

Verbindungen im Stahl- und Verbundbau

Rolf Kindmann, Michael Stracke

Bauingenieur-Praxis



Ernst & Sohn
A Wiley Company

Rolf Kindmann, Michael Stracke
Verbindungen im
Stahl- und Verbundbau
3. Auflage

Verbindungen im Stahl- und Verbundbau

Rolf Kindmann, Michael Stracke

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Kindmann
Prüfingenieur für Baustatik
Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Stahl-, Holz- und Leichtbau
Universitätsstraße 150
44801 Bochum

Prof. Dr.-Ing. Michael Stracke
Fachhochschule Dortmund
Sonnenstraße 96
44139 Dortmund

Titelbild: Das Foto zeigt einen geschraubten Fachwerkknoten eines Dreigurtbinders aus kreisförmigen Hohlprofilen. Der dargestellte Binder ist einer der Hauptträger des Flugzeughangars 7 auf dem Flughafen Düsseldorf International (Foto: Prof. Dr.-Ing. Rolf Kindmann).

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.

© 2012 Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,
Rotherstr. 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 Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprint, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

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 als solche nicht eigens markiert sind.

Umschlaggestaltung: stilvoll® | Werbe- und Projektagentur, Kappelrodeck
Herstellung: HillerMedien, Berlin
Druck und Bindung: Strauss GmbH, Mörlenbach

Printed in the Federal Republic of Germany.

3. Auflage
Print ISBN: 978-3-433-03020-2
ePDF ISBN: 978-3-433-60255-3
ePub ISBN: 978-3-433-60254-6
mobi ISBN: 978-3-433-60253-9
oBook ISBN: 978-3-433-60252-2

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.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		V
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
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 Hohlprofils	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	Einschenkkliger 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	259
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	Querschnitte, Anreißmaße und Klemmlängen	288
4.12	Fertigung	292
4.13	Prüfungen	294
4.14	Korrosionsschutz	295
5	Geschweißte Verbindungen	297
5.1	Einleitung	297
5.2	Zeichnerische Darstellung	298
5.3	Bemessung und Konstruktion nach DIN 18800	300
5.3.1	Bezeichnung der Schweißnahtspannungen	300
5.3.2	Rechnerische Schweißnahtdicken	303
5.3.3	Rechnerische Schweißnahtlängen	307
5.3.4	Rechnerische Schweißnahtspannungen	309

5.3.5	Grenzschweißnahtspannungen und Nachweise	311
5.3.6	Grundsätze für die Konstruktion	314
5.3.7	Weitere Regelungen der DIN 18800	316
5.4	Bemessung und Konstruktion nach Eurocode 3	318
5.4.1	Vorbemerkungen	318
5.4.2	Geometrie und Abmessungen	318
5.4.3	Beanspruchbarkeit von Kehlnähten	322
5.4.4	Beanspruchbarkeit von Stumpfnähten	328
5.4.5	Verteilung der Kräfte	328
5.5	Schweißverfahren, Schweißprozesse	329
5.5.1	Übersicht	329
5.5.2	Schmelzschweißen	331
5.5.3	Pressschweißen	334
5.5.4	Gasschmelzschweißen und Brennschneiden	334
5.6	Verformungen und Schweißeigenstressungen	336
5.6.1	Ungleichmäßige Erwärmung und Abkühlung	336
5.6.2	Verformungen infolge Schrumpfen	337
5.6.3	Entstehung von Schweißeigenstressungen	340
5.6.4	Auswirkungen auf die Bauteiltragfähigkeit	341
5.6.5	Abbau durch Richten und Wärmebehandlung	342
5.7	Versagen geschweißter Verbindungen	343
5.7.1	Versagensarten	343
5.7.2	Verformungsbruch	343
5.7.3	Ermüdungsbruch	344
5.7.4	Sprödbbruch	344
5.7.5	Terrassenbruch	347
5.8	Fertigung	349
5.8.1	Schweißbadsicherung	349
5.8.2	Nahtvorbereitung	350
5.8.3	Nahtaufbau und Lagenfolge	351
5.8.4	Auslaufbleche	351
5.8.5	Arbeitspositionen	352
5.8.6	Vorwärmen und Abkühlzeiten	352
5.9	Herstellerqualifikationen	354
5.10	Prüfungen	358
6	Weitere Verbindungsmittel und -techniken	362
6.1	Vorbemerkungen	362
6.2	Halbrundniete und Senkniete	363
6.3	Druckübertragung durch Kontakt	365
6.4	Bolzenverbindungen	369
6.5	Zugstäbe aus Rundstählen	372

