

Manuel Krahwinkel
Rolf Kindmann

Stahl- und Verbundkonstruktionen

Hallen-, Geschoss- und Brückenbau

3. Auflage

Stahl- und Verbundkonstruktionen

Manuel Krahwinkel · Rolf Kindmann

Stahl- und Verbundkonstruktionen

Hallen-, Geschoss- und Brückenbau

3., vollständig überarbeitete und akt. Auflage

Manuel Krahwinkel
Buchholz i. d. Nordheide, Deutschland

Rolf Kindmann
Lünen, Deutschland

ISBN 978-3-658-05117-4 ISBN 978-3-658-05118-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-05118-1

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1999, 2012, 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Lektorat: Dipl.-Ing. Ralf Harms

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Vorwort

Nach knapp 5 Jahren erscheint das Buch „Stahl- und Verbundkonstruktionen“ in aktualisierter und überarbeiteter 3. Auflage.

Die Kapitel Konstruktionsgrundlagen, Hallenbau und Geschossbau wurden aktualisiert und der aktuellen Normung angepasst. Für das Kapitel Brückenbau erfolgte eine vollständige Überarbeitung, da die aktuellen Vorschriften für den Brückenbau seit Erscheinen der 2. Auflage von den DIN-Fachberichten auf die Eurocodes umgestellt wurden. Im vorliegenden Buch werden die Berechnung und Bemessung von Stahl- und Verbundbrücken nach den Eurocodes, Ausgabe Dezember 2010, mit nationalem Anhang NA, Ausgabe Oktober 2014, behandelt.

Tragwerksplanung ist mehr als nur die statische Berechnung und Bemessung der tragenden Bauteile eines Bauwerkes. Der Fokus des vorliegenden Buches liegt auf dem Tragwerksentwurf und der konstruktiven Durchbildung der Stahl- und Verbundkonstruktionen. In einer ganzheitlichen Betrachtungsweise werden dabei nicht nur statisch konstruktive Eigenschaften der Stahl- und Verbundkonstruktionen analysiert, sondern auch Aspekte wie Fertigung, Zusammenbau, Transport, Montage, Toleranzausgleich, Stöße, Anschlüsse, Brandschutz, Korrosionsschutz und die Interaktion des Tragwerkes mit Ausbaugewerken. Das Buch ist deshalb nicht nur für Tragwerksplaner (in der Regel Bauingenieure) konzipiert, sondern auch für Objektplaner (im Hochbau in der Regel Architekten), die mit der Planung von Stahl- und Verbundkonstruktionen befasst sind. Es richtet sich gleichermaßen an Studierende des Bauingenieurwesens wie an berufstätige Ingenieure und Architekten.

Die Verfasser danken Frau Dr.-Ing Rebekka Ebel für Ihre tatkräftige Unterstützung und viele sachkundige Anregungen bei der Überarbeitung des Brückenbaukapitels und Herrn Dipl.-Ing. Christian Gehmert für die wertvolle Hilfe bei der Aktualisierung des Hallen- und des Geschossbaukapitels. Darüber hinaus danken die Verfasser Herrn Dipl.-Ing. Niebuhr und Herrn Dipl.-Ing. Jostmann von der Ingenieursozietät Schürmann-Kindmann und Partner in Dortmund sowie Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kraus von der Bauhaus-Universität Weimar für die vielfältigen Diskussionen und wertvollen Hinweisen zu den Brückenbauabschnitten Plattenbeulen und Ermüdung.

Hamburg im Februar 2016
Manuel Krahwinkel

Dortmund im Februar 2016
Rolf Kindmann

Inhaltsverzeichnis

1 Konstruktionsgrundlagen

1.1	Vorbemerkungen	1
1.2	Werkstoff Stahl	1
1.3	Erzeugnisse aus Baustahl	4
1.3.1	Einleitung	4
1.3.2	Langerzeugnisse	5
1.3.3	Flacherzeugnisse	11
1.4	Verbindungsmittel	12
1.4.1	Allgemeines	12
1.4.2	Verbindungen mit Schweißnähten	13
1.4.3	Verbindungen mit Schrauben	20
1.5	Werkstattfertigung	24
1.6	Transport und Montage	26
1.7	Hinweise für das Konstruieren	28

2 Hallenbau

2.1	Tragwerksentwurf	30
2.1.1	Einführungsbeispiel	30
2.1.2	Abtragung der Vertikallasten	33
2.1.3	Abtragung der Horizontallasten in Hallenquerrichtung	36
2.1.4	Abtragung der Horizontallasten in Hallenlängsrichtung	37

2.2	Dacheindeckung	40
2.2.1	Übersicht	40
2.2.2	Stahltrapezprofildächer	41
2.2.3	Sandwich-Querschnitte	61
2.2.4	Porenbetonplatten	63
2.3	Pfetten	65
2.3.1	Allgemeines	65
2.3.2	Holzpfitten	65
2.3.3	Walzprofilpfetten	67
2.3.4	Kaltprofilpfetten	68
2.3.5	Dachschub	73
2.4	Vollwandrahmen	78
2.4.1	Baustatische Systeme und Querschnitte	78
2.4.2	Rahmenecken	84
2.4.3	Firstpunkte	96
2.5	Fachwerkbinder und Fachwerkrahmen	98
2.5.1	Baustatische Systeme	98
2.5.2	Querschnitte und Füllstabanschlüsse	100
2.5.3	Auflagerpunkte	111
2.5.4	Montagestöße	115
2.6	Stützen	118
2.6.1	Querschnitte	118
2.6.2	Eingespannte Fußpunkte	119
2.6.3	Gelenkige Fußpunkte	124
2.6.4	Fundamente	140
2.7	Wandverkleidung	143
2.7.1	Übersicht	143
2.7.2	Trapezprofile	143
2.7.3	Kassettenprofile	145
2.7.4	Sandwich-Querschnitte	148

2.7.5	Mauerwerk	149
2.7.6	Porenbetonplatten	150
2.8	Wandriegel	152
2.9	Giebelwandstützen	157
2.10	Dach- und Wandverbände	161
2.10.1	Anordnung und Beanspruchung	161
2.10.2	Dachverbände	171
2.10.3	Wandverbände	178
2.11	Kranbahnen	182
2.12	Berechnungsbeispiel Stahlhalle nach EC3 Teil 1-1	186
2.12.1	Übersicht über das Gesamttragwerk	186
2.12.2	Bemessung der Hauptrahmen	191
2.12.3	Bemessung der firstnahen Giebelwandstütze	206
2.12.4	Bemessung des Dachverbandes	212

3 Geschossbau

3.1	Tragwerksentwurf	217
3.1.1	Allgemeines	217
3.1.2	Abtragung der Vertikallasten	221
3.1.3	Abtragung der Horizontallasten	221
3.2	Geschossdecken	225
3.2.1	Trägerdecken	225
3.2.2	Flachdecken	230
3.3	Deckenträger und Unterzüge	234
3.3.1	Querschnitte und Verbundmittel	234
3.3.2	Installationsführung	237
3.3.3	Brandschutz	241

3.4	Stützen	254
3.4.1	Querschnitte und Brandschutz	254
3.4.2	Fußpunkte und Fundamente	264
3.5	Anschlüsse von Deckenträgern an Unterzüge	264
3.5.1	Allgemeines	264
3.5.2	Anschlüsse für Stahlträger	265
3.5.3	Anschlüsse für kammerbetonierte Träger	266
3.6	Anschlüsse von Unterzügen an Stützen	271
3.6.1	Allgemeines	271
3.6.2	Anschlüsse für Stahlträger und -stützen	272
3.6.3	Anschlüsse für kammerbetonierte Träger und Stützen	274
3.6.4	Anschlüsse für Hohlprofilstützen	278
3.6.5	Anschlüsse für einbetonierte Stützen	280
3.7	Trägerstöße	281
3.8	Stützenstöße	283
3.9	Aussteifungskonstruktionen	284
3.9.1	Allgemeines	284
3.9.2	Vertikalverbände	285
3.9.3	Rahmen	287
3.10	Anschlüsse von Stahlträgern an Stahlbetonwände	288
3.11	Anschlüsse von Stahlträgern an Mauerwerkswände	292
3.12	Berechnungsbeispiele Geschossbau	294
3.12.1	Heißbemessung ungeschützter Stahlbauteile nach EC 3 Teil 1-2	294
3.12.2	Bemessung eines Verbundträgers ohne Brandschutzanforderungen nach EC 4 Teil 1-1	306

4 Brückenbau

4.1	Einleitung und Übersicht	320
4.2	Vorschriften und Entwurfshilfen	323
4.3	Haupttragwerke	326
4.3.1	Tragwerksarten	326
4.3.2	Bau- und Konstruktionshöhen	334
4.4	Haupt- und Sekundärtragwerke	336
4.4.1	Konstruktions- und Lastabtragungsprinzipien	336
4.4.2	Berechnungen nach der Stabtheorie	339
4.4.3	Berechnungsmodelle	341
4.4.4	Brücken mit Betonfahrbahnplatten	347
4.4.5	Stahlbrücken mit querorientierten Fahrbahnen	352
4.4.6	Stahlbrücken mit längsorientierten Fahrbahnen	354
4.4.7	Walzträger in Beton	358
4.4.8	Vorgespannte Doppelverbundträger	359
4.5	Bauliche Durchbildung der Bauteile	360
4.5.1	Aussteifung von Blechen	360
4.5.2	Herstellungs- und Montageeinheiten	362
4.5.3	Empfehlungen für Straßenbrücken mit Stahlfahrbahnen	365
4.5.4	Empfehlungen für Eisenbahnbrücken mit Stahlfahrbahnen	370
4.5.5	Abmessungen von Blechen und Profilen	373
4.5.6	Betonfahrbahnplatten	376
4.5.7	Regelquerschnitte für Straßenbrücken	378
4.6	Einwirkungen und Bemessung	379
4.6.1	Vorbemerkungen	379
4.6.2	Einwirkungen	379
4.6.3	Bemessung von Stahlbrücken	387
4.6.4	Bemessung von Verbundbrücken	390

4.7	Plattenbeulen	393
4.7.1	Stabilitätsproblem Plattenbeulen	393
4.7.2	Nachweisführung bei Brücken	395
4.7.3	Beulen druckbeanspruchter Einzelblechfelder ohne Steifen	398
4.7.4	Beulen druckbeanspruchter Blechfelder mit Längssteifen	399
4.7.5	Beulen schubbeanspruchter Blechfelder	408
4.7.6	Konstruktionsdetails	408
4.7.7	Berechnungsbeispiel Stegblech eines Durchlaufträgers	410
4.7.8	Berechnungsbeispiel Bodenblech mit Längssteifen	415
4.8	Ermüdungsnachweise	420
4.8.1	Einleitung	420
4.8.2	Bedeutung der Werkstoffermüdung	421
4.8.3	Grundsätzliches	421
4.8.4	Nachweise nach DIN EN 1993-2	423
4.8.5	Kerbfälle	427
4.8.6	Ermüdungsnachweis für eine Straßenbrücke	430
4.8.7	Ermüdungsnachweis für eine Eisenbahnbrücke	432
4.9	Vollwandträgerbrücken	434
4.9.1	Konstruktionsvarianten	434
4.9.2	Schnittgrößenermittlung	434
4.9.3	Berechnungsmethoden für Verbundbrücken	439
4.9.4	Aussteifung der Brückenquerschnitte	446
4.9.5	Anordnung der Lager und Lagersteifen	447
4.9.6	Weitere Ausführungsbeispiele	449
4.10	Fachwerkträgerbrücken	452
4.10.1	Konstruktionsvarianten	452
4.10.2	Fachwerke und Windverbände	455
4.10.3	Konstruktionshöhe	458
4.10.4	Fahrbahn	458
4.10.5	Schnittgrößenermittlung	459
4.10.6	Weitere Ausführungsbeispiele	460

4.11	Bogenbrücken	464
4.11.1	Lastabtragung bei Brücken mit Bögen	464
4.11.2	Konstruktionsvarianten	466
4.11.3	Hänger und Hängeranschlüsse	470
4.11.4	Windverbände	473
4.11.5	Anwendungsbereiche	473
4.11.6	Weitere Konstruktionsbeispiele	474
4.12	Schrägseilbrücken	481
4.12.1	Anwendungsbereiche	481
4.12.2	Haupttragwerke	482
4.12.3	Rheinbrücke Wesel	484
4.12.4	Schnittgrößen	489
4.12.5	Weitere Konstruktionsbeispiele	490
4.12.6	Seile	493
4.13	Hängebrücken	494
4.13.1	Übersicht	494
4.13.2	Konstruktionsbeispiele	495
4.14	Berechnungsbeispiele	498
4.14.1	Vorbemerkungen	498
4.14.2	Berechnungsbeispiel Geh- und Radwegbrücke	498
4.14.3	Berechnungsbeispiel Straßenbrücke aus Baustahl	506
4.14.4	Berechnungsbeispiel Straßenbrücke in Verbundbauweise	513
4.14.5	Berechnungsbeispiel Stabbogenbrücke	523
Literaturverzeichnis		528
Sachverzeichnis		542
Bildnachweis		549

1 Konstruktionsgrundlagen

1.1 Vorbemerkungen

Tragwerke des Stahl- und Verbundbaus müssen die auftretenden Beanspruchungen mit ausreichender Sicherheit aufnehmen. Neben der Tragsicherheit sind die Lage-sicherheit und die Gebrauchstauglichkeit für das Tragwerk, seine Bauteile und Ver-bindungen sowie seine Lager nachzuweisen. Für den Entwurf und die konstruktive Durchbildung haben die folgenden Gesichtspunkte auch im Hinblick auf eine wirt-schaftliche Auslegung große Bedeutung:

- Auswahl der Werkstoffe und deren Schweißbeignung
- lieferbare Erzeugnisse und deren Lieferfristen
- Abmessungen und Gewichte
- Ausführung von Stößen und Anschlüssen (Verbindungen)
- Fertigungsverfahren, Transportmöglichkeiten und Montageverfahren
- Korrosionsschutz, Brandschutz und Qualitätskontrollen

Auf einige Aspekte wird im Folgenden kurz eingegangen, da sie wesentlichen Ein-fluss auf die Auslegung der Konstruktionen haben.

1.2 Werkstoff Stahl

Die Kennwerte für den Werkstoff Stahl sind in der Regel wie folgt anzunehmen:

- *Elastizitätsmodul* $E = 210000 \text{ N/mm}^2$
- *Schubmodul* $G = E/2/(1+\nu) \approx 81000 \text{ N/mm}^2$
- *Poissonsche Zahl* $\nu = 0,3$ (*Querdehnzahl*)
- *Wärmeausdehnungskoeffizient* $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ je K}$ (für $T \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$)
- *Dichte* $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Die Nennwerte der *Streckgrenze* f_y und der *Zugfestigkeit* f_u für Baustahl nach DIN EN 1993-1-1 sind in Tabelle 1.1 zusammengestellt. Diese Nennwerte dürfen als cha-rakteristische Werte für statische Berechnungen angenommen werden. Tabelle 4.9 enthält Angaben zur Dickenbegrenzung von Stahlteilen für Straßen- und Eisenbahn-brücken. Nach DIN EN 10020 erfolgt die Einteilung der Stähle

- nach ihrer chemischen Zusammensetzung in unlegierte und legierte Stähle sowie
- nach Hauptgüteklassen aufgrund ihrer Haupteigenschafts- und Anwendungs-merkmale.

Die allgemeinen Baustähle S 235 und S 355, die mehr als 95 % der im Stahlbau ver-wendeten Mengen ausmachen, gelten als unlegierte Stähle. Dies bedeutet nicht, dass

keine Legierungselemente enthalten sind. Für die Legierungselemente (Silizium, Chrom, Mangan, Molybdän u. a.) sind in DIN EN 10020 festgelegte Grenzmassenanteile einzuhalten. Die chemische Zusammensetzung von warmgewalzten Erzeugnissen aus unlegierten Baustählen ist in DIN EN 10025 festgelegt. Große Bedeutung hat der Anteil an Kohlenstoff. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt wachsen Zugfestigkeit und Härte, die Zähigkeit (Duktilität) des Stahles nimmt jedoch ab.

Tabelle 1.1 Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzten Baustahl nach DIN EN 1993-1-1 (Auszug)

Werkstoffnorm und Stahlsorte	Erzeugnisdicke t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
DIN EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	490	335	470
S450	440	550	410	550
DIN EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
DIN EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
DIN EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	490	335	490
DIN EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
DIN EN 10210-1				
S355 H	355	510	335	490
S355 NH/NLH	355	490	335	470
DIN EN 10219-1				
S355 H	355	510		
S355 NH/NLH	355	470		
S355 MH/MLH	355	470		

Die Bedeutung der in Tabelle 1.1 angegebenen Bezeichnungen für die Stahlsorten kann Tabelle 1.2 entnommen werden. S 355 H bedeutet beispielsweise, dass es sich um ein Hohlprofil für den Stahlbau mit einer Mindeststreckgrenze von 355 N/mm² handelt. In Tabelle 1.3 sind einige Stähle mit den ihnen zugeordneten *Werkstoffnummern* zusammengestellt, die alternativ als Bezeichnung verwendet werden dürfen.

Wie bereits erwähnt werden im Stahlbau fast ausschließlich die *Stahlsorten* S 235 und S 355 eingesetzt. Der Baustahl S 355 hat eine um mehr als 50 % höhere Streckgrenze als der S 235 (siehe Tabelle 1.1). Da der S 355 nur etwa 10 % teurer als der S 235 ist, könnte man vermuten, dass im Stahlbau fast nur der S 355 verwendet wird. Der Ein-

satz von S 355 lohnt sich jedoch nur, wenn der Vorteil der höheren Streckgrenze ausgenutzt werden kann. Bei stabilitätsgefährdeten Bauteilen (Knicken, Biegedrillknicken, Beulen) ist zu beachten, dass die höhere Streckgrenze des S 355 die Tragfähigkeit häufig nicht in gleichem Maße erhöht. Aufgrund der höheren Streckgrenze und kleinerer Abmessungen haben Bauteile aus S 355 größere bezogene Schlankheiten als vergleichbare Bauteile aus S 235. Der Vorteil des S 355 reduziert sich auch dann, wenn Verformungsbeschränkungen maßgebend werden, da der E-Modul bei allen Stahlsorten gleich ist.

Tabelle 1.2 Haupt- und Zusatzsymbole zur Bezeichnung von Stählen nach DIN EN 10027-1

Hauptsymbole	Zeichen		Eigenschaft		Anwendungsbereich	
	S ¹⁾		Mindeststreckgrenze [N/mm ²]		Stähle für den Stahlbau	
	P ¹⁾		Mindeststreckgrenze [N/mm ²]		Druckbehälterstähle	
	L		Mindeststreckgrenze [N/mm ²]		Stähle für Leitungsrohre	
	E ¹⁾		Mindeststreckgrenze [N/mm ²]		Maschinenbaustähle	
	B		Charakt. Streckgrenze [N/mm ²]		Betonstähle	
	Y		Nennwert Zugfestigkeit [N/mm ²]		Spannstähle	
	R		Mindesthärte nach Brinell		Stähle für Schienen	
	C ¹⁾		Kohlenstoffgehalt		Unlegierte Stähle (Kohlenstoff)	
¹⁾ Für Stahlguss ist der Buchstabe G voranzustellen.						
Zusatzsymbole	Gruppe 1:				Gruppe 2:	
	Kerbschlagarbeit			Prüftemp.	C	Besondere Kaltumformbarkeit
	27 J	40 J	60 J	°C	D	Für Schmelzüberzüge
	JR	KR	LR	+20	E	Für Emaillierung
	J0	K0	L0	0	F	Zum Schmieden
	J2	K2	L2	−20	H	Hohlprofile
	J3	K3	L3	−30	L	Für tiefere Temperaturen
	J4	K4	L4	−40	M	Thermomechanisch gewalzt
	J5	K5	L5	−50	N	Normalgeglüht
	J6	K6	L6	−60	P	Für Spundbohlen
	A ¹⁾	Ausscheidungshärtend			Q	Vergütet
	M ¹⁾	Thermomechanisch gewalzt			S	Für Schiffsbau
	N ¹⁾	Normalgeglüht oder normalisierend gewalzt			T	Für Rohre
	Q ¹⁾	Vergütet			W	Wetterfest
	G	Andere Merkmale			an	Zusätzliche Elemente
	G1	Unberuhigt ²⁾			¹⁾ Für Feinkornstähle ²⁾ Nach DIN EN 10025 (2005) entfallen die Gütebezeichnungen G1 bis G4	
	G2	Beruhigt ²⁾				
	G3	Normalgeglüht ²⁾				
	G4	Lieferzustand ²⁾				

Weitere Kriterien für die Wahl der Stahlsorte sind neben der Schweißbeignung Aufpreise für Mindermengen und die Beschaffbarkeit. Beim Stahlhandel sind viele verschiedene Walzprofile aus S 235 und häufig verwendete Walzprofile aus S 355 vorrätig, die daher mit kurzen Fristen geliefert werden können. Zusätzliche Fertigungskosten entstehen bei geschweißten Konstruktionen aus S 355 und Blechdicken über 25 mm, da dann beim Schweißvorgang vorgewärmt werden muss.

Tabelle 1.3 Werkstoffnummern für Baustähle

Bezeichnungen nach DIN EN 10027-1	Werkstoff-Nr. nach DIN EN 10027-2	alte Bezeichnungen
S 235JR	1.0038	RSt 37–2
S 235J0	1.0114	St 37–3 U
S 235J2	1.0117	
S 275JR	1.0044	St 44–2
S 275J0	1.0143	ST 44–2U
S 275J2	1.0145	
S 355JR	1.0045	
S 355J0	1.0553	St 52–3 U
S 355J2	1.0577	
S 355K2	1.0596	
S 450J0 ^l	1.0590	

Zurzeit werden in Deutschland im Hallen- und Geschossbau etwa 80 % Baustähle aus S 235 und 20 % aus S 355 verwendet. Im Brückenbau ist das Verhältnis eher umgekehrt. In Großbritannien wird im Hallen- und Geschossbau überwiegend der als „mild steel“ bezeichnete S 275 und im Brückenbau der als „high tensile steel“ bezeichnete S 355 verwendet.

1.3 Erzeugnisse aus Baustahl

1.3.1 Einteilung

In Deutschland werden die *Stahlerzeugnisse*, die von den Stahlbauunternehmen zwