

Günther Valtinat und Manfred Wilhelm

Vergleich des Last-Verschiebungs-Verhaltens und der Traglast von Schraubenverbindungen mit gestanzten und gebohrten Löchern in zugbeanspruchten, feuerverzinkten Bauteilen

Bericht Nr. 129
des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V.
Forschungsvorhaben GAV-Nr. FD 20

alle
wenn
teile
aus dem
reichenden
weiterung auf
teilen ohne

Günther Valtinat und Manfred Wilhelm

Vergleich des Last-Verschiebungs-Verhaltens und der Traglast von Schraubenverbindungen mit gestanzten und gebohrten Löchern in zugbeanspruchten, feuerverzinkten Bauteilen

Bericht Nr. 129
des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V.
Forschungsvorhaben GAV-Nr. FD 20

Summary

In bolted shear connections according to DIN 18 800 part 1 (Nov. 90) it is allowed to make use of the ultimate strength in the net section if the holes are drilled, this is not allowed in the case of punched holes. In the paper no. 119 of the GAV we have reported about tests on connections with hot dip galvanized members with punched holes. This paper now shows the comparison between punched holes and drilled holes. The results show that there is no need for any restrictions.

Zusammenfassung

In Schraubenverbindungen darf nach DIN 18 800 Teil 1 (Nov. 90) die Tragfähigkeit im Nettoquerschnitt in Anlehnung an die Zugfestigkeit des Materials nur dann ausgenutzt werden, wenn die Schraubenlöcher gebohrt sind; dies gilt nicht für Bauteile mit gestanzten Löchern. Mit dem Versuchsprogramm aus dem Bericht Nr. 119 und mit den hier vorgelegten vergleichenden Tests konnte nachgewiesen werden, daß eine Erweiterung auf gestanzte Schraubenlöcher in feuerverzinkten Bauteilen ohne Einschränkung möglich ist.

1 Ausgangssituation und Ziel der Untersuchungen

Die neue Stahlbaunorm DIN 18 800 Teil 1 läßt im Element (742) und gemäß Gl. (28) die Ausnutzung des Nettoquerschnitts von Bauteilen mit gebohrten Löchern über die Streckgrenze hinaus nach Maßgabe der Zugfestigkeit zu. Ausgeschlossen von dieser erhöhten Ausnutzung sind damit Bauteile mit gestanzten Schraubenlöchern, weil die Aufhärtung und mögliche Anrisse am

Lochrand durch den Stanzvorgang die Duktilität des Nettoquerschnitts und ebenfalls das Lochleibungstragverhalten negativ beeinflussen können. Da das Stanzen wirtschaftlicher ist als das Bohren, wird man es in der Praxis bei bestimmten Bauteilabmessungen weitestmöglich einsetzen wollen.

Im Rahmen von zwei durchgeführten Forschungsprojekten wurde der Einfluß des Stanzens bei unbehandelten und bei feuerverzinkten Stahlbauteilen untersucht. An den nichtverzinkten Bauteilen konnte gemeinsam mit dem Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig ein Tragverhalten nachgewiesen werden /1,2/, das für Schraubenverbindungen mit gestanzten Schraubenlöchern unter vorwiegend ruhender Belastung keinerlei Einschränkungen hinsichtlich Tragkapazität und Duktilität erfordert. Über die Ergebnisse an entsprechenden feuerverzinkten Bauteilen wurde in /3/ und /4/ berichtet. Hier nun wird der Vergleich zu feuerverzinkten Bauteilen mit gebohrten Löchern vorgelegt.

Zielpunkte des Vergleichs sind entsprechende Aussagen über

- die Tragkapazität und
- die Duktilität

von Schraubenverbindungen mit feuerverzinkten Bauteilen mit gestanzten und mit gebohrten Schraubenlöchern. Diese sollten sowohl für Verbindungen mit

- Versagen im Nettoquerschnitt also auch mit
- Versagen durch Überschreitung der Lochleibungsfestigkeit gemacht werden. Damit waren Variationen der Randabstände e_2 (= Randabstand rechtwinklig zur Krafrichtung) und e_1 (= Randabstand in Krafrichtung) erforderlich.

2 Ausbildung der Versuchskörper

Alle experimentellen Untersuchungen wurden an zweiseitigen Einschraubenanschlüssen gemäß Bild 1 durchgeführt. Die geometrischen Einflußgrößen wurden entsprechend der folgenden Zusammenstellung variiert:

Lochsch
schnitt
beim

Bohr
loch
beim

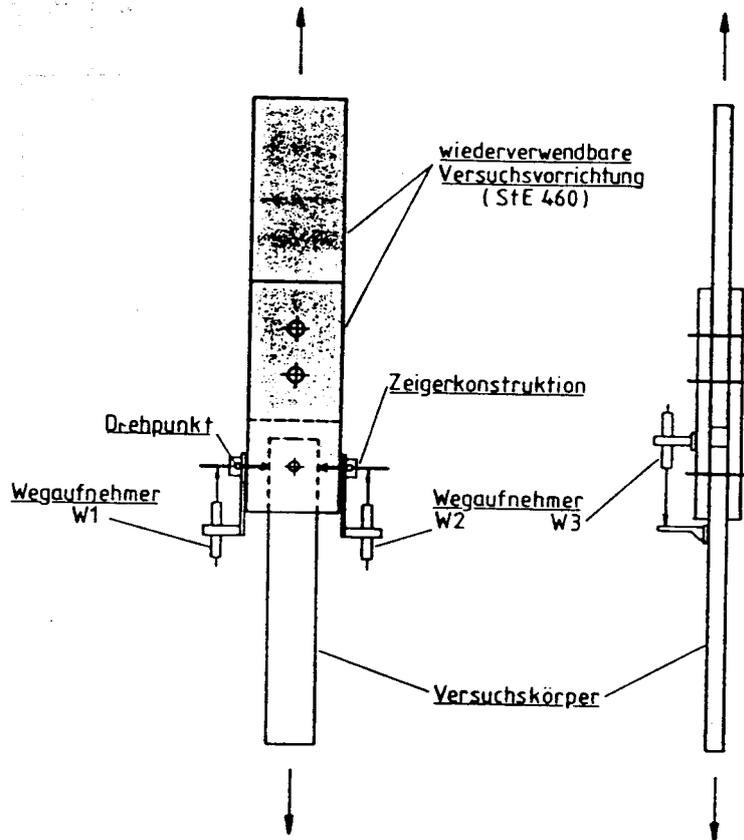


Bild 2: Versuchseinrichtung, Prüfkörper, Verschiebungsmeßeinrichtung

Der Vollständigkeit halber sei hier erwähnt, daß zur exakten Auswertung die Probengeometrie genau ausgemessen und die Festigkeitskennwerte des Probenmaterials aus dem vorherigen Programm übernommen wurden. Die Durchführung der Versuche erfolgte mit einer konstanten Kolbengeschwindigkeit von 2 mm/min weggeregelt. Vor Erreichen der Traglast wurde bei den meisten Versuchen eine ca. 10-minütige Haltepause mit konstant gehaltenem Verschiebungsweg eingelegt, um den sich einstellenden Lastabfall zu bestimmen. Anschließend wurde der Versuch mit konstanter Verschiebungsgeschwindigkeit fortgesetzt, bis die Traglast eindeutig durch Abfall der Kolbenkraft erreicht war.

