

Untersuchung der Grundlagen von EC 3 und DIN 18 800 (Gelbdruck) für die Regelung der Bemessungswerte der Abscherkräfte von Schrauben in geschraubten Verbindungen

T 2373

T 2373

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Universitätsprofessor
Dr.-Ing. Günther Valtinat
Techn. Univers. Hamburg-Harburg

Universitätsprofessor
Dr.-Ing. Joachim Scheer
Techn. Universität Braunschweig

F O R S C H U N G S - B E R I C H T

Untersuchung der Grundlagen von
EC 3 und DIN 18 800 (Gelbdruck)
für die Regelung der Bemessungswerte
der Abscherkräfte von Schrauben
in geschraubten Verbindungen

Bericht Nr. 9006 (Hamburg)

Bericht Nr. 6308 (Braunschweig)

Förderung: Institut für Bautechnik, Berlin

Der Bericht umfaßt Deckblatt, 11 Seiten Allgemeiner Teil,
33 Seiten Teil A, 30 Seiten Teil B, 3 Anlagen

Hamburg/Braunschweig

November 1991

	Seite
<u>Inhalt</u>	
Allgemeiner Teil	
I	Allgemeine Vorbemerkung III
II	Verwendete Symbole VI
III	Verwendete Dokumente VII
IV	Sonstige Literatur X
V	Empfehlung für die Regelwerke XI
Teil A: Versuchsberichte - Darstellung und Bewertung	
1	Vormerkung zu Teil A A 1
2	Übersicht und Bewertungskriterien A 1
2.1	Übersicht A 1
2.2	Bewertungskriterien A 2
3	Bewertung der einzelnen Versuchsberichte A 3
3.1	Versuchsberichte, die im Hintergrundbericht verwendet wurden A 3
3.1.1	Versuchsbericht [6] A 3
3.1.2	Versuchsbericht [42] A 8
3.1.3	Versuchsbericht [30] A 10
3.1.4	Versuchsbericht [24] A 11
3.2	Weitere Versuchsberichte A 13
3.2.1	Versuchsbericht [51] A 13
3.2.2	Versuchsbericht [52] A 15
3.2.3	Versuchsbericht [53] A 17
3.2.4	Versuchsbericht [54] A 23
4	Zusammenfassende Bewertung A 25

		Seite
Teil B:	Hintergrundbericht für Eurocode 3	
5	Vorbemerkung zu Teil B	B 1
6	Darstellung und Bewertung der Versuchsauswertung des Hintergrundberichtes	B 2
6.1	Verfahren der Auswertung	B 2
6.2	Annahmen	B 4
6.3	Darstellung der Ergebnisse	B 6
6.4	Erste Bewertung	B 7
6.4.1	Zusammensetzung der Teilstichproben	B 7
6.4.2	Ignorierung der Angaben in den Versuchsberichten über die Zugfestigkeit der verwendeten Schrauben	B 9
7	Eigene Versuchsauswertung	B 12
7.1	Methoden, Annahmen und Bezeichnungen	B 12
7.2.	Berechnung und Bewertung der Ergebnisse	B 16
7.2.1	Einfluß der Stützung und Nichtberücksichtigung bekannter Schraubenzugfestigkeiten	B 16
7.2.2	Einfluß der Abscherbedingung	B 22
7.2.3	Auswertung von elementaren Stichproben	B 23

I Allgemeine Vorbemerkung

Die Bemessungswerte der Abscherkräfte von Schrauben sind in den Entwürfen des EUROCODE 3 (Fassung 18. Juli 1988) und im Gelbdruck von DIN 18 800 Teil 1 (Ausgabedatum März 1988) unterschiedlich festgelegt. Folgende Tabelle weist dies aus. In ihr sind die Quotienten $u = \alpha_a / \gamma_M$ mit

α_a = Abscherfestigkeit/Zugfestigkeit

γ_M = Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand

angegeben.

Quotienten $u = \alpha_a / \gamma_M$, Stand Anfang 1989

Stützung	Fest.Kl.	DIN 18800/1 mit $\gamma_M = 1,1$	EUROCODE 3 mit $\gamma_M = 1,25$	
			Schaft in Scherfuge	Gewinde in Scherfuge
Gestützt	4.6, 5.6	0,7/1,1=0,64	0,6/1,25=0,48	0,6/1,25=0,48
	8.8	0,6/1,1=0,55	" =0,48	" =0,48
	10.9	" =0,55	" =0,48	0,5/1,25=0,40
Quelle	-----	Element(804)	Tabelle 6.3	Tabelle 6.3

Das aus [5] entnommene Bild 1 zeigt, daß die Abschertragfähigkeiten in EDIN 18800 Teil 1 vom März 1988 einen besonderen Zuwachs gegenüber der zur Zeit geltenden DIN 18800 Teil 1 vom März 1981 haben. Außerdem liegen diese Werte gegenüber allen anderen geltenden Vorschriften am höchsten, die Werte in der bisherigen DIN 18800 Teil 1 liegen dagegen am konservativsten [2].

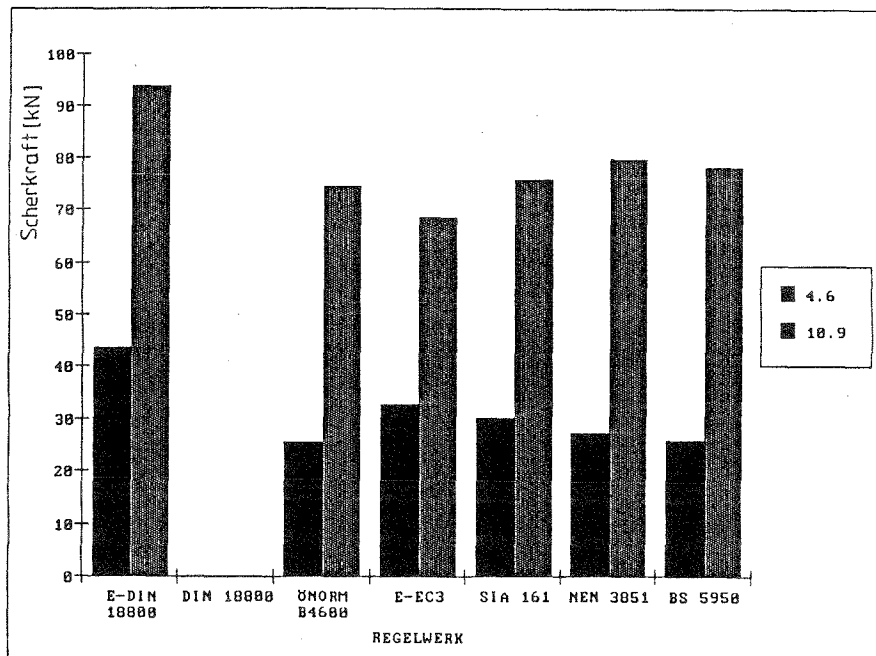
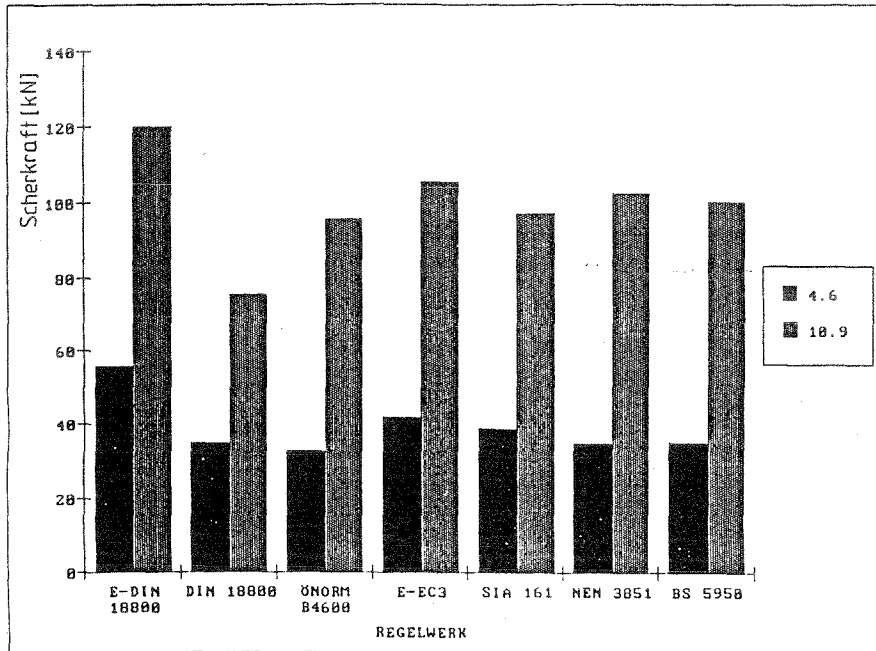


Bild 1: "Zulässige" Abscherkräfte für eine M 20-4.6- und eine M 20-10.9-Schraube nach [5]
 Bild oben: Schaft in Scherfuge
 Bild unten : Gewinde in Scherfuge

Vor der Herausgabe des Weißdrucks von EDIN 18800 soll in einer abermaligen Überprüfung sämtlicher zur Verfügung stehender Untersuchungsergebnisse mit statistischer Auswertung festgestellt werden, welche Bemessungswerte der Abscherkräfte von Schrauben sich aus ihnen ergeben. Die Ergebnisse sollen gegebenenfalls zu einer Änderung in DIN 18800 Teil 1 und zu einer Empfehlung für Änderungen im EUROCODE 3 führen.

Die statistischen Untersuchungen sollten sich dabei auf die Versuchsberichte stützen, die auch von G. Sedlacek zur Untermauerung der entsprechenden Werte im EC 3 verwendet wurden [1], und auf inzwischen greifbare zusätzliche Berichte. Sämtliche dort verwendete Literatur wurde auch hier auf ihre Relevanz hin durchgearbeitet und statistisch ausgewertet. Die Einstufungs- und Auswertekriterien wurden neu und differenzierter festgelegt.

Im Teil A (Hamburg) werden die einzelnen Versuchsberichte auf ihre Relevanz hin geprüft, soweit sie nicht bereits direkt in Teil B verarbeitet wurden, z. B. deshalb, weil die Versuchsberichte in Braunschweig selbst erstellt wurden.

Im Teil B (Braunschweig) erfolgt die statistische Auswertung aller verfügbaren Daten für Scherverbindungen.

Die Förderung dieses Forschungsvorhabens erfolgte durch das Institut für Bautechnik, Berlin, ihm wird auch an dieser Stelle gedankt.

III Verwendete Dokumente

Hintergrundberichte für Eurocode 3:

- [1] Ungermann, D., Sedlacek, G.: Evaluation of test results on bolted connection in order to obtain strength function and suitable model factors
- Part A, Results, Background Documentation to Eurocode No. 3, Document 6.01, RWTH-report, Aachen, 1988
 - Part B, Evaluations, Background Documentation to Eurocode No. 3 Document 6.02. RWTH-report, Aachen, 1988
 - Part C, Test Data (Extract of Datasheets), Background Documentation to Eurocode No. 3, Document 6.03, RWTH-report, Aachen 1988
 - Part C, Data Sheets, Background Documentation to Eurocode No. 3 Document 6.03 A. RWTH-report, Aachen, 1988
- | | | |
|-------------|---------|---------------------|
| Data sheets | BS6... | (Delft) |
| | BS20... | (Essen) |
| | BS21... | (Braunschweig 6061) |
| | BS24... | (Hamburg) |
| | BS30... | (Glasgow) |
| | BS42... | (Manchester) |
- [2] Comparision of bolt strength according to Eurocode No. 3 with bolt strength according to national standards, Background Documentation to Eurocode Nr. 3, Document 6.04, RWTH-report, Aachen 1988
- [3] Background Document for Chapter 2 of Eurocode 3, University of Technology, Aachen, Institut für Stahlbau

Versuchsberichte, die in [1] behandelt worden sind

(Die Nummerierung wurde gleichlautend mit der von [1] gewählt):

- [6] Bilderbeek, D.W.: Voorspanbouten en handelsbouten op trek en afschuiving. Scriptie 6-71-2, Onderwerp VB-24, Stevin-Laboratorium Delft, Februari 1971

- [20] Knobloch, M. Schmidt, H.: Tragfähigkeit und Tragverhalten stahlbauüblicher Schrauben unter reiner Scherbeanspruchung und unter kombinierter Scher-Zugbeanspruchung; Forschungsbericht aus dem Fachbereich Bauwesen, Universität - Gesamthochschule - Essen, Juni 1987

- [21] Scheer, J. Peil, U., Paustian, O.: Einfache Schraubenverbindungen, Institut für Stahlbau, TU Braunschweig, Dez. 1980

- [24] Valtinat, G., Dangelmaier, P.: Last-Verformungs-Verhalten und Tragkapazität von Schraubenverbindungen des Stahlbaus mit in die Scherfuge hineinragendem Gewinde (Forschungsthema Nr. 1.14 des DAST-Gemeinschaftsprogramms SCHRAUBEN-VERBINDUNGEN) AIF-Nr. 5724, Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau, TU Hamburg-Harburg, Hamburg, den 12.02.86

- [30] Rhodes, J. Harvey, J.M.: CRSA Research Programme on Bolted Connections. University of Strathclyde Glasgow, October 1984

- [42] Shakir-Khalil, H., Ho, C.M.: Black bolts under combined tension and shear. Simon Engineering Laboratories University of Manchester, The Structural Engineer, December 1979

Weitere Versuchsberichte:

- [51] Harre, W.: Last-Verformungs-Verhalten und Tragkapazität von SL-Verbindungen mit 2, 4, 6 und mehr Schrauben in einem Anschluß ... (Forschungsthemen 1.15 und 1.16 im DAST-Gemeinschaftsprogramm SCHRAUBEN-VERBINDUNGEN), Forschungs- und Materialprüfanstalt Baden-Württemberg, Universität Stuttgart, Stuttgart, den 09.02.87
- [52] Valtinat, G., Albrecht, F., Kersten, O., Wilhelm, M.: Last-Verformungs-Verhalten und Tragkapazität von SL-Verbindungen mit 1, 2, 4, 6 und mehr Schrauben in einem Anschluß (Forschungsthemen 1.15 und 1.16 im DAST-Gemeinschaftsprogramm SCHRAUBEN-VERBINDUNGEN), AIF-Nr. 5808, Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau, TU Hamburg-Harburg, Hamburg, im Dezember 1989
- [53] Valtinat, G., Dangelmaier, P.: Last-Verformungs-Verhalten von Schraubenverbindungen des Stahlbaus mit in die Scherfuge hineinragendem Gewinde, Ergänzung zu [24] Versuchsprogramm Nr. 1.14 im DAST-Gemeinschaftsprogramm SCHRAUBEN-VERBINDUNGEN. AIF-Nr. 7062. Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau, TU Hamburg-Harburg, November 1990
- [54] Petersen, Chr.: Tragversuche an zweiseitigen SL- und VSL-Schraubenverbindungen. Stahlbau 58 (1989) S. 263-267

IV Sonstige Literatur

- [4] Bijlaard, F.S.K., Sedlacek G., Stark, J.W.B.: Procedure for the determination of the design resistance from tests, Annex Z to Eurocode No. 3, Report BI - 87- 112,1 TNO - IBBC, Rijswijk (Z.M), The Netherlands, November 1988
- [5] Knobloch, M.: Zum Teilsicherheitsnachweis scherbeanspruchter Schrauben im Stahlbau unter ruhender Belastung. Dissertation Universität Gesamthochschule Essen, 1989
- [6] Siehe Seite VII
- [7] Maier, W., Kersken-Bradley, M.: Experimentelle Bestimmung der Tragfähigkeit von Bauteilen - Grundideen zur Auswertung, Festschrift Prof. Heimeshoff, März 1986
- [8] Scheer, J., Maier, W., Paustian, O.: Planung und Auswertung von Versuchen an geschraubten Verbindungen, Bericht Nr. 6065, 1985. Institut für Stahlbau der TU Braunschweig
- [9] Maier, W., Kersken-Bradley, M., Rackwitz, R., Vrouwenfelder, A.: Estimation of structural properties by testing for use in limit state design, JCSS Working Party CEB/ECCS Cooperation, September 1988

V Empfehlung für die Regelwerke

Maßgebend für die Empfehlung sind die unter Berücksichtigung der Zugfestigkeit der Schrauben berechneten Ergebnisse der Elementarstichproben unter Ausschluß ungestützter Verbindungen (siehe Abschnitt 7.2.3). Weiter muß berücksichtigt werden, daß Versuche mit einem Schergerät etwas größere Werte ergeben, als Laschenversuche und daß für die Festigkeitsklassen 5.6 und 8.8 nur wenig Laschenversuche in der Auswertung enthalten sind.

Von den für die Auswertung getroffenen Annahmen hat der Variationskoeffizient der Zugfestigkeit der Schrauben den größten Einfluß. Er wurde mit $V_{\beta z} = 0,07$ angenommen. Neue Untersuchungen [5] haben für eine mehrere europäische Staaten umfassende repräsentative Stichprobe $V_{\beta z} = 0,10$ für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6 und $V_{\beta z} = 0,04$ für die Festigkeitsklasse 8.8 ergeben.

Unter Würdigung dieses Sachverhalts werden die nachfolgend zusammengestellten Kennwerte u (siehe Abschnitt 6.1) und die daraus abgeleiteten Modellfaktoren α (siehe Abschnitt 6.1) angegeben. Sie sind in den Weißdruck von DIN 18800 Teil 1 (November 1990) übernommen worden und werden (für gestützte Verbindungen) für den EUROCODE 3 empfohlen.

In DIN 18800 Teil 1 übernommene und für EUROCODE 3 empfohlene Quotienten $u = \alpha_a / \gamma_M$

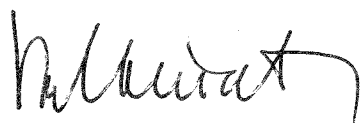
Stützung	Fest.Klasse	DIN 18800/1 mit $\gamma_M = 1,1$	EUROCODE 3 mit $\gamma_M = 1,25$
		Schaft oder Gewinde in Scherfuge	
Gestützt	4.6, 5.6	0,6 / 1,1 = 0,55	0,69 / 1,25 = 0,55
	8.8	0,6 / 1,1 = 0,55	" = 0,55
	10.9	0,55 / 1,1 = 0,50	0,63 / 1,25 = 0,50

α_a = Abscherfestigkeit/Zugfestigkeit

γ_M = Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand


Der Vergleich der Empfehlung mit Bild B3 erweist diese als konservativ.