6.6	Spannschlösser und Verbindungsmuffen	375
6.7	Hammerschrauben	375
6.8	Ankerschrauben	377
6.9	Dübel zur Verankerung im Beton	381
6.10	Kopfbolzendübel für Verbundträger	389
6.11	Stahlplatten mit einbetonierten Kopfbolzen (Ankerplatten)	393
6.12	Befestigung und Verbindung dünnwandiger Bauteile	396
6.13	Verankerung hochfester Zugglieder	402
6.14	Ankerschienen	404
6.15	Befestigung von Glasscheiben	406
7	Verbindungen in ermüdungsgefährdeten Konstruktionen	408
7.1	Einleitung	408
7.2	Ermüdungsgefährdete Bauwerke	409
7.3	Ermüdungsbeanspruchungen	410
7.4	Ermüdungsfestigkeit und Nutzungsdauer	412
7.5	Ermüdungsnachweis	413
7.6	Beurteilung der Kerbwirkung	415
7.7	Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Verbindungen	418
7.8	Grundsätze für die konstruktive Durchbildung	427
7.9	Kranbahnträger	429
7.10	Brücken	431
	Literaturverzeichnis	434
	Sachverzeichnis	449

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.

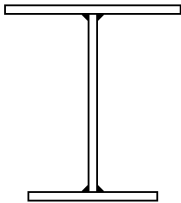
Zur Kennzeichnung der unterschiedlichen Aufgabenstellungen verwendet man die Begriffe:

Verbindung, Stoß, Anschluss, Befestigung

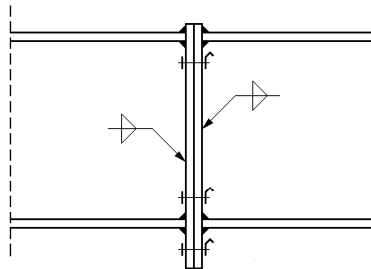
Der Begriff „Verbindung“ dient zur allgemeinen Beschreibung. Er schließt Stöße, Anschlüsse und Befestigungen als Sonderfälle mit ein. Zur Erläuterung enthält Bild 1.1 vier Beispiele:

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

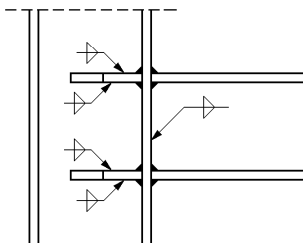
Verbindung von Blechen



Stoß eines Trägers



Anschluss Träger – Stütze



Befestigung eines Auflagerwinkels

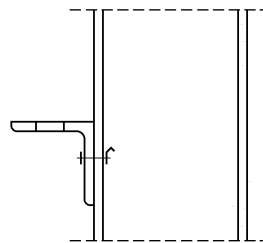


Bild 1.1 Beispiele für verschiedene Verbindungsarten

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.

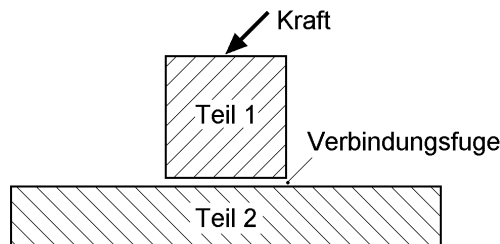


Bild 1.2 Zur Verbindung von zwei Einzelteilen

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).