3 Ergebnisse

Die Traglast ist durch eine der 3 Versagensarten bestimmt

- Nettoquerschnittsversagen
- Versagen durch Überschreitung der Lochleibungsfestigkeit (Schubbruch oder Biegebruch)
- Abscheren der Schraube.

Welches Versagen eintritt, wird durch die Randabstände e_1 und e_2 und durch die Festigkeiten bestimmt; es ist jeweils durch den Kennbuchstaben in der letzten Spalte der Tabelle 1 angegeben. Die Abhängigkeit von den Randabständen ist für gebohrte Löcher im Bild 3a und vergleichsweise für gestanzte Löcher im Bild 3b dargestellt (Bezugswert ist der Lochdurchmesser d_L). Es zeigt sich anhand der eingetragenen Symbole, daß in beiden Fällen unterhalb einer Blechbreite von

$$b = 2 \cdot e_2 \leq e_1 + d_L$$

das Nettoquerschnittsversagen maßgebend wird.

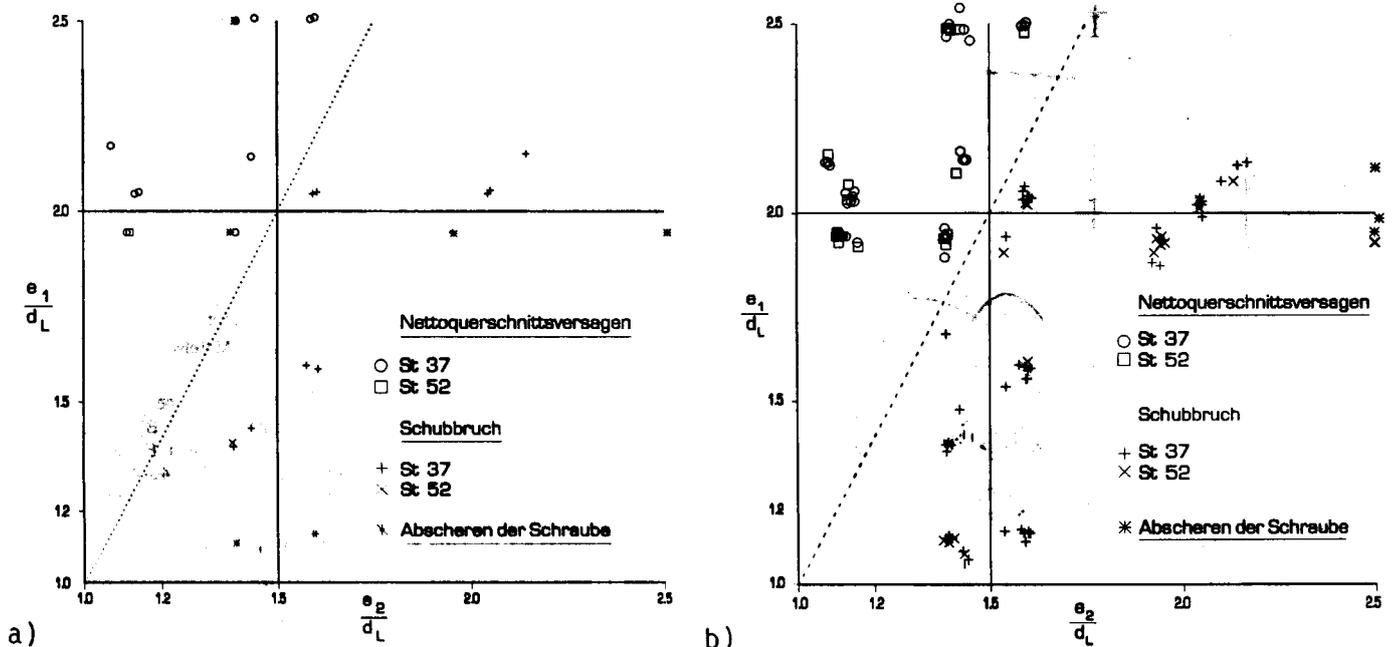


Bild 3: Versagensarten, abhängig von den Randabständen

- a) gebohrte Löcher
- b) gestanzte Löcher

In der Tabelle 1, Anlage 1 sind für alle Versuche die ausgemessenen Geometrien, die Festigkeitswerte aus Zugversuchen (obere Streckgrenze R_{eH} , Zugfestigkeit R_m), die Versagenslasten im Versuch P_{Vers} und die Versagensarten zusammengefaßt.

In den Bildern 4 a bis e werden stellvertretend für die anderen Ergebnisse die Last-Verschiebungs-Verläufe von 3 Versuchskörpern aus St 37 mit 16 mm Stabblechdicke, Schrauben HV M 20 und Lochdurchmesser $d_L = 22$ mm (Bilder 4a - c) sowie von 2 Versuchskörpern aus St 52 mit 16 mm Stabblechdicke, HV-Schrauben M 16 und Lochdurchmesser 18 mm (Bilder 4 d, e) dargestellt. Vergleichsweise sind die entsprechenden Verläufe für solche Verbindungen mit gestanzten Löchern dargestellt, diese bleiben speziell bei schmalen Prüfkörpern mit Nettoquerschnittsversagen deutlich zurück. Die Auswahl soll Regel- und Extremausführungen der Randabstände gemäß folgender Tabelle 4 (Bilder 4 a - e) abdecken:

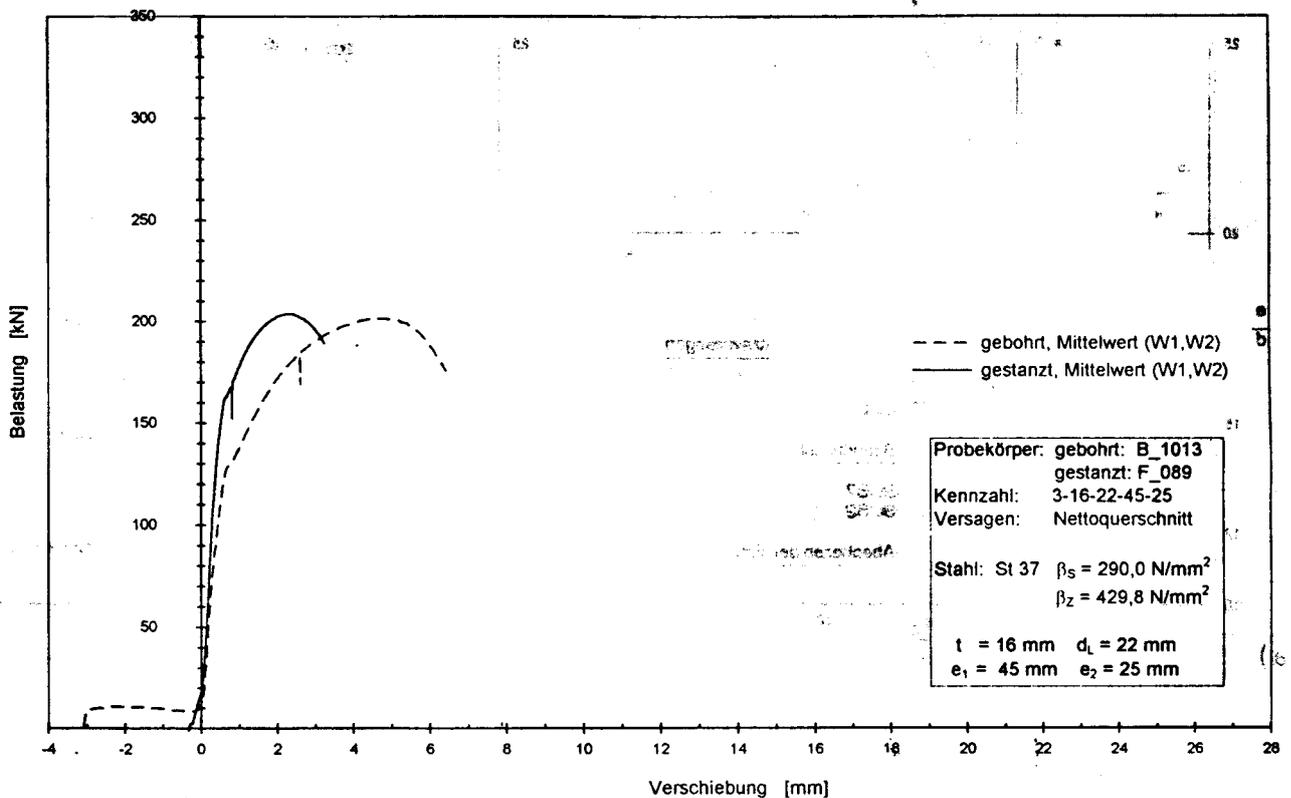


Bild 4a: Last-Verschiebungs-Verläufe für den Versuchskörper mit $e_1 = 45$ mm (= Regel) und $e_2 = 25$ mm (< Regel)

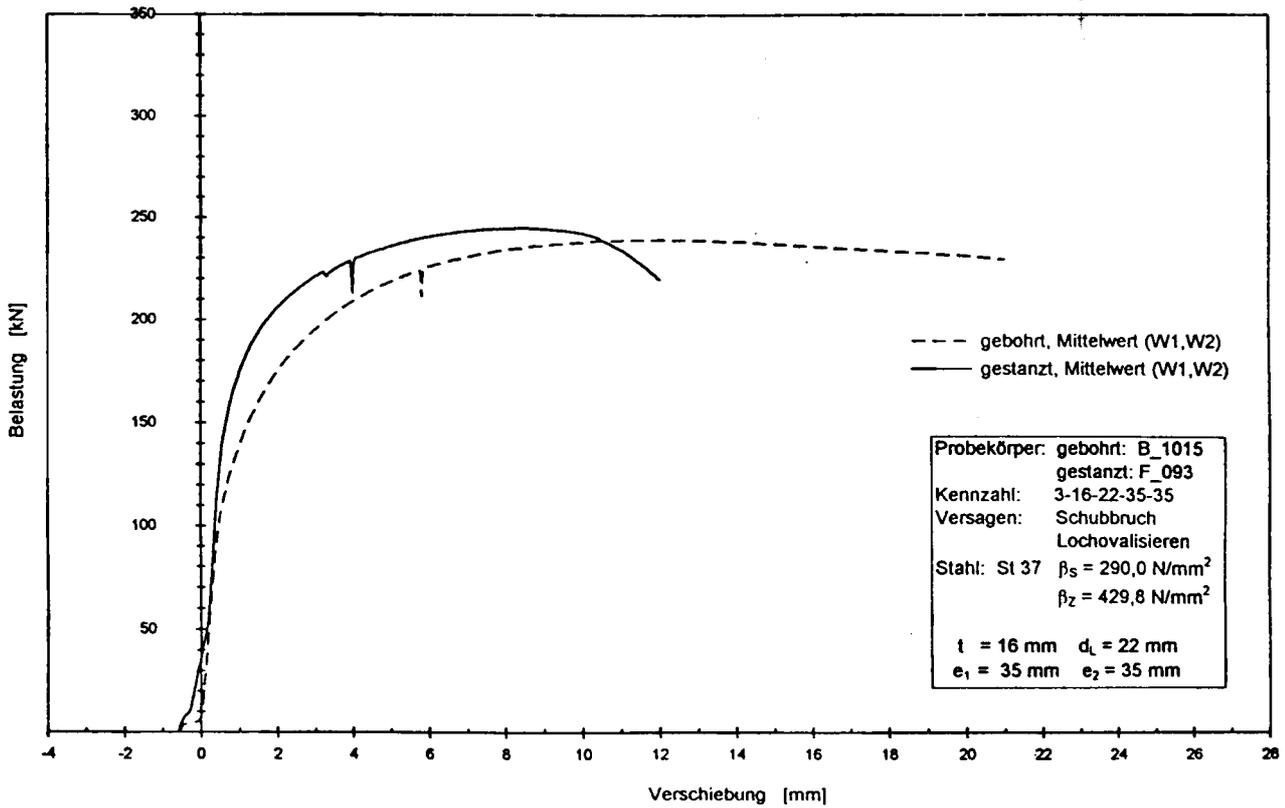


Bild 4b: Last-Verschiebungs-Verläufe für den Versuchskörper mit $e_1 = 35 \text{ mm}$ ($<$ Regel) und $e_2 = 35 \text{ mm}$ (= Regel)