Für Hamburg :



Prof. Dr.-Ing. G. Valtinat

Für Braunschweig :



Prof. Dr.-Ing. J. Scheer



Prof. Dr.-Ing. W. Maier



Dipl.-Ing. R. Zhu
Sachbearbeiter



Dipl. Ing. T. Jopp
Sachbearbeiter

Teil A: Versuchsberichte - Darstellung und Bewertung und
Übertragung in die EC 3-data-sheets

1. Vorbemerkungen zu Teil A

In Teil A wurde eine Durcharbeitung, Auswertung und Bewertung der in der zusammengestellten Literatur auffindbaren Ergebnisse zu Abscherverbindungen des Stahlbaus vorgenommen. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe der EC 3-data-sheets, die entsprechend der Zielsetzung in diesem Vorhaben ergänzt werden.

2. Übersicht und Bewertungskriterien

2.1. Übersicht

Die in den Abschnitten III und IV zusammengestellte Literatur enthält lediglich Untersuchungen zur Abschertragfähigkeit von Schraubenverbindungen. Hierbei sind zwei wesentliche experimentelle Prüfarten zu unterscheiden:

1. Abschertragfähigkeit, geprüft im Schergerät bzw. in einem in Holland entwickelten speziellen Prüfgerät für Scherbeanspruchungen, Zugbeanspruchungen und kombinierte Scher- und Zugbeanspruchungen von Schrauben, hier als "kombiniertes Schergerät" benannt

2. Abschertragfähigkeit in Laschenverbindungen.

In den Unterlagen /6, 20, 42/ sind Versuchsergebnisse zu Abschertragfähigkeiten im Schergerät bzw. im kombinierten Schergerät, in den Arbeiten /6, 21, 24, 30, 51-54/ sind Versuchsergebnisse zu Abschertragfähigkeiten an Laschenverbindungen mitgeteilt.

2.2. Bewertungskriterien

Es wurden folgende Bewertungskriterien herangezogen:

Schraubendurchmesser

Festigkeitsklasse

keine Vorspannung, teilweise oder volle Vorspannung

Prüfung im Schergerät

Prüfung im kombinierten Schergerät

Prüfung in Laschenverbindungen

Untersuchungen über die Zugfestigkeiten der Schrauben

- keine experimentellen Angaben, lediglich Nennwerte
- Angaben über experimentelle Ermittlungen

Angaben von experimentell ermittelten Mittelwerten und Standardabweichungen

Angabe von Einzelwerten

- Angabe darüber, ob die zuggeprüften Schrauben aus dem gleichen Schraubenlos stammen wie die Schrauben in den Scherversuchen

Verwendung von Nennabmessungen

Angaben über gemessene Abmessungen

Werkstoffprüfungen in Ganzschraubenversuchen

Werkstoffprüfungen in abgedrehten Prüfkörpern gemäß DIN ISO 898 Teil 1

Werkstoffprüfungen in abgedrehten Prüfkörpern ohne Beachtung von DIN ISO 898 Teil 1

Schnittigkeit der Verbindungen

Lochspiel

Maßgebender Querschnitt in den Scherfugen (Schaftquerschnitt oder Gewindequerschnitt)

Versagen auf Abscheren

3. Bewertung der einzelnen Versuchsberichte

3.1. Versuchsberichte, die im Hintergrundbericht verwendet wurden

3.1.1. Versuchsbericht /6/

Allgemeines zum Versuchsbereich /6/

Der Versuchsbericht /6/ von Bilderbeek: "Voorspanbouten en handelsbouten op trek en afschuiving" stammt aus dem Jahre 1971. In dem Versuchsbericht wird die Abschertragfähigkeit von Schraubenverbindungen sowohl im kombinierten Schergerät als auch in Laschenverbindungen geprüft. Es werden Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 8.8 und 10.9 untersucht. Eine Angabe über die zugehörigen Produktnormen gibt es nicht, daher muß davon ausgegangen werden, daß insbesondere bei den Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 die Normen DIN 931 bzw. 933 verwendet wurden. Eine Angabe über die Herstellungsart, die Vergütungsart der Schrauben und die Art der Gewindeformung gibt es nicht.

Tests im kombinierten Abschergerät

Im ersten Teil des Versuchsberichtes geht es um die Findung einer zutreffenden Interaktionsformel für den Fall, daß Schrauben sowohl auf Abscheren als auch auf Zug beansprucht sind. Das spezielle, in den Niederlanden entwickelte Prüfgerät "kombiniertes Schergerät" erlaubt, bei einem Winkel von 0° eine reine Zugbeanspruchung und bei einem Winkel von 90° eine reine Abscherbeanspruchung auf die Schraube aufzubringen. Der Winkel kann um die Teilung 15° verändert werden, hieraus resultieren kombinierte Beanspruchungen auf Zug und Abscheren in den Schrauben. Die Versuche unter dem Winkel 90° können in diesem Bericht als Abscherversuche in einem Schergerät gewertet werden, die Versuche unter dem Winkel von 0° können als Ganzschraubenversuche zur Feststellung der Zugfestigkeit gewertet werden.

Die Ergebnisse sind in den EC 3-data-sheets Nr. BS 6.45 bis BS

6.67 niedergelegt. Die Untersuchungen sind methodisch und in Ordnung. In den data-sheets werden zwar alle Abscherversagenslasten aufgeführt, es wird aber je data-sheet eine Zusammenfassung zu einem Mittelwert vorgenommen, der in die weiteren Untersuchungen eingeht. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, für die statistische Auswertung die Einzelwerte und nicht die gemittelten Werte anzusetzen.

In den Datenblättern sind nicht die in den verschiedenen Weisen gemessenen Zugfestigkeiten der Schrauben enthalten. Aus diesem Grunde werden in der nachfolgenden Tabelle A 1 die an Ganzschrauben gemessenen Zugfestigkeiten mit allen Einzelwerten und in Tabelle A 2 die an abgedrehten Schrauben (DP 5 Test) festgestellten Zugfestigkeiten mit allen Einzelheiten mitgeteilt. Zur Tabelle A 2 ist mitzuteilen, daß die Abdrehquerschnitte nur bei den Zeilen 13 und 14 DIN ISO 898 Teil 1 (die es vermutlich damals noch nicht gab) entsprechen, in allen anderen Fällen sind die Schraubenschäfte um mehr als 1/4 des Durchmessers abgedreht worden, diese Ergebnisse sind somit nicht gleichrangig einzustufen.

Es fällt auf, daß bei den 4.6-Schrauben die Streuungen der Zugfestigkeit am größten sind.

Tabelle A 1: Gemessene Schraubenzugfestigkeiten an Ganzschrauben

Nr.	M	Güte	Testart ¹⁾	Querschnitt	Bruchlast	Zugfestigkeit	
				(Nennwert)		Einzelwert	Mittelwert ²⁾
				mm ²	kN	N/mm ²	(Standardabw.) 5 %-Fraktile
1	12	4.6	GT	84,3	47,5	563	
2				84,3	48,3	573	
3	12	4.6	GT	84,3	39	463	499,8
4				84,3	39,5	469	(64,009)
5				84,3	36,3	431	394,5
6	20	4.6	GT	245	158	645	
7				245	158	645	
8				245	157	641	541,7
9	20	4.6	GT	245	118	482	(96,379)
10				245	107	437	383,2
11				245	116	473	
12				245	115	469	
13	12	8.8	GT	84,3	75,5	896	
14				84,3	72,5	860	855,5
15	12	8.8	GT	84,3	71,0	842	(30,741)
16				84,3	69,5	824	804,9
17	20	8.8	GT	245	239	976	
18				245	233	951	
19	20	8.8	GT	245	215	878	875,6
20				245	192	785	(88,957)
21				245	193	788	729,3
22	12	10.9	GT	84,3	84	996	
23				84,3	85	1008	
24				84,3	84,5	1002	1053,9
25	20	10.9	GT	245	270	1102	(50,015)
26				245	272	1110	
27				245	266	1086	971,6
28				245	263	1073	

1) Anmerkung: GT = Ganzschraubentest im holländischen kombinierten Schergerät, Stellung 0° (= Zugversuch)

2) Für eine statistische Auswertung mit Mittelwert, Standardabweichung und Fraktile-Wert sind drei Versuchsergebnisse nicht ausreichend.

Tabelle A 2: Gemessene Schraubenzugfestigkeiten an abgedrehten Schrauben
 (DP 5 Test)
 (Abdrehquerschnitt entspricht nur bei Zeile 13 und 14 DIN ISO 898,
 Teil 1)

Nr.	Test Bolt Description	Diameter mm	Ultimate Strength tf	Cross Section Area ₂ mm ²	Ultimate Tensile Stress ₂ N/mm ²	Aver. Ult. Tensile Stress ₂ N/mm ²
<u>Bolts M 20</u>						
1	4.6 ^X	8,05	2,41	51,0	4730	4750
2		8,00	2,39	50,0	4780	
3		8,10	2,45	51,5	4750	
4	4.6	8,00	3,14	50,0	6280	6215
5		8,05	3,20	51,0	6240	
6		8,00	3,06	50,0	6120	
7	8.8 ^X	7,90	4,00	49,0	8150	8060
8		8,00	4,05	50,0	8010	
9		8,00	4,07	50,0	8010	
10	8.8	4,00	4,87	50,0	9740	9640
11		8,10	4,98	51,5	9700	
12		8,00	4,74	50,0	9480	
13	8.8	15,15	17,95	180	9950	9900
14		15,20	17,90	182	9850	
15	10.9	8,00	5,37	50,0	10750	10800
16		8,05	5,45	51,0	10700	
17		7,90	5,35	49,0	10900	
<u>Bolts M 12</u>						
18	4.6 ^X	8,05	2,22	51,0	4350	4480
19		8,05	2,43	51,0	4750	
20		8,05	2,22	51,0	4350	
21	4.6	8,10	2,66	51,5	5170	4790
22		8,10	2,41	51,5	4690	
23		8,10	2,33	51,5	4510	
24	8.8 ^X	8,05	4,62	51,0	9050	9120
25		8,00	4,50	50,0	9000	
26		8,00	4,66	50,0	9320	
27	8.8	8,05	4,43	51,0	8700	8290
28		8,00	4,00	50,0	8000	
29		8,00	4,08	50,0	8160	
30	10.9	8,05	5,38	51,0	10500	10500
31		8,10	5,41	51,5	10500	

^X DP 5 Tests on Bolts with Thread over the whole Length of the Shank.

Laschenversuche

Der Bericht /6/ enthält in seinem 2. Teil Ergebnisse aus 88 einschraubigen Laschenversuchen mit Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 8.8 und 10.9. Es wurden Lochspiele von 2 mm, 0,3 mm und 0 mm (letzteres durch Auffüllung des Lochspieles mit einer Kunststoffmasse) geprüft. Die Werkstoffgüte der Stäbe und Laschen war St 37 und St 52. Die Versuche wurden sowohl ohne Vorspannung als auch mit Vorspannung und geringer Reibtragfähigkeit (T 20) als auch mit hoher Vorspannung und hoher Reibtragfähigkeit (T 50) vorgenommen. Diese Gleittragfähigkeit wurde durch verschiedene Vorspannung erzeugt. Die Versuchskörper waren so dimensioniert, daß einmal die Bleche auf Lochleibung, zum anderen die Schrauben auf Abscheren zu Bruch gingen. Derjenige Teil der Untersuchungen, bei dem die Schrauben auf Abscheren zu Bruch gingen, ist in den Datenblättern Nr. BS 6.1 bis BS 6.44 zusammengestellt.

Beurteilung

Es besteht kein Anlaß, an der Solidität der Durchführung der Versuche zu zweifeln. Bei der Zusammenstellung der Daten und der Übertragung in die data-sheets sind jedoch Diskrepanzen in einzelnen Angaben aufgetreten, die im folgenden zusammengestellt werden:

1. Die Werkstofffestigkeiten des Stab- und des Laschenmaterials sind in Appendix II-1 dickenabhängig aufgeführt. Diese Daten sind teilweise falsch in die data-sheets übernommen worden, nach unserer Ansicht müssen die gemessenen Festigkeiten der Stäbe und nicht die der Laschen aufgeführt werden, da die Stäbe das schwächere Bauteil der Verbindung sind.
2. Beim Prüfkörper Nr. 4 (vgl. Appendix II-2, 1. Teil und Datenblatt BS 6.1) ist nur auf der Seite A des Versuchskörpers ein Abscherbruch aufgetreten, daher darf nur eine Bruchlast verwendet werden.

3. In den Datenblättern fehlte die Aufnahme des Versuchskörpers Nr. 10 (vgl. hierzu Appendix II-2 und Datenblatt BS 6.2, diese Werte wurden dort nachgetragen).
4. Im Gegensatz zu Appendix II-3 sind in dem Appendix II-2 sämtliche Bruchwerte der Versuchskörper aufgeführt (bei Doppellaschen-Zugscherverbindungen sind hier jeweils 2 Bruchwerte angegeben). Es wurde jeweils in die data-sheets nur der eine Wert, der im Appendix II-3 aufgeführt ist, übernommen, nach unserer Ansicht müssen auch die jeweiligen weiteren Bruchabscherwerte der Versuchskörper in die data-sheets eingetragen werden.
5. Bei Körper Nr. 15 erfolgte in den data-sheets eine Korrektur des Endabstandswertes e_1 .
6. Gemäß Appendix II-2 wurde bei dem Stab Nr. 30 (vgl. hierzu data-sheet BS 6.18) die Bezeichnung T_i in die Bezeichnung NT_i (nicht vorgespannte Schraube) geändert.

Mit diesen Änderungen und Ergänzungen können die data-sheets BS 6.1 bis BS 6.44 selektiv in die statistische Berechnung eingeführt werden, wobei auch hier die Zugfestigkeiten der Schrauben aus den beiden o.g. Tabellen A 1 und A 2 bekannt sind.

3.1.2. Report /42/ Shakir-Khalil/Ho: Black bolts under combined tension and shear

Allgemeines zum Versuchsbericht

Der Versuchsbericht macht sich zur Aufgabe, Bemessungsformeln für die kombinierte Beanspruchung von Schraubenverbindungen unter Zug und Scherung zu untersuchen. Es werden nur Tests an Schrauben mitgeteilt, die im kombinierten Scherprüfgerät durchgeführt wurden. Von diesen Tests sind die Fälle, bei welchen Schrauben

unter dem Winkel 90° geprüft wurden, als reine Scherfälle anzusehen. Eine Vorspannung wurde auf die Schrauben nicht aufgebracht. Alle 11 Tests dieser Art können verwendet werden, weil keine Einwände gegen ihre Durchführung bestehen.

Es handelt sich um schwarze Schrauben M 20 (mit der Angabe D = nominal bolt diameter in inches). Dies läßt vermuten, daß der Schraubendurchmesser nicht in mm, sondern in inches gemessen wurde. Eine genaue Angabe hierzu fehlt, so daß der exakte Schaftquerschnitt, der in 5 Fällen für das Abscheren maßgebend war, mit Unsicherheiten behaftet ist. In 6 Fällen wurde das Schraubengewinde verlängert, vermutlich durch Nachschneiden, Angaben über den Spannungsquerschnitt fehlen. Bei 10.9-Schrauben wurde diese Maßnahme zur Verlegung des Gewindequerschnittes in die Scherfuge als nachteilig beobachtet, eine Aussage hierzu bei 4.6-Schrauben kann nicht gemacht werden, dennoch sind hier gewisse Unsicherheiten in der Aussagekraft in Kauf zu nehmen.

Die mechanischen Kenndaten der Schrauben werden mit unterer und oberer Streckgrenze und mit der Zugfestigkeit an insgesamt 11 Proben angegeben, Mittelwert und Standardabweichung können hieraus errechnet werden.

Beurteilung

Die Versuchsergebnisse können meines Erachtens selektiv in der statistischen Bearbeitung berücksichtigt werden, weil bei der Durchführung der Untersuchungen keine Widersprüche und lediglich die o.g. geringfügigen Unklarheiten aufgetreten sind. Bei der Bewertung innerhalb der Statistik können diese Unklarheiten berücksichtigt werden.

3.1.3. Versuchsbericht /30/ Rhodes, J., Harvey, J.M.: CRSA-
Research program on bolted connections.
University of Strathclyde Glasgow, Oktober 1974

Allgemeines

Aufgabe dieses Forschungsberichtes ist es, Nachweisformeln für Ausscheren von Schrauben aus kaltgeformten Profilen, Lochleibungsbeanspruchungen bei Schraubenverbindungen von kaltgeformten Profilen und Nettoquerschnittsbeanspruchungen bei kaltgeformten Profilen nachzuweisen. Nur nebenbei wird der 4. Versagensmodus "Abscheren von Schrauben" berücksichtigt. Für diesen wird ohne weitere Nachweise angesetzt, daß das Verhältnis zwischen Abscherfestigkeit und Zugfestigkeit von Schrauben 0,6 beträgt. Die Schraubendurchmesser sind 5 mm, 10 mm und 16 mm. Die Verbindungen sind einschnittig und zwar

U-Profil gegen dickes Blech

U-Profil gegen U-Profil

Blech gegen Blech.

Im 4 Seiten umfassenden, äußerst mageren Schlußbericht werden außer im Diagramm Bild 6 keine Ergebnisse über die Abschertragfähigkeiten von Schrauben mitgeteilt. Es gibt ferner keine Ergebnisse über die Zugfestigkeiten der verwendeten Schrauben. Es gibt ferner keine Angaben über die Festigkeitsklasse der verwendeten Schrauben. Außerdem fehlen Angaben über das Lochspiel und zur Vorspannung.

Im 2. Interim Report werden Ergebnisse über einschnittige Versuche mit 5 mm Blechen mitgeteilt, bei welchen Abscheren die Versagensursache gewesen sein soll. Die Festigkeitsklasse wird nicht angegeben (black bolts), aus den zurückgerechneten Werten liegen die Schrauben an der unteren Grenze von 5.6, erfahrungsgemäß sind sie dann als 4.6 einzustufen. Es fehlen Angaben über Zugfestigkeiten und Lochspiel. Unseres Erachtens scheiden diese Untersuchungen total aus.