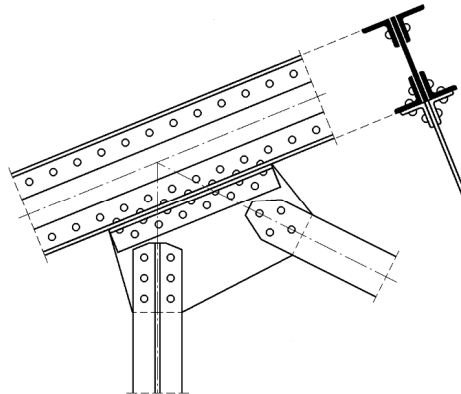


Bild 1.3 Beispiel für ein Konstruktionsdetail mit Halbrundnieten

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, wenn nicht vorwiegend ruhende Beanspruchungen auftreten, d. h. dort wird auf die Ermüdung und Betriebsfestigkeit eingegangen.

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 (material)
γ_F	Beiwert für die Einwirkungen (force)

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

Geschraubte Verbindungen		DIN 18800:
d_0	Lochdurchmesser	d_L
d	Schaftdurchmesser	d_{Sch}
Δd	Nennlochspiel	
$f_{u,b,k}$	Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffs	
$f_{y,b,k}$	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 $F_{v,Rd}$	
$\tau_{a,Rd}$	Grenzs Schubspannung	
$F_{b,Ed}$	Lochleibungskraft	V_l
$F_{b,Rd}$	Grenzlochleibungskraft	$V_{l,Rd}$
k_l und α_b	Beiwerte zur Ermittlung von $F_{b,Rd}$	α_l
$\sigma_{l,Rd}$	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	$V_{g,Rd}$
μ	Reibungszahl	
$F_{p,cd}$	Vorspannkraft	F_v
Index b:	Schrauben, Niete, Bolzen (bolt)	

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
$\sigma_{w,Rd}$	Grenzs Schweißnahtspannung
α_w	Beiwert zur Ermittlung von $\sigma_{w,Rd}$
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 zum vorliegenden Buch
www.anker.de	Anker Schroeder, Dortmund	Zuganker Abschn. 6.5 und 6.6
www.august-friedberg.de	Friedberg GmbH, Gelsenkirchen	Schrauben
www.bauforumstahl.de	bauforumstahl e. V.	Stahlbau allgemein
www.beuth.de	Beuth Verlag, Berlin	Normen
www.bolzenschweisstechnik.de	Fa. Köster, Ennepetal	Kopfbolzendübel Abschn. 6.10 und 6.11
www.dibt.de	Deutsches Institut für Bautechnik	Bauen allgemein
www.din.de	Deutsches Institut für Normung, Berlin	Normen
www.dorma-glas.de	DORMA-Glas GmbH, Bad Salzuflen	RODAN Zugstäbe, Glasklemmhalter
www.die-verbindungs-spezialisten.de/	DVS – Deutscher Verband für Schweißen	Schweißen
www.ejot.de	EJOT, Bad Laasphe	Verbindungsmittel Abschn. 6.12 und 6.13

Internetadresse	Firma	Bemerkung/Bezug
www.fischerwerke.de	A. Fischer GmbH, Waldachtal	Dübel Abschn. 6.9
www.fischerprofile.de	Fischer Profil GmbH, Netphen-Deuz	Stahltrapezprofile, Sandwichbauteile, u. Ä.
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.tks-bau.com	Hoesch Siegerlandwerke, Siegen	Stahltrapezprofile u. Ä. Abschn. 6.12
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.nelson-europe.de	Nelson Bolzenschweißen, Gevelsberg	Kopfbolzendübel Abschn. 6.11
www.peikko.de	PEIKKO GmbH, Waldeck	u. a. Ankerschrauben Abschn. 6.8
www.peiner-ut.de	Peiner Umformtechnik	Schrauben
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.sandwichbau.de	GALILEO, Deggendorf	Polyurethan-Sandwichbauteile
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.stahlbauforum.de	LSS, Dortmund	Stahl- und Verbundbau, zahlreiche Links
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

