

Rolf Kindmann

# Verbindungen im Stahl- und Verbundbau

- praxisnahe Einarbeitung für Berufseinsteiger:innen und im Studium
- mit instruktiven Abbildungen
- Nachschlagewerk mit Beispielen für den gesamten Ingenieurbau

Für die Planungspraxis von Ingenieur:innen fasst das vorliegende Buch die wichtigsten Verbindungstechniken für den Stahl- und Verbundbau sowie weitere Verbindungsarten des Bauwesens zusammen. Der Bestseller wird in neuer Bearbeitung vorgelegt.



vorl. Abb.

4., durchges. Auflage · 7 / 2023 ·  
ca. 524 Seiten · ca. 340 Abbildungen ·  
ca. 90 Tabellen

Softcover

**ISBN 978-3-433-03222-0** ca. € 59\*

eBundle (Print + ePDF)

**ISBN 978-3-433-03428-6** ca. € 79\*

**Bereits vorbestellbar.**

## BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236

marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3222

\* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland, inkl. MwSt.

## ÜBER DAS BUCH

Zentrale Themen des Buches sind geschweißte und geschraubte Verbindungen im Stahl- und Verbundbau. Darüber hinaus werden auch andere Verbindungstechniken und Verbindungsmittel behandelt, wie z. B.: Kontakt, Kopfbolzendübel, Setzbolzen, Niete, Augenstäbe, Bolzen, Hammerschrauben, Zuganker, Dübel und Ankerschienen. Auf die Methoden und Vorgehensweisen zur Bemessung und konstruktiven Durchbildung von Verbindungen wird ausführlich eingegangen. Neben den allgemeingültigen Grundlagen werden die Regelungen der Eurocodes behandelt und Erläuterungen zum Verständnis gegeben. Zahlreiche Konstruktions- und Berechnungsbeispiele auf Grundlage der Eurocodes zeigen die konkrete Anwendung und Durchführung der

Tragsicherheitsnachweise. Die Bemessungs- und Ausführungsregeln nach DIN 18800 sind ebenfalls nach wie vor im Buch enthalten, weil sie für Bestandskonstruktionen hilfreich sind und in der Baupraxis teilweise auf diese Regeln zurückgegriffen wird. Aufgrund der regen Nachfrage ist die 3. Auflage mehrfach ohne Änderungen nachgedruckt worden. Nach mehr als zehn Jahren enthält diese 4. Auflage kleine Korrekturen und Aktualisierungen. Darüber hinaus wurden Herleitungen und Erläuterungen bereichsweise im Hinblick auf das Verständnis verbessert und ein Kapitel 8 „In Fundamente und Wände eingespannte Stahlprofile“ ergänzt.

## BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03222-0	Verbindungen im Stahl- und Verbundbau [...]	ca. € 59*
	978-3-433-03428-6	Verbindungen im Stahl- und Verbundbau (Print + ePDF)	ca. € 79*

Privat

Geschäftlich

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:

Tel. +49 (0)30 47031-236

Fax +49 (0)30 47031-240

marketing@ernst-und-sohn.de

Firma, Abteilung

UST-ID Nr.

Name, Vorname

Telefon

Fax

Straße, Nr.

PLZ/Ort/Land

E-Mail

www.ernst-und-sohn.de/3222

Datum/Unterschrift

## **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

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>		V
<b>Autor</b>		IX
<b>1</b>	<b>Übersicht</b>	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
<b>2</b>	<b>Ermittlung von Beanspruchungen in Verbindungen</b>	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
<b>3</b>	<b>Konstruktion und Bemessung von Bauteilen und Verbindungen</b>	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
<b>4</b>	<b>Geschraubte Verbindungen</b>	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



<b>5</b>	<b>Geschweißte Verbindungen</b>	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	Schmelzschiweißen	335
5.5.3	Pressschweißen	338
5.5.4	Gasschmelzschiweißen 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	Sprödbruch	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