Beurteilung

Die Qualität dieser Versuchsergebnisse ist so gering, daß eine Einbeziehung in die statistische Untersuchung nicht infrage kommt.

- 3.1.4. Bericht /24/ Valtinat, G. und P. Dangelmaier:
"Last-Verformungs-Verhalten und Tragkapazität von Schraubenverbindungen des Stahlbaus mit in die Scherfuge hineinragendem Gewinde" (AIF-Nr. 5724) Bericht des Arbeitsbereichs Stahlbau und Holzbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg vom 12.02.86

Allgemeines

Der Forschungsbericht hatte zur Aufgabe zu klären, ob für den in E-DIN 18 800 Teil 1 neu eingeführten Fall der Schraubenverbindung mit Gewinde in Scherfuge das Ansetzen des Spannungsquerschnittes und der allgemein festgelegten Grenzabscherspannung richtig ist. Aus diesem Grunde wurden in dem Versuchsprogramm gleichartige Doppellaschen-Zugscherverbindungen in folgender Weise geprüft:

- Fall 1: Schaftquerschnitt in beiden Scherfugen
- Fall 2: Schaftquerschnitt in einer Scherfuge,
Gewindequerschnitt in der anderen Scherfuge
- Fall 3: Gewindequerschnitt in beiden Scherfugen.

Für die Fälle 2 und 3 mit längeren Gewinden mußten an den hochfesten Stahlbauschrauben nach DIN 6914 die Gewinde durch Nachschnneiden verlängert werden. Diese Prozedur entspricht nicht der Originalherstellung des Schraubengewindes durch Walzen vor dem Vergüten. Nachträglich hat sich herausgestellt, daß durch das Nachschneiden der Gewindegänge eine Beeinträchtigung der Duktilität und der Festigkeit bewirkt wurde. Aus diesem Grunde können die Versuchsergebnisse der Fälle 2 und 3 nicht direkt verwendet werden. In einem Ergänzungsprogramm werden zur Zeit Doppellaschen-Zugscherversuche mit Schrauben nach DIN 933, deren

Gewinde vom Schraubenhersteller bis zum Kopf ausgeführt wird, durchgeführt /53/.

Aus dem Bericht können deshalb nur diejenigen Versuche entnommen werden, bei welchen der Fall 1 (Schaftquerschnitt in beiden Scherfugen) zutrifft. Dies sind die Versuche mit den Nummern 7, 8, 21, 22, 43, 44, 55, 56, 131, 132, 143, 144, 167 und 168 (insgesamt 14 Versuche). Es wurden hierbei Schrauben M 16, M 20 und M 24 in der Festigkeitsklasse 10.9 untersucht. Für diese Schrauben liegen auch Festigkeitsuntersuchungen vor, vergleiche hierzu Tabelle A 3

Tabelle A 3: Materialkennwerte der Schrauben, Qualität 10.9

Nr.	Ø (mm)	Anzahl	$R_{0,2}$ (N/mm ²)					Rechenwert	R_z (N/mm ²) mittel	A ₅ (%) mittel
			mittel	max	min	Standab.				
1	16	3	1019.2	1046.7	979.6	35.1	1019.2	1102.2	14.1	
2	20	3	1125.0	1188.0	998.9	109.2	1125.0	1194.1	10.6	
3	24	3	933.7	967.2	898.0	34.6	933.7	1020.1	16.6	

Unabhängig von den data-sheets BS 24.i wurden für diese 14 Versuche neue data-sheets erstellt und für die Statistik vorbereitet.

Beurteilung

Die Versuchsergebnisse können - gegebenenfalls selektiv nach Schraubendurchmesser - in der statistischen Bearbeitung berücksichtigt werden, weil die Versuchsdurchführung mit Verbindungen des Falles 1 keine Widersprüche und keine Unklarheiten ergeben

haben. Es liegen die Einzelwerte der Abscherversuche vor, es liegen Mittelwerte der Zugfestigkeit der Schrauben aus jeweils 3 Versuchen je Durchmesser vor.

3.2. Weitere Versuchsergebnisse

3.2.1. Bericht /51/ Harre, W.: "Last-Verformungs-Verhalten und Tragkapazität von SL-Verbindungen mit 2, 4, 6 und mehr Schrauben in einem Anschluß ..." (Forschungsthemen 1.15 und 1.16 im DAST-Gemeinschaftsprogramm SCHRAUBEN-VERBINDUNGEN). Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Stuttgart 1987

Allgemeines zum Versuchsbericht

Die Untersuchungen bilden den ersten Teil eines Gesamtprogramms (zweiter Teil siehe Abschnitt 3.2.2), bei welchem geprüft werden sollte, ob sich das Tragverhalten und die Tragkapazität von Vielschraubenverbindungen aus den entsprechenden Angaben von Einschraubenverbindungen rechnerisch zusammensetzen lassen, insbesondere ging es darum, ob die Tragfähigkeit einer Verbindung mit n Schrauben so hoch ist wie die n -fache Tragfähigkeit einer Einschraubenverbindung. Die Untersuchungen wurden an Doppellaschenzugscherkörpern vorgenommen, wobei der Stab (= mittleres Blech) das eigentliche Versuchsstück war, die Laschen bestanden aus dem Material StE 690 und wurden für alle Versuche immer wieder verwendet. Bei dem Gesamtprogramm wurden die Blechdicken und Blechfestigkeiten sowie die Schraubendurchmesser und Schraubenfestigkeiten variiert. Die Schrauben waren nicht vorgespannt, das Lochspiel betrug 2 mm. In diesem Teilprogramm waren die Abmessungen und Festigkeiten so bemessen, daß rechnerisch immer eindeutig die Lochleibung maßgebend wird, das heißt, daß vor Erreichen der Schertragfähigkeit der Schrauben die Langlochbildung im Prüfstab sehr ausgeprägt ist. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß in einigen Versuchen schließlich die Tragkapazität durch Abscheren der Schrauben bestimmt wurde, diese

Fälle sind für das hier vorliegende Forschungsvorhaben interessant. Es handelt sich dabei um die Versuche Nr. 1, 2, 3, 5, 13, 14, 17, 18, 19 und 20, wobei die Schrauben M 16, M 20 und M 24 in der Qualität 4.6 zum Einsatz kamen. Bei den Prüfkörpern, in welchen Schraubenabscheren für das Versagen maßgebend war, waren zwischen 1 bis 4 Schrauben an-wesend.

Die Zugfestigkeiten der Schrauben sind in der nachfolgenden Tabelle A 4 wiedergegeben.

Tabelle A 4: Ergebnisse der Zugversuche an den Schrauben mit der Festigkeitsklasse 4.6

Durchmesser mm	0,2-Dehngrenze $\beta_{0,2}$ [N/mm ²]	Zugfestigkeit β_z [N/mm ²]	Bruchdehnung A [%]
16	336	424	37,3
20	359	392	21,3
24	310	435	26,3

Beurteilung

Die verwendbaren Versuche bilden eine Teilmenge aus einem größeren Versuchsprogramm, bei welcher die Eigenschaft "Versagen durch Schraubenabscheren" eingetreten ist. Es besteht kein Zweifel daran, daß diese Untersuchungen für das hier vorgesehene Vorhaben verwendet werden können. Aus diesem Grunde wurden Datenblätter entsprechend den EC 3-data-sheets für diese ausgesuchten Versuche erstellt. Sie sind meines Erachtens in der statistischen Auswertung ohne weiteres verwertbar.

3.2.2. Bericht /52/ Valtinat, G., F. Albrecht, O. Kersten,
M. Wilhelm: "Last-Verformungs-Verhalten und Tragkapazität
von SL-Verbindungen mit 1, 2, 4, 6 und mehr Schrauben in
einem Anschluß" (Forschungsthema 1.15 und 1.16 im DAST-
Gemeinschaftsprogramm SCHRAUBEN-VERBINDUNGEN),
Versuchsbericht Nr. 89/3, Arbeitsbereich Stahlbau und
Holzbau, Technische Universität Hamburg-Harburg,
Hamburg, Dezember 1989

Allgemeines zum Versuchsbericht

Diese Untersuchungen sind der zweite Teil des Gesamt-
Forschungsvorhabens, zu dem im Abschnitt 3.2.1. vorgestellten
Programm. Es wurden Prüfkörper aus Material St 37 mit Schrauben
M 12 der Festigkeitsklasse 10.9 verwendet. Das Lochspiel betrug
2 mm, eine Vorspannung wurde nicht aufgebracht. Da im ersten Teil
des Programms (siehe Abschnitt 3.5) eine Dimensionierung der
Versuchskörper auf Versagen durch Überwindung der Lochleibungsbe-
anspruchung erfolgte, sollte in diesem Teil das Versagen durch
Abscheren der Schrauben eintreten. Aus diesem Grunde mußten
kleine Schraubendurchmesser und größere Blechdicken kombiniert
werden. In allen Fällen wurde das Versagen durch Abscheren
erzielt. Aus diesem Grunde sind die Ergebnisse geeignet, in die
statistische Auswertung zur Bestimmung der Abschertragfähigkeit
von Schrauben einzugehen.

Für alle Versuchskörper wurden einheitlich HV-Schrauben M 12 x 65
nach DIN 6914 verwendet, so daß nur volle Schaftquerschnitte in
den Scherfugen lagen. Die Festigkeit der Schrauben wurde mittels
Härteprüfung und mittels Zugversuchen (5 Versuche) an abgedrehten
Schrauben durchgeführt, das letztgenannte Ergebnis ist mit dem
Mittelwert in die data-sheets eingetragen. Die Tabelle A 5 gibt
die Ergebnisse der Zugversuche an den Schrauben wieder.

Tabelle A 5: Materialkennwerte der Schrauben HV M 12 x 65,
Qualität 10.9. Zugversuche an 5 abgedrehten Schrauben
M12 x 65 der Güte 10.9

- Anfangsmeßlänge $L_0 = 4 d_0$
- Statische Streckgrenze R_{eS} ermittelt bei der
Dehnung 1,2 % nach einer Haltepause von 10
Minuten

Probe	d_0 [mm]	$R_{p0,2}$ [N/mm]	R_{eS} [N/mm]	R_m [N/mm]	A_4 [%]
1	8,0	1004,7	967,7	1087,8	15,6
2	8,0	1039,5	988,6	1108,7	15,0
3	8,0	1009,6	982,8	1094,2	17,8
4	8,0	1014,6	979,6	1087,0	15,9
5	8,0	1019,6	969,9	1093,8	16,9
Mittelwert :		1017,6	977,7	1094,3	16,3
Standardabweichung :		13,4	8,8	8,7	1,1

Beurteilung

In der Durchführung der Versuche und in den Versuchsergebnissen haben sich keinerlei Abweichungen und Ungereimtheiten gezeigt. Aus diesem Grunde können unseres Erachtens Ergebnisse in die statistische Auswertung zur Bestimmung der Abschertragfähigkeiten der Schrauben aufgenommen werden.

Es wurden Datenblätter entsprechend den EC 3-data-sheets für die statistische Bearbeitung erstellt.

Hochfeste Schrauben mit dem Durchmesser 12 mm sind im Stahlbau im

allgemeinen nicht üblich. Aus diesem Grunde wäre es sinnvoll, die Ergebnisse selektiv mit diesem Merkmal auszuwerten.

3.2.3. Bericht /53/ Valtinat, G. und P. Dangelmaier:

"Untersuchung des Abscherungsverhaltens von geschraubten Laschenverbindungen mit in die Scherfuge hineinragendem Gewinde". (AIF-Nr. 7062). Bericht des Arbeitsbereichs Stahlbau und Holzbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Hamburg, November 1990.

Allgemeines

Im Abschnitt 3.1.4. wurde über den Versuchsbericht /24/ referiert, eine wesentliche Aussage hierzu war die, daß, weil für die Versuche mit Gewinde in beiden Scherfugen die Gewinde der Schrauben nachgeschnitten wurden, sich eine Beeinträchtigung der Duktilität und der Festigkeit eingestellt hat. Durch das Versuchsprogramm /53/ sollte die Kenntnis über die Tragfähigkeit von Schrauben mit Gewinde in Scherfuge an solchen Verbindungsmitteln geprüft werden, bei welchen die Gewinde vom Herstellerwerk aus über die gesamte Schaftlänge bis zum Kopf gefertigt wurden. Die Abmessungen dieser Schrauben regelt die DIN 933. Die Untersuchungen wurden an Doppellaschenzugscher-Verbindungen mit einer Schraube je Anschlußseite durchgeführt. Es kamen Schrauben \emptyset M 16, M 20 und M 24 in den Festigkeitsklassen 5.6 und 10.9 zur Anwendung. Ein wesentlicher weiterer Parameter bei den Versuchen war das Verhältnis der Stabblechdicke zur Laschenblechdicke. Für die Schrauben M 16 und M 24 wurden solche Stab-Laschen-Dickenkombinationen festgelegt, daß

- eine Versuchsserie mit dünnen Laschen und variierter Stabdicke und
- eine Versuchsserie mit dicken Laschen und derselben Stabdickenvariation

durchgeführt wurden. Für Versuche mit den Schrauben M 20 wurden nur dünne Laschen mit variierter Stabdicke kombiniert. Zu jeder

Parameterkombination wurden 3 Versuche durchgeführt.

Um detaillierte Materialkenntnisse der Schrauben zu erhalten, wurden für jede unterschiedliche Schraubenlänge, auch, wenn gleicher Durchmesser und gleiche Güte vorlagen, jeweils 3 Zugversuche durchgeführt. Für die Mehrzahl konnte wegen der kurzen Schraubenlängen die Forderung, daß die Meßlänge L_0 5 mal dem abgedrehten Schraubendurchmesser d_0 betragen soll, nicht eingehalten werden. In diesem Fall kann nicht die genormte Bruchdehnung A_5 festgestellt werden.

Da bei sämtlichen Versuchsskörpern Abscheren der Schrauben eintrat, können alle Versuche zur statistischen Auswertung herangezogen werden.

Die Festigkeitsuntersuchungen an den Schrauben ergaben die Werte der Tabellen A 6/1 und A 6/2.

Tabelle A 6/1: Materialkennwerte der Schrauben nach DIN 933 in der Festigkeitsklasse 5.6

Schraube	Nr.	d_0 (mm)	L_0 (mm)	β_s (N/mm ²)	$\beta_{0,2}$ (N/mm ²)	β_z (N/mm ²)	A_5 (%)	
M 16 x 100	5.6	A1	12	36	428.8	-	580.0	32.2 ¹⁾
		A2	12	36	427.1	-	575.0	32.2
		A3	12	36	428.8	-	579.7	31.9
			Mittelwerte		428.2		578.2	32.1
M 16 x 120	5.6	B1	12	60	435.0	-	571.2	31
		B2	12	60	427.1	-	576.7	23.3
		B3	12	60	426.2	-	573.6	23.3
			B4	12.1	60	440.9	-	567.9
		Mittelwerte		434.1		572.4	27.5 ¹⁾	
M 20 x 100	5.6	C1	15	25	456.7	-	584.6	48.0
		C2	15	25	456.1	-	592.5	48.8
		C3	15	25	466.9	-	588.0	51.2
		Mittelwerte		459.9		588.4	49.3 ¹⁾	
M 24 x 100	5.6	D1	18	36	377.6	-	533.7	45.0
		D2	18	36	382.3	-	537.6	45.0
		D3	18	36	384.3	-	536.4	45.8
		Mittelwerte		381.4		535.9	45.3 ¹⁾	
M 24 x 140	5.6	E1	18	54	379.2	-	547.8	36.1
		E2	18	54	379.2	-	550.2	35.4
		E3	18	54	377.2	-	552.5	35.6
		Mittelwerte		378.6		550.2	35.7	

1) Diese Bruchdehnungen sind keine A_5 -Werte, weil $L_0 \neq 5 d_0$!

Tabelle A 6/2: Materialkennwerte der Schrauben nach DIN 933 in der Festigkeitsklasse 10.9

Schraube	Nr.	d_o (mm)	L_o (mm)	β_s (N/mm ²)	$\beta_{0,2}$ (N/mm ²)	β_z (N/mm ²)	A_5 (%)
M 16 x 95 10.9	F1	12	25	-	1043.3	1135.3	24.0 ¹⁾
	F2	12	25	-	1156.5	1251.1	22.0 ¹⁾
	F3	12	25	-	1092.0	1185.7	23.6
	Mittelwerte				1097.3	1190.7	23.2
M 16 x 130 10.9	G1	12	60	-	1061.0	1181.3	10.2
	G2	12	60	-	1061.0	1155.6	11.2
	G3	12	60	-	1040,7	1138.0	11.0
	Mittelwerte				1054.2	1158.3	10.9
M 20 x 120 10.9	H1	15	45	-	991.5	1095.5	17.3 ¹⁾
	H2	15	45	-	994.3	1093.9	17.8
	H3	15	45	-	958.1	1059.9	17.8
	Mittelwerte				981.2	1081.4	17.6
M 24 x 120 10.9	K1	18	25	-	1002.4	1106.2	32.0 ¹⁾
	K2	18	25	-	1007.1	1111.3	32.0
	K3	18	25	-	1015.7	1125.9	32.0
	Mittelwerte				1008.4	1114.5	32.0
M 24 x 140 10.9	L1	18	54	-	1035.4	1131.4	17.4 ¹⁾
	L2	18	54	-	1025.5	1120.4	16.8
	L3	18	54	-	1029.5	1128.6	16.7
	Mittelwerte				1030.1	1126.8	17.0

¹⁾ Diese Bruchdehnungen sind keine A_5 -Werte, weil $L_o \neq 5 d_o$!

Es wurden insgesamt 120 Abscherversuche an zweischnittigen Einschraubenverbindungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle A 7 zusammengestellt.

