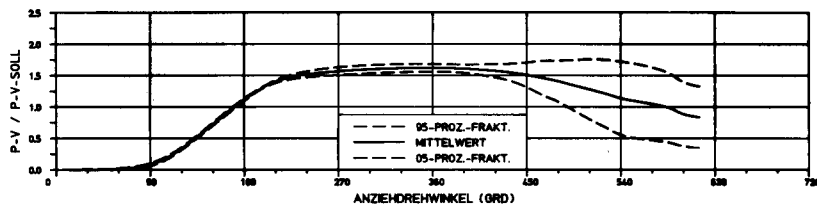


Bild 5. Anziehrehwinkel und Anziehrehmoment; Schrauben HV M24 X 120, 10.9, hochtemperaturverzinkt + MoS<sub>2</sub>-Mutter, (Peine/Friedberg). Soll-P<sub>V</sub> = 220 kN, Soll-M<sub>A</sub> = 80 kNcm.

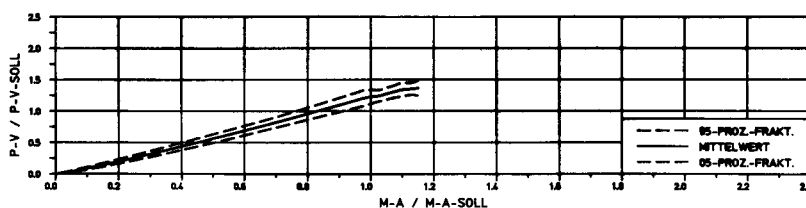
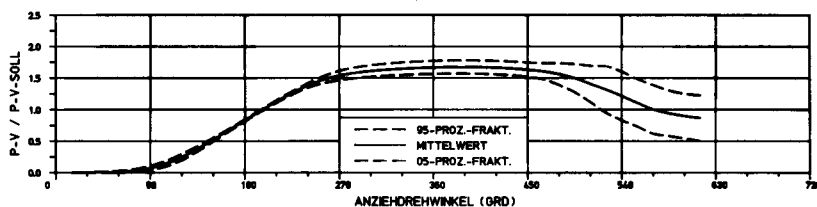


Bild 6. Anziehrehwinkel und Anziehrehmoment; Schrauben HV M24 X 200, 10.9, hochtemperaturverzinkt + MoS<sub>2</sub>-Mutter (Peine/Friedberg). Soll-P<sub>V</sub> = 220 kN, Soll-M<sub>A</sub> = 80 kNcm.

Die Ausrichtung des Forschungsziels auf den Stahlbau hin wurde in [1] begründet. Die Versuchsdurchführung sowie die Meßdatenaufnahme und -verarbeitung wurden in [1] und [2] detailliert beschrieben. Am Output (Plot-Diagramme) konnten zwei verschiedene Versagenszustände unterschieden werden:

- Schraube versagt durch Abdrehen im Gewindeschäft
- Schraube versagt durch Gewindeabstreifen

Zukünftig wird angestrebt, neben dem Wertepaar M<sub>A</sub> und P<sub>V</sub> für bestimmte Schritte  $\Delta\phi$  des Umdrehungswinkels auch die Aufteilung des Anziehmoments auf den Anteil, der Torsion in der Schraube hervorruft, und jenen, der durch das Reibmoment Mutter/Unterlegscheibe abgezweigt wird und in das Blechpaket geht, zu verfolgen.

## Versuchsergebnisse

Anhand Bild 1, dem typischen Abwürgediagramm einer hochfesten Schraube, kann die  $\phi$ -P<sub>V</sub>-Beziehung in vier Bereiche eingeteilt werden:

- **Bereich 1:** nichtlineares Verhalten bis zum satten Anliegen aller verspannten Teile.
- **Bereich 2:** lineares Verhalten zwischen Anziehrehwinkel  $\phi$  und der Vorspannkraft P<sub>V</sub>, Anfangs- und Endpunkt (linearer Bereich).
- **Bereich 3:** horizontales Plateau (plastischer Bereich) mit zugehöriger Drehwinkelreserve.
- **Bereich 4:** Versagensbereich, in dem P<sub>V</sub> abfällt.

Hieraus können die Kenndaten für das Anziehen mit dem Drehmomentverfahren und für jenes mit dem Drehwinkelverfahren ermittelt werden. Ferner kön-

nen Tragfähigkeitsreserven gegenüber der Soll-Vorspannung nach DIN 18 000 und plastische Reserven beim Anziehen erkannt werden. Man kann das unterschiedliche Anziehverhalten von schwarzer und von HT-verzinkter HV-Schraube bei ein und derselben Schmierung feststellen.

Stellvertretend für alle anderen Schraubendurchmesser und -längen zeigt Bild 2 hier für HV M24 x 120 und HV M24 x 200 in hochtemperaturverzinkter Ausführung die Vorspannkraften, die an einzelnen Markierungspunkten des Bildes 1 erreicht werden, und zwar für die Einzelfabrikate und gemeinsam über alle Fabrikate. Bild 3 stellt jene Anziehrehmomente dar, die erforderlich sind, um die Vorspannkraften bei den verschiedenen Markierungspunkten zu erreichen. Entsprechend gibt Bild 4 die jeweiligen Weiterziehwinkel an. Abgesehen von geringen Schwankungen kann man sagen, daß die Streuungen der Produkte beider Hersteller ungefähr gleich sind und die Mittelwerte nur geringfügig schwanken.

Mit dem Soll-Anziehmoment von M<sub>A</sub> erreicht man teilweise das Ende des linear elastischen Anziehbereichs (Punkt 5) mit Vorspannkraften, die im Mittel 20 % über dem Soll-Wert von P<sub>V</sub> = 220 kN für M24 liegen. Zu Beginn

Versuchsmaterial: hochtemperaturverzinkte, hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9.

Schraubenabmessungen HVM	Stückzahl			Oberflächenzustand
	Peine	Friedberg	gesamt	
16 x 80	10	—	10	s
16 x 85	—	10	10	us
16 x 80	10	—	20	HT
16 x 85	—	10	—	—
16 x 120	10	—	10	s
16 x 120	—	10	10	us
16 x 120	10	10	20	HT
20 x 80	10	—	10	s
20 x 80	—	10	10	us
20 x 80	10	10	20	HT
20 x 120	10	—	10	s
20 x 120	—	10	10	us
20 x 120	10	10	20	HT
24 x 120	10	—	10	s
24 x 120	—	10	10	us
24 x 120	10	10	20	HT
24 x 200	10	—	10	s
24 x 190	—	10	10	us
24 x 200	10	—	20	HT
24 x 190	—	10	—	—
30 x 100	10	—	10	s
30 x 100	—	10	10	us
30 x 100	10	10	20	HT
insgesamt	140	140	280	

Anmerkungen: s = schwarz, us = ungeschwärzt, HT = hochtemperaturverzinkt. Sämtliche Schrauben beziehungsweise Muttern waren mit Molybdändisulfid (MoS<sub>2</sub>) geschmiert.

des plastischen Bereichs (Punkt 6) hat man etwa 50 % höhere Vorspannkkräfte gegenüber dem Soll-Wert. Diese Überhöhung der erreichbaren Vorspannkkräfte hängt auch wesentlich von den Festigkeitswerten des Schraubenmaterials ab, aber etwa 25 bis 40 % werden in der Regel immer erreicht. Dieser Zustand ist jedoch nicht gezielt mit dem Drehmomentverfahren zu erreichen, sondern nur mit dem Drehwinkelverfahren. Dieser Sachverhalt kann aus den Bildern 5 und 6, die hinsichtlich der Prüfstücke mit den Bildern 2 bis 4 korrespondieren, entnommen werden. Die  $M_A$ - $P_V$ -Beziehung endet hier.

Mit der bezogenen Darstellung des Bildes 7 wird das zusammengefaßte Ergebnis über alle Versuche dieses Programms dargestellt. Man erkennt, daß die oben gemachten Aussagen hiernach auch verallgemeinert gelten und daß die in [1] gezogenen Folgerungen bestätigt wurden.

## Schlußfolgerungen

Hochtemperaturverzinkte HV-Schrauben zeigen nach diesen Untersuchungen weitgehend das gleiche Anziehverhalten wie normaltemperaturverzinkte. Sie können demnach gemäß DIN 18 800, Teil 7, Tabellen 1 und 2 sowie Abschnitt 3.3.3.2, vorgespannt werden. Die Überprüfung kann nach dieser Norm, Abschnitt 3.3.3.3, erfolgen. Die Vorschriften DIN 18 800, Teil 1, Abschnitte 2.3.2 bis 2.3.4, müssen beachtet werden. Die geforderte  $\text{MoS}_2$ -Schmierung ist bei Schrauben von deutschen Herstellern grundsätzlich durch Tauchen der Mutter in  $\text{MoS}_2$  beziehungsweise durch andersartiges Benetzen mit  $\text{MoS}_2$  aufgebracht. Nochmaliges Schmieren mit  $\text{MoS}_2$  ist nicht erwünscht; es kann bei dann vorhandenem Überangebot zu Veränderungen im Anziehverhalten führen, insbesondere zu einer ungewollten, weiteren Reibwertminderung, wodurch bei Aufbringen der Soll-Anzieh-

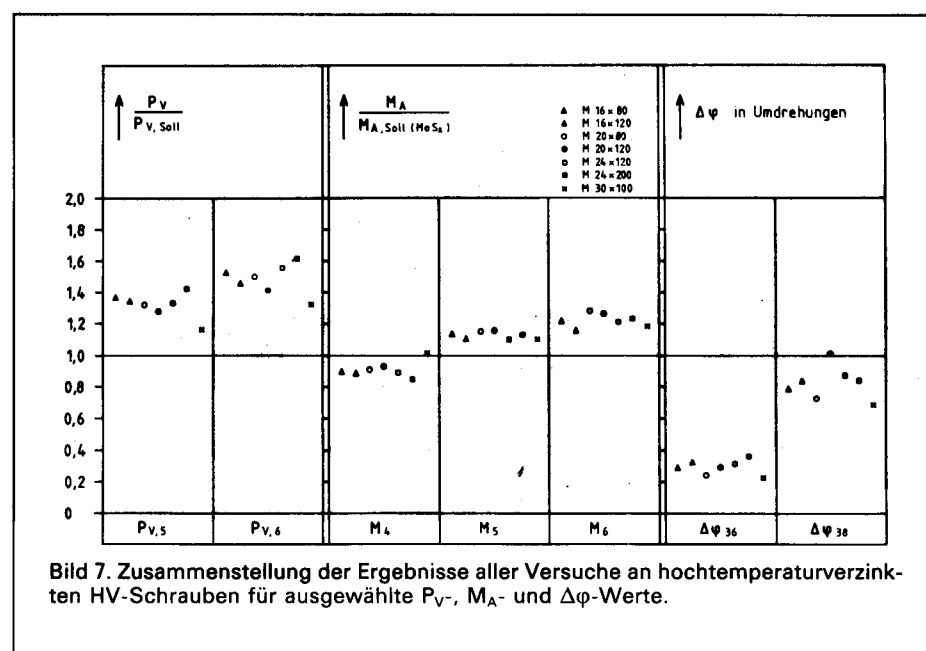


Bild 7. Zusammenstellung der Ergebnisse aller Versuche an hochtemperaturverzinkten HV-Schrauben für ausgewählte  $P_V$ -,  $M_A$ - und  $\Delta\phi$ -Werte.

momente Überdrehen erfolgen kann. Zusätzliches Schmieren mit Öl oder Graphit hat in Testversuchen zu einer Verschlechterung des Reibverhaltens und damit des Anziehverhaltens geführt.

Erfahrungsgemäß nimmt die genannte werkseitig vorgenommene Schmierung der Muttern auch bei mehrjährigem Lagern in den Lieferkartons keinen Schaden, vermutlich weil  $\text{MoS}_2$  ein Feststoffschmiermittel ist.

Hochtemperaturverzinkte HV-Schrauben können vom Laien nur schwer von normaltemperaturverzinkten unterschieden werden. Wenn auch die Forderung, daß Schraube, Mutter und Scheiben vom gleichen Hersteller stammen müssen, erfüllt ist, so könnten die Einzelteile doch bei unterschiedlicher Temperatur verzinkt worden sein. Eine Mischung solcher Teile kann meines Erachtens keinen negativen Einfluß auf das Anziehverhalten haben, da das Muttergewinde durch Nachschneiden

nach dem Verzinken in jedem Fall blank ist. [1] [5] [6]

## Literatur

- 1 Valtinat G.: Anziehverhalten hochtemperaturverzinkter, hochfester Stahlbauschrauben. Technische Rundschau Nr. 4, 1985, erschienen als Bericht Nr. 96 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V. (GAV), Düsseldorf.
- 2 Valtinat G., Frey P.: Abwürguntersuchungen an hochfesten Schrauben der Festigkeitsklasse 12.9 in feuerverzinkt und schwarzer Ausführung. Berichte der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe. 4. Folge, Heft 8, Karlsruhe 1983 (Bericht Nr. 89 des GAV, Düsseldorf).
- 3 Kloos K.-H., Schneider W.: Untersuchungen zur Anwendung feuerverzinkter HV-Schrauben der Festigkeitsklasse 12.9. VDI-Z. 125 (1983), Nr. 19.
- 4 Kloos K.-H.: Hochtemperaturverzinkung von 10.9-Schrauben/Teil I: Mechanische Eigenschaften. Forschungsbericht über das AIF-Programm Nr. 5228/I.
- 5 Kloos K.-H., Kaiser B., Schneider W., Landgrebe R.: Festigkeitsverhalten feuerverzinkter HV-Schrauben (Festigkeitsklasse 10.9) bei Anwendung der Hochtemperaturverzinkung. Schlußbericht über das AIF-Forschungsvorhaben Nr. 5228 I, Darmstadt, Oktober 1984.