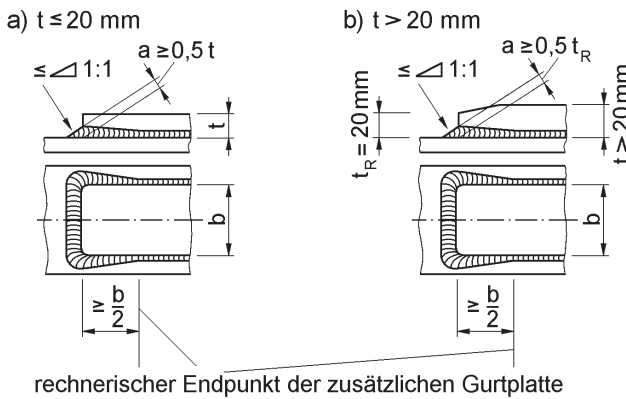
---

5.9	Herstellerqualifikationen	358
5.10	Prüfungen	362
<b>6</b>	<b>Weitere Verbindungsmittel und -techniken</b>	<b>366</b>
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
<b>7</b>	<b>Verbindungen in ermüdungsgefährdeten Konstruktionen</b>	<b>412</b>
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
<b>8</b>	<b>In Fundamente und Wände eingespannte Stahlprofile</b>	<b>438</b>
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

---

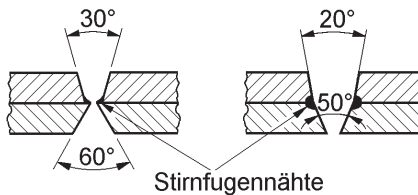
8.4.5	Betonpressungen bei eckigen Hohlprofilen	453
8.4.6	Betonpressungen bei Kastenquerschnitten	456
8.5	Grundsatzuntersuchungen - Bemessungshilfen	457
8.5.1	Stahlprofile und Beanspruchungen	457
8.5.2	Mitwirkende Breiten	458
8.5.3	Begrenzung der Betonpressungen	458
8.5.4	Maximale Querkraft im Einspannbereich	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
 <b>Literaturverzeichnis</b>		 <b>484</b>
<b>Sachverzeichnis</b>		<b>499</b>

bend sein soll, kann die Aufdickung zum Steg hin angeordnet werden. Die Fertigung ist dann jedoch etwas aufwändiger.



**Bild 3.8** Verbinden zusätzlicher Gurtplatten

Wenn aufeinanderliegende Gurtplatten an derselben Stelle gestoßen werden, ist der Stoß mit Stirnfugennähten vorzubereiten, siehe Bild 3.9.



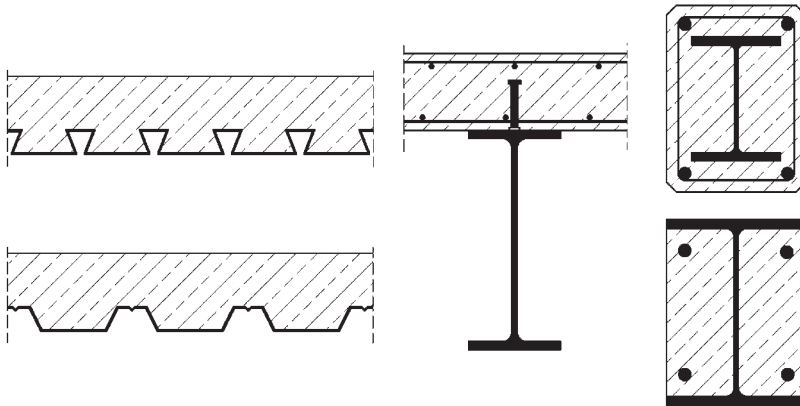
**Bild 3.9** Beispiele für die Nahtvorbereitung eines Stumpfstoßes aufeinanderliegender Gurtplatten, [6]

### 3.2.3 Verbundträger und andere Verbundkonstruktionen

Im Verbundbau werden Stahl- und Stahlbetonquerschnitte schubfest miteinander zu einem gemeinsam tragenden Gesamtquerschnitt verbunden. Dabei wird angestrebt, die Teilquerschnitte möglichst günstig, d. h. entsprechend den spezifischen Baustoffeigenschaften, anzuordnen. Der Beton mit seiner großen Druckfestigkeit soll daher überwiegend Druckkräfte aufnehmen und der Baustahl möglichst Zugkräfte. In dieser Bauweise werden

- Verbunddecken,
- Verbundträger und
- Verbundstützen

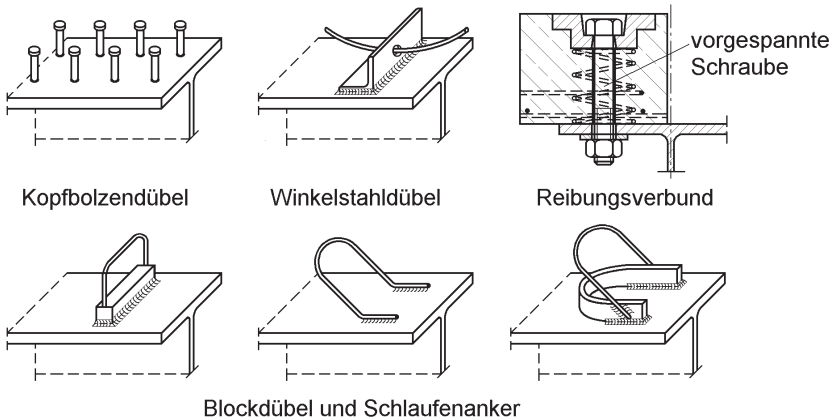
hergestellt. Bild 3.10 zeigt einige ausgewählte Beispiele.



**Bild 3.10** Querschnitte von Verbunddecken, Verbundträgern und Verbundstützen

Die Verbundbauweise ist sehr wirtschaftlich und bietet hohe Tragfähigkeiten bei gleichzeitig geringen Querschnittsabmessungen. Die Voraussetzung für die Verbundbauweise ist die schubfeste Verbindung zwischen den Querschnittsteilen. Zu diesem Zweck werden in der *Verbundfuge* in der Regel Verbundmittel angeordnet oder vorhandene Verbundwirkungen genutzt. Bild 3.11 zeigt Verbundmittel für Verbundträger.

Im Laufe der Zeit haben sich bei der Herstellung von Verbundträgern sowie bei der Krafteinleitung in Verbundstützen aufgeschweißte Kopfbolzendübel als Verbundmittel durchgesetzt. Bei Verbunddecken wird die Reibung zwischen dem Beton und dem Stahl, gegebenenfalls in Kombination mit einer Endverankerung planmäßig zur rechnerischen Sicherung des Verbundes angesetzt. Zur Verbesserung der Reibung werden bei einigen Stahltrapezblechen Noppen und Sicken angeordnet.



**Bild 3.11** Verbundmittel für Verbundträger

### Verbundträger mit vollständiger Verdübelung

Die Beanspruchungen in den Verbindungsfugen von Stahl- und Verbundquerschnitten wurden bereits in Abschnitt 3.2.1 angesprochen und mit den Bildern 3.1 bis 3.3 erläutert. Wenn man den stählernen Obergurt in Bild 3.3 durch eine Betonplatte ersetzt, können die Prinzipien der Kraftübertragung in vergleichbarer Weise angewendet werden. Anstelle der Halsnähte werden für den Verbundträger *Kopfbolzendübel* wie in Bild 3.10 Mitte als Verbundmittel gewählt.

Prinzipiell müssen bei Verbundträgern die zwischen den Extremwerten der Biegemomente auftretenden Normalkräfte in der Betonplatte in diese hinein bzw. heraus geleitet werden. Dabei werden in der Regel Bereiche zwischen maximalen Feldmomenten und Endauflagern sowie zwischen maximalen Feldmomenten und Stützmomenten an Zwischenauflagern unterschieden. Bei einem Einfeldträger wie in Bild 3.3 handelt es sich um Betondruckkräfte, die in Feldmitte maximal und an den Enden gleich null sind. Die maximalen Betondruckkräfte ergeben sich für das plastische Grenzbiegemoment als der kleinere Wert von  $N_{pl,a}$  und  $N_{pl,c}$ :

$$N_c = N_{pl,a} = A_a \cdot f_y / \gamma_M \quad (3.6)$$

$$N_c = N_{pl,c} = b_{eff} \cdot h_c \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C \quad (3.7)$$

Auf die Berechnung dieser Werte soll hier nicht näher eingegangen werden, da dies durch das Berechnungsbeispiel in Abschnitt 3.2.6 deutlich wird. Die Betondruckkraft muss in einer Hälfte des Verbundträgers in die Betonplatte eingeleitet werden. Wenn ein Kopfbolzendübel die Schubkraft  $P_{Rd}$  aufnehmen kann, werden

$$n = 2 \cdot N_c / P_{Rd} \quad (3.8)$$

Dübel benötigt. Auf die Tragfähigkeit der Kopfbolzendübel wird in Abschnitt 6.10 ausführlich eingegangen, siehe auch Tabelle 6.5. In Abschnitt 3.2.6 werden die erforderlichen Tragsicherheitsnachweise geführt und die Anordnung der Dübel für ein Beispiel (Einfeldträger) festgelegt.

### 3.2.4 Halsnähte eines I-Querschnitts

Für den Abfangträger in Bild 3.12 mit *geschweißtem I-Querschnitt* werden die *Halsnähte* nach DIN EN 1993-1-8 nachgewiesen. Die angegebenen Lasten sind Bemessungswerte der Einwirkungen.

#### Ausführung mit durchgehend geschweißter Halsnaht

Überprüfung der Grenzwerte für Kehlnahtdicken:

$$a = 6 \text{ mm} > \sqrt{40} - 0,5 = 5,8 \text{ mm}$$

Die Schweißnahtspannung  $\sigma_{||}$  (infolge  $M_{y,Ed}$ ) wird im Nachweis nicht berücksichtigt.

Statisches Moment des Obergurtes:  $S_y = -40 \cdot 4 \cdot 42 = -6720 \text{ cm}^3$

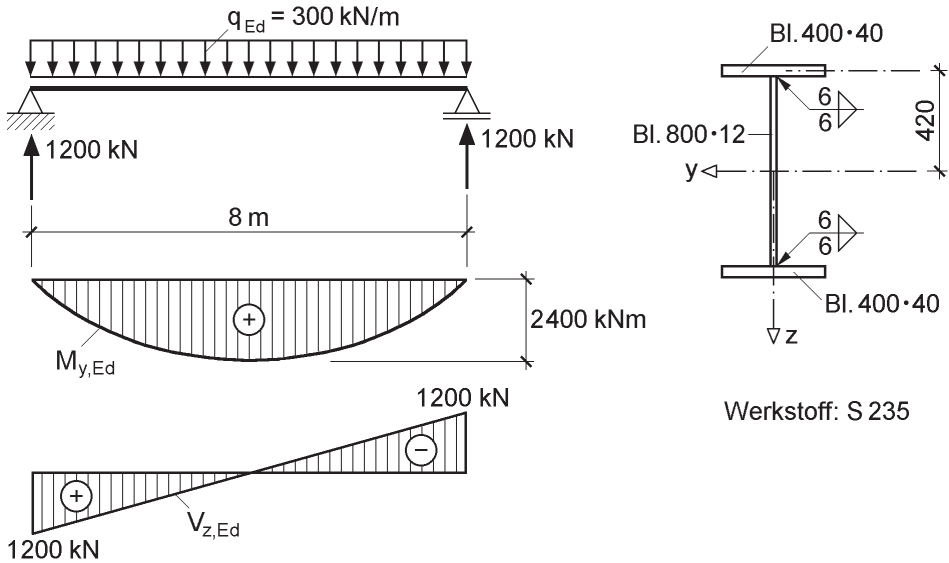
Trägheitsmoment:  $I_y = 1,2 \cdot \frac{80^3}{12} + 2 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 42^2 = 615\,680 \text{ cm}^4$

Maximale Schweißnahtspannung nach Gl. (3.3):

$$\tau_{\parallel} = -\frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot \sum a} = \frac{1200 \cdot 6720}{615680 \cdot 2 \cdot 0,6} = 10,9 \text{ kN/cm}^2$$

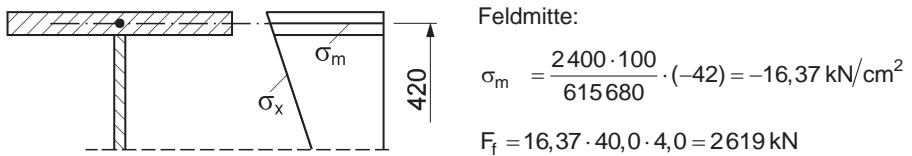
$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 10,9^2} = 18,9 \text{ kN/cm}^2 < f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 36,0 / (0,8 \cdot 1,25) = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{oder: } 10,9 \text{ kN/cm}^2 < 36,0 / \sqrt{3} = 20,8 \text{ kN/cm}^2$$



**Bild 3.12** Träger aus einem geschweißten I-Querschnitt

Die Beanspruchung der Halsnaht kann auch anschaulich mithilfe von Bild 3.3 ermittelt werden, siehe auch Bild 3.13.



**Bild 3.13** Spannung  $\sigma_m$  im Obergurt

Die Gurtkraft muss über die Halsnaht (Länge 4,0 m) eingeleitet werden. Daraus ergibt sich eine mittlere Schubspannung:

$$\tau_{\parallel,m} = \frac{F_f}{A_w} = \frac{2619}{400 \cdot 2 \cdot 0,6} = 5,46 \text{ kN/cm}^2$$

Nach Bild 3.3 beträgt die maximale Schweißnahtspannung:

$$\max \tau_{\parallel} = 2 \cdot 5,46 = 10,92 \text{ kN/cm}^2$$

### Ausführung mit unterbrochenen Halsnähten

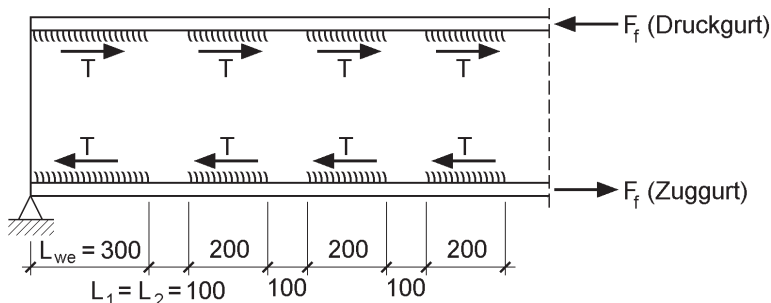
Der Nachweis für die durchgehend geschweißte Halsnaht zeigt, dass sie an der Stelle der maximalen Beanspruchung nur zu 53 % ausgenutzt ist. Als Alternative werden *unterbrochene Halsnähte* gewählt, die gemäß Bild 3.5 Mitte ohne Längsversatz auf beiden Seiten des Steges angeordnet werden. Die Schweißnahtlängen und Abstände können Bild 3.14 entnommen werden.

Unterbrochen ausgeführte Nähte dürfen nur dort ausgeführt werden, wo kein Korrosionsschutz erforderlich ist. Da der Trägerobergurt gedrückt wird, sind hier auch die Bedingungen für  $L_2$  (siehe Bild 3.5) einzuhalten.

$$L_{we} = 300 \text{ mm} = 0,75 \cdot b = 0,75 \cdot 400 \text{ (Endnaht)}$$

$$L_1 = 100 \text{ mm} < 16 \cdot t_w = 192 \text{ mm und } < 200 \text{ mm (Zuggurt)}$$

$$L_2 = 100 \text{ mm} < 12 \cdot t_w = 144 \text{ mm, } = 0,25 \cdot 400 \text{ mm und } < 200 \text{ mm (Druckgurt)}$$



**Bild 3.14** Träger mit unterbrochenen Halsnähten

Auf der sicheren Seite liegend wird die maximale Schweißnahtspannung (am Auflager mit durchgehender Naht) mit dem Faktor

$$(200 + 100)/200 = 1,5$$

vergrößert, siehe Gl. (3.4). Der Nachweis ergibt sich dann zu:

$$\max \tau_{\parallel} \cong 1,5 \cdot 10,9 = 16,35 \text{ kN/cm}^2 < 20,8 \text{ kN/cm}^2$$

**Anmerkung:** Die Unterbrechung der Halsnähte ist hier so gering, dass die Ausführung gemäß Bild 3.14 wahrscheinlich nicht wirtschaftlich ist.

### 3.2.5 Halsnähte eines rechteckigen Hohlkastenquerschnitts

Die *Halsnähte* des Querschnitts in Bild 3.15 werden nach DIN EN 1993-1-8 nachgewiesen.

Schweißnahtspannungen infolge des Torsionsmoments nach Gl. (3.5):

$$\tau_{\parallel} (M_{x,Ed}) = \frac{M_{x,Ed}}{2 \cdot A_m \cdot a} = \frac{240 \cdot 100}{2 \cdot 46 \cdot 24,2 \cdot 0,6} = 18,0 \text{ kN/cm}^2$$

Trägheitsmoment des Querschnitts:  $I_y = 43890 \text{ cm}^4$



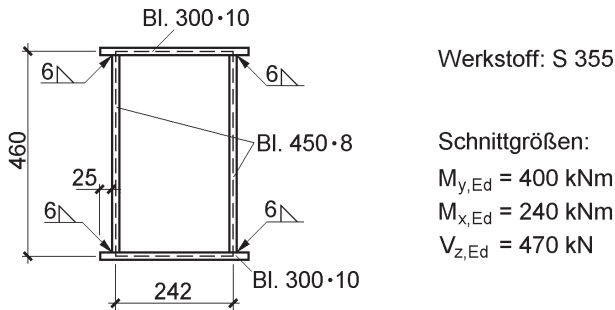
Statisches Moment des halben Obergurtes:  $S_y = -1,0 \cdot 30,0/2 \cdot 23,0 = -345 \text{ cm}^3$

Schweißnahtspannungen infolge Querkraft  $V_{z,Ed}$  nach Gl. (3.3):

$$\tau_{\parallel}(V_{z,Ed}) = -\frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot \sum a} = \frac{470 \cdot 345}{43890 \cdot 0,6} = 6,2 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

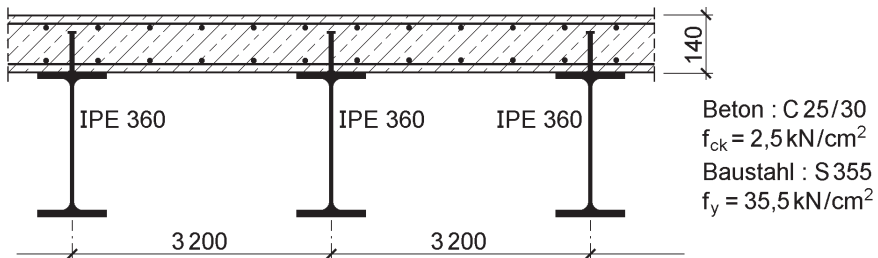
$$\begin{aligned} \sum \tau_{\parallel} &= \tau_{\parallel}(M_{x,Ed}) + \tau_{\parallel}(V_{z,Ed}) = 18,0 + 6,2 = 24,2 \text{ kN/cm}^2 \\ &< f_u / (\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}) &= 49,0 / (\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25) = 25,1 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$



**Bild 3.15** Hohlkastenquerschnitt

### 3.2.6 Verbundträger mit durchgehender Verbundfuge

Bei den Verbundträgern in Bild 3.16 handelt es sich um Einfeldträger mit einer Stützweite von  $L = 11,4 \text{ m}$ . Es werden die Tragsicherheitsnachweise für die Verbundmittel nach DIN EN 1994-1-1 [18] geführt und darüber hinaus auch Nachweise, die damit im unmittelbaren Zusammenhang stehen.



