



Bauingenieur-Praxis

Rolf Kindmann

Verbindungen im Stahl- und Verbundbau

4. Auflage

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

Rolf Kindmann

**Verbindungen im
Stahl- und Verbundbau**

Rolf Kindmann

Verbindungen im Stahl- und Verbundbau

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Autor

Rolf Kindmann

Ingenieursozietät
Schürmann – Kindmann und Partner
Prinz-Friedrich-Karl-Str. 36
44135 Dortmund

Titelbild: Geschraubter Fachwerkknoten
eines Dreigurtbinders (Flughafen Düsseldorf,
Flugzeughangar 7)

Foto: Rolf Kindmann

4., überarb. u. erw. Auflage 2023

■ Alle Bücher von Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

© 2023 Wilhelm Ernst & Sohn GmbH,
Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Print ISBN 978-3-433-03222-0

ePDF ISBN: 978-3-433-60900-2

ePub ISBN: 978-3-433-60902-6

oBook ISBN: 978-3-433-60899-9

Umschlaggestaltung Petra Franke/Ernst & Sohn
unter Nutzung eines Entwurfs von Sophie Bleifuß,
Berlin

Druck und Bindung

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Vorwort zur 4. Auflage

Aufgrund der regen Nachfrage ist die 3. Auflage mehrfach ohne Änderungen nachgedruckt worden. Nach mehr als zehn Jahren erscheint nun eine überarbeitete Auflage, weil kleine Korrekturen und Aktualisierungen erforderlich waren. Darüber hinaus wurden Herleitungen und Erläuterungen bereichsweise im Hinblick auf das Verständnis verbessert und ein Kapitel 8 „In Fundamente und Wände eingespannte Stahlprofile“ ergänzt.

Aufgrund der Thematik des Buches haben die Eurocodes DIN EN 1993-1-1 (allgemeine Bemessungsregeln, Hochbau) und DIN EN 1993-1-8 (Verbindungen) sowie die DIN EN 1090-2 (Ausführung) vorrangige Bedeutung. Die Berechnungsbeispiele zu den geschraubten und geschweißten Verbindungen basieren auf den Eurocodes. Die Bemessungs- und Ausführungsregeln nach DIN 18800 sind nach wie vor im Buch enthalten, weil sie für Bestandskonstruktionen hilfreich sind und in der Baupraxis teilweise auf diese Regeln zurückgegriffen wird. Maßgebend für die Bemessung, Konstruktion und Ausführung sind die bauaufsichtlich eingeführten technischen Baubestimmungen.

Dortmund, Februar 2023

R. Kindmann

Vorwort zur 3. Auflage

Zeitnah zur Umstellung auf die neue Normengeneration am 1. Juli 2012 erscheint die 3. Auflage in einer kompletten Überarbeitung, in der die neuen Normen und der aktuelle Stand der Technik berücksichtigt werden. Aufgrund der Thematik des Buches stehen dabei die Eurocodes DIN EN 1993-1-1 (allgemeine Bemessungsregeln, Hochbau) und DIN EN 1993-1-8 (Verbindungen) sowie die DIN EN 1090-2 (Ausführung) im Zentrum der Aktualisierung. Alle Berechnungsbeispiele wurden bezüglich Bemessung und Konstruktion auf die neuen Normen umgestellt. Die Bemessungsregeln nach DIN 18800 sind nach wie vor im Buch enthalten, da sie im Rahmen der Umstellung hilfreich sind und in einem gewissen Übergangszeitraum benötigt werden.

Das Manuskript der 3. Auflage wurde in bewährter Weise am Bochumer Stahlbaulehrstuhl erstellt. Die Verfasser danken allen beteiligten Mitarbeitern des Lehrstuhls. Besonders gedankt sei an dieser Stelle Herrn Dr.-Ing. J. Vette, der durch seinen unermüdlichen Einsatz und seine fachliche Kompetenz wesentlich zum Gelingen der Neuauflage beigetragen hat.

Bochum, Juli 2012

R. Kindmann, M. Stracke

Vorwort zur 2. Auflage

Aufgrund der regen Nachfrage war die 1. Auflage bereits nach fünf Jahren vergriffen. Im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Verbindungstechniken und die Neuausgabe bzw. Anpassung zahlreicher Normen konnte daher eine zeitnahe Aktualisierung vorgenommen werden. Sie betrifft insbesondere die beiden Basisnormen für Verbindungen im Stahlbau: DIN 18800 Ausgabe 2008 und DIN EN 1993-1-8 (Eurocode 3) Ausgabe 2005 in Verbindung mit dem Entwurf eines nationalen Anhangs aus dem Jahre 2007. Darüber hinaus wurden bereichsweise Korrekturen vorgenommen und die Abschnitte 3.11 „Verbindungen in Fachwerkkonstruktionen“ sowie 3.12 „Anschlüsse an Stahlbetonkonstruktionen“ erweitert.

Das Manuskript des Buches wurde in bewährter Weise am Bochumer Stahlbaulehrstuhl erstellt. Die Verfasser danken allen beteiligten Mitarbeitern des Lehrstuhls.

Bochum, Mai 2009

R. Kindmann, M. Stracke

Vorwort

Tragwerke des Stahl- und Verbundbaus bestehen hauptsächlich aus Profilen, Blechen und Stahlbetonkonstruktionen. In der Regel werden daraus in der Werkstatt Bauteile hergestellt, die auf der Baustelle zum Tragwerk zusammengefügt werden. Im Hinblick auf die Funktionalität, Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit sind dabei geeignete Verbindungstechniken von großer Bedeutung.

In dem vorliegenden Buch wird detailliert auf die Konstruktion und Bemessung von Verbindungen, Stößen, Anschlüssen und Befestigungen eingegangen. Den Schwerpunkt bilden geschraubte und geschweißte Verbindungen. Darüber hinaus werden auch andere Verbindungsmittel und -techniken behandelt, wie z.B. Niete, Bolzen, Zuganker, Hammerschrauben, Spannschlösser, Verankerungskörper, Dübel und Setzbolzen.