Tabelle A 7: Zusammenstellung der Abschertraglasten in kN für geschraubte Laschenverbindungen mit Gewinde in beiden Scherfugen

Abschertraglasten [kN]								
Stab	Laschen	M	Güte	01-40	41-80	81-120	Mittel	Variat.- Koeffiz.
15	+ 2 x 8	16	5.6	125.7	122.2	119.7	122.5	2.5
25	+ 2 x 8	16		125.1	130.7	123.7	126.5	2.9
40	+ 2 x 8	16		121.2	125.2	125.9	124.1	2.0
50	+ 2 x 8	16		125.4	125.0	123.5	124.6	0.8
15	+ 2 x25	16	5.6	123.8	127.9	123.8	125.2	1.9
25	+ 2 x25	16		130.2	124.0	126.9	127.0	2.4
40	+ 2 x25	16		124.9	129.9	125.2	126.6	2.2
50	+ 2 x25	16		126.7	125.9	126.7	126.4	0.4
15	+ 2 x 8	20	5.6	197.9	198.6	197.5	198.0	0.3
25	+ 2 x 8	20		191.8	195.9	192.6	193.4	1.1
40	+ 2 x 8	20		194.9	187.8	195.6	192.7	2.2
50	+ 2 x 8	20		194.0	191.7	195.6	193.7	1.0
15	+ 2 x10	24	5.6	262.8	259.1	255.8	259.2	1.3
25	+ 2 x10	24		267.4	260.6	260.0	262.6	1.6
40	+ 2 x10	24		269.7	268.0	261.7	266.4	1.6
50	+ 2 x10	24		262.5	261.6	261.7	261.9	0.2
15	+ 2 x25	24	5.6	257.2	266.0	260.5	261.2	1.7
25	+ 2 x25	24		271.4	272.8	264.9	269.7	1.6
40	+ 2 x25	24		271.1	267.3	267.8	268.7	0.8
50	+ 2 x25	24		267.2	266.5	266.9	266.8	0.1
20	+ 2 x10	16	10.9	207.3	210.4	217.9	211.9	2.6
30	+ 2 x10	16		206.9	223.9	206.3	212.3	4.7
40	+ 2 x10	16		213.4	202.3	217.1	210.9	3.7
50	+ 2 x10	16		211.1	205.3	222.6	213.0	4.1
20	+ 2 x25	16	10.9	216.5	200.8	207.8	208.4	3.8
30	+ 2 x25	16		204.9	212.8	214.0	210.6	2.3
40	+ 2 x25	16		214.1	213.9	208.1	212.0	1.6
50	+ 2 x25	16		216.9	212.2	210.7	213.2	1.5
20	+ 2 x15	20	10.9	320.4	320.5	316.4	319.1	0.7
30	+ 2 x15	20		311.4	306.4	312.0	309.9	1.0
40	+ 2 x15	20		329.4	329.2	318.4	325.6	1.9
50	+ 2 x15	20		331.4	329.4	323.2	328.0	1.3
25	+ 2 x15	24	10.9	462.3	489.0	469.0	473.4	2.9
30	+ 2 x15	24		481.8	472.7	474.0	476.2	1.0
40	+ 2 x15	24		484.7	487.8	478.6	483.7	1.0
50	+ 2 x15	24		470.9	474.2	487.2	477.4	1.8
25	+ 2 x25	24	10.9	448.9	459.7	484.6	464.4	3.9
30	+ 2 x25	24		479.6	462.9	463.3	468.6	2.0
40	+ 2 x25	24		467.0	461.1	457.0	461.7	1.1
50	+ 2 x25	24		462.2	459.1	473.4	464.9	1.6

Aus den Abschertraglasten ergeben sich mit den Nennquerschnitten die Abscherspannungen β_a in N/mm^2 nach Tabelle A 8.

Tabelle A 8: Abscherspannungen β_a in N/mm^2

Stab	Laschen	M	Güte	01-40	41-80	81-120	Mittel
15	+ 2 x 8	16	5.6	400.3	389.2	381.1	390.2
25	+ 2 x 8	16		398.5	416.2	393.9	402.9
40	+ 2 x 8	16		386.0	398.6	401.0	395.2
50	+ 2 x 8	16		399.2	397.9	393.3	396.8
15	+ 2 x25	16	5.6	394.3	407.3	394.3	398.6
25	+ 2 x25	16		414.5	394.9	404.0	404.5
40	+ 2 x25	16		397.7	413.5	398.7	403.3
50	+ 2 x25	16		403.5	401.0	403.5	402.6
15	+ 2 x 8	20	5.6	403.8	405.2	403.0	404.0
25	+ 2 x 8	20		391.4	399.8	393.0	394.7
40	+ 2 x 8	20		397.7	383.2	399.1	393.3
50	+ 2 x 8	20		395.9	391.1	399.1	395.4
15	+ 2 x10	24	5.6	372.2	367.0	362.3	367.2
25	+ 2 x10	24		378.7	369.1	368.2	372.0
40	+ 2 x10	24		381.9	379.5	370.7	377.4
50	+ 2 x10	24		371.8	370.5	370.6	371.0
15	+ 2 x25	24	5.6	364.3	376.8	369.0	370.0
25	+ 2 x25	24		384.3	386.4	375.1	382.0
40	+ 2 x25	24		384.0	378.5	379.2	380.6
50	+ 2 x25	24		378.5	377.4	378.0	378.0
20	+ 2 x10	16	10.9	660.3	669.9	693.9	674.7
30	+ 2 x10	16		658.9	713.1	656.8	676.3
40	+ 2 x10	16		679.6	644.1	691.4	671.7
50	+ 2 x10	16		672.1	653.8	708.9	678.3
20	+ 2 x25	16	10.9	689.6	639.5	661.6	663.6
30	+ 2 x25	16		652.5	677.5	681.5	670.5
40	+ 2 x25	16		682.0	681.2	662.7	675.3
50	+ 2 x25	16		690.8	675.6	670.9	679.1
20	+ 2 x15	20	10.9	653.9	654.1	645.6	651.2
30	+ 2 x15	20		635.5	625.2	636.6	632.4
40	+ 2 x15	20		672.1	671.7	649.7	664.5
50	+ 2 x15	20		676.4	672.1	659.6	669.4
25	+ 2 x15	24	10.9	654.8	692.6	664.3	670.6
30	+ 2 x15	24		682.4	669.5	671.4	674.5
40	+ 2 x15	24		686.5	690.9	677.9	685.1
50	+ 2 x15	24		666.9	671.7	690.0	676.2
25	+ 2 x25	24	10.9	635.8	651.1	686.4	657.8
30	+ 2 x25	24		679.3	655.7	656.2	663.7
40	+ 2 x25	24		661.4	653.0	647.2	653.9
50	+ 2 x25	24		654.7	650.2	670.5	658.5

Die Gegenüberstellung der Abschertragsspannungen mit den für die jeweils verwendete Schrauben aus 3 Zugversuchen ermittelten Zugfestigkeiten ergibt den Abscherquotienten α_a gemäß Tabelle A 9.

Tabelle A 9: Abscherquotient α_a

Stab	Laschen	M	Güte	01-40	41-80	81-120	Mittel
15	+ 2 x 8	16	5.6	0.69	0.67	0.66	0.67
25	+ 2 x 8	16		0.69	0.72	0.68	0.70
40	+ 2 x 8	16		0.67	0.69	0.69	0.68
50	+ 2 x 8	16		0.69	0.69	0.68	0.69
15	+ 2 x25	16	5.6	0.68	0.70	0.68	0.69
25	+ 2 x25	16		0.72	0.69	0.71	0.70
40	+ 2 x25	16		0.69	0.72	0.70	0.70
50	+ 2 x25	16		0.70	0.70	0.70	0.70
15	+ 2 x 8	20	5.6	0.69	0.69	0.68	0.69
25	+ 2 x 8	20		0.67	0.68	0.67	0.67
40	+ 2 x 8	20		0.68	0.65	0.68	0.67
50	+ 2 x 8	20		0.67	0.66	0.68	0.67
15	+ 2 x10	24	5.6	0.69	0.68	0.68	0.69
25	+ 2 x10	24		0.71	0.69	0.69	0.69
40	+ 2 x10	24		0.71	0.71	0.69	0.70
50	+ 2 x10	24		0.68	0.67	0.67	0.67
15	+ 2 x25	24	5.6	0.68	0.70	0.67	0.68
25	+ 2 x25	24		0.70	0.70	0.68	0.69
40	+ 2 x25	24		0.70	0.69	0.69	0.69
50	+ 2 x25	24		0.69	0.69	0.69	0.69
					Mittelwert		0.687
					Variat.-Koeffiz.		2.2
20	+ 2 x10	16	10.9	0.55	0.56	0.58	0.57
30	+ 2 x10	16		0.55	0.60	0.55	0.57
40	+ 2 x10	16		0.57	0.54	0.58	0.56
50	+ 2 x10	16		0.56	0.55	0.60	0.57
20	+ 2 x25	16	10.9	0.58	0.54	0.56	0.56
30	+ 2 x25	16		0.56	0.58	0.59	0.58
40	+ 2 x25	16		0.59	0.59	0.57	0.58
50	+ 2 x25	16		0.60	0.58	0.58	0.59
20	+ 2 x15	20	10.9	0.60	0.60	0.60	0.60
30	+ 2 x15	20		0.59	0.58	0.59	0.58
40	+ 2 x15	20		0.62	0.62	0.60	0.61
50	+ 2 x15	20		0.63	0.62	0.61	0.62
25	+ 2 x15	24	10.9	0.59	0.62	0.60	0.60
30	+ 2 x15	24		0.61	0.60	0.60	0.61
40	+ 2 x15	24		0.62	0.62	0.61	0.61
50	+ 2 x15	24		0.60	0.60	0.62	0.61
25	+ 2 x25	24	10.9	0.57	0.58	0.62	0.59
30	+ 2 x25	24		0.61	0.59	0.59	0.60
40	+ 2 x25	24		0.59	0.58	0.57	0.58
50	+ 2 x25	24		0.58	0.58	0.60	0.58
					Mittelwert		0.589
					Variat.-Koeffiz.		3.7

Beurteilung

Die Versuchsergebnisse können - gegebenenfalls selektiv nach Schraubendurchmesser und Schraubenqualität - in der statistischen Bearbeitung berücksichtigt werden, weil die Versuchsdurchführung keine Widersprüche und keine Unklarheiten im Gegensatz zu /24/ besitzt. Es liegen Einzelwerte der Abscherversuche und zu dem jeweiligen Schraubentyp zugehörige Mittelwerte der Zugfestigkeiten aus drei Schraubenzugversuchen vor.

Zum Zeitpunkt der Durchführung der statistischen Auswertung lagen aus diesem Versuchsprogramm erst Teilergebnisse vor. Aus diesem Grunde konnten nicht alle Daten in die statistische Auswertung eingebracht werden.

3.2.4. Petersen, Chr.: "Tragversuche an zweiseitigen SL- und VSL-Schraubenverbindungen". Der Stahlbau 58 (1989) Heft 9, S. 263-267 /54/

Allgemeines

Die Veröffentlichung enthält Untersuchungsergebnisse an geschraubten, zweiseitigen Laschenverbindungen des Stahlbaus aus St 37 und St 52 mit einer Schraube der Festigkeitsklasse 10.9. Insgesamt wurden 56 Versuchskörper geprüft. Vornehmliches Ziel der Untersuchungen war es, die Lochleibungstragfähigkeit zu prüfen. In insgesamt 14 Versuchen versagten die Prüfkörper durch Abscheren der Schrauben im Schaftquerschnitt, so daß diese Versuchsergebnisse für die statistische Auswertung mit herangezogen werden können.

Es wurden nur HV-Schrauben M 16 verwendet. Für diese Schrauben wurde die Materialfestigkeit in Zugprüfungen ermittelt, von welchen 2 normgerecht waren. Hieraus läßt sich im Mittel die Zugfestigkeit zu $\beta_{Z,n} = 1143 \text{ N/mm}^2$ errechnen.

Aus den Abscheruntersuchungen ergaben sich die Versuchsergebnisse

der Tabelle A 10.

Tabelle A 10: Abschertraglasten F_u in kN und Abscherquotient α_a
(entnommen aus /54/, Tabelle 1)

Versuchs-Nr.	Abschertraglast F_u in kN	Abscherquotient α_a
6	251	0,57
8	272	0,62
9	279	0,63
16	249	0,56
18	274	0,62
19	274	0,62
25	486	0,55
31	556	0,63
37	248	0,54
38	263	0,57
44	254	0,55
49	259	0,57
50	268	0,58
56	268	0,58

Beurteilung

Der verwendbaren Versuchsergebnisse bilden eine Teilmenge aus einem größeren Versuchsprogramm, das hauptsächlich auf die Untersuchung der Lochleibungstragfähigkeit ausgerichtet war. Es besteht kein Zweifel daran, daß die Untersuchungen für die hier vorgesehene statistische Auswertung verwendet werden können. Eine Selektion nach Qualität der Stab- und Laschenteile erscheint nicht erforderlich. Die Angaben werden in die data-sheets übernommen.

4. Zusammenfassende Bewertung

Zur Literatur /20/ wurde eine Auswertung und kritische Beurteilung direkt bei der Bewertung und Eingabe der zugehörigen Datenblätter in die statistische Untersuchung durch das Institut für Stahlbau in Braunschweig vorgenommen. Bei diesem Bericht handelt es sich um Abscheruntersuchungen im Schergerät, die im Rahmen der Dissertation Knobloch in Essen durchgeführt wurden.

Bei dem Bericht /21/ handelt es sich um einen Versuchsbericht mit dem Titel "Einfache Schraubenverbindungen" (Doppellaschen-Zugscher-verbindungen) aus dem Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig vom Dezember 1980. Die Beurteilung und Bewertung dieser Versuchsergebnisse erfolgte direkt bei der Eingabe der Testdaten von den data-sheets zur statistischen Auswertung durch das Institut für Stahlbau in Braunschweig.

Die Revision und Komplettierung der Daten aus Versuchen an Schraubenverbindungen, bei welchen das Abscheren der Schrauben die maßgebende Ursache war, erfolgte in den Abschnitten 3.1. und 3.2. anhand von insgesamt 8 Forschungsarbeiten. Aus 6 Arbeiten können direkt Versuchsergebnisse in die statistische Auswertung übernommen werden. Eine Arbeit sollte nicht verwendet werden. Die im Abschnitt 2.2. festgelegten Bewertungskriterien konnten nahezu vollständig für alle Versuchsberichte benutzt werden. Die Tabellen

A 11/1 bis A 11/8 geben hierüber einen Überblick. Sie können auch verwendet werden, wenn es darum geht, Selektionskriterien für die statistische Auswertung von Teilmengen festzulegen.

Insgesamt kann man sagen, daß die Versuchsberichte bis auf /30/ praktisch keine Veranlassung geben, ihre Ergebnisse, soweit sie in dem vorgenannten Abschnitt 3 genannt wurden, in die statistische Auswertung aufzunehmen. Nicht genannte Versuche sollten nicht aufgenommen werden, da entweder Zweifel an der Durchführung, Ungereimtheiten bei der Durchführung oder nicht ausreichende Dokumentationen vorliegen. Entsprechend den Versuchsberichten wurden EC 3-data-sheets ergänzt bzw. neu erarbeitet.

Tabelle A 11/1: Bewertungskriterien von Versuchsergebnissen an Schrauben auf Abscheren zur Bestimmung der Abscherfestigkeit und des Verhältnisses α_a

Auswertung der Lit /6/, s. Abschnitt 3.1.1.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Schraubendurchmesser [mm]: M 20
2	Festigkeitsklasse: 4.6, 8.8, 10.9
3	Vorspannung: i.a. keine, gelegentlich teilweise (T 20) und voll (T 50)
4	Schergerät: -
5	kombin. Schergerät: Im 1. Teil des Berichtes, Nr. BS 6.45 - 6.67
6	Laschenverbindung: Im 2. Teil des Berichtes, Nr. BS 6.1 - 6.44
7	Schnittigkeit: 2
8	Lochspiel: i.a. 2 mm, teilweise 0,3 mm, teilweise 0 (injection bolt)
9	maßgeb. Scher-Querschnitt a) Nennwert: Schaft und Gewinde b) gemessener Wert: -
10	Zugfestigkeit ¹⁾ : 4, 5, 7 (6 an 2 Proben), 8

¹⁾ Erläuterung zur Bedeutung der Ziffern

- 1: Nennwert, keine Materialprüfungen
- 2: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
- 3: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen mit Angabe der Standardabweichung
- 4: Einzelwerte aus Materialprüfungen
- 5: Ganzschraubenversuch
- 6: Abgedrehte Proben nach DIN ISO 898 T 1
- 7: Abgedrehte Proben, keine Angabe zu DIN ISO 898 T 1
- 8: Zugfestigkeitsgeprüfte Schrauben stammen aus dem gleichen Los, wie die schergeprüften Schrauben

Tabelle A 11/2: Bewertungskriterien von Versuchsergebnissen an Schrauben auf Abscheren zur Bestimmung der Abscherfestigkeit und des Verhältnisses α_a

Auswertung der Lit /42/, s. Abschnitt 3.1.2.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Schraubendurchmesser [mm]: M 20
2	Festigkeitsklasse: 4.6 (black bolts)
3	Vorspannung: Nein (finger tight)
4	Schergerät: -
5	kombin. Schergerät: Sämtl. Schrauben
6	Laschenverbindung: -
7	Schnittigkeit: 2
8	Lochspiel [mm]: Keine Angabe
9	maßgeb. Scher-Querschnitt a) Nennwert: Schaft (Serie A, B) Gewindeauslauf (A), Gewinde (B), Shank (C) b) gemessener Wert: -
10	Zugfestigkeit ¹⁾ : 4, 7, 8

1) Erläuterung zur Bedeutung der Ziffern

- 1: Nennwert, keine Materialprüfungen
- 2: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
- 3: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen mit Angabe der Standardabweichung
- 4: Einzelwerte aus Materialprüfungen
- 5: Ganzschraubenversuch
- 6: Abgedrehte Proben nach DIN ISO 898 T 1
- 7: Abgedrehte Proben, keine Angabe zu DIN ISO 898 T 1
- 8: Zugfestigkeitsgeprüfte Schrauben stammen aus dem gleichen Los, wie die schergeprüften Schrauben

Tabelle A 11/3: Bewertungskriterien von Versuchsergebnissen an Schrauben auf Abscheren zur Bestimmung der Abscherfestigkeit und des Verhältnisses α_a