**Bild 3.16** Verbundträger mit durchgehender Verbundfuge

Einwirkungen:

$$\begin{aligned} g_{Ek} &= 11,8 \text{ kN/m} \quad (\text{Betongurt} + \text{Stahlträger}) \\ q_{Ek} &= 15,2 \text{ kN/m} \quad (\text{Verkehrslast} + \text{Trennwandzuschlag}) \end{aligned}$$

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_G = 1,35 \text{ für ständige Einwirkungen; } \gamma_Q = 1,50 \text{ für veränderliche Einwirkungen}$$

Bemessungswerte der Einwirkungen:

$$g_{Ed} = 11,8 \cdot 1,35 = 15,9 \text{ kN/m; } q_{Ed} = 15,2 \cdot 1,50 = 22,8 \text{ kN/m}$$

$$\text{insgesamt: } p_{Ed} = 38,7 \text{ kN/m}$$

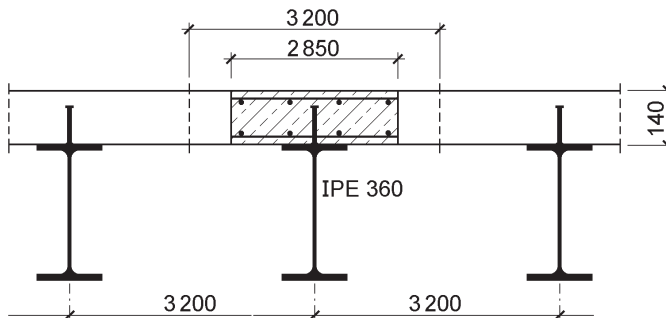
Schnittgrößen:

$$\max M_{Ed} = 38,7 \cdot 11,4^2/8 = 628,7 \text{ kNm; } \max V_{Ed} = 38,7 \cdot 11,4/2 = 220,6 \text{ kN}$$

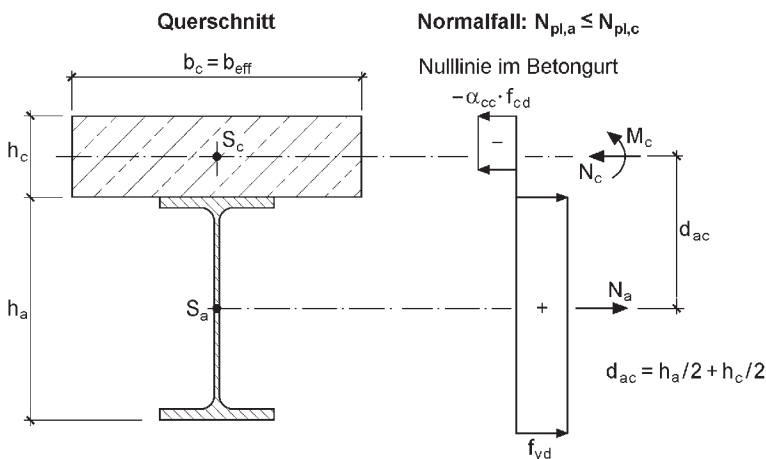
Mittragende Plattenbreite des Betongurtes:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2}; \quad b_{e1} = b_{e2} = L_o/8 = 11,4/8 = 1,425 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 \cdot 1,425 = 2,85 \text{ m} < 3,2 \text{ m} = \text{vorh } b$$



**Bild 3.17** Effektiver Verbundträgerquerschnitt



**Bild 3.18** Zur Ermittlung von  $M_{pl,Rd}$  (positives Biegemoment)

### Nachweis für das maximale Biegemoment

Das plastische Grenzbiegemoment wird nach [45], Bild 11.7 (hier Bild 3.18), ermittelt. Es ist der Normalfall maßgebend, da die Nulllinie im Betongurt liegt.

$$N_{pl,a} = A_a \cdot f_y / \gamma_M = 72,7 \cdot 35,5 / 1,0 = 2580,9 \text{ kN}$$

$$N_{pl,c} = A_c \cdot \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_C = 285 \cdot 14 \cdot 0,85 \cdot 2,5 / 1,5 = 5652,5 \text{ kN}$$

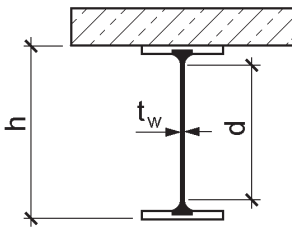
$$\Rightarrow N_{pl,a} < N_{pl,c} \text{ und } N_a = N_c = N_{pl,a}$$

$$M_c = N_c \cdot \frac{h_c}{2} \cdot \left(1 - \frac{N_c}{N_{pl,c}}\right) = 2580,9 \cdot 0,07 \cdot \left(1 - \frac{2580,9}{5652,5}\right) = 98,2 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = M_c + N_a \cdot d_{ac} = 98,2 + 2580,9 \cdot (0,18 + 0,07) = 743,4 \text{ kNm}$$

$$\text{Nachweis: } \max M_{Ed} = 628,7 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 743,4 \text{ kNm}$$

### Nachweis für die maximale Querkraft



$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

$$= 35,1 \cdot 35,5 / (\sqrt{3} \cdot 1,0) = 719,4 \text{ kN}$$

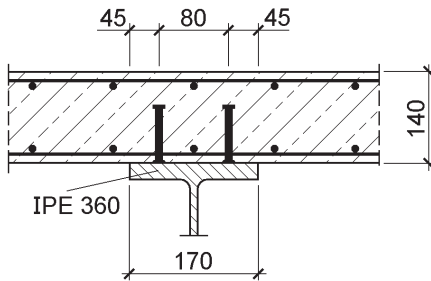
mit:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 35,1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Nachweis: } \max V_{Ed} = 220,6 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 719,4 \text{ kN}$$

**Bild 3.19** Fläche zur Aufnahme der Querkraft

### Nachweis der Verbund-sicherung (Verdübelung)



Kopfbolzendübel:

$$d = 19 \text{ mm}$$

$$h_{sc} = 100 \text{ mm}$$

$$f_u = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$h_{sc}/d = 100/19 = 5,3 > 4,0 \rightarrow \alpha = 1,0$$

**Bild 3.20** Anordnung der Kopfbolzendübel im Bereich 1

Die *Grenzabscherkraft eines Kopfbolzendübel*s wird nach Abschnitt 6.10 bestimmt. Aus Tabelle 6.5 liest man ab:  $P_{Rd} = 61,4 \text{ kN}$ . Maßgebend ist das Betonversagen.

In der *Verbundfuge* wird die Betondruckkraft  $N_c$  in jeweils einer Trägerhälfte über die Kopfbolzendübel eingeleitet (siehe Bild 3.21).  $N_c$  ergab sich bei der Berechnung des plastischen Grenzbiegemomentes zu:

$$N_c = N_{pl,a} = 2580,9 \text{ kN}$$

Die zu übertragende Druckkraft darf im Verhältnis des Ausnutzungsgrades abgemindert werden:

$$\text{red } N_c = N_c \cdot M_{Ed} / M_{pl,Rd} = 2580,9 \cdot 628,7 / 743,4 = 2182,7 \text{ kN}$$

Für eine Trägerhälfte werden  $2182,7 / 61,4 = 35,5 \approx 36$  Dübel benötigt.