2 Ermittlung von Beanspruchungen in Verbindungen

2.1 Prinzipielle Vorgehensweise

In DIN EN 1993-1-8, Abschnitt 2.5, werden allgemeine Regeln zur Ermittlung der Beanspruchungen und Beanspruchbarkeiten von Verbindungen angegeben. Bei der Berechnung von Anschlüssen muss eine wirklichkeitsnahe Verteilung der Schnittgrößen angenommen werden, bei der im Wesentlichen folgende Punkte bei der Verteilung der Kräfte und Momente zu beachten sind:

1. Die angenommene Verteilung der Kräfte und Momente steht im Gleichgewicht mit den im Anschluss angreifenden Schnittgrößen.
2. Jedes Element (Querschnittsteil) im Anschluss kann die ihm zugewiesenen Kräfte und Momente übertragen.
3. Die Verformungen, welche durch diese Verteilung hervorgerufen werden, überschreiten nicht das Verformungsvermögen der Verbindungsmittel oder der Schweißnähte und der angeschlossenen Bauteile.
4. Die angenommene Verteilung der Kräfte und Momente muss den Steifigkeitsverhältnissen im Anschluss entsprechen.

Die vorgenannten Prinzipien sind für die Ermittlung der Beanspruchungen und die Nachweisführung von großer Bedeutung. Natürlich müssen die ersten drei Prinzipien unabdingbar erfüllt werden. Das vierte Prinzip dagegen kann zu Missverständnissen führen und sollte nach Meinung der Verfasser lauten: Die angenommene Verteilung der Kräfte und Momente muss dem tatsächlichem Kraftfluss im Anschluss entsprechen.

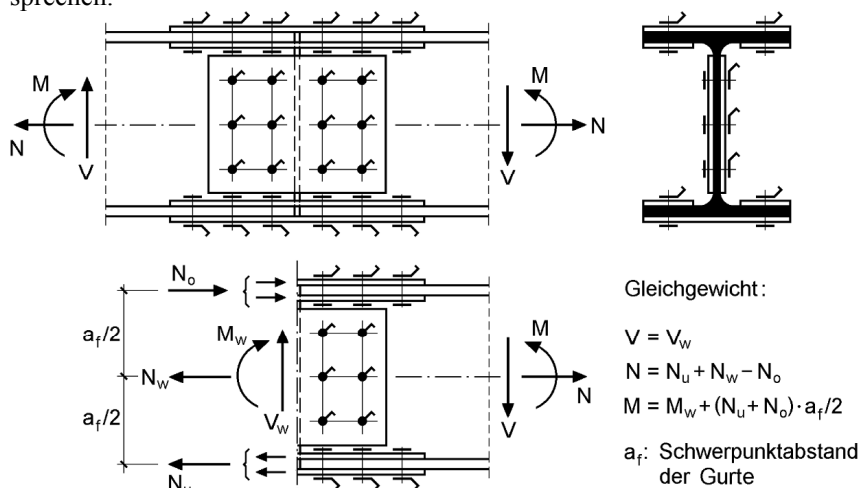


Bild 2.1 Teilschnittgrößen im geschraubten Stoß eines I-Querschnitts

In DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 8.1 [16] wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der Beanspruchungen direkter formuliert. Gemäß Element 801 ist wie folgt vorzugehen:

„Die Beanspruchung der Verbindung eines Querschnittsteils soll aus den Schnittgrößenanteilen dieses Querschnittsteils bestimmt werden.“

Ergänzend dazu sei auch aus Element 504 zitiert:

„Stöße und Anschlüsse sollen gedungen ausgebildet werden. Unmittelbare und symmetrische Stoßdeckung ist anzustreben. **Die einzelnen Querschnittsteile sollen für sich angeschlossen oder gestoßen werden.**“

Die genannten Regelungen bedeuten, dass die Teilschnittgrößen der einzelnen Querschnittsteile von den dort vorhandenen Verbindungsmitteln übertragen werden sollen. Diese Vorgehensweise ist sinnvoll, jedoch nicht in allen Fällen selbstverständlich und ohne Weiteres eindeutig. Das Prinzip bedarf daher der Erläuterung und Ergänzung.