Auswertung der Lit /30/, s. Abschnitt 3.1.3.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Schraubendurchmesser [mm]: 5, 10, 16
2	Festigkeitsklasse: Black bolts (sonst keine Angabe)
3	Vorspannung: Keine Angabe
4	Schergerät: -
5	kombin. Schergerät: -
6	Laschenverbindung: Einschnittig, kaltgef. Bleche und Profile
7	Schnittigkeit: 1
8	Lochspiel [mm]: Keine Angabe
9	maßgeb. Scher-Querschnitt: a) Nennwert: Keine Angabe b) gemessener Wert: Keine Angabe
10	Zugfestigkeit ¹⁾ : Keine Angabe

1) Erläuterung zur Bedeutung der Ziffern

- 1: Nennwert, keine Materialprüfungen
- 2: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
- 3: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
mit Angabe der Standardabweichung
- 4: Einzelwerte aus Materialprüfungen
- 5: Ganzschraubenversuch
- 6: Abgedrehte Proben nach DIN ISO 898 T 1
- 7: Abgedrehte Proben, keine Angabe zu DIN ISO 898 T 1
- 8: Zugfestigkeitsgeprüfte Schrauben stammen aus dem
gleichen Los, wie die schergeprüften Schrauben

Tabelle A 11/4: Bewertungskriterien von Versuchsergebnissen an Schrauben auf Abscheren zur Bestimmung der Abscherfestigkeit und des Verhältnisses α_a

Auswertung der Lit /24/, s. Abschnitt 31.4.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Schraubendurchmesser [mm]: M 16, M 20, M 24
2	Festigkeitsklasse: 10.9
3	Vorspannung: Keine
4	Schergerät: -
5	kombin. Schergerät: -
6	Laschenverbindung: Ja
7	Schnittigkeit: 2
8	Lochspiel [mm]: 2
9	maßgeb. Scher-Querschnitt: a) Nennwert: Schaft (Gewinde nicht verwertet) b) gemessener Wert: -
10	Zugfestigkeit ¹⁾ : $\beta_{0,2}$: 3, β_2 : 2, 6, 8

1) Erläuterung zur Bedeutung der Ziffern

- 1: Nennwert, keine Materialprüfungen
- 2: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
- 3: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen mit Angabe der Standardabweichung
- 4: Einzelwerte aus Materialprüfungen
- 5: Ganzschraubenversuch
- 6: Abgedrehte Proben nach DIN ISO 898 T 1
- 7: Abgedrehte Proben, keine Angabe zu DIN ISO 898 T 1
- 8: Zugfestigkeitsgeprüfte Schrauben stammen aus dem gleichen Los, wie die schergeprüften Schrauben

Tabelle A 11/5: Bewertungskriterien von Versuchsergebnissen an Schrauben auf Abscheren zur Bestimmung der Abscherfestigkeit und des Verhältnisses σ_a

Auswertung der Lit /51/, s. Abschnitt 3.2.1.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Schraubendurchmesser [mm]: M 16, M 20, M 24
2	Festigkeitsklasse: 4.6
3	Vorspannung: Nein
4	Schergerät: -
5	kombin. Schergerät: -
6	Laschenverbindung: Ja
7	Schnittigkeit: 2
8	Lochspiel [mm]: 2
9	maßgeb. Scher-Querschnitt: a) Nennwert: Schaft b) gemessener Wert: -
10	Zugfestigkeit ¹⁾ : 2, 6, 8

1) Erläuterung zur Bedeutung der Ziffern

- 1: Nennwert, keine Materialprüfungen
- 2: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
- 3: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen mit Angabe der Standardabweichung
- 4: Einzelwerte aus Materialprüfungen
- 5: Ganzschraubenversuch
- 6: Abgedrehte Proben nach DIN ISO 898 T 1
- 7: Abgedrehte Proben, keine Angabe zu DIN ISO 898 T 1
- 8: Zugfestigkeitsgeprüfte Schrauben stammen aus dem gleichen Los, wie die schergeprüften Schrauben

Tabelle A 11/6: Bewertungskriterien von Versuchsergebnissen an
Schrauben auf Abscheren zur Bestimmung der Abscher-
festigkeit und des Verhältnisses α_a

Auswertung der Lit /52/, s. Abschnitt 3.2.2.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Schraubendurchmesser [mm]: M 12
2	Festigkeitsklasse: 10.9
3	Vorspannung: Nein
4	Schergerät: -
5	kombin. Schergerät: -
6	Laschenverbindung: Ja
7	Schnittigkeit: 2
8	Lochspiel [mm]: 2
9	maßgeb. Scher-Querschnitt: a) Nennwert: - b) gemessener Wert: Schaft 11,9 mm
10	Zugfestigkeit ¹⁾ : 2, 6, 8

1) Erläuterung zur Bedeutung der Ziffern

- 1: Nennwert, keine Materialprüfungen
- 2: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
- 3: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
mit Angabe der Standardabweichung
- 4: Einzelwerte aus Materialprüfungen
- 5: Ganzschraubenversuch
- 6: Abgedrehte Proben nach DIN ISO 898 T 1
- 7: Abgedrehte Proben, keine Angabe zu DIN ISO 898 T 1
- 8: Zugfestigkeitsgeprüfte Schrauben stammen aus dem
gleichen Los, wie die schergeprüften Schrauben

Tabelle A 11/7: Bewertungskriterien von Versuchsergebnissen an Schrauben auf Abscheren zur Bestimmung der Abscherfestigkeit und des Verhältnisses α_a

Auswertung der Lit /53/, s. Abschnitt 3.2.3.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Schraubendurchmesser [mm]: M 16, M 20, M 24
2	Festigkeitsklasse: 5.6 und 10.9
3	Vorspannung: Nein
4	Schergerät: -
5	kombin. Schergerät: -
6	Laschenverbindung: Ja
7	Schnittigkeit: 2
8	Lochspiel [mm]: 2
9	maßgeb. Scher-Querschnitt: a) Nennwert: Gewindequerschnitt b) gemessener Wert: -
10	Zugfestigkeit ¹⁾ : 2, 6, 8

1) Erläuterung zur Bedeutung der Ziffern

- 1: Nennwert, keine Materialprüfungen
- 2: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
- 3: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen mit Angabe der Standardabweichung
- 4: Einzelwerte aus Materialprüfungen
- 5: Ganzschraubenversuch
- 6: Abgedrehte Proben nach DIN ISO 898 T 1
- 7: Abgedrehte Proben, keine Angabe zu DIN ISO 898 T 1
- 8: Zugfestigkeitsgeprüfte Schrauben stammen aus dem gleichen Los, wie die schergeprüften Schrauben

Tabelle A 11/8: Bewertungskriterien von Versuchsergebnissen an Schrauben auf Abscheren zur Bestimmung der Abscherfestigkeit und des Verhältnisses α_a

Auswertung der Lit /54/, s. Abschnitt 3.2.4.

Nr.	Bewertungskriterium
1	Schraubendurchmesser [mm]: M 16
2	Festigkeitsklasse: 10.9
3	Vorspannung: ohne und mit Vorspannung
4	Schergerät: Nein
5	kombin. Schergerät: Nein
6	Laschenverbindung: Ja
7	Schnittigkeit: 2
8	Lochspiel [mm]: 1 mm
9	maßgeb. Scher-Querschnitt: a) Nennwert: Schaftquerschnitt b) gemessener Wert: -
10	Zugfestigkeit ¹⁾ : 4, 7, 8

1) Erläuterung zur Bedeutung der Ziffern

- 1: Nennwert, keine Materialprüfungen
- 2: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen
- 3: Mittelwert aus durchgeführten Materialprüfungen mit Angabe der Standardabweichung
- 4: Einzelwerte aus Materialprüfungen
- 5: Ganzschraubenversuch
- 6: Abgedrehte Proben nach DIN ISO 898 T 1
- 7: Abgedrehte Proben, keine Angabe zu DIN ISO 898 T 1
- 8: Zugfestigkeitsgeprüfte Schrauben stammen aus dem gleichen Los, wie die schergeprüften Schrauben

Teil B: Hintergrundbericht für DIN 18800 T1 und Eurocode 35 Vorbemerkung zu Teil B

Die in [1] nach [3] (siehe auch Anlage 1) durchgeführte statistische Versuchsauswertung wird im folgenden im Hinblick auf

- die Auswahl der in die Auswertung einbezogenen Versuchsergebnisse
- getroffene Annahmen
- statistische Methoden

analysiert und bewertet.

Anschließend erfolgt eine eigene statistische Versuchsauswertung nach dem in [3] beschriebenen Verfahren. Darin fließen die bereits in [1] verwerteten Versuche unter Berücksichtigung der in Teil A dieses Berichts durchgeführten Bewertung größtenteils ein. Zusätzlich finden weitere Versuchsergebnisse (siehe Seite VII) Berücksichtigung.

Die Auswertung erfolgt in drei Schritten, in denen der Einfluß der Zusammensetzung der Stichproben bzw. von für die hier zu behandelnde Bemessungsfunktion ungeeigneten, in das Auswertungsergebnis von [1] jedoch eingeflossenen Versuchsergebnissen untersucht wird.

Es wird eine Empfehlung für die Bemessungswerte der Abschertraglasten gegeben, die Gültigkeit für gestützte auf Abscheren beanspruchte Schraubenverbindungen hat (vergleiche Abschnitt V).

6 Darstellung und Bewertung der Versuchsauswertung des Hintergrundberichtes

6.1 Verfahren der Auswertung

Für den Hintergrundbericht wurde das in [4] beschriebene Verfahren verwendet. Dieses Verfahren ist in [3], Kapitel 4 zusammenfassend dargestellt. (Seite - 20 - : This procedure has been applied for all strength functions in Eurocode 3). Eine Zusammenstellung ist als Anlage 1 beigelegt.

Dieses Verfahren stimmt weitgehend mit denen von [9] überein. Die Grundideen hierfür wurden in [7] dargestellt. In [8] wurden sie bereits auf die Planung und Auswertung geschraubter Verbindungen angewendet. Nachfolgend werden die verwendeten Verfahren in den wesentlichen Teilen zusammengestellt, wobei im Interesse der besseren Lesbarkeit z.T. von den in [4] verwendeten Bezeichnungen abgewichen wird.

Ausgangspunkt der Auswertung ist das theoretische Modell (Prior-Modell) für die Abschertraglast F_A (allg. Widerstand R)

$$F_A \equiv R_t = g_{Rt}(\beta_z, A) = \alpha \cdot \beta_z \cdot A \quad (1)$$

mit den beiden Basisvariablen (streuende Größen)

β_z Zugfestigkeit der Schrauben

A Scherfläche der Schrauben (Schaft- bzw. Spannungsquerschnitt)

und

α Modellfaktor.

Zur Auswertung wird dieses Modell auf die sog. erweiterte Form gebracht

$$R_e = g_{Re}(\beta_z, A, D) = g_{Rt}(\beta_z, A) \cdot D \quad (2)$$

Die Korrekturvariable D ist wie die Basisvariablen eine Zufalls-

größe.

Mittelwert, charakteristische Werte und Bemessungswerte werden durch Indizes m, k und d gekennzeichnet, die Indices t bedeuten theoretisch und e experimentell, z.B.

$\beta_{z,m}, A_m, r_{t,m}, r_{e,m}$ Mittelwerte

$\beta_{z,k}, A_k, r_{t,k}, r_{e,k}$ charakteristische Werte

$r_{t,d}, r_{e,d}$ Bemessungswerte,

wobei für R und D allgemeiner Konvention folgend, Kleinbuchstaben (r = Widerstand, d = Bemessungswert) verwendet werden. Variationskoeffizienten werden durch V gekennzeichnet, z.B.

$V_{\beta_z}, V_A, V_{R_t}, V_{R_e}$ Variationskoeffizienten.

Damit ergibt sich der gewöhnliche Teilsicherheitsbeiwert γ_M zu

$$\gamma_M = r_{e,k} / r_{e,d} \quad (3)$$

In den Regelwerken wird der Bemessungswert der Abschertraglast F_A durch die Bemessungsfunktion dargestellt

$$F_{A,d} = \alpha \cdot \beta_{z,k} \cdot A_k / \gamma_M^* \equiv r_{e,d} \quad (4)$$

woraus sich mit

$$r_{t,k} = g_{R,k}(\beta_{z,k}, A_k) = \alpha \cdot \beta_{z,k} \cdot A_k \quad (5)$$

der modifizierte Teilsicherheitsbeiwert

$$\gamma_M^* = r_{t,k} / r_{e,d} \quad (6)$$

ergibt.

Für Vergleichszwecke ist es nützlich, den Kennwert u

$$u = \alpha / \gamma_M^* \quad (7)$$

und den Bemessungswert der Abscherspannung

$$\beta_{A,d} = \alpha \cdot \beta_{z,k} / \sqrt{M} \tag{8}$$

einzuführen, womit Gl. (4) übergeht in

$$F_{A,d} = \beta_{A,d} \cdot A_k \tag{9}$$

und

$$\beta_{A,d} = u \cdot \beta_{z,k} \tag{10}$$

Die Versuche wurden in [1] gemäß Tabelle B1 in acht Grundstichproben (subsamples) gegliedert, die der vorgesehenen Differenzierung der zukünftigen Regelwerke entsprechen.

Tabelle B1 Definition und Bezeichnung der Grundstichproben

Festigkeits- klasse	Lage der Scherfläche im	
	Schaft	Gewinde
4.6	22.1	32.1
5.6	22.2	32.2
8.8	22.3	32.3
10.9	22.4	32.4

6.2 Annahmen

Die getroffenen Annahmen über die Kenngrößen der Verteilungen der Basisvariablen sowie hinsichtlich des Einbringens einer statistischen Unsicherheit in die Berechnung wurden anhand zweier Vergleichsrechnungen überprüft, da eine eindeutige, umfassende Benennung dieser Größen nicht aufgeführt wurde.

Dazu wurden die Grundstichproben 32.2 und 22.2 verwendet. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 2 und 3 angegeben.

Die Vergleichsrechnungen ergaben, daß die in [2] angegebenen Ergebnisse unter der Annahme, daß die Nennwerte aller Basisvariablen 2,3 % Fraktilwerte ihrer Verteilungen sind, berechnet wurden. Bei der Berechnung von f_M / f_M^* wurde allerdings für das Abscheren im Schaft der Nenndurchmesser als Mittelwert in den Berechnungen von $r_{t,k}$ eingesetzt, womit sich ein kleinerer Wert ergibt.

Die in den einzelnen Versuchsberichten angegebenen Meßwerte der Basisvariablen wurden nicht berücksichtigt. Die statistische Unsicherheit wurde über den Faktor $(n-1)/(n-2)$ für die Summe der Quadrate der Variationskoeffizienten der Grundgesamtheit der Basisvariablen bei der Berechnung von V_D eingebracht.

Die Variationskoeffizienten der Grundgesamtheiten der Basisvariablen wurden, wie in Tabelle B2 angegeben, angesetzt ([1, Part B, Seite I.41]); die verwendeten Werte für Modellfaktoren sind in Tabelle B3 zusammengestellt.

Tabelle B2 Variationskoeffizienten der Basisvariablen

Basisvariable	V
Bolzendurchmesser	0,005
Spannungsquerschnitt A_s	0,01
Schraubenzugfestigkeit β_z	0,07

Tabelle B3 Modellfaktoren α der Rechenmodelle

	Schaft	Gewinde
4.6	0.6	0.6
5.6	0.6	0.6
8.8	0.6	0.6
10.9	0.6	0.5

6.3 Darstellung der Ergebnisse

Das wesentliche Ergebnis des Hintergrundberichtes ist in Tabelle B 4 zusammengestellt. γ_M^* ist der erforderliche, auf den charakteristischen Wert von $(\beta_z \cdot A)$ anzuwendende Teilsicherheitsbeiwert, wenn die Modellfaktoren nach Tabelle B3 verwendet werden. Damit wird von den Autoren des Hintergrundberichtes der Teilsicherheitsbeiwert 1,25 von EC3 als belegt betrachtet. Bezüglich der Bezeichnung k_s und k_d wird auf [1, Part B] verwiesen.

Tabelle B4 Teilsicherheitsbeiwerte

(entnommen aus Tabelle I.2.3 und I.3.3 in [1])

(sub) sample	Kl	no. of tests	K_s	K_d	d_m	V_D	γ_M	γ_M^*
22.1	4.6	106	1.64	3.04	1.160	0.088	1.204	1.130
22.2	5.6	15	1.64	3.04	1.061	0.039	1.164	1.143
22.3	8.8	21	1.64	3.04	1.077	0.068	1.185	1.173
22.4	10.9	34	1.64	3.04	0.982	0.041	1.164	1.235
32.1	4.6	23	1.64	3.04	1.242	0.076	1.193	1.011
32.2	5.6	5	1.64	3.04	1.149	0.012	1.163	1.033
32.3	8.8	59	1.64	3.04	1.210	0.137	1.266	1.190
32.4	10.9	20	1.64	3.04	1.126	0.127	1.255	1.251

Die experimentell ermittelten Abschertraglasten r_{ei} (siehe Anlage 1) sind für die beiden Stichprobengruppen (Schaft, Gewinde) in Abhängigkeit von den zugehörigen theoretischen Werten (siehe Anlage 1) $r_{tmi} = \alpha \cdot \beta_{z,m} \cdot A_m$ und in Abhängigkeit von den Festigkeitsklassen der Schrauben graphisch dargestellt.

Weitere Darstellung der Ergebnisse betreffen u.a. den Vergleich zu nationalen Normen; sie sind hier nicht von Belang.

6.4 Bewertung der Hintergrunddokumentation

6.4.1 Zusammensetzung der Grundstichproben

Zusammensetzung und Umfang der Grundstichproben unterscheiden sich teilweise erheblich.

Die Versuchskörper unterscheiden sich hinsichtlich der Versuchsanordnung in bezug auf Stützung der Schrauben, Schnittigkeit und Anzahl der Schrauben, Festigkeit der Schrauben und der Laschen, Randabstände, Schraubendurchmesser und Lage der Scherfugen.