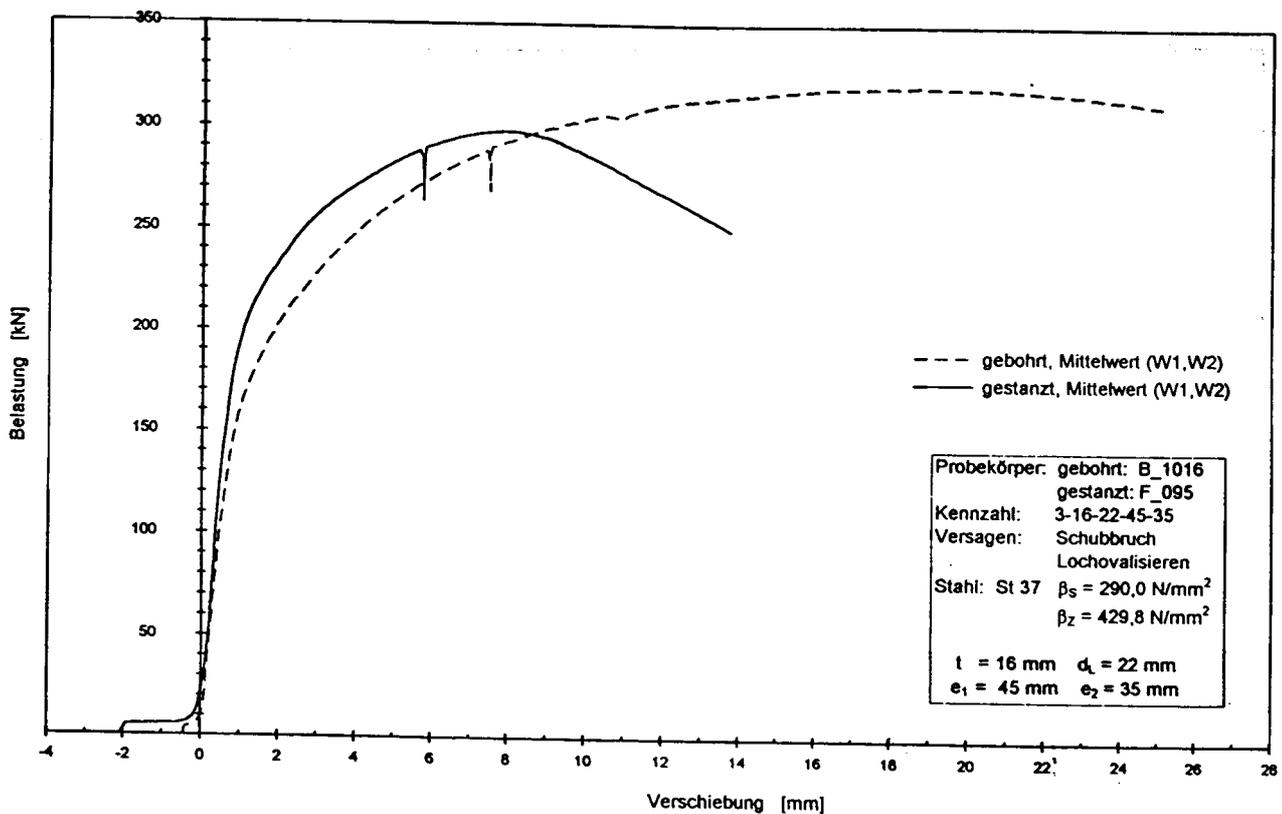


Bild 4c: Last-Verschiebungs-Verläufe für den Versuchskörper mit $e_1 = 45 \text{ mm}$ (= Regel) und $e_2 = 35 \text{ mm}$ (= Regel)