Als Beispiel wird der Laschenstoß eines doppelsymmetrischen Walzprofils in Bild 2.1 betrachtet. Die Schnittgrößen N , M und V sind dort an der positiven und negativen Schnittfläche eingetragen, sie sollen aber genau im Stoß, also in der Mitte, wirken. Wie man sieht, werden die o. g. Prinzipien unmittelbar erfüllt:

- Die einzelnen Querschnittsteile, Gurte und Steg, werden je für sich gestoßen.
- Für die Beanspruchung der drei Verbindungen werden die Teilschnittgrößen der Querschnittsteile zugrunde gelegt. Dabei wirken im Steg die **Teilschnittgrößen** N_w , M_w und V_w sowie in den beiden Gurten N_o bzw. N_u .

Bei der Übertragung der Schnittgrößen wird der Stoß gedanklich in zwei Hälften aufgeteilt. Dabei werden die **Teilschnittgrößen** an der positiven Schnittfläche vom Walzprofil über die Schrauben **in die Laschen eingeleitet** (Bild 2.1 unten). Auf der linken Seite (hier nicht dargestellt) werden sie **aus den Laschen in das Walzprofil übertragen** und ergeben dann die Schnittgrößen an der negativen Schnittfläche.

In jedem beliebigen Schnitt müssen natürlich die Gleichgewichtsbedingungen, siehe Bild 2.1 unten rechts, erfüllt sein. Wie man sieht, ist es eine Teilaufgabe, die Teilschnittgrößen aus den (Gesamt-) Schnittgrößen zu bestimmen. Darauf wird in Abschnitt 2.2 näher eingegangen. Hier soll ein zweites Beispiel betrachtet werden. Bild 2.2 zeigt einen zu Bild 2.1 ähnlichen Fall: den Stoß eines Biegeträgers mit I-Querschnitt. Es wirkt jedoch nur ein Biegemoment M und er wird als Stirnplattenstoß ausgebildet.

Zum Biegemoment M gehört die in Bild 2.2 unten dargestellte Spannungsverteilung. Daraus ergeben sich die Teilschnittgrößen N_o , M_w und N_u . Es wird nun näherungsweise angenommen, dass die Schrauben am Obergurt keine Kräfte aufnehmen und in der Mitte des Obergurts eine Druckkraft D (Kontakt) entsteht. Zusätzlich wird von dicken Stirnplatten ausgegangen, so dass keine Abstützkräfte entstehen (siehe Abschnitt 4.4). Näherungsweise ist dann das Stegmoment $M_w = 0$ und das Biegemoment M wird nur durch $N_o = D$ und $N_u = Z$ übertragen. Das Beispiel soll zeigen, dass **die Teil-**

schnittgrößen in einer Verbindung vom Kraftfluss abhängen, wobei sich der Kraftfluss aus der gewählten konstruktiven Ausbildung der Verbindung ergibt.