Als Folge dieser Unterschiede ergibt sich zum Beispiel für die Grundstichprobe 22.2 nach Tabelle B4 (5.6, Gewinde) ein Stichprobenumfang von $n = 5$. Diese Schrauben wurden im Rahmen einer Versuchsreihe ohne jegliche Parametervariation mittels eines Schergerätes abgeschert [20]. Zudem stammen diese Schrauben aus einem Lieferlos. Die Grundstichprobe 22.1 nach Tabelle B4 (4.6, Schaft) umfaßt dagegen 106 Ergebnisse aus vier Versuchsberichten mit den unterschiedlichsten Versuchsanordnungen. Der wesentlichste Unterschied der Stichproben ist der Anteil an in der Versuchsanordnung ungestützt gelagerten Schrauben, der bei den einzelnen Stichproben zwischen 0 und 60 % schwankt. Ungestützte Verbindungen gehören nicht zum Geltungsbereich der zu belegenden Bemessungsfunktion Gl. (4), da deren Versagen auf einem anderen Versagensmechanismus beruht.

Der Einfluß der Stützung wird anhand der Grundstichprobe 32.4 gezeigt. Diese Grundstichprobe umfaßt 20 Versuche aus [20] und [21], die Versuchsanordnungen unterscheiden sich erheblich (Tabelle B5).

Tabelle B5 Grundstichprobe 32.4, Versuchsanordnung


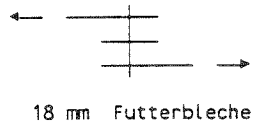
Bericht [20] (Essen)	Bericht [21] (Braunschw.6061)
	
Schergeraet mit hochfesten Lochleibungsflächen n = 15	Laschen aus Baustahl ST 37 n = 5

Tabelle B6 zeigt den Unterschied zwischen gestützten und ungestützten Verbindungen, dargestellt durch die Kenngröße $u = \alpha / \sqrt{\frac{M}{M_0}}$. Diese Kenngrößen wurden auch unter Verwendung der gemessenen Zugfestigkeiten für die Schrauben berechnet.

Dieser Vergleich zeigt deutlich, in welchem hohem Maße die Auswertungsergebnisse durch die Einbeziehung von Versuchen mit ungestützten Verbindungen verfälscht werden können.

Tabelle B6 Kennwert u für Grundstichprobe 32.4

Bericht	Schraubendurchmesser d	Umfang der Stichprobe n	Berücksichtigung gemessener Schraubenzugfestigkeiten β_z				
			mit		ohne ²⁾		
/20/ Essen	16	5	0,549 ¹⁾	0,552	0,413	0,488 ¹⁾	0,473
	20	5	0,579 ¹⁾			0,505 ¹⁾	
	24	5	0,562 ¹⁾			0,536 ¹⁾	
/21/ Braunschweig 6061	12	3	0,234			0,375 ²⁾	0,216
	27	2				0,399 ²⁾	

1) ohne statistische Unsicherheit

2) mit statistischen Parametern nach Hintergrundbericht zu EC3

6.4.2 Einfluß der Nichtberücksichtigung der Zugfestigkeit der Schrauben

Die statistische Auswertung von Versuchen ist eng mit der statistischen Planung verbunden. Die Art der verwendeten Stichprobe bestimmt die Auswertmethode. Nicht repräsentative Stichproben - um solche handelt es sich beim Hintergrundbericht ausschließlich - erfordern neben der Kenntnis eines mechanischen Modells die Kenntnis der Werte der zugeordneten Basisvariablen für jeden Versuchskörper [7, 8, 9].

Wenn die Werte der Basisvariablen nicht bekannt sind, kann dieser Informationsmangel (= zusätzliche Unsicherheit) durch statistische Annahmen "geheilt" werden. Nicht repräsentative Stichproben aus z.B. nur einem Herstell-Los für die Schrauben können z.B. nur "sehr gute" Schrauben enthalten. Dieser Sachverhalt ist seit langem unter der Bezeichnung "Überfestigkeit" bekannt. Die vorgenannten statistischen Annahmen müssen dementsprechend immer eine "sehr gute" Stichprobe unterstellen. Dies führt notwendigerweise zu einer Vergrößerung der Teilsicherheitsbeiwerte gegenüber der Auswertung bei Kenntnis und Berücksichtigung der Werte der Basisvariablen.

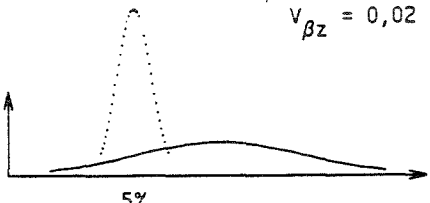
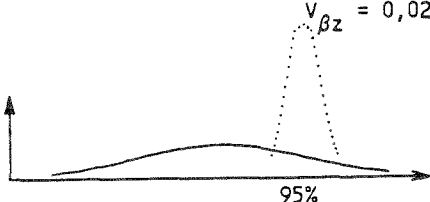
Tabelle B7 veranschaulicht den Einfluß der Nichtberücksichtigung der Werte der Basisvariablen an einem Beispiel für die Basisvariable Zugfestigkeit β_z und Modellfaktor 0,7. Die Zugfestigkeit β_z sei lognormal verteilt und habe den Variationskoeffizienten $V = 0,07$ (Grundgesamtheit). Im übrigen gelten dieselben Annahmen wie bisher. Für die Grundgesamtheit erhält man $\gamma_M^* = 1,107$.

Der Einfluß der Nichtberücksichtigung wird für drei simulierte Stichproben gezeigt, deren Umfang auf $n = 50$ festgelegt wurde, um den Einfluß der statistischen Unsicherheit weitgehend auszuschließen. Die erste Stichprobe ist bezüglich der Zugfestigkeit repräsentativ, sie ist aus der zur Grundgesamtheit gehörigen Verteilungsfunktion mit $V = 0,07$ gezogen. Bei der zweiten und dritten Stichprobe wird unterstellt, daß die aus einem "schlechten" bzw. aus einem "guten" Los stammen. Der Mittelwert des "schlechten" Loses sei gleich der 5%-Fraktile der Grundgesamtheit

aller Schrauben, der des "guten" Loses gleich der 95%-Fraktile. Der Variationskoeffizient sei in beiden Fällen $V = 0,02$. Aufgrund der vorliegenden Daten dürfen diese Annahmen als realistisch betrachtet werden.

Es zeigt sich, daß die Auswertung mit Berücksichtigung der Werte für die Streckgrenze β_z unabhängig von der Art der Stichprobe ist und daß $\gamma_{\bar{M}}^* = 1,085$ nahe am wahren Wert von 1,07 liegt. Bei der Stichprobe aus dem guten Los (Überfestigkeit) liefert die Auswertung ohne Berücksichtigung der Werte für die Streckgrenze etwa dasselbe Ergebnis wie bei der Auswertung mit Berücksichtigung. Bei der repräsentativen Stichprobe führt die Nichtberücksichtigung zu einer Vergrößerung von $\gamma_{\bar{M}}^*$ um 18 %, bei der Stichprobe aus dem schlechten Los um 22 %.

Tabelle B7 Vergleich der Auswertung mit und ohne Berücksichtigung der Werte für β_{zi} für verschiedene Stichproben vom Umfang $n = 50$ mit $\alpha_m = 0.7$ und $V_A = 0.02$

Grundgesamtheit / Stichprobe	β_{zi}	γ_m^*	γ_m	$\frac{\gamma_{m,ohne}^*}{\gamma_{m,mit}^*}$
I Grundgesamtheit (analyt. Rechnung) $V_{\beta z} = 0,07$	mit	1,1070	1,1150	
II simulierte repräsentative Stichprobe $V_{\beta z} = 0,07$ $r_{ti} = \beta_{Ai} = \alpha_m * \beta_{zi}$	mit	1,1085	1,1145	1,18
	ohne	1,3080	1,3169	
III simulierte Stichprobe $V_{\beta z} = 0,02$ 	mit	1,1085	1,1201	1,22
	ohne	1,3525	1,3721	
IV simulierte Stichprobe $V_{\beta z} = 0,02$ 	mit	1,1085	1,1204	0,98
	ohne	1,0862	1,1028	

7 Eigene Versuchsauswertung

7.1 Methoden, Annahmen und Bezeichnungen

Die Auswertung des Hintergrundberichtes weist zwei wesentliche Mängel auf

- die Einbeziehung ungestützter Verbindungen
- die Nichtberücksichtigung der gemessenen Werte für die Zugfestigkeit der Schrauben.

Deshalb wurde eine eigene Auswertung der Versuche aufgenommen, in die auch neuere, im Hintergrundbericht nicht enthaltene Versuche aufgenommen wurden (Teil A).

Für die Untersuchung wurden, ausgehend von den Grundstichproben nach Tabelle B1 weitere Unterteilungen dieser Stichproben vorgenommen. Die unterste Ebene bilden die Elementarstichproben (Tabellen B8/1 bis B8/3), die jeweils gleiche Versuche bezüglich aller verwendeten Unterscheidungsmerkmale beinhalten.

Für die Unterscheidungsmerkmale werden folgende Bezeichnungen verwendet

Lage der Scherfuge

G = im Gewinde

S = im Schaft

Stützung der Verbindung

g = gestützt

u = ungestützt

Abscherbedingung

SG = Schergerät

LA = Laschenverbindung

Quelle

[....] = Nummer des Berichts

Schraubenschaftdurchmesser

d = Nenndurchmesser [mm]

Die Unterteilung soll Aufschluß geben über den Einfluß

- der Stützung der Verbindung (gestützt - ungestützt)
- der Abscherbedingung (Schergerät - Laschenversuch)
- der Zusammensetzung der Grundstichproben aus Elementarstichproben.

Tabelle B8/1 zeigt die Zerlegung der Grundstichproben auf der Basis der originalen Datasheets. In Tabelle B8/2 sind die elementaren Stichproben aus dem Versuchsbericht [6], die sich aus den in Teil A geänderten Datasheets ergeben, aufgeführt. Mit diesen Stichproben wurde die eigene Versuchsauswertung vorgenommen. Tabelle B8/3 enthält die hinzugekommenen Versuchsberichte.

Tabelle B8/1 Zerlegung der Grundstichproben in elementare Stichproben

Quelle	d	Schaft								Gewinde														
		4.6		5.6		8.8		10.9		4.6		5.6		8.8		10.9								
		a	g	u	a	g	u	a	g	u	a	g	u	a	g	u	a	g	u					
/6/	12	4	4			2	2			6	6			4	4									
	16																							
	20	6	6			4	4			6	6			4	4									
	24																							
	27																							
/20/	12																							
	16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			5	5	5	5							
	20	5	5	5	5	5	5	5	5					5	5	5	5							
	24	5	5	5	5	5	5					5	5	5	5	5	5							
	27																							
/21/	12	4	0	13	27			10	4	6									3					
	16																							
	20	12		12																				
	24																							
	27	24	5	19			4	4												2				
/24/	12																							
	16							6	6															
	20							4	4															
	24							4	4															
	27																							
/30/	10													32	32									
	16													4	4									
	20																							
	24																							
	27																							
/42/	12																							
	16																							
	20	5	5							6	6													
	24																							
	27																							
Σ		48	58	15	15	0	21	21	0	34	24	10	23	23	0	5	5	0	59	23	36	20	15	5

g gestützte Verbindungen (Typ G1 und G2 nach /21/)

u ungestützte Verbindungen (Typ U1 nach /21/)

a gestützte und ungestützte Verbindungen

Tabelle B8/2 Stichproben aus [6] unter Berücksichtigung von Teil A

Quelle	d	Schaft												Gewinde											
		4.6			5.6			8.8			10.9			4.6			5.6			8.8			10.9		
		h	l	n	h	l	n	h	l	n	h	l	n	h	l	n	h	l	n	h	l	n	h	l	n
/6/ neu Lasche	12	4		2								3	4	6	4	4									
	16																								
	20	9		2								8	7	7	9	2									
/6/ neu Scher.	12			4							4			6									4		
	20			5							4			4									4		
	Σ	13	0	13	0	0	0	0	0	0	8	11	11	23	13	0	18	0	0	0	0	0	8	0	0

h voll vorgespannt (T50)

l teilweise vorgespannt (T20)

n nicht vorgespannt

Tabelle B8/3 Elementare Stichproben aus den Berichten [51,52,53,54]

Quelle	d	Schaft												Gewinde											
		4.6			5.6			8.8			10.9			4.6			5.6			8.8			10.9		
		a	g	u	a	g	u	a	g	u	a	g	u	a	g	u	a	g	u	a	g	u	a	g	u
/51/	12																								
	16			4																					
	20			2																					
	24			4																					
	27																								
/52/	12											13													
	16																								
	20																								
	24																								
	27																								
/53/	12																								
	16																8								
	20																								
	24																								
	27																								
/54/	12																								
	16											9													
	20																								
	24																								
	27																								
	Σ	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	

g gestützte Verbindungen (Typ G1 und G2 nach /21/)

u ungestützte Verbindungen (Typ U1 nach /21/)

a gestützte und ungestützte Verbindungen

Für die jeweiligen Stichproben wurde jeweils der Kennwert u nach Gl. (7) mit Berücksichtigung der gemessenen Werte für die Zugfestigkeit berechnet. Daneben wurde zum Vergleich auch die Berechnung ohne Berücksichtigung der Zugfestigkeit durchgeführt. Zur Unterscheidung wird in diesem Fall der Kennwert mit \tilde{u} gekennzeichnet.

Für die Elementarstichproben wurden die Kennwerte u bzw. \tilde{u} ohne Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit berechnet, da die Ergebnisse nur zu Vergleichszwecken benutzt werden. Die Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit würde zufolge der sehr unterschiedlichen Stichprobenumfänge die Vergleiche verfälschen.

Abweichend vom Hintergrundbericht wurden die Nennwerte der Basisvariablen als Fraktilwerte nach Tabelle B9 interpretiert; das Ergebnis der Berechnungen wird davon nur unerheblich beeinflusst.

Tabelle B9 Ansatz der Nennwerte als Fraktilwerte

Basisvariable	EC3	eigene Auswertung
β_z	2,3 %	5 %
d_n	2,3 %	50 %
A_s	2,3 %	50 %

Im übrigen wurden die notwendigen Annahmen und Berechnungsverfahren des Hintergrundberichtes übernommen.

7.2 Berechnungen und Bewertung der Ergebnisse

7.2.1 Einfluß der Stützung und Nichtberücksichtigung der Schraubenzugfestigkeit

Nach der exemplarischen Untersuchung in Abschnitt 6.4.2 Tabelle B7 wird hier der Einfluß der Stützung der Verbindungen systematisch untersucht. Tabelle B10 und Bild B1 zeigt das Ergebnis für

die acht Grundstichproben und - sofern diese auch ungestützte Verbindungen beinhalten - für Teilstichproben, die nur die gestützten enthalten.

Das Ergebnis bestätigt den nach Abschnitt 6.4.1 ermittelten Einfluß der Stützung, der bei der Festigkeitsklasse 4.6 jedoch erst bei Auswertung mit Berücksichtigung der Zugfestigkeit der Schraube β_z erkennbar wird. Bezieht man sich auf die Fälle S (Schaft in der Scherfuge), so bleibt der unterschiedliche Einfluß der Stützung sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der Zugfestigkeit klein.

Der Einfluß der Nichtberücksichtigung der Zugfestigkeit der Schrauben ist offensichtlich.

Tabelle B10 Unterscheidung nach der Stützung der Schrauben

Nr.	n	Scherf.	Kl	V_{Re}	u	\tilde{u}	Stütz.	Anmerkungen
1	96	S	4.6	0.075	0.538	0.540	g + u	3
2	38	S		0.065	0.567	0.544	g	3
3	15	S	5.6	0.034	0.592	0.516	g	1 4
4	15	S	8.8	0.027	0.571	0.514	g	1 4
5	24	S	10.9	0.036	0.546	0.480	g + u	3
6	14	S		0.033	0.550	0.479	g	3
7	11	G	4.6	0.080	0.605	0.524	g	2 3
8	5	G	5.6	0.012	0.630	0.531	g	1 5
9	15	G	8.8	0.012	0.571	0.531	g	1 4
10	20	G	10.9	0.120	0.413	0.375	g + u	3
11	15	G		0.028	0.552	0.473	g	4

Scherfuge

S : im Schaft
G : im Gewinde

Stützung

g : gestützt
u : ungestützt

Anmerkungen:

- 1 nur gestützte VK(Essen) vorhanden
- 2 nur gestützte VK(Essen + Manchester)
- 3 weiter zerlegt nach Berichten (siehe Tabelle B11)
- 4 direkt weiter zerlegt nach Durchmessern (siehe Tabelle B12/1 und B12/2)
- 5 nur ein Durchmesser vorhanden

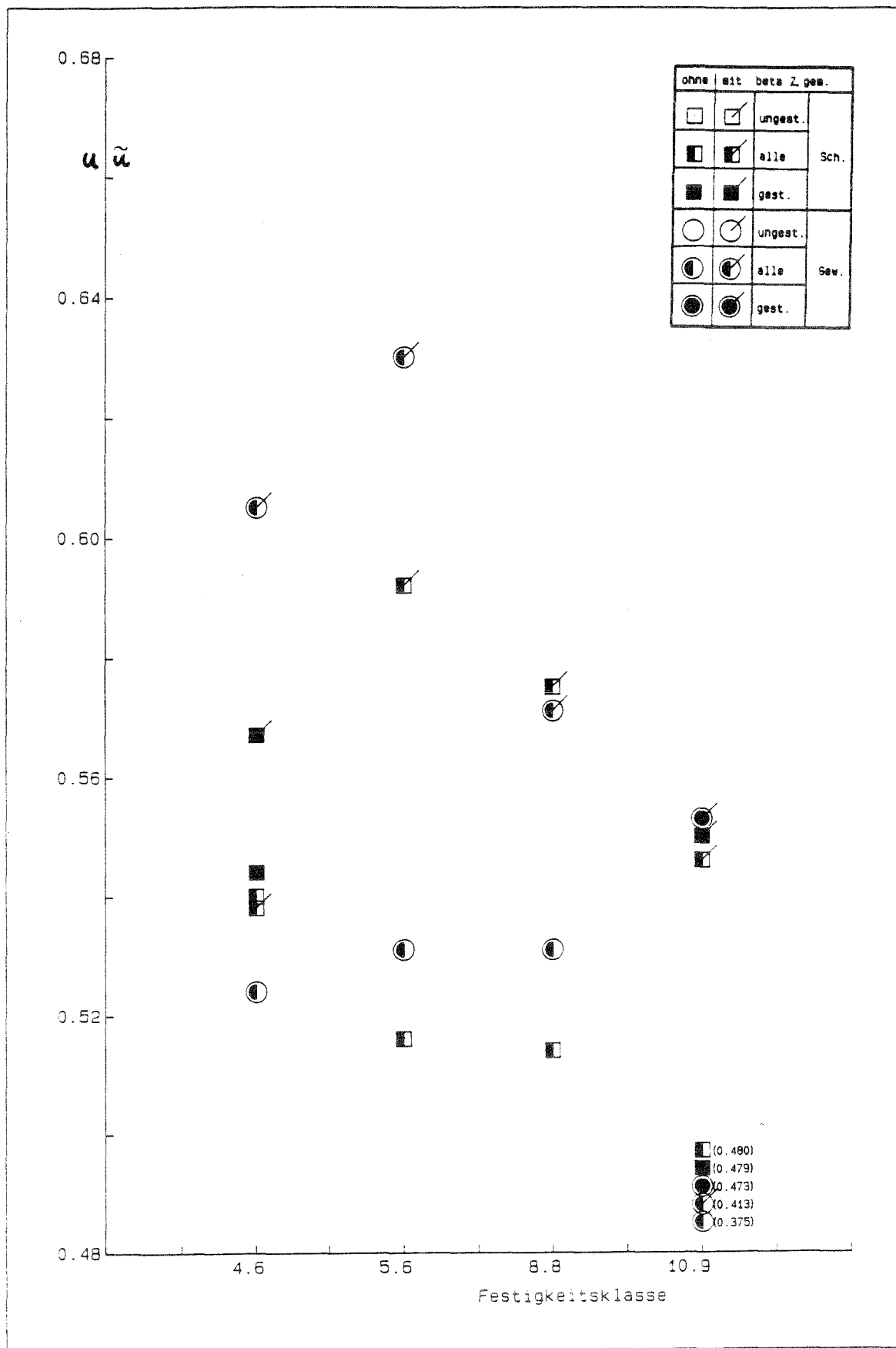


Bild B1 Unterscheidung nach der Stützung der Schrauben

7.2.2 Einfluß der Abscherbedingung

Um den Einfluß der Abscherbedingung auf die Streuung der Abscherfestigkeit und den Kennwert u betrachten zu können, wurden die Grundstichproben der 4.6-Schrauben für Abscheren im Schaft und im Gewinde sowie der 10.9-Schrauben für Abscheren im Schaft und im Gewinde bezüglich der Quelle und damit nach der Abscherbedingung der Versuchsergebnisse zerlegt und ausgewertet. Dabei wurden nur die Versuchsberichte [20, 21, 42] verwendet, weil die Bewertung der übrigen Versuchsberichte [6, 24, 51, 52, 53, 54] zur Zeit dieser Berechnungen noch nicht vorlag, der Versuchsbericht [30] ist nicht verwendbar. Die Ergebnisse sind in Tabelle B11 und in Bild B2 dargestellt.

Das Ergebnis zeigt, daß ein Einfluß der Abscherbedingungen nicht ausgeschlossen werden kann. Er nimmt vermutlich mit zunehmender Festigkeitsklasse ab und ist außerdem von der Lage der Scherfuge abhängig.

An der Zusammenfassung der Teilstichproben aus den Quellen [20] und [21] sowie [21] und [42] kann der große Einfluß der Zusammensetzung von Stichproben abgelesen werden (siehe auch Tabelle B6).

Tabelle B11 Unterscheidung nach der Abscherbedingung

Nr.	n	Scherf.	Kl	V _{Re}	u	ū	Stützung	Quelle	Abscherbed.	Anmerkungen		
										1	2	3
1	15	S	4.6	0.048	0.606	0.565	g	/20/	SG	1		*
2	76	S		0.068	0.536	0.537	g + u	/21/	LA			*
3	5	S		0.044	0.612	0.526	g	/42/	SG			(*)
4	91	S		0.073	0.537	0.538	g + u	/20/21/	SG + LA			
5	20	S	4.6	0.047	0.612	0.563	g	/20/42/	SG			
6	81	S		0.072	0.534	0.540	g + u	/21/42/	SG + LA			
7	15	S	4.6	0.048	0.606	0.565	g	/20/	SG	2	3	1
8	18	S		0.056	0.551	0.523		/21/	LA			
9	5	S		0.044	0.612	0.526		/42/	SG			
10	33	S		0.065	0.563	0.538		/20/21/	SG + LA			
11	20	S		0.047	0.612	0.563		/20/42/	SG			
12	23	S		0.068	0.550	0.537		/21/42/	LA + SG			
13	10	S	10.9	0.032	0.546	0.470	g	/20/	SG	5		*
14	14	S		0.040	0.541	0.470	g + u	/21/	LA			*
15	10	S	10.9	0.032	0.546	0.470	g	/20/	SG	6	13	
16	4	S		0.032	0.550	0.440	g	/21/	LA			
17	5	G	4.6	0.030	0.659	0.520	g	/20/	SG	7		(*)
18	6	G		0.100	0.560	0.496	g	/42/	SG			(*)
19	15	G	10.9	0.028	0.552	0.473	g	/20/	SG	10		
20	5	G		0.191	0.234	0.216	g + u	/21/	LA			

Scherfuge:

S : im Schaft
G : im Gewinde

Stützung:

g : gestützt
u : ungestützt

Abscherbedingung:

SG : Schergerät (Bericht /20/, /42/)
LA : Laschenversuch (Bericht /21/)

Anmerkungen:

1. Spalte : aus Nr. in Tabelle B10
2. Spalte : = Nr. in Tabelle B11
3. Spalte : * = weiter zerlegt nach Durchmessern in Tabelle B12
(*)= nur ein Durchmesser vorhanden

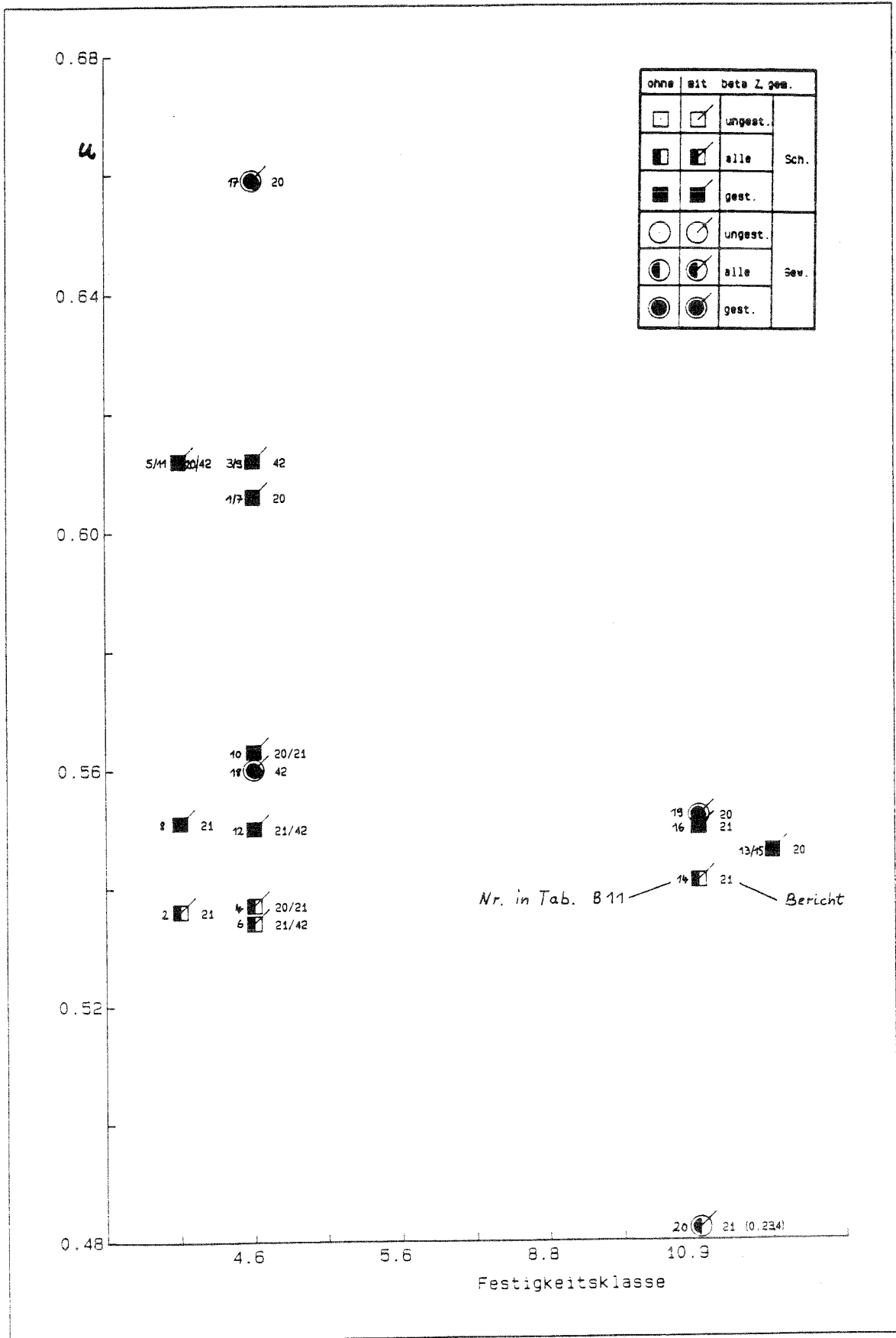


Bild B2 Unterscheidung nach der Abscherbedingung

7.2.3 Auswertung von Elementarstichproben

Tabelle B12 und Bild B3 zeigen das Ergebnis der Auswertung der Elementarstichproben.

Mit großer Wahrscheinlichkeit kann angenommen werden, daß die Schrauben einer Elementarstichprobe jeweils aus demselben Lieferlos stammen (siehe Tabellen A11/1 bis A11/8).

Bemerkenswert ist die geringe Streuung der Versuchsergebnisse je Elementarstichprobe und die große Streuung von deren Mittelwerten innerhalb der Grundstichproben (gleiche Lage der Scherfuge und gleiche Festigkeitsklasse der Schrauben).

Dies macht deutlich, wie abhängig das Ergebnis für Grundstichproben von deren Zusammensetzung aus Elementarstichproben ist. Dies gilt auch für den Fall der Auswertung mit Berücksichtigung der Zugfestigkeit der Schrauben und Beschränkung auf gestützte Verbindungen. Die unmittelbare statistische Auswertung der Grundstichproben muß daher als problematisch angesehen und abgelehnt werden.

Das Ergebnis legt weiter die Vermutung nahe, daß die Lage der Scherfuge keinen oder nur geringen Einfluß auf die Abscherkraft hat, wie dies auch in [5] festgestellt worden ist. Deutlich hebt sich die Festigkeitsklasse 4.6 von den übrigen ab, auch wenn der Unterschied durch die unterschiedliche Anzahl von Elementarstichproben je Grundstichprobe etwas überbetont sein kann.

Der Variationskoeffizient V_u der Festigkeitsklasse 4.6 ist offensichtlich erheblich größer als der der übrigen Festigkeitsklassen, für die die Annahme gleicher Variationskoeffizienten V_u nahegelegt wird.

Tabelle B12/1 Aufteilung in Elementarstichproben

Nr.	n	Scherf.	Kl	F _{A,m}	V _{Re}	u	ū	Durchmesser	Stützung	Abscherb.	Quelle		
1	5	S	4.6	64.5	0.018	0.616	0.586	16	g	SG	/20/		
2	5			114.5	0.039	0.647	0.654	20					
3	5			156.7	0.053	0.611	0.610	24					
4	5	S	5.6	73.4	0.028	0.617	0.529	16	g				
5	5			122.4	0.019	0.610	0.569	20					
6	5			167.0	0.034	0.581	0.532	24					
7	5	S	8.8	120.9	0.017	0.569	0.549	16	g				
8	5			178.9	0.024	0.572	0.518	20					
9	5			275.0	0.013	0.598	0.556	24					
10	5	S	10.9	136.1	0.016	0.570	0.495	16	g				
11	5			217.9	0.035	0.540	0.500	20					
12	5	G	4.6	50.8	0.030	0.672	0.586	16	g				
13	5	G	5.6	143.2	0.012	0.634	0.594	24	g				
14	5	G	8.8	93.9	0.013	0.572	0.547	16	g				
15	5			148.4	0.009	0.575	0.555	20					
16	5			211.8	0.014	0.570	0.549	24					
17	5	G	10.9	104.5	0.002	0.548	0.488	16	g				
18	5			168.9	0.010	0.577	0.505	20					
19	5			261.0	0.028	0.560	0.536	24					
20	40	S	4.6	35.2	0.065	0.564	0.538	12	g + u	LA	/21/		
21	13			35.0	0.054	0.573	0.544		g				
22	27			35.3	0.070	0.559	0.535		u				
23	12	S	4.6	96.5	0.040	0.546	0.550	20	u				
24	24	S	4.6	190.0	0.051	0.529	0.586	27	g + u				
25	5			192.7	0.054	0.556	0.592		g				
26	19			189.3	0.051	0.522	0.584		u				
27	10	S	10.9	80.2	0.039	0.556	0.509	12	g + u				
28	4			81.2	0.030	0.566	0.520		g				
29	6			79.6	0.045	0.548	0.501		u				
30	4	S	10.9	376.3	0.013	0.544	0.481	27	u				
31	5	S	4.6	101.7	0.022	0.634	0.590	20	g			SG	/42/
32	6	G		86.3	0.097	0.616	0.571	20	g				

Scherfuge:

S : im Schaft
G : im Gewinde

Stützung:

g : gestützt
u : ungestützt

Abscherbedingung:

SG : Schergerät
LA : Laschenversuch

Tabelle B12/2 Aufteilung in Elementarstichproben

Nr.	n	Scherf.	Kl	F _{A,m}	V _{Re}	u	\tilde{u}	Durchmesser	Stützung	Abscherb.	Quelle		
33	4	S	4.6	40.5	0.022	0.667	0.651	12	g	SG	/6/		
34	6	S	4.6	125.5	0.019	0.575	0.729	20	g				
35	4	S	8.8	64.1	0.027	0.608	0.515	12	g				
36	4	S	8.8	214.0	0.031	0.625	0.616	20	g				
37	6	S	10.9	78.3	0.048	0.569	0.491	12	g				
38	4	S	10.9	223.3	0.030	0.582	0.514	20	g				
39	6	G	4.6	31.4	0.055	0.709	0.655	12	g				
40	6	G	4.6	85.7	0.034	0.648	0.630	20	g				
41	4	G	8.8	47.5	0.037	0.542	0.506	12	g				
42	4	G	8.8	138.8	0.033	0.620	0.511	20	g				
43	6	S	10.9	77.6	0.037	0.573	0.493	12	g			LA	
44	7	S	10.9	219.8	0.063	0.543	0.485	20	g				
45	4	G	4.6	32.3	0.058	0.723	0.669	12	g				
46	6	S	10.9	127.2	0.072	0.471	0.432	16	g	LA	/24/		
47	4			199.8	0.122	0.386	0.389	20					
48	4			322.5	0.044	0.606	0.508	24					
49	4	G	4.6	56.4	0.048	0.570	0.497	16	g	LA	/51/		
50	4			128.6	0.040	0.571	0.509	24					
51	13	S	10.9	81.9	0.011	0.587	0.531	12	g	LA	/52/		
52	8	G	5.6	63.2	0.020	0.633	0.587	16	g	LA	/53/		
53	9	S	10.9	132.4	0.052	0.507	0.464	16	g	LA	/54/		

Scherfuge:

S : im Schaft
G : im Gewinde

Stützung:

g : gestützt
u : ungestützt

Abscherbedingung:

SG : Schergerät
LA : Laschenversuch

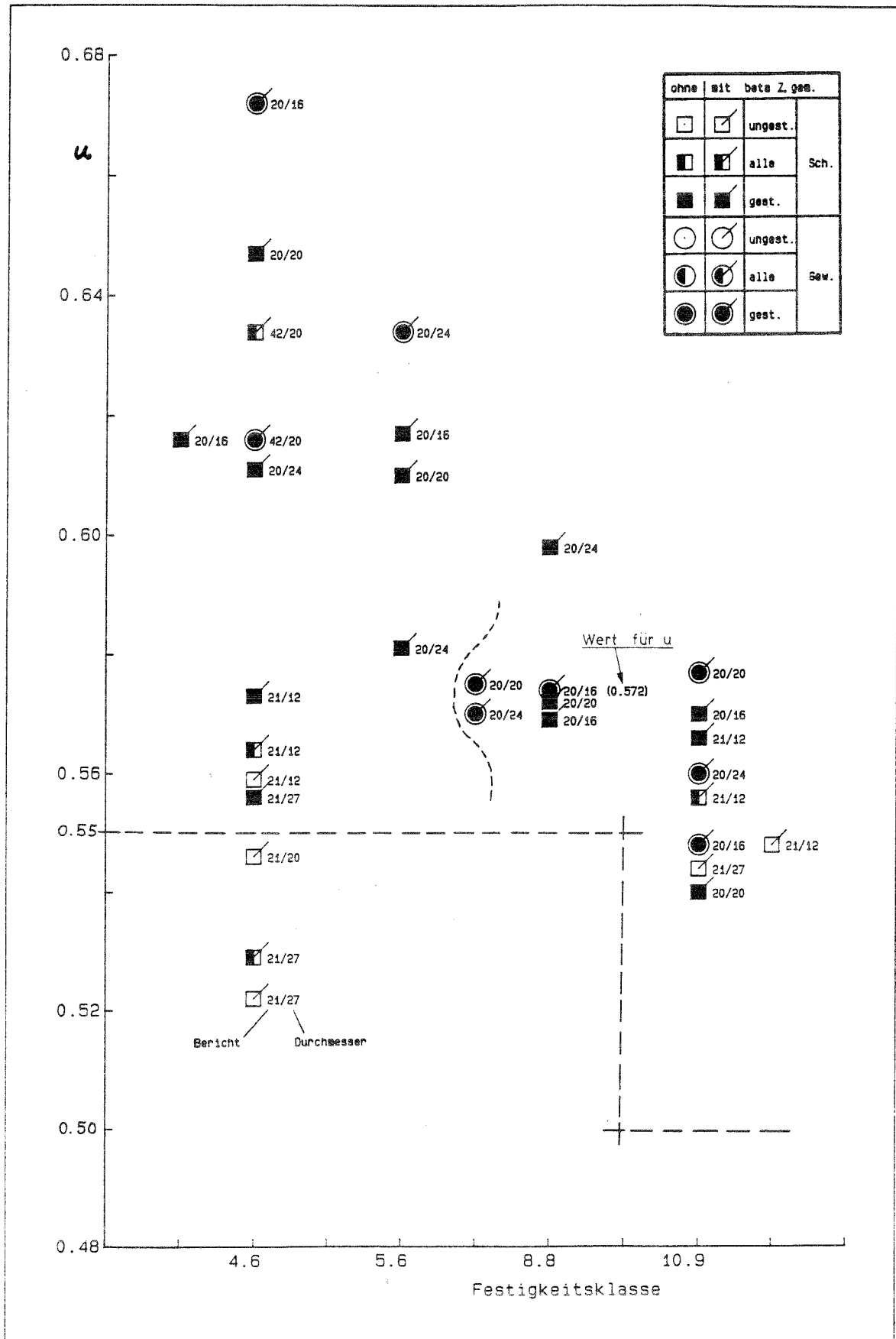


Bild B3/1 Aufteilung in Elementarstichproben für Versuche gemäß Berichten /20, 21, 42/

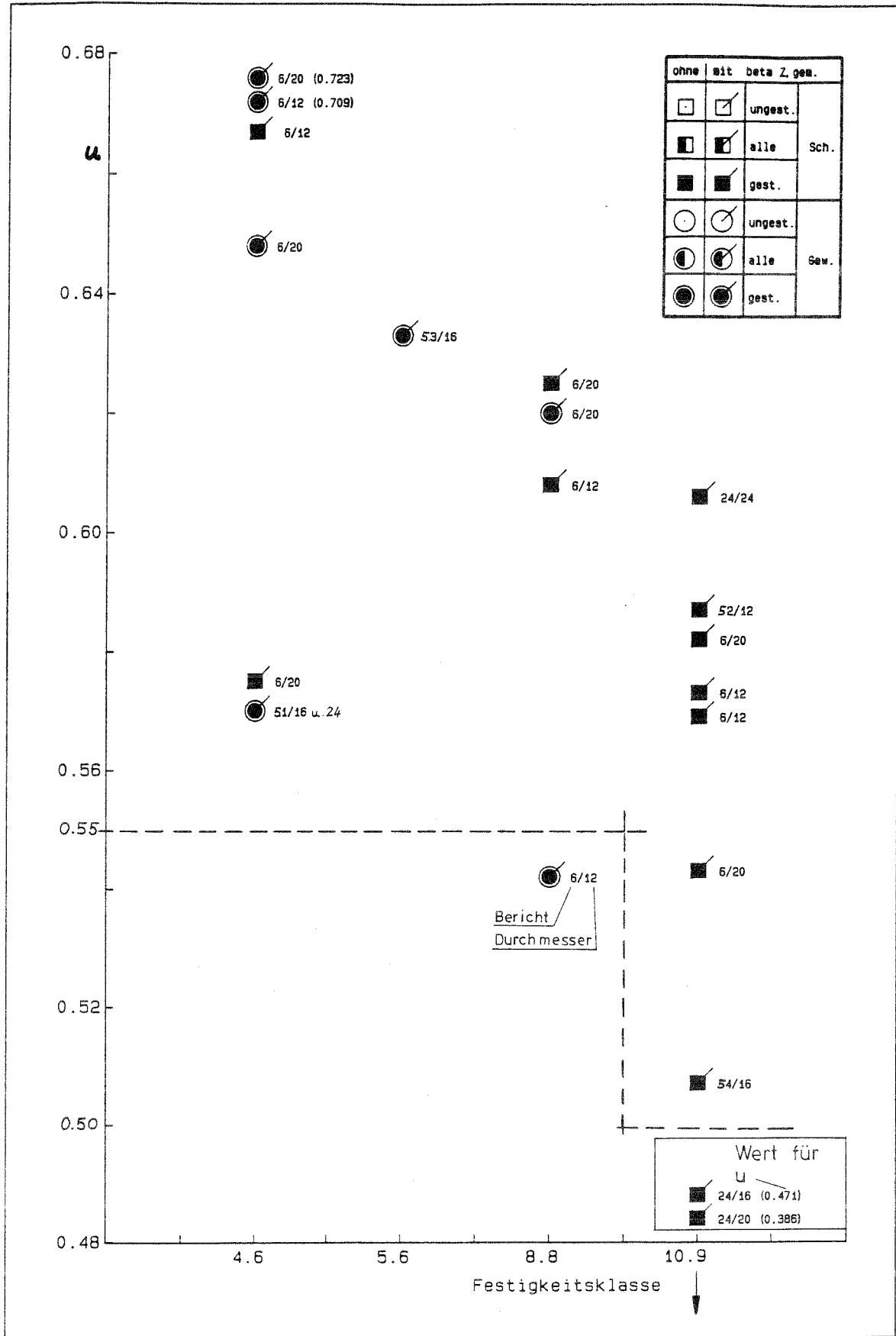


Bild B3/2 Aufteilung in elementare Stichproben für Versuche gemäß Berichten /6, 24, 51, 52, 53, 54/

Um bei den 53 Elementarstichproben Ausreißer feststellen zu können, wurde noch für jede elementare Stichprobe mit der laufenden Nummer i ein einfacher Kennwert

$$S_i = \frac{\frac{\beta_{A,e,m,i}}{\beta_{z,e,m,i}} \cdot \frac{\beta_{z,k,i}}{\beta_{A,d,i}}}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N \left[\frac{\beta_{A,e,m,j}}{\beta_{z,e,m,j}} \cdot \frac{\beta_{z,k,j}}{\beta_{A,d,j}} \right]} \quad (11.1)$$

berechnet, wobei N die Anzahl aller Stichproben ist. Der Ausdruck $\beta_{A,e,m,i}/\beta_{z,e,m,i}$ ist das Verhältnis der Mittelwerte der experimentell bestimmten Abscherfestigkeiten zu den experimentell bestimmten Zugfestigkeiten der Stichprobe i . Er kann auch mit $\alpha_{e,m,i}$ bezeichnet werden. Der Ausdruck $\beta_{z,k,i}/\beta_{A,d,i}$ ist der Kehrwert des Kennwertes u_i (siehe Gleichung (10)) der Stichprobe i . Damit wird der Kennwert S_i zu

$$S_i = (\alpha_{e,m,i}/u_i) / (1/N \cdot \sum (\alpha_{e,m,j}/u_j)) \quad (11.2)$$

Stammen alle Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit und geht N gegen unendlich, wird S_i zu eins.

Das Ergebnis ist in Tabelle B13 dargestellt.

Tabelle B13 Streuung der Auswertung der Elementarstichproben

Nr.	u	$\alpha_{e,m}$	$\alpha_{e,m}/u$	s	β_z
1	.616	.687	1.115	.970	467.
2	.647	.739	1.143	.994	493.
3	.611	.716	1.171	1.019	484.
4	.617	.695	1.127	.981	525.
5	.610	.680	1.115	.970	573.
6	.581	.659	1.135	.987	560.
7	.569	.634	1.114	.969	949.
8	.572	.642	1.122	.977	887.
9	.598	.665	1.112	.968	914.
10	.570	.636	1.115	.970	1065.
11	.540	.613	1.136	.988	1131.
12	.672	.758	1.128	.981	427.
13	.634	.706	1.113	.968	575.
14	.572	.636	1.111	.967	941.
15	.575	.638	1.109	.965	950.
16	.570	.635	1.114	.969	945.
17	.548	.607	1.108	.964	1096.
18	.577	.641	1.111	.967	1075.
19	.560	.631	1.128	.981	1171.
20	.564	.672	1.192	1.037	463.
21	.573	.673	1.174	1.021	460.
22	.559	.673	1.203	1.047	464.
23	.546	.644	1.179	1.026	477.
24	.529	.625	1.181	1.028	531.
25	.556	.633	1.138	.990	532.
26	.522	.623	1.193	1.038	531.
27	.556	.635	1.142	.993	1117.
28	.566	.640	1.132	.984	1121.
29	.548	.632	1.153	1.003	1114.
30	.544	.606	1.113	.969	1085.
31	.634	.729	1.150	1.001	444.
32	.616	.802	1.303	1.133	439.
33	.667	.748	1.121	.975	479.
39	.709	.831	1.173	1.020	448.
34	.575	.642	1.117	.972	622.
40	.648	.736	1.136	.989	475.
35	.608	.684	1.124	.978	829.
41	.542	.618	1.140	.992	912.
36	.625	.707	1.131	.984	964.
42	.620	.703	1.134	.986	806.
37	.569	.659	1.159	1.008	1050.
38	.582	.658	1.131	.984	1080.
45	.723	.855	1.183	1.029	448.
43	.573	.653	1.140	.992	1050.
44	.543	.648	1.193	1.038	1080.
46	.471	.574	1.219	1.060	1102.
47	.386	.533	1.380	1.201	1194.
48	.606	.699	1.153	1.003	1020.
49	.570	.662	1.161	1.010	424.
50	.571	.653	1.144	.996	435.
51	.587	.652	1.111	.967	1110.
52	.633	.706	1.116	.967	1110.
53	.507	.597	1.178	1.024	1103.

Betrachtet man Tabelle B13, fallen insbesondere die elementaren Stichproben Nr. 32, 46 und 47 durch die große Abweichung des Kennwertes S von eins auf.

Für die Stichprobe Nr. 32 bestätigt sich damit die in Kapitel 3.2.1 gemachte Vermutung, daß sich ein Nachschneiden des Gewindes nachhaltig auswirken kann. Bei den Stichproben Nr. 46 und 47 fallen neben dem auffällig kleinen u noch die großen Variationskoeffizienten der Abschertraglasten auf. Dies legt die Vermutung nahe, daß die Versuchsergebnisse mit Unsicherheiten behaftet sind, die sich hier aber nicht aufklären lassen.

Die Stichproben Nr. 32, 46 und 47 können daher ohne weiteres nicht in die Verwertung einbezogen werden.

Flow diagram for the procedure for the determination of the design resistance from tests

Step 1

Design model

$$r = g_R(x_1, x_2, x_3, \dots)$$

with x_i = basic variables

Step 2

comparison design model → test results

	case 1	case 2
	all x_i are measured	all x_i are measured but x_j , for which the mean value m_j and standard deviation σ_j exist
theoretical value	$r_{ti} = g_R(x_1, \dots, x_j)$	$r_{tmi} = g_R(x_1, x_2, \dots, m_j)$
test value	r_{ei}	r_{ei}
correction terms	$b_i = \frac{r_{ei}}{r_{ti}}$	$b_i = \frac{r_{ei}}{r_{tmi}}$
mean value correction	$\bar{b} = \frac{1}{n} \sum b_i$	$\bar{b} = \frac{1}{n} \sum b_i$
error terms	$\delta_i = \frac{r_{ei}}{r_{ti} \cdot \bar{b}}$	$\delta_i = \frac{r_{ei}}{r_{tmi} \cdot \bar{b}}$
mean value	$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i = 1$	$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum \delta_i = 1$
standard deviation	$s_{\delta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}$	$s_{\delta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2 + \frac{n-1}{n-2} \sum_{j=1}^j \left(\frac{\sigma_j}{m_j}\right)^2}$

Step 3

Determination of the coefficients of variation
and weighting factors

1. Indicate the mean values m_i and the standard deviations σ_i of the basic variables X_i (as expected in practice)

2. Determine the coefficients of variation:

$$V_{Rt} = \frac{\sqrt{\sum \left(\frac{\delta g_R(X_i)}{\delta X_i} \right)^2 \sigma_i^2}}{g_R(m_i)}$$

$$V_R = \sqrt{V_{Rt}^2 + s_\delta^2}$$

3. Transfer

$$\sigma'_{Rt} = \sqrt{\ln(V_{Rt}^2 + 1)}$$

$$\sigma'_\delta = \sqrt{\ln(V_\delta^2 + 1)}$$

$$\sigma'_R = \sqrt{\ln(V_R^2 + 1)}$$

4. Determine the weighting factors

$$\alpha_{Rt} = \frac{\sigma'_{Rt}}{\sigma'_R}$$

$$\alpha_\delta = \frac{\sigma'_\delta}{\sigma'_R}$$

Step 4

Determination of the characteristic value r_k , the design value r_d and the partial safety factors γ

1. Determine the fractile factors $k_s(n)$ and $k_d(n)$ according to the relevant number of test results
2. Determine the characteristic and the design strength

$$r_k = \bar{b} \cdot g_R(m_1) \exp(-1,64 \alpha_{Rt} \cdot \sigma'_{Rt} - k_s \alpha_\delta \sigma'_\delta - 0,5 \sigma_R'^2)$$

$$r_d = \bar{b} \cdot g_R(m_1) \exp(-3,04 \alpha_{Rt} \cdot \sigma'_{Rt} - k_d \alpha_\delta \sigma'_\delta - 0,5 \sigma_R'^2)$$

3. Determine γ_M related to r_k

$$\gamma_M = \frac{r_k}{r_d}$$

4. Determine the factors related to nominal values r_{tk} of the strength, that are calculated with the nominal values X_n of the basic variables X_i :

$$r_{tk} = g_R(X_n)$$

ratio:

$$\Delta k = \frac{r_{tk}}{r_k}$$

gamma-value related to r_{tk}

$$\gamma_M^* = \frac{r_{tk}}{r_d} = \Delta k \cdot \gamma_M$$

Auswertung der Grundstichprobe 22.2

Ausgewertete Versuche : n = 15

Auswahlkriterium nach : ba5s.dat

Abscheren im Schaft, Schraubenklasse 5.6

1. Berechnung der Mittelwerte der Basisvariablen aus Nennwerten mit:
Ks = 2.0 fuer d_n, A und f_ub
2. Berechnung von r_k und r_d mit :
Ks = 1.64, Ks = 3.04 fuer n = unendlich
3. Berücksichtigung der gemessenen Parameter : nein

Modellfaktor	F =	0.6000
Korrekturfaktor	b_q =	1.0614
Mittelwert der Fehler	delta_q =	1.0000
Standardabweichung	s_delta =	0.0391
Transformation	sigma_Rt =	0.0706
	sigma_Delta =	0.0830
	sigma_R =	0.1088
Wichtungsfaktoren	alpha_Rt =	0.6490
	alpha_Delta =	0.7627
Fraktilwerte	k_s =	1.6400
	K_d =	3.0400
	R_k =	0.8312
	R_d =	0.7134
	R_tk =	0.9532
Teilsicherheitsbeiwert		
bezogen auf r_k	gamma_m =	1.1651
Verhaeltnis	delta_k =	0.9829
bezogen auf r_tk	gamma_m =	1.1452

Auswertung der Grundstichprobe 32.2

Ausgewertete Versuche : n = 5

Auswahlkriterium nach : ba5g.dat
Abscheren im Gewinde, Schraubenklasse 5.6

1. Berechnung der Mittelwerte der Basisvariablen aus Nennwerten mit:
Ks = 2.0 fuer d_n, A und f_ub
2. Berechnung von r_k und r_d mit :
Ks = 1.64, Ks = 3.04 fuer n = unendlich
3. Berücksichtigung der gemessenen Parameter : nein

Modellfaktor	F =	0.6000
Korrekturfaktor	b_q =	1.1494
Mittelwert der Fehler	delta_q =	1.0000
Standardabweichung	s_delta =	0.0124
Transformation	sigma_Rt =	0.0706
	sigma_Delta =	0.0825
	sigma_R =	0.1084
Wichtungsfaktoren	alpha_Rt =	0.6515
	alpha_Delta =	0.7606
Fraktilwerte	k_s =	1.6400
	K_d =	3.0400
	R_k =	0.8318
	R_d =	0.7144
	R_tk =	0.8628
Teilsicherheitsbeiwert		
bezogen auf r_k	gamma_m =	1.1644
Verhaeltnis	delta_k =	0.8890
bezogen auf r_tk	gamma_m =	1.0352

Forschungsvorhaben: Untersuchung der Grundlagen von EC 3 und DIN 18 800 (Gelbdruck) für die Regelung der Bemessungswerte der Abscherkräfte von Schrauben in geschraubten Verbindungen
Gesch.Z.: IV 1-5-597/89

Summary

With the revision of the EC3 and DIN 18 800 Part 1 comparative investigations regarding the shearing capacity of bolts in bolted joints were carried out and differences were determined. In an examination of all available investigation results with a statistical evaluation, proof of the correctness of the specification values should be delivered or reasons should be given for the alteration of these values. The individual test reports were examined in respect to their relevance. Finally, the statistical evaluation of all available data for shearing joints followed.

The investigation result consists of a recommendation for design rules. There it is also reported, that, of all assumptions made for the evaluation concerning the variation coefficient of the tensile strength, the bolt has the greatest influence. On the basis of this, values for the connection between the measured value for the shearing strength and the characteristic value for the tensile strength, along with the resulting depicted model factors α for supported joints are recommended.

Forschungsvorhaben: Untersuchung der Grundlagen von EC 3 und DIN 18 800 (Gelbdruck) für die Regelung der Bemessungswerte der Abscherkräfte von Schrauben in geschraubten Verbindungen
Gesch.Z.: IV 1-5-597/89

Résumé

Lors du remaniement de EC3 et de la DIN 18800 première partie, des études comparatives ont été effectuées sur la charge admissible au cisaillement des boulons dans les assemblages boulonnés, et des différences ont été relevées. La preuve de l'exactitude des valeurs réglementaires doit être fournie par un contrôle de tous les résultats disponibles des recherches avec une interprétation statistique ou bien, si elle se justifie, une modification doit être effectuée. Chacun des rapports d'essais a été examiné en ce qui concerne son importance. Une analyse statistique de toutes les données disponibles a ensuite été faite pour les assemblages de cisaillement.

Le résultat de l'étude contient une recommandation pour un ouvrage directeur. Il est dit dans celui-ci que pour des hypothèses prises en vue de l'interprétation, le coefficient de variation de la résistance à la traction des boulons a la plus grande influence. Sur ce fondement, on recommande des paramètres pour la relation entre la valeur de calcul de la résistance au cisaillement et la valeur caractéristique de la résistance à la traction et des modèles-types α ainsi reproduits pour des assemblages soutenus.