Das vorliegende Buch wendet sich an folgende Zielgruppen:

- Studierende an Universitäten, Technischen Hochschulen und Fachhochschulen
- Ingenieure in der Baupraxis, die mit dem Entwurf und der Bemessung von Stahl- und Verbundtragwerken befasst sind.

Da das Buch für Studierende und Praktiker konzipiert ist, steht die Vermittlung der Grundlagen, Methoden und Berechnungsverfahren sowie die Erläuterung wichtiger Einflüsse und Effekte auf das Trag- und Verformungsverhalten im Vordergrund.

Zahlreiche Konstruktions- und Bemessungsbeispiele mit ausgeprägtem Praxisbezug runden die Thematik ab. Die Tragsicherheitsnachweise werden nach DIN 18800 und teilweise nach dem Eurocode 3 bzw. 4 geführt. Die Behandlung vieler Anwendungsfälle mit unterschiedlichen Konstruktionsvarianten soll den Leser in die Lage versetzen, eigene Aufgabenstellungen schnell und sicher lösen zu können.

Die Verfasser danken

- Frau K. Habel für die druckfertige Herstellung des Manuskriptes,
- Herrn P. Steinbach für die Anfertigung der Zeichnungen und
- Herrn Dipl.-Ing. M. Kraus für die sorgfältigen Kontrollen, hilfreichen Hinweise und Aktualisierung im Hinblick auf die derzeit gültigen Normen.

Darüber hinaus danken die Verfasser den Herren Dipl.-Ing. Becker, Haddick, Hohage, Reckermann und Wienke von der Ingenieursozietät Schürmann-Kindmann und Partner in Dortmund und den Herren Dipl.-Ing. Laumann, Wolf und Wöllhardt vom Bochumer Lehrstuhl für die wertvollen Anregungen und Hinweise, die zum Gelingen des Buches beigetragen haben.

Bochum, Januar 2003

R. Kindmann, M. Stracke

Advert not available in this digital edition

Autor

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Rolf Kindmann

studierte Bauingenieurwesen an der Ruhr-Universität Bochum. Von 1974 bis 1989 war er sechs Jahre als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ruhr-Universität Bochum und zehn Jahre in verschiedenen Positionen bei Thyssen Engineering in Dortmund tätig, zuletzt als Hauptabteilungsleiter der technischen Büros. 1990 wurde er zum Ordinarius des Lehrstuhls für Stahl- und Verbundbau an der Ruhr-Universität Bochum ernannt und 1991 gründete er die Ingenieursozietät Schürmann – Kindmann und Partner SKP in Dortmund, in der er als Beratender Ingenieur, Prüfenieur für Baustatik (Fachrichtungen Metall- und Massivbau) sowie als Gutachter wirkte. Seit Beendigung seiner Tätigkeit als Gesellschafter ist Herr Prof. Kindmann der Ingenieursozietät SKP weiterhin eng verbunden.

Advert not available in this digital edition

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		V
Autor		IX
1	Übersicht	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Thematische Gliederung des Buches	4
1.3	Bezeichnungen	5
1.4	Internetadressen für weitere Informationen	8
1.5	Downloads	10
2	Ermittlung von Beanspruchungen in Verbindungen	11
2.1	Prinzipielle Vorgehensweise	11
2.2	Schnittgrößen und Spannungen in Stäben	14
2.3	Gleichgewicht zwischen Schnittgrößen und Teilschnittgrößen	16
2.4	Ermittlung der Teilschnittgrößen mit der Spannungsverteilung	21
3	Konstruktion und Bemessung von Bauteilen und Verbindungen	25
3.1	Vorbemerkungen	25
3.2	Herstellen und Verstärken von Querschnitten	27
3.2.1	Beanspruchung der Verbindungsmittel	27
3.2.2	Geschweißte Vollwandträger	29
3.2.3	Verbundträger und andere Verbundkonstruktionen	35
3.2.4	Halsnähte eines I-Querschnitts	37
3.2.5	Halsnähte eines rechteckigen Hohlkastenquerschnitts	39
3.2.6	Verbundträger mit durchgehender Verbundfuge	40
3.2.7	Verstärkung eines Walzprofils durch Zulagen	44
3.3	Krafteinleitung und Aussteifung	46
3.3.1	Übersicht	46
3.3.2	Krafteinleitung ohne Steifen	48
3.3.3	Krafteinleitung mit Steifen	52
3.3.4	Bemessung von Krafteinleitungssteifen und Anschlussnähten	54
3.3.5	Zwischenaufleger eines Trägers	57
3.3.6	Endaufleger eines Trägers mit Auflagersteifen	58
3.4	Stumpfstöße von Blechen, Zug- und Druckstäben	60
3.4.1	Bleche	60
3.4.2	Zugstäbe	62
3.4.3	Druckstäbe/Stützen	63

3.4.4	Zugstoß eines Stabes aus Flachstählen	64
3.4.5	Zugstoß eines quadratischen Hohlprofiles	65
3.5	Gelenkige Trägerstöße	67
3.5.1	Ausführungsvarianten und Anwendungsbereiche	67
3.5.2	Stoß mit dünnen Stirnplatten	68
3.5.3	Stoß mit Steglaschen	69
3.6	Biegesteife Trägerstöße	71
3.6.1	Konstruktionsvarianten und Kraftübertragung	71
3.6.2	Geschweißte Stöße	73
3.6.3	Geschraubte Stöße	75
3.6.4	Kombination verschiedener Verbindungsmittel	76
3.6.5	Trägerstoß mit Laschen	77
3.6.6	Trägerstoß mit überstehenden Stirnplatten	79
3.6.7	Trägerstoß mit bündigen Stirnplatten	81
3.6.8	Trägerstoß mit Stumpfnähten	83
3.7	Trägerkreuzungen und -anschlüsse	84
3.7.1	Übersicht	84
3.7.2	Gestapelte Trägerlagen	85
3.7.3	Gelenkige Anschlüsse	85
3.7.4	Trägerausklinkungen und Nachweise	87
3.7.5	Trägerkreuzungen mit Durchlaufwirkung	89
3.7.6	Trägerkreuzungen von Verbundträgern	89
3.7.7	Gelenkiger Trägeranschluss mit dünner Stirnplatte	91
3.7.8	Anschluss eines Nebenträgers mit Durchlaufwirkung	93
3.8	Gelenkige Träger-Stützenverbindungen	94
3.8.1	Konstruktionsvarianten und Lage des Gelenks	94
3.8.2	Verbundträger/Verbundstützen	97
3.8.3	Anschluss mit Auflagerknagge	101
3.8.4	Anschluss mit Fahnenblech	102
3.8.5	Anschluss mit Winkeln	103
3.9	Rahmenecken und Stöße im Hallenbau	105
3.9.1	Übersicht	105
3.9.2	Konstruktionsvarianten und Kraftübertragung	106
3.9.3	Verstärkung und Nachweis der Eckfelder	111
3.9.4	Unterlegbleche für dünne Stützengurte	114
3.9.5	Geschweißte Rahmenecke mit Voute	115
3.9.6	Rahmenecke mit Voute und bündiger Stirnplatte	117
3.9.7	Firststoß	121
3.10	Biegemomententragfähige Träger-Stützenverbindungen	123
3.10.1	Übersicht	123
3.10.2	Ausgesteifte Verbindungen	124

3.10.3	Verbindungen ohne Steifen	124
3.10.4	Verformbare Verbindungen und Auswirkungen	128
3.10.5	Geschweißter Trägeranschluss ohne Steifen	129
3.11	Verbindungen in Fachwerkkonstruktionen	131
3.11.1	Übersicht	131
3.11.2	Exzentrizitäten und Biegemomente in Fachwerken	133
3.11.3	Fachwerke mit Knotenblechen	138
3.11.4	Fachwerke aus offenen Profilen ohne Knotenbleche	146
3.11.5	Fachwerke aus Hohlprofilen	148
3.11.6	Fachwerkknoten mit Knotenblech und offenen Profilen	156
3.11.7	Fachwerkknoten aus quadratischen Hohlprofilen	159
3.12	Anschlüsse an Stahlbetonkonstruktionen	161
3.12.1	Vorbemerkungen	161
3.12.2	Auflagerung und Anschlüsse von Stahlträgern	162
3.12.3	Gelenkige Anschlüsse von Stahlstützen an Fundamente	166
3.12.4	Biegesteife Anschlüsse von Stahlstützen an Fundamente	175
3.12.5	Gelenkiger Stützenfuß mit Fußplatte und Schubknagge	183
3.12.6	Eingespannte Stütze mit Fußplatte oder alternativ Köcherfundament	186
4	Geschraubte Verbindungen	190
4.1	Einleitung	190
4.2	Schrauben, Muttern und Scheiben	191
4.3	Ausführungsformen und Kategorien	198
4.4	Kraftübertragung und Tragverhalten	203
4.4.1	Vorbemerkungen	203
4.4.2	Kategorie A: Scher- / Lochleibungsverbindungen	203
4.4.3	Kategorien B und C: Kraftübertragung durch Reibung	208
4.4.4	Kategorien D und E: Zugbeanspruchung der Schrauben	210
4.4.5	Kombinierte Zug- und Abscherbeanspruchung	213
4.4.6	Konstruktionsempfehlungen und -regeln	214
4.4.7	Zusammenwirken verschiedener Verbindungsmittel	216
4.5	Zeichnerische Darstellung	216
4.6	Typisierte Verbindungen	218
4.7	Bemessung und Konstruktion nach DIN 18800	221
4.7.1	Vorbemerkungen	221
4.7.2	Werkstoffkennwerte	221
4.7.3	Rand- und Lochabstände von Schraubenlöchern	223
4.7.4	Abscheren und Lochleibung	223
4.7.5	Zugbeanspruchte Schrauben	230
4.7.6	Zug und Abscheren	231

4.7.7	Gebrauchstauglichkeit von GV- und GVP-Verbindungen	232
4.7.8	Anziehen von vorgespannten Schraubenverbindungen	233
4.8	Bemessung und Konstruktion nach Eurocode 3	235
4.8.1	Vorbemerkungen	235
4.8.2	Werkstoffkennwerte	237
4.8.3	Rand- und Lochabstände	238
4.8.4	Beanspruchbarkeit von Schrauben	239
4.8.5	Hochfeste Schrauben in gleitfesten Verbindungen	243
4.8.6	Lange Schraubenverbindungen	245
4.8.7	Einschnittige Überlappungsstöße mit einer Schraube	245
4.8.8	Einschenkligter Anschluss von Winkelprofilen	246
4.8.9	Querschnittsschwächung durch Schraubenlöcher	247
4.8.10	Anziehen und Vorspannen von geschraubten Verbindungen	249
4.9	Bemessung von geschraubten Verbindungen	253
4.9.1	Methoden und Bedingungen	253
4.9.2	Verteilung der Schnittgrößen auf die Verbindungsmittel	254
4.9.3	Klassische Berechnung der Schraubenkräfte in Scher-Lochleibungsverbindungen	255
4.9.3.1	Vorbemerkungen	255
4.9.3.2	Beliebige Anordnung der Schrauben	256
4.9.3.3	Regelmäßige und symmetrische Anordnung der Schrauben	260
4.9.3.4	Gelenkiger Trägeranschluss mit Winkeln	262
4.9.3.5	Biegesteifer Trägerstoß mit Laschen	264
4.9.4	Plastische Verteilung der Schraubenkräfte in Scher-Lochleibungsverbindungen	268
4.10	Verbindungen mit Stirnplatten und zugbeanspruchten Schrauben	270
4.10.1	Übersicht	270
4.10.2	Trägerstöße	270
4.10.2.1	Tragmodelle/Zugkräfte in den Gurten	270
4.10.2.2	Übertragbare Zugkräfte	273
4.10.2.3	Äquivalenter T-Stummel und Stirnplatten nach EC 3	278
4.10.3	Rahmenecken im Hallenbau	285
4.10.4	Träger-Stützenverbindungen	286
4.11	Detailangaben für Bemessung und Konstruktion	288
4.11.1	Querschnittsflächen von Schrauben	288
4.11.2	Anreißmaße und Schraubengrößen	289
4.11.3	Klemmlängen und Längen von Schrauben	295
4.12	Fertigung	296
4.13	Prüfungen	298
4.14	Korrosionsschutz	300