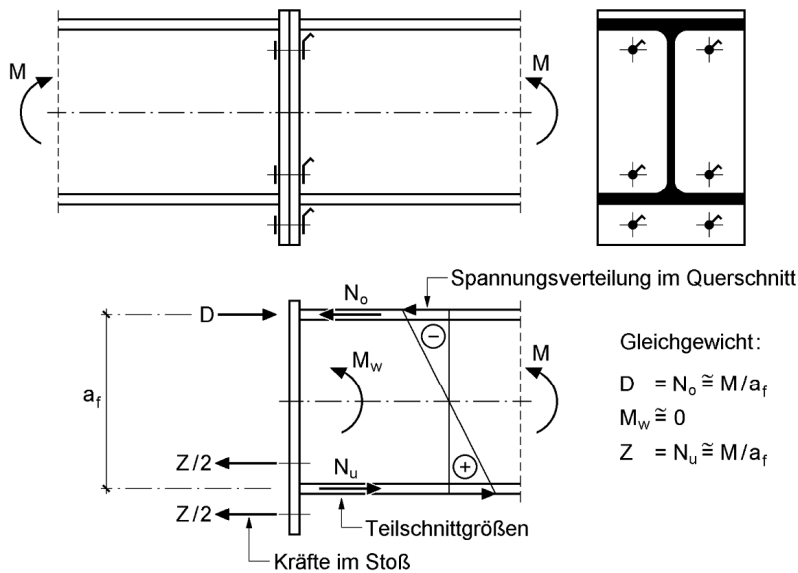


Bild 2.2 Teilschnittgrößen im Stirnplattenstoß eines I-Querschnitts

Dies ist im Beispiel in Bild 2.2 für die Schraubenzugkräfte eine selbstverständliche Folgerung. Für die Schweißnähte zwischen Walzprofil und Stirnplatte bedeutet es, dass die Teilschnittgrößen infolge Biegemoment M unter Berücksichtigung des tatsächlichen Krafteinflusses zu ermitteln sind, siehe auch Abschnitt 2.2.

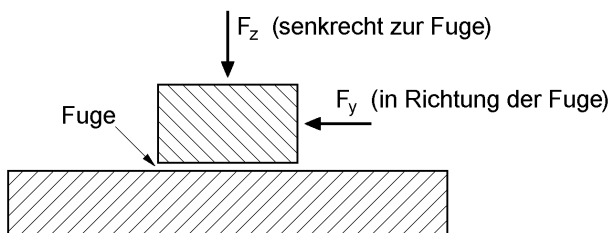


Bild 2.3 Prinzipskizze zur Beanspruchung von Verbindungen

Ein weiteres Prinzip soll mithilfe von Bild 2.3 erläutert werden. Es soll verdeutlichen, dass bei Stößen und Anschlüssen in der Regel zwei Grundaufgaben unterschieden werden:

- Kraftübertragung **in Richtung** der Verbindungsfuge
- Kraftübertragung **senkrecht** zur Verbindungsfuge

Daran anschließend wird dann die gemeinsame Wirkung (Überlagerung) untersucht. Das hier beschriebene Grundprinzip wird nicht nur bei geschweißten und geschraubten Verbindungen, sondern allgemein verwendet.

Aus den Kräften F_y und F_z (s. Bild 2.3) sind häufig unmittelbar die Beanspruchungen der Verbindungsmittel erkennbar. Die prinzipiellen Zusammenhänge sind in Bild 2.4 für eine Zugkraft N und eine Querkraft V skizziert. Je nach Art der konstruktiven Ausbildung ergeben sich:

- Zug- oder Scherbeanspruchungen in **Schrauben**
- Spannungen σ_{\perp} bzw. τ_{\perp} oder Schubspannungen τ_{\parallel} in **Schweißnähten**

Die Pfeile in Bild 2.4 zeigen die Schraubenkräfte mit ihren tatsächlichen Wirkungsrichtungen und die Richtung der Schweißnahtspannungen in der Verbindungsfuge zwischen den beiden Blechen. Einzelheiten zur Richtung von Spannungen in Schweißnähten sind in Bild 5.1 dargestellt.

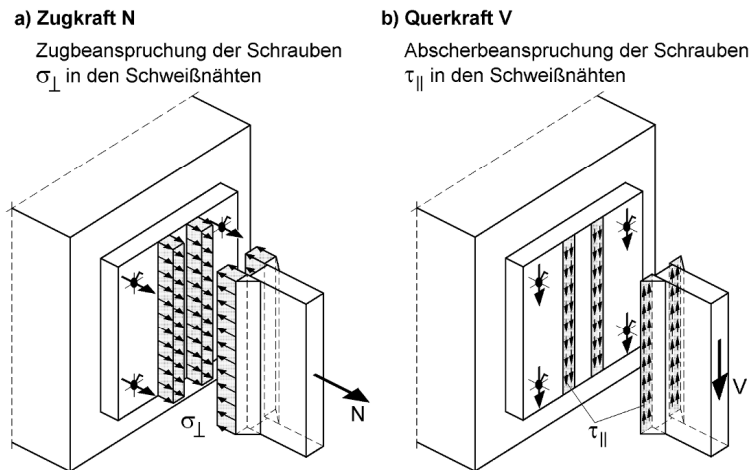


Bild 2.4 Zur prinzipiellen Beanspruchung von Schrauben und Schweißnähten

2.2 Schnittgrößen und Spannungen in Stäben

Bei den Verbindungen im Stahl- und Verbundbau geht es fast ausschließlich um die Übertragung von *Schnittgrößen* in Stäben. Bild 2.5 zeigt beispielhaft einen Stababschnitt mit C-förmigem Querschnitt.

Zur Beschreibung der Stabgeometrie wird ein x - y - z -Koordinatensystem verwendet. Die x -Achse wird in Längsrichtung des Stabes angeordnet, so dass die Querschnitte in der y - z -Ebene liegen. Der Ursprung des y - z -Koordinatensystems ist der Flächenschwerpunkt S und die Achsen des Koordinatensystems kennzeichnen die Hauptachsen des Querschnitts. Als ein weiterer Bezugspunkt für die Verschiebungen und *Schnittgrößen* wird der Schubmittelpunkt M benötigt. Seine Lage wird durch die Koordinaten y_M und z_M beschrieben. Für den einfachsymmetrischen Querschnitt in Bild 2.5 ist $z_M = 0$. Die Bestimmung der Hauptachsen und Bezugspunkte wird u. a. in [152] ausführlich beschrieben.

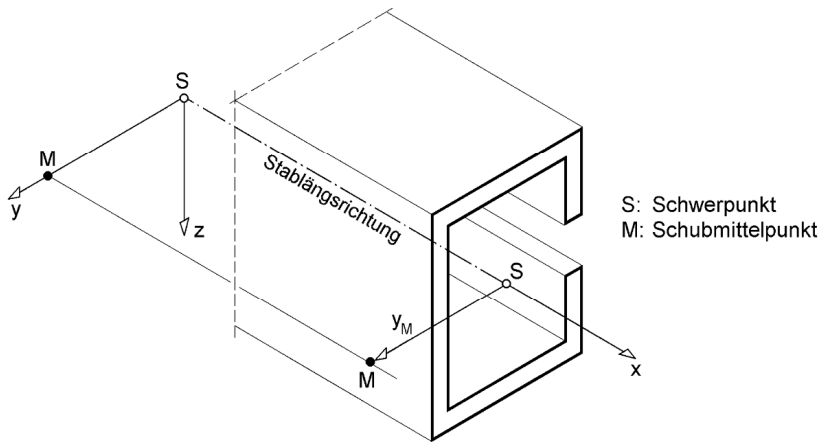
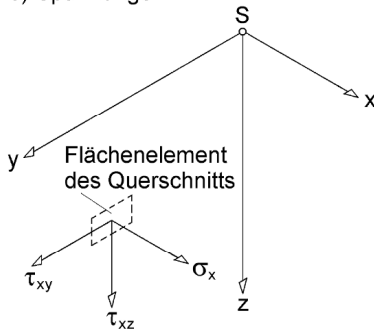
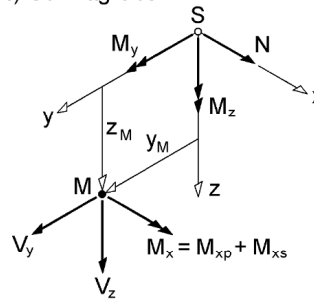


Bild 2.5 x-y-z-Koordinatensystem und Bezugspunkte S und M bei Stäben

a) Spannungen



b) Schnittgrößen



alternativ: σ_{xx} , σ_{xy} , σ_{xz}

zusätzliche Schnittgröße M_{θ} in M!