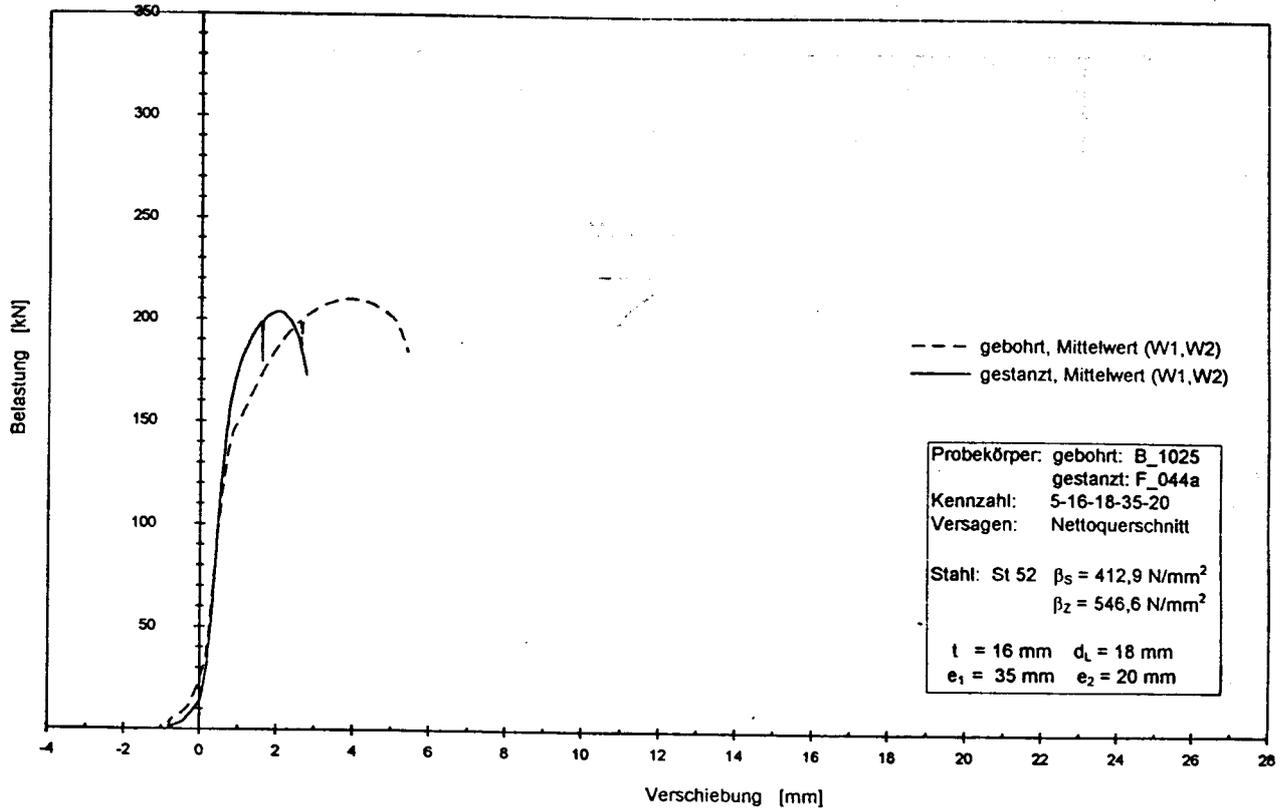


Bild 4d: Last-Verschiebungs-Verläufe für den Versuchskörper mit $e_1 = 35 \text{ mm}$ (= Regel) und $e_2 = 20 \text{ mm}$ (< Regel)

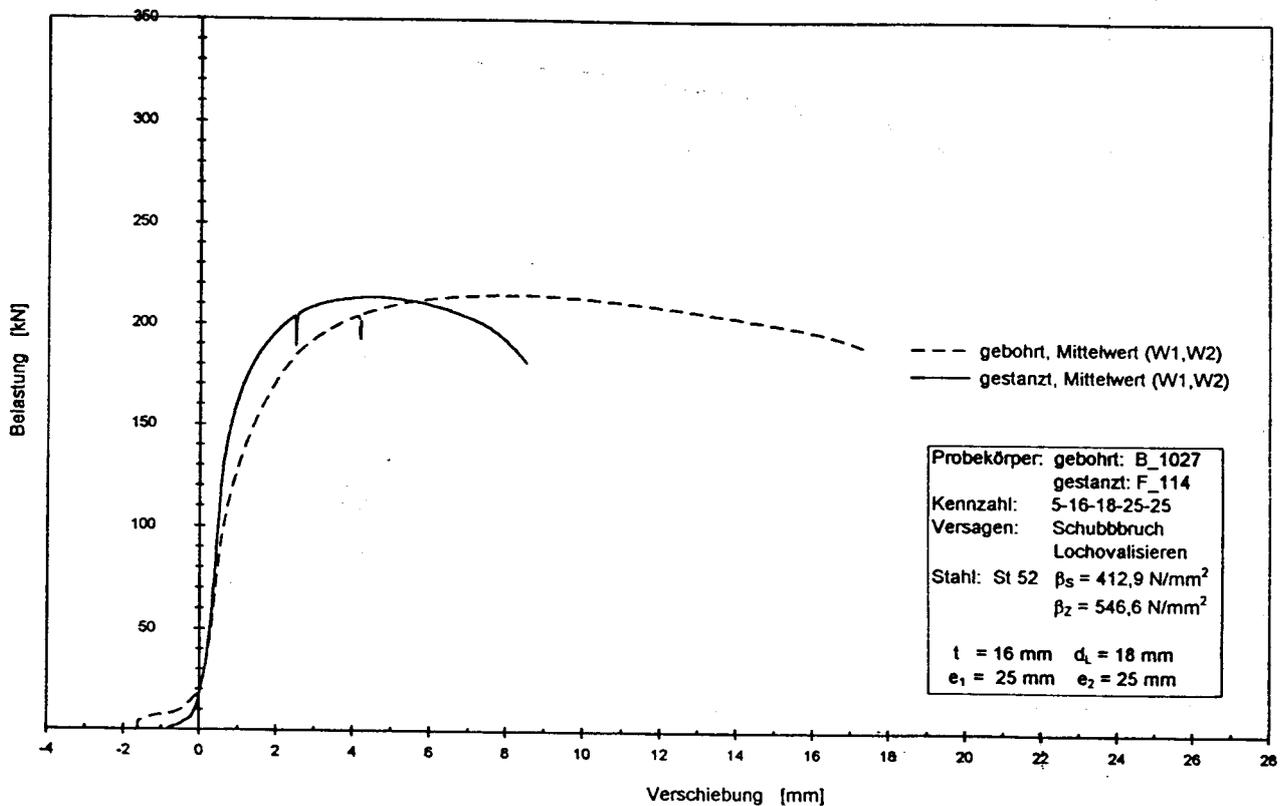


Bild 4e: Last-Verschiebungs-Verläufe für den Versuchskörper mit $e_1 = 25 \text{ mm}$ (< Regel) und $e_2 = 25 \text{ mm}$ (= Regel)

Tabelle 4: Randabstände und Verschiebung bei Maximallast

| Nr | Bild Nr | e_1 mm | Aus- füh- rung | e_2 mm | Aus- füh- rung | Verschiebg. W1,W2 bei Maximallast mm |
|----|---------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|--|
| 1 | 4a | $45=2,0d_L$ | =Regel | $25=1,1d_L$ | <Regel | ca. 5 |
| 2 | 4b | $35=1,6d_L$ | <Regel | $35=1,6d_L$ | =Regel | ca. 12 |
| 3 | 4c | $45=2,0d_L$ | =Regel | $35=1,6d_L$ | =Regel | ca. 19 |
| 4 | 4d | $35=1,9d_L$ | =Regel | $20=1,1d_L$ | <Regel | ca. 3,5 |
| 5 | 4e | $25=1,4d_L$ | <Regel | $25=1,4d_L$ | =Regel | ca. 8 |

Es ist erkennbar, daß immer dann, wenn die Abstände kleiner als die Regelausführungen ($e_2 = 1,5 d_L$) sind (Nettoquerschnittsversagen), die zur Maximallast gehörenden Verschiebungswege W1, W2 relativ klein sind, daß dagegen immer, wenn der Schubbruch durch Lochovalisierung auftritt (Bilder 4 b, c und e) die Verschiebungswege relativ groß sind; Anhaltswerte sind in der obigen Zusammenstellung enthalten.

4 Rechenmodell

Für die Versagensformen Nettoquerschnittsversagen und Lochleibungsversagen (Schubbruch) können mit Hilfe einfacher Formeln die Traglasten der Versuche abgeschätzt werden

- Nettoquerschnittsversagen

$$P_{\text{Theo}} = A_{\text{Netto}} \cdot R_m \quad (1)$$

$$A_{\text{Netto}} = t \cdot \Sigma a_2 \quad \text{oder}$$

$$A_{\text{Netto}} = t \cdot 2 \cdot \min a_2$$

(Bei zentrischem Schraubenloch sind beide Formeln für A_{Netto} identisch, bei exzentrischem Schraubenloch liefert der zweitgenannte Nettoquerschnitt kleinere Traglasten)

- Lochleibungsversagen (Schubbruch)

$$P_{\text{Theo}} = t(a_1 + d/2)R_m \quad (2)$$

Das Versagen der Schrauben durch Abscheren (3 Versuche) wurde hier nicht weiter verfolgt.

Ein statistischer Vergleich, getrennt nach den zwei Versagensarten, ist in den Tabellen 5a und b zusammengestellt.

Tabelle 5a: Nettoquerschnittsversagen

| Oberfläche | Stahlgüte | Mittelwert | Standardabweichung |
|---------------------------|-----------|------------|--------------------|
| feuerverzinkt gebohrt | St 37 | 1,064 | 0,022 |
| feuerverzinkt gestanzt | St 37 | 1,025 | 0,050 |

Tabelle 5b: Lochleibungsversagen
(Schubbruch)

| Oberfläche | Stahlgüte | Mittelwert | Standardabweichung |
|---------------------------|-----------|------------|--------------------|
| feuerverzinkt gebohrt | St 37 | 1,033 | 0,017 |
| | St 52 | 0,994 | 0,015 |
| feuerverzinkt gestanzt | St 37 | 1,042 | 0,042 |
| | St 52 | 0,978 | 0,021 |

Das Verhältnis von experimenteller Traglast zu theoretischer Traglast $P_{\text{Vers}}/P_{\text{Theo}}$ zeigt unabhängig von der Versagensart und unabhängig davon, ob die Löcher gebohrt oder gestanzt sind, daß die Rechenmodelle die wahre Tragfähigkeit gut abschätzen, das heißt, das Verhältnis $R_{\text{Vers}}/R_{\text{Theo}}$ liegt nahe bei 1.0. Es ist zu verzeichnen, daß bei den Versuchen mit Stahl St 52 der Quotient $P_{\text{Vers}}/P_{\text{Theo}}$ durchweg niedriger liegt (ca. 4 bis 6 %) als bei Stahl St 37.

5 Vergleich mit Normen

Entsprechend DIN 18 800 Teil 1, Ausgabe Nov. 1990 wird das Nettoquerschnittsversagen durch folgende Formeln abgedeckt:

$$P_{DIN} = A_{Netto} \cdot f_{u,k} / (1,25 \cdot \gamma_M) \quad \text{für gebohrte Löcher} \quad (3)$$

$$P_{DIN} = A_{Netto} \cdot f_{y,k} / \gamma_M \quad \text{für gestanzte Löcher} \quad (4)$$

$f_{u,k}$ = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit

$f_{y,k}$ = charakteristischer Wert der Streckgrenze

$$\gamma_M = 1,1.$$

Nach Auswertung des Quotienten P_{Vers}/P_{DIN} liegen die im Versuch erreichten Tragfähigkeiten um etwa 30 bis 40 % über der mit Gl. 3 und um etwa 40 bis 50 % über der mit Gl. 4 ermittelten Traglast.

Das Versagen des Bleches durch Überwinden der Lochleibungs-
festigkeit (Schubbruch) wird in der DIN 18 800 Teil 1 mit der
Lochleibungsformel abgedeckt:

$$P_{DIN} = \alpha_1 \cdot t \cdot d \cdot f_{y,k} / \gamma_M \quad (5)$$

α_1 = Formbeiwert, abhängig von e_1 und e_2

Bei dieser Versagensform wurden im Versuch bis zu doppelt so große Tragfähigkeiten erreicht, wie mit Gl. 5 berechnet. In dem Bild 5 sind die im Versuch erreichten Schubbruchlasten bezogen auf den Wert R_{eH} für die beiden Stahlsorten St 37 und St 52 mit unterschiedlichen Symbolen eingetragen. Aus den Versuchswerten wurden für die Stahlsorte St 37 die Regressionsgerade berechnet.

$$\text{St 37: } P / (t \cdot d \cdot R_{eH}) = 1,705 e_1 / d_L + 0,128$$

Die entsprechende Gerade für gestanzte Löcher nach /4/ weicht hiervon in den extremen Lagen um ± 7 % ab. Zum Vergleich sind entsprechende Geraden nach mehreren Normen mit aufgenommen:

1. Alte DIN 18 800 März 1981

Diese Norm basiert noch auf dem $zul\sigma$ -Konzept, aber der Quotient $zul\sigma_1/zul\sigma$ liefert einen dem Traglastniveau adäquaten Vergleichswert.

2. Neue DIN 18 800 Teil 1 Nov. 1990

Die Tragfähigkeit wird nach Gl. 5 bestimmt. Wie die Versuchsergebnisse zeigen, hat der Randabstand e_2 keinen signifikanten Einfluß; Versuchskörper mit kleinem Randabstand $e_2 < 1,5 d_L$ versagten immer im Nettoquerschnitt, für $e_2 \geq 1,5 d_L$ ist nur der Randabstand e_1 zu berücksichtigen, hierfür gilt:

$$\alpha_1 = 1,1 \cdot e_1/d_L - 0,3$$

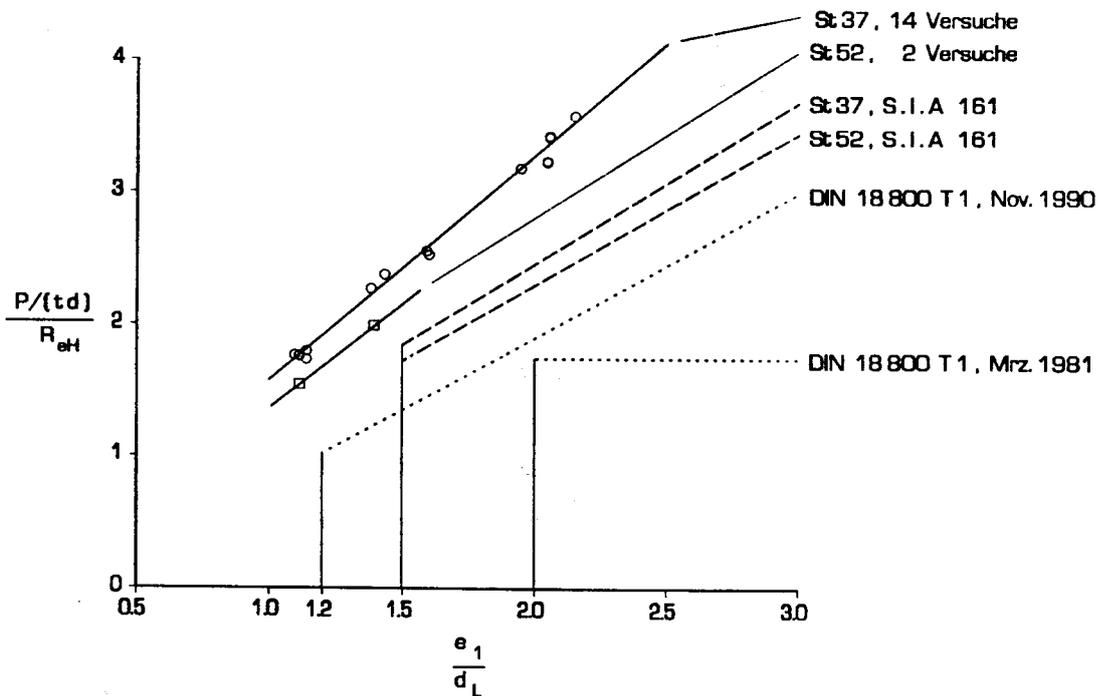


Bild 5: Lochleibungsversagen (Schubbruch) im Vergleich mit Normen

3. Schweizer Norm SIA 161

Abhängig von der Zugfestigkeit f_u des Blechmaterials bestimmt die Lochleibungs-Grenzspannung

$$\sigma_{1,u} = 0,8 (e_1/d) f_u \leq 2,4 \cdot f_u$$

die Tragfähigkeit. Um für den Vergleich mit den Versuchsergebnissen eine gut durchschaubare Darstellungsform zu erhalten, wurden mit der Vereinfachung $e_1/d \sim e_1/d_L$ sowie den Verhältniswerten

$$f_u/f_y = 1,53 \quad \text{für St 37}$$

$$f_u/f_y = 1,44 \quad \text{für St 52}$$

die beiden Geraden

$$\sigma_{1,u}/f_y = 1,23 \cdot e_1/d_L \quad \text{für St 37}$$

$$\sigma_{1,u}/f_y = 1,15 \cdot e_1/d_L \quad \text{für St 52}$$

in das Bild 5 mit aufgenommen.

In allen Fällen decken die Versuchsergebnisse die Normen sicher ab, am wirtschaftlichsten ist die Schweizerische Norm SIA 161.

6 Zusammenfassung

Der Vergleich aus den beiden Forschungsprojekten über das Tragverhalten von feuerverzinkten Bauteilen mit gestanzten Löchern im Vergleich zu solchen Schraubenverbindungen aus Bauteilen mit gebohrten Löchern läßt folgende Aussagen zu (siehe auch /4/):

- Die Traglasten dieser SL-Verbindungen mit feuerverzinkten Bauteilen lassen sich mit den gleichen Berechnungsformeln ausreichend genau berechnen.

- Der Versagensmodus, als Nettoquerschnittsversagen oder Lochleibungsversagen (Schubbruch), bleibt erhalten. Im Bruchbild der gestanzten SL-Verbindung sind neben dem Hauptbruchriß zahlreiche zusätzliche Anrisse zu erkennen, bei gebohrten Löchern ist nur 1 Anriß = Durchriß vorhanden.
- Im Last-Verschiebungs-Verlauf haben Verbindungen aus feuerverzinkten Bauteilen mit gestanzten Löchern gegenüber Verbindungen aus feuerverzinkten Bauteilen mit gebohrten Einbußen an Duktilität.
- Mit der Regelung in der neuen Deutschen Stahlbaunorm DIN 18 800 Teil 1, Nov. 90, die in erster Linie für Verbindungen mit gebohrten Löchern entwickelt wurde, liegt man mit beiden Lochherstellungsverfahren bei der Ermittlung der Grenzlaster für Nettoquerschnittsversagen und für Lochleibungsversagen gut auf der sicheren Seite, so daß unter vorwiegend ruhender Belastung die Anweisungen der Elemente (742) und (805) der DIN 18 800 Teil 1, Nov. 90 auch auf gebohrte und gestanzte feuerverzinkte Bauteile angewendet werden können.

Die Forschungsarbeiten wurden durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, Köln, finanziell gefördert und durch den Gemeinschaftsausschuß Verzinken, Düsseldorf, fachlich begleitet. Die Feuerverzinkung wurde durch die Firma Arnold Georg AG, Neuwied am Rhein, kostenlos übernommen. Hierfür sagen wir unseren besten Dank.