5	Geschweißte Verbindungen	301
5.1	Einleitung	301
5.2	Zeichnerische Darstellung	302
5.3	Bemessung und Konstruktion nach DIN 18800	304
5.3.1	Bezeichnung der Schweißnahtspannungen	304
5.3.2	Rechnerische Schweißnahtdicken	307
5.3.3	Rechnerische Schweißnahtlängen	311
5.3.4	Rechnerische Schweißnahtspannungen	313
5.3.5	Grenzsweißnahtspannungen und Nachweise	315
5.3.6	Grundsätze für die Konstruktion	318
5.3.7	Weitere Regelungen der DIN 18800	320
5.4	Bemessung und Konstruktion nach Eurocode 3	322
5.4.1	Vorbemerkungen	322
5.4.2	Geometrie und Abmessungen	322
5.4.3	Beanspruchbarkeit von Kehlnähten	326
5.4.4	Beanspruchbarkeit von Stumpfnähten	332
5.4.5	Verteilung der Kräfte	332
5.5	Schweißverfahren, Schweißprozesse	333
5.5.1	Übersicht	333
5.5.2	Schmelzschweißen	335
5.5.3	Pressschweißen	338
5.5.4	Gasschmelzschweißen und Brennschneiden	338
5.6	Verformungen und Schweißspannungen	340
5.6.1	Ungleichmäßige Erwärmung und Abkühlung	340
5.6.2	Verformungen infolge Schrumpfen	341
5.6.3	Entstehung von Schweißspannungen	344
5.6.4	Auswirkungen auf die Bauteiltragfähigkeit	345
5.6.5	Abbau durch Richten und Wärmebehandlung	346
5.7	Versagen geschweißter Verbindungen	347
5.7.1	Versagensarten	347
5.7.2	Verformungsbruch	347
5.7.3	Ermüdungsbruch	348
5.7.4	Spröbruch	348
5.7.5	Terrassenbruch	351
5.8	Fertigung	353
5.8.1	Schweißbadsicherung	353
5.8.2	Nahtvorbereitung	354
5.8.3	Nahtaufbau und Lagenfolge	355
5.8.4	Auslaufbleche	355
5.8.5	Arbeitspositionen	356
5.8.6	Vorwärmen und Abkühlzeiten	356

5.9	Herstellerqualifikationen	358
5.10	Prüfungen	362
6	Weitere Verbindungsmittel und -techniken	366
6.1	Vorbemerkungen	366
6.2	Halbrundniete und Senkniete	367
6.3	Druckübertragung durch Kontakt	369
6.4	Bolzenverbindungen	373
6.5	Zugstäbe aus Rundstählen	376
6.6	Spannschlösser und Verbindungsmuffen	379
6.7	Hammerschrauben	379
6.8	Ankerschrauben	381
6.9	Dübel zur Verankerung im Beton	385
6.10	Kopfbolzendübel für Verbundträger	393
6.11	Stahlplatten mit einbetonierten Kopfbolzen (Ankerplatten)	393
6.12	Befestigung und Verbindung dünnwandiger Bauteile	400
6.13	Verankerung hochfester Zugglieder	406
6.14	Ankerschienen	408
6.15	Befestigung von Glasscheiben	410
7	Verbindungen in ermüdungsgefährdeten Konstruktionen	412
7.1	Einleitung	412
7.2	Ermüdungsgefährdete Bauwerke	413
7.3	Ermüdungsbeanspruchungen	414
7.4	Ermüdungsfestigkeit und Nutzungsdauer	416
7.5	Ermüdungsnachweis	417
7.6	Beurteilung der Kerbwirkung	419
7.7	Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Verbindungen	422
7.8	Grundsätze für die konstruktive Durchbildung	431
7.9	Kranbahnträger	433
7.10	Brücken	435
8	In Fundamente und Wände eingespannte Stahlprofile	438
8.1	Einleitung	438
8.2	Lastabtragung bei offenen und geschlossenen Profilen	441
8.3	Bestimmung der erforderlichen Einspanntiefe	443
8.4	Betonpressungen durch Stahlprofile	448
8.4.1	Grenzpressungen und Grundsätzliches	448
8.4.2	Mitwirkende Breite bei gewalzten Profilen	449
8.4.3	Betonpressungen bei geschweißten Profilen	451
8.4.4	Betonpressungen bei runden Hohlprofilen	452