Bild 2.6 Spannungen und Schnittgrößen an der positiven Schnittfläche eines Stabquerschnitts (Schnittfläche $x = \text{const.}$) [152]

In Stabquerschnitten treten Normalspannungen σ_x und Schubspannungen τ auf, siehe Bild 2.6. Sie werden in Schnittgrößen, den „Spannungsergebnissen“, zusammengefasst. Gemäß Bild 2.6b können acht verschiedene Schnittgrößen auftreten, wobei N , M_y und M_z im Schwerpunkt und die übrigen Schnittgrößen im Schubmittelpunkt wirken. Darüber hinaus können die Schnittgrößen in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- N , M_y , M_z und M_{θ} sind Resultierende von **Normalspannungen** σ_x
- V_y , V_z , M_{xp} und M_{xs} sind Resultierende von **Schubspannungen** τ

Die Definitionen der *Schnittgrößen* als Resultierende der *Spannungen* sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt. Da in der Regel die Spannungsverteilungen nicht bekannt sind, bilden üblicherweise die Schnittgrößen den Ausgangspunkt für die Bemessung. Daraus können dann, je nach Aufgabenstellung, Spannungen oder Teilschnittgrößen in Querschnittsteilen berechnet werden (siehe Abschnitte 2.3 und 2.4).

Tabelle 2.1 Schnittgrößen als „Resultierende der Spannungen“

Bedingung	Schnittgröße	Definition
$\sum F_x = 0$:	Normalkraft	$N = \int_A \sigma_x \cdot dA$
$\sum V_y = 0$:	Querkraft	$V_y = \int_A \tau_{xy} \cdot dA$
$\sum V_z = 0$:	Querkraft	$V_z = \int_A \tau_{xz} \cdot dA$
$\sum M_x = 0$:	Torsionsmoment	$M_x = \int_A [\tau_{xz} \cdot (y - y_M) - \tau_{xy} \cdot (z - z_M)] \cdot dA$ $M_x = M_{xp} + M_{xs}$
$\sum M_y = 0$:	Biegemoment	$M_y = \int_A \sigma_x \cdot z \cdot dA$
$\sum M_z = 0$:	Biegemoment	$M_z = - \int_A \sigma_x \cdot y \cdot dA$
	Wölbbimoment	$M_\omega = \int_A \sigma_x \cdot \omega \cdot dA$

2.3 Gleichgewicht zwischen Schnittgrößen und Teilschnittgrößen

Gemäß Abschnitt 2.1 sollen die einzelnen Querschnittsteile je für sich angeschlossen oder gestoßen werden. Zur Ermittlung der Beanspruchungen der Verbindung werden daher die Teilschnittgrößen in den Einzelteilen benötigt. Sie können in einfachen Fällen allein mit den **Gleichgewichtsbedingungen** bestimmt werden. Allgemein können sie bei beliebigen Anwendungsfällen aus der Spannungsverteilung berechnet werden (siehe Abschnitt 2.4). Das Gleichgewicht zwischen Schnittgrößen und Teilschnittgrößen muss natürlich stets erfüllt sein.

Kindmann/Frickel gehen in [152] auf die Zusammenhänge zwischen Schnittgrößen und *Teilschnittgrößen* ausführlich ein. Als vorrangiges Ziel wird dort die Ermittlung der **Grenztragfähigkeit** von Querschnitten verfolgt. Die grundlegenden Gleichungen können für die Ermittlung der Beanspruchungen in Verbindungen übernommen werden. Da die Querschnitte im Stahlbau fast ausschließlich aus dünnwandigen Blechen bestehen, werden hier nur rechteckige Teilquerschnitte betrachtet.

Bei einem rechteckigen Querschnitt treten im allgemeinen Fall gemäß Bild 2.7 insgesamt acht Schnittgrößen auf. Davon können bei dünnwandigen Rechteckquerschnitten mit $h \gg t$ die Schnittgrößen V_y , M_z , M_{xs} und M_ω vernachlässigt werden. Die