Tabelle 1: Abmessungen und Tragfähigkeiten der Versuchskörper

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | |
|------------------------------|---|-------------------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|---|--|---------------------------|--------|
| Versuch Nr. | Kennzahlen Stahl-Blech-Loch-e ₁ -e ₂ | Schrauben Güte | t [mm] | b [mm] | d _L [mm] | a ₁ [mm] | a _{2,1} [mm] | a _{2,2} [mm] | R _{eH} [N/mm ²] | R _m [N/mm ²] | P _{Vers} [kN] | |
| <u>feuerverzinkte Bleche</u> | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 - 12 - 14 - 30 - 15 | 12.9 | 12.3 | 30.0 | 14.0 | 23.4 | 7.8 | 8.3 | 273.3 | 386.7 | 82.0 | N |
| 2 | 3 - 12 - 14 - 15 - 20 | 12.9 | 12.3 | 40.7 | 14.0 | 8.3 | 13.5 | 13.3 | 273.3 | 386.7 | 71.4 | S |
| 3 | 3 - 12 - 14 - 20 - 20 | 12.9 | 12.3 | 40.1 | 14.0 | 13.0 | 13.1 | 13.0 | 273.3 | 386.7 | 96.1 | S |
| 4 | 3 - 12 - 14 - 30 - 20 | 12.9 | 12.3 | 40.1 | 14.0 | 23.0 | 13.1 | 13.0 | 273.3 | 386.7 | 132.2 | N+B |
| 5 | 3 - 12 - 14 - 35 - 20 | 12.9 | 12.3 | 40.4 | 14.0 | 28.1 | 13.3 | 13.2 | 273.3 | 386.7 | 134.7 | N+B |
| 6 | 3 - 12 - 14 - 30 - 30 | 12.9 | 12.3 | 60.0 | 14.0 | 23.1 | 23.2 | 22.8 | 273.3 | 386.7 | 144.7 | S |
| 7 | 3 - 16 - 18 - 35 - 20 | 12.9 | 16.2 | 40.0 | 18.0 | 26.0 | 10.8 | 11.2 | 290.2 | 429.8 | 161.0 | N |
| 8 | 3 - 16 - 18 - 20 - 25 | 12.9 | 16.2 | 50.1 | 18.0 | 11.0 | 16.0 | 16.0 | 290.2 | 429.8 | 132.8 | S |
| 9 | 3 - 16 - 18 - 25 - 25 | 12.9 | 16.2 | 49.9 | 18.0 | 15.8 | 16.0 | 15.9 | 290.2 | 429.8 | 171.0 | S |
| 10 | 3 - 16 - 18 - 35 - 25 | 12.9 | 16.2 | 50.1 | 18.0 | 26.0 | 16.2 | 15.9 | 290.2 | 429.8 | 231.9 | N+B |
| 11 | 3 - 16 - 18 - 45 - 25 | 12.9 | 16.2 | 50.2 | 18.0 | 36.0 | 16.2 | 16.0 | 290.2 | 429.8 | 233.0 | N+B |
| 12 | 3 - 16 - 18 - 35 - 35 | 12.9 | 16.2 | 70.3 | 18.0 | 26.0 | 26.2 | 26.1 | 290.2 | 429.8 | 242.5 | S |
| 13 | 3 - 16 - 22 - 45 - 25 | 12.9 | 16.2 | 49.8 | 22.0 | 34.0 | 13.6 | 14.2 | 290.2 | 429.8 | 202.8 | N |
| 14 | 3 - 16 - 22 - 25 - 35 | 12.9 | 16.2 | 70.3 | 22.0 | 14.0 | 24.2 | 24.2 | 290.2 | 429.8 | 169.2 | S |
| 15 | 3 - 16 - 22 - 35 - 35 | 12.9 | 16.2 | 70.6 | 22.0 | 23.9 | 24.4 | 24.3 | 290.2 | 429.8 | 240.6 | S |
| 16 | 3 - 16 - 22 - 45 - 35 | 12.9 | 16.2 | 70.5 | 22.0 | 34.1 | 24.2 | 24.4 | 290.2 | 429.8 | 322.8 | S+F a) |
| 17 | 3 - 16 - 22 - 55 - 35 | 12.9 | 16.2 | 70.3 | 22.0 | 44.2 | 24.2 | 24.2 | 290.2 | 429.8 | 344.6 | N+B |
| 18 | 3 - 16 - 22 - 45 - 45 | 12.9 | 16.2 | 90.2 | 22.0 | 34.2 | 34.1 | 34.1 | 290.2 | 429.8 | 321.9 | S |
| 19 | 3 - 20 - 22 - 45 - 25 | 12.9 | 20.0 | 49.7 | 22.0 | 34.3 | 13.9 | 13.8 | 286.7 | 411.4 | 244.7 | N |
| 20 | 3 - 20 - 22 - 25 - 35 | 12.9 | 20.0 | 70.0 | 22.0 | 14.0 | 23.9 | 24.1 | 286.7 | 411.4 | 199.2 | S |
| 21 | 3 - 20 - 22 - 35 - 35 | 12.9 | 20.0 | 69.3 | 22.0 | 24.1 | 23.5 | 23.8 | 286.7 | 411.4 | 290.3 | S |
| 22 | 3 - 20 - 22 - 45 - 35 | 12.9 | 20.0 | 69.5 | 22.0 | 34.0 | 23.7 | 23.9 | 286.7 | 411.4 | 375.7 | S+F a) |
| 23 | 3 - 20 - 22 - 55 - 35 | 12.9 | 20.0 | 69.8 | 22.0 | 44.1 | 24.8 | 23.0 | 286.7 | 411.4 | 399.0 | N+B |
| 24 | 3 - 20 - 22 - 45 - 45 | 12.9 | 20.0 | 90.2 | 22.0 | 34.0 | 34.3 | 34.0 | 286.7 | 411.4 | 372.0 | S |
| 25 | 5 - 16 - 18 - 35 - 20 | 12.9 | 16.4 | 40.3 | 18.0 | 26.0 | 11.2 | 11.1 | 412.9 | 546.6 | 211.2 | N |
| 26 | 5 - 16 - 18 - 20 - 25 | 12.9 | 16.4 | 50.1 | 18.0 | 11.0 | 16.1 | 16.1 | 412.9 | 546.6 | 167.5 | S |
| 27 | 5 - 16 - 18 - 25 - 25 | 12.9 | 16.4 | 49.8 | 18.0 | 16.0 | 15.9 | 15.9 | 412.9 | 546.6 | 216.1 | S |
| 28 | 5 - 16 - 18 - 35 - 25 | 12.9 | 16.4 | 49.6 | 18.0 | 26.0 | 16.0 | 15.7 | 412.9 | 546.6 | 295.6 | A |
| 29 | 5 - 16 - 18 - 45 - 35 | 12.9 | 16.4 | 50.1 | 18.0 | 36.0 | 16.1 | 16.1 | 412.9 | 546.6 | 285.8 | A |
| 30 | 5 - 16 - 18 - 35 - 35 | 12.9 | 16.4 | 70.4 | 18.0 | 26.0 | 26.3 | 26.1 | 412.9 | 546.6 | ----- | A b) |
| 31 | 5 - 16 - 18 - 35 - 45 | 12.9 | 16.4 | 90.3 | 18.0 | 26.0 | 36.2 | 36.1 | 412.9 | 546.6 | ----- | A b) |

a) Die Probe kam vor dem Bruch zum Fließen

b) Versuch wurde nicht durchgeführt, da das Abscheren der Schraube erwartet wurde

N Nettoquerschnittsversagen

S Lochleibungsversagen (Schubbruch)

N+B Nettoquerschnittsversagen mit Fließen im Bruttoquerschnitt

S+F Schubbruch mit Fließen im Bruttoquerschnitt