8.4.5	Betonpressungen bei eckigen Hohlprofilen	453
8.4.6	Betonpressungen bei Kastenquerschnitten	456
8.5	Grundsatzuntersuchungen - Bemessungshilfen	457
8.5.1	Stahlprofile und Beanspruchungen	457
8.5.2	Mitwirkende Breiten	458
8.5.3	Begrenzung der Betonpressungen	458
8.5.4	Maximale Querkraft im Einspannbereich	458
8.5.5	Erforderliche Einspanntiefen	459
8.5.6	Querschnittstragfähigkeit	462
8.5.7	Zusätzliche Schnittgrößen $V_{z,1}$ und N_1 an der Einspannstelle	463
8.6	Tragfähigkeit der Stahlprofile	464
8.6.1	Allgemeines	464
8.6.2	Erforderliche Nachweise	464
8.6.3	Einfluss der Querkraft	465
8.6.4	Tragfähigkeitsnachweise	465
8.6.4.1	Lineare Interaktionsbeziehungen für N , M_y und M_z	466
8.6.4.2	Berücksichtigung von Querkraften an der Nachweisstelle 3	466
8.6.4.3	Genauere Nachweiskriterien	468
8.6.4.4	Einfluss örtlicher Beanspruchungen	469
8.7	Experimentelle und numerische Untersuchungen	474
8.8	Berechnungsbeispiele	476
8.8.1	Kragträger in Stahlbetonwand	476
8.8.2	Eingespannte Stahlstützen aus verschiedenen Profilen	478
8.8.3	Stütze mit Kastenquerschnitt im Industriebau	482
 Literaturverzeichnis		 484
 Sachverzeichnis		 499

1 Übersicht

1.1 Einleitung

Tragwerke des Bauwesens werden in der Regel aus vielen einzelnen Bauteilen hergestellt. Häufig bestehen auch die Bauteile aus mehreren Einzelteilen, so dass hinsichtlich Konstruktion und Bemessung zahlreiche unterschiedliche Aufgaben zu lösen sind. Die Verbindungstechnik hat daher im Bauwesen große Bedeutung.

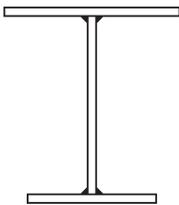
Zur Kennzeichnung der unterschiedlichen Aufgabenstellungen verwendet man die Begriffe:

Verbindung, Stoß, Anschluss, Befestigung

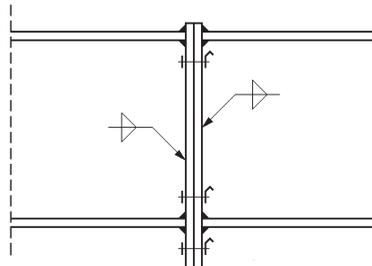
Der Begriff „Verbindung“ dient zur allgemeinen Beschreibung. Er schließt Stöße, Anschlüsse und Befestigungen als Sonderfälle mit ein. Zur Erläuterung enthält Bild 1.1 vier Beispiele:

- **Verbindung** von Blechen zur Herstellung von Querschnitten
- **Stumpfstoß** eines Biegeträgers
- **Anschluss** eines Trägers an eine Stütze
- **Befestigung** eines Auflagerwinkels an eine Stütze

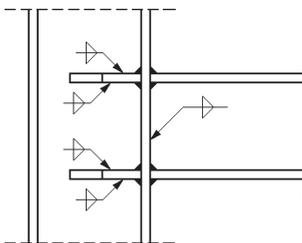
Verbindung von Blechen



Stoß eines Trägers



Anschluss Träger – Stütze



Befestigung eines Auflagerwinkels

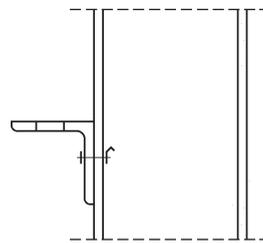


Bild 1.1 Beispiele für verschiedene Verbindungsarten

Die **Verbindung** von Blechen untereinander oder mit gewalzten Profilen dient zum Herstellen, Verstärken und Aussteifen von Bauteilen und Querschnitten. **Stöße** von Bauteilen können aus unterschiedlichen Gründen erforderlich sein:

- Bleche und Walzprofile sind nicht in den erforderlichen Abmessungen verfügbar
- Abstufung von Querschnitten
- Begrenzung der Abmessungen und Gewichte im Hinblick auf Transport und Montage

Anschlüsse sind stets erforderlich, wenn einzelne Bauteile mit anderen Bauteilen verbunden werden müssen. Der Begriff „Befestigung“ wird im Stahl- und Verbundbau selten verwendet. In der Regel soll damit gekennzeichnet werden, dass ein **kleines Einzelteil** an einem großen Bauteil befestigt wird. Teilweise wird auch der Begriff „Verankerung“ verwendet. Damit wird u. a. ausgedrückt, dass Tragwerke mit Fundamenten verbunden oder Zugglieder an Konstruktionen angeschlossen werden.

Verbindungen dienen zur Übertragung von Kräften, Schnittgrößen oder Spannungen, siehe auch Bild 1.2. Prinzipiell können folgende Verbindungstechniken unterschieden werden:

- | | |
|------------------------------|--------------------|
| • Schweißen | • Nieten |
| • Schrauben | • Dübeln |
| • <i>Kontakt</i> (nur Druck) | • Nageln (Holzbau) |
| • <i>Reibung</i> (nur Schub) | • Kleben |

Die Zusammenstellung enthält im Sinne einer Übersicht die wichtigsten Verbindungstechniken. Darüber hinaus gibt es weitere spezielle Techniken und Verbindungsmittel für besondere Anwendungsfälle, wie z. B. Bolzen oder Anker.

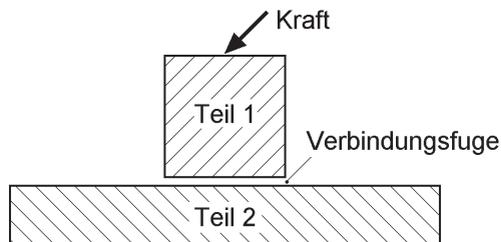


Bild 1.2 Zur Verbindung von zwei Einzelteilen

Im Stahl- und Verbundbau haben das Schweißen und Schrauben die bei weitem größte Bedeutung. Aus diesem Grunde werden diese Verbindungstechniken in dem vorliegenden Buch ausführlich behandelt. Neben Erläuterungen zur Wirkungsweise und zum Tragverhalten wird detailliert auf die entsprechenden Konstruktionsmethoden und Bemessungsverfahren eingegangen. Damit, und mit zahlreichen Beispielen, wird der Leser in die Lage versetzt, geschweißte und geschraubte Verbindungen sicher beurteilen und auslegen zu können. Da die Prinzipien, Methoden und Verfahren in wesentlichen Teilen allgemeine Gültigkeit haben, ist die Übertragbarkeit auf andere Ver-

bindungstechniken möglich, so dass breite Anwendungsbereiche abgedeckt werden. Neben der Kraftübertragung durch Schweißnähte und Schrauben werden im Stahl- und Verbundbau auch **Druckkräfte durch Kontakt** und **Schubkräfte durch Reibung** übertragen. **Dübel** werden in der Regel zur Verbindung von Stahl- und Betonteilen eingesetzt. Sie kommen in verschiedenen Ausführungsformen, wie z. B. als Kopfbolzendübel oder Verbundanker, vor.

Ein Beispiel für die Niettechnik ist in Bild 1.3 dargestellt, wobei die Niete verschiedene Funktionen haben. Einerseits wird der Stabquerschnitt des Obergurtes aus vier Winkeln und dem Stegblech hergestellt, andererseits werden das Knotenblech an den Obergurt und zwei Diagonalen an das Knotenblech angeschlossen. Nietverbindungen wie in Bild 1.3 sind heutzutage nicht mehr üblich. Sie wurden in den letzten Jahrzehnten durch geschweißte und geschraubte Verbindungen ersetzt. Aktuell ist dagegen nach wie vor die Verwendung von Blindnieten, die zur Verbindung von Stahltrapezprofilen eingesetzt werden (Verbindung der Profiltafeln untereinander).

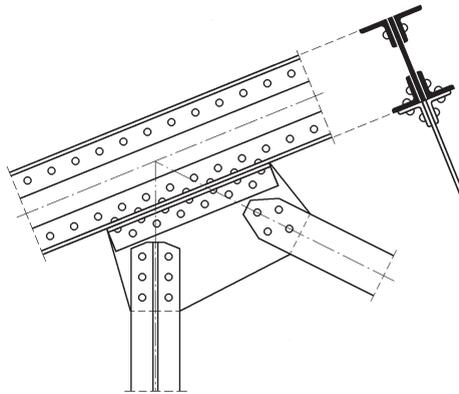


Bild 1.3 Beispiel für ein Konstruktionsdetail mit Halbrundnieten

Die Anwendung der Klebetechnik im Bauwesen befindet sich zurzeit noch in der Entwicklung. Erste Anwendungsgebiete, wie z. B. das Aufkleben von Stahllamellen auf Stahlbetonkonstruktionen (Verstärkung, Sanierung), sind bereits für die Baupraxis erschlossen worden.

Voraussetzung für die Anwendung einer Verbindungstechnik im Bauwesen ist, dass

- sie den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht, d. h. in bauaufsichtlich eingeführten DIN-Normen oder Richtlinien geregelt ist,
- eine allgemeine bauaufsichtliche bzw. europäische technische Zulassung vorliegt oder
- eine Zustimmung im Einzelfall durch die Oberste Baubehörde (Landesministerium) erteilt wird.

1.2 Thematische Gliederung des Buches

Die folgende Zusammenstellung soll dem Leser eine schnelle Orientierung bei der Verwendung des Buches ermöglichen. Dazu wird jeweils kurz der Inhalt der Kapitel angesprochen und Wissenswertes hervorgehoben.

Kapitel 1 Übersicht

In der Einleitung wird eine Übersicht über die verschiedenen Verbindungstechniken (Schweißen, Schrauben, Dübeln.....) und Aufgabenstellungen (Verbindung, Stoß, Anschluss, Befestigung) gegeben. Darüber hinaus werden die Gliederung des Buches erläutert und die Bezeichnungen angegeben.

Kapitel 2 Ermittlung der Beanspruchungen in den Verbindungsmitteln

In diesem Kapitel werden Prinzipien und allgemeine Vorgehensweisen zur Ermittlung von Beanspruchungen in Verbindungen und Verbindungsmitteln erläutert. Mit den Schnittgrößen als Ausgangspunkt wird auf die Verwendung der Gleichgewichtsbedingungen und der Spannungsverteilungen eingegangen sowie entsprechende Berechnungsformeln für ausgewählte Anwendungsfälle bereitgestellt.

Kapitel 3 Konstruktion und Bemessung von Bauteilen und Verbindungen

Kapitel 3 bildet den Schwerpunkt des Buches. Es enthält zahlreiche Berechnungsbeispiele, wobei die Nachweise nach Eurocode 3 geführt werden. Jedem Themenschwerpunkt sind Konstruktionsbeispiele und Erläuterungen zu den Konstruktionsprinzipien und Berechnungsmethoden vorangestellt.

Kapitel 4 Geschraubte Verbindungen

Kapitel 4 enthält alles, was für geschraubte Verbindungen von Bedeutung ist. Schwerpunkte sind die Wirkungsweise, die Beanspruchung und die Beanspruchbarkeit von geschraubten Verbindungen. Dabei wird auf DIN 18800 und den Eurocode 3 eingegangen und Bemessungshilfen in Form von Tabellen und Diagrammen zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus werden die Grundlagen zur Berechnung von Kräften in Schrauben vermittelt.

Kapitel 5 Geschweißte Verbindungen

Die Konzeption von Kapitel 5 entspricht sinngemäß der von Kapitel 4 „Geschraubte Verbindungen“.

Kapitel 6 Weitere Verbindungsmittel und -techniken

Während die Kapitel 4 und 5 ausführlich das Schrauben und Schweißen behandeln, werden in Kapitel 6 als Ergänzung weitere Verbindungsmittel und -techniken, wie z. B. Niete, Bolzen, Zuganker, Dübel, Verankerungsschienen usw., vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf die Ausführungen in den Kapiteln 2 und 4 zurückgegriffen.

Kapitel 7 Konstruktionen mit nicht vorwiegend ruhenden Beanspruchungen

In den Kapiteln 4 und 5 werden die geschraubten und geschweißten Verbindungen ausschließlich unter vorwiegend ruhender Belastung behandelt. Kapitel 7 enthält entsprechende Ergänzungen, sofern nicht vorwiegend ruhende Beanspruchungen auftreten, d. h. dort wird auf die Ermüdung und Betriebsfestigkeit eingegangen.

Kapitel 8 In Fundamente und Wände eingespannte Stahlprofile

In Kapitel 8 werden Stützen und Träger behandelt, die in Stahlbetonkonstruktionen (Fundamente, Wände) eingespannt sind. Dort werden Lösungen für gewalzte und geschweißte I-Profile, runde und eckige Hohlprofile und für einzellige Kastenquerschnitte bereitgestellt. Bei den Beanspruchungen werden die einachsige Biegung um die starke und um die schwache Achse unterschieden und darüber hinaus Drucknormalkräfte berücksichtigt.

1.3 Bezeichnungen

Die folgende Zusammenstellung enthält die im vorliegenden Buch verwendeten Bezeichnungen. Da in DIN 18800 und im Eurocode 3 teilweise unterschiedliche Bezeichnungen verwendet werden, sind am rechten Rand Alternativen aufgeführt. Die genannten Normen enthalten zahlreiche weitere Bezeichnungen bzw. Formelzeichen mit entsprechenden Erläuterungen sowie Hinweise zur Bedeutung der verwendeten Begriffe.

Koordinaten, Ordinaten und Bezugspunkte

x	Stablängsrichtung
y, z	Hauptachsen in der Querschnittsebene
ω	normierte Wölbordinate
s	Profilordinate
S	Schwerpunkt
M	Schubmittelpunkt

Verschiebungsgrößen

u	Verschiebung in x-Richtung
v	Verschiebung in y-Richtung
w	Verschiebung in z-Richtung
v'	Verdrehung um die z-Achse
w'	Verdrehung um die y-Achse
ϑ	Verdrehung um die x-Achse
ϑ'	Verdrillung

Einwirkungen, Lastgrößen

q_x, q_y, q_z	Streckenlasten
F_x, F_y, F_z	Einzellasten

m_x	Streckentorsionsmoment
M_{xL}	Lasttorsionsmoment
M_{yL}, M_{zL}	Lastbiegemomente
$M_{\omega L}$	Lastwölbmoment

Schnittgrößen

N	Längskraft, Normalkraft	
V_y, V_z	Querkräfte	
M_y, M_z	Biegemomente	
M_x	Torsionsmoment	T
M_{xp}, M_{xs}	primäres und sekundäres Torsionsmoment	T_t, T_w
M_{ω}	Wölbmoment	B
Index el:	Grenzschnittgrößen nach der Elastizitätstheorie	
Index pl:	Grenzschnittgrößen nach der Plastizitätstheorie	
Index Rd:	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit	
Index Ed:	Bemessungswert der Beanspruchung	

Spannungen

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	Normalspannungen
$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$	Schubspannungen
σ_v	Vergleichsspannung

Werkstoffkennwerte

E	Elastizitätsmodul
G	Schubmodul
ν	Querkontraktion, <i>Poisson'</i> sche Zahl
f_y	Streckgrenze
f_u	Zugfestigkeit
ε_u	Bruchdehnung

Teilsicherheitsbeiwerte

γ_M	Beiwert für die Widerstandsgrößen (m aterial)
γ_F	Beiwert für die Einwirkungen (f orce)

Querschnittskennwerte

A	Fläche
I_y, I_z	Hauptträgheitsmomente
I_{ω}	Wölbwiderstand
I_T	Torsionsträgheitsmoment
W_y, W_z	Widerstandsmomente
S_y, S_z	statische Momente
$I_p = I_y + I_z$	polares Trägheitsmoment

Geschraubte Verbindungen

d_0	Lochdurchmesser	d_L
d	Schaftdurchmesser	d_{Sch}
Δd	Nennlochspiel	
$f_{u,b,k}$	Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffs	
$f_{v,b,k}$	Streckgrenze des Schraubenwerkstoffs	
$F_{v,Ed}$	Abscherkraft in einer Schraube	V_a
$F_{v,Rd}$	Grenzabscherkraft einer Schraube	$V_{a,Rd}$
α_a	Beiwert zur Ermittlung von $F_{v,Rd}$	
$\tau_{a,Rd}$	Grenzschubspannung	
$F_{b,Ed}$	Lochleibungskraft	V_1
$F_{b,Rd}$	Grenzlochleibungskraft	$V_{1,Rd}$
k_1 und α_b	Beiwerte zur Ermittlung von $F_{b,Rd}$	α_1
$\sigma_{l,Rd}$	Grenzlochleibungsspannung	
$F_{t,Ed}$	Zugkraft in einer Schraube	N
$F_{t,Rd}$	Grenzzugkraft einer Schraube	$N_{R,d}$
A	Schaftquerschnitt	A_{Sch}
A_s	Spannungsquerschnitt	A_{Sp}
Q	Abstützkraft	K
p_1, p_2	Lochabstände	e, e_3
e_1, e_2	Randabstände	
$F_{v,Ed,ser}$	Abscherkraft beim Gebrauchtauglichkeitsnachweis	V_g
$F_{s,Rd,ser}$	Grenzgleitkraft	$V_{g,R,d}$
μ	Reibungszahl	
$F_{p,cd}$	Vorspannkraft	F_v
Index b:	Schrauben, Niete, Bolzen (bolt)	

DIN 18800:**Geschweißte Verbindungen**

$\sigma_{ }$	Normalspannung in Richtung der Schweißnaht
$\tau_{ }$	Schubspannung in Richtung der Schweißnaht
σ_{\perp}	Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtlänge
τ_{\perp}	Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtlänge
$\sigma_{w,v}$	Vergleichswert
$\sigma_{w,Rd}$	Grenzsweißnahtspannung
α_w	Beiwert zur Ermittlung von $\sigma_{w,R,d}$
a	rechnerische Schweißnahtdicke
A_w	rechnerische Schweißnahtfläche
CEV	Kohlenstoffäquivalent
Index w:	Schweißen (welding)

1.4 Internetadressen für weitere Informationen

Verbindungsmittel für den Stahl- und Verbundbau werden häufig von entsprechend spezialisierten Herstellern angeboten. In vielen Fällen stellen sie den Anwendern technische Informationen und Bemessungshilfen zur Verfügung. Als Hilfe für eine Kontaktaufnahme sind in Tabelle 1.1 einige Internetadressen zusammengestellt.

Tabelle 1.1 Zusammenstellung von Internetadressen

Internetadresse	Firma	Bemerkung/Bezug
www.kindmann.de		Hinweise zu Büchern Downloads
www.anker.de	Anker Schroeder, Dortmund	Zuganker Abschn. 6.5 und 6.6
www.august-friedberg.de	Friedberg GmbH, Gelsen- kirchen	Schrauben
www.bauforumstahl.de	bauforumstahl e. V.	Stahlbau allgemein
www.beuth.de	Beuth Verlag, Berlin	Normen
www.dibt.de	Deutsches Institut für Bau- technik	Bauen allgemein
www.die-verbindungs- spezialisten.de/	DVS – Deutscher Verband für Schweißen	Schweißen
www.din.de	Deutsches Institut für Normung, Berlin	Normen
www.dorma-glas.de	DORMA-Glas GmbH, Bad Salzuflen	RODAN Zugstäbe, Glasklemmhalter
www.dstv.deutscherstahlbau.de	Deutscher Stahlbau-Verband	Stahlbau
www.ejot.de	EJOT, Bad Laasphe	Verbindungsmittel Abschn. 6.12 und 6.13
www.fischerprofil.de	Fischer Profil GmbH, Netphen-Deuz	Stahltrapezprofile, Sandwichbauteile

Internetadresse	Firma	Bemerkung/Bezug
www.fischerwerke.de	A. Fischer GmbH, Waldachtal	Dübel Abschn. 6.9
www.fuchs-schrauben.de	Fuchs Schraubenwerk, Siegen	Schrauben
www.goldbeck.de	Goldbeck Bau GmbH, Bielefeld	Stahlbau/Zugstäbe Abschn. 6.5
www.gsi-slv.de	GSI-SLV – Gesellschaft für Schweißtechnik	Schweißen
www.halfen.de	HALFEN-DEHA, Langenfeld	Ankerschienen Abschn. 6.15
www.hbs-info.de	HBS Bolzenschweiß- Systeme, Dachau	Kopfbolzendübel Abschn. 6.11
www.hilti.de	Fa.Hilti, Kaufering	Dübel Abschn. 6.9
www.ifbs.de	Industrieverband zur Förderung des Bauens mit Stahlblech, Düsseldorf	Verbindungsmitel für Stahlbleche Abschn. 6.12 und 6.13
www.jordahl.de	JORDAHL, Berlin	Ankerschienen Abschn. 6.15
www.mero.de	Mero GmbH, Würzburg	Fachwerkknoten, Glas- bau
www.muenker.de	Münker Metallprofile	Stahltrapezprofile
www.nelson-europe.de	Nelson Bolzenschweißen, Gevelsberg	Kopfbolzendübel Abschn. 6.11
www.peikko.de	PEIKKO GmbH, Waldeck	u. a. Ankerschrauben Abschn. 6.8
www.peiner-traeger.de	Peiner Träger GmbH	Stahlprofile
www.pfeifer.de	Pfeifer Seil- und Hebetchnik GmbH, Memmingen	Seile und Verankerungen Abschn. 6.14

Internetadresse	Firma	Bemerkung/Bezug
www.reyher.de	F. Reyher GmbH, Hamburg	Schrauben
www.schrauben-normen.de	Prandl, Solingen	Schrauben
www.slv-duisburg.de	Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt	Schweißen
www.soyer.de	Soyer Bolzenschweißtechnik, Wörthsee	Kopfbolzendübel Abschn. 6.11
www.stahl-info.de	Stahl-Informations-Zentrum	Stahlbau allgemein
www.stahl-online.de	Verschiedene Organisationen zum Stahlbau	Stahlbau allgemein
www.wuerth.com	Adolf Würth GmbH, Künzelsau	Befestigungstechnik

1.5 Downloads

Auf der Homepage www.kindmann.de wird Folgendes zum kostenlosen Download zur Verfügung gestellt:

- Buch „Kindmann/Frickel: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit“ [45]. Das Buch wird in den folgenden Kapiteln häufig als Quelle genannt und enthält darüber hinaus zahlreiche weiterführende Informationen.

- RUBSTAHL-Programme

Es stehen Programme zu den folgenden Themengebieten zur Verfügung:

Systemberechnungen, Querschnittstragfähigkeit, Verbindungen, Krafteinleitung, Fußpunkte und zu weiteren Aufgabenstellungen zur Verfügung.

Die Programme FE-STAB und FE-Rahmen werden für Systemberechnungen zur Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen benötigt. Im Rahmen des vorliegenden Buches sind die EDV-Programme zu den Verbindungen, zur Krafteinleitung und zu Nachweisen für Fußpunkte von vorrangigem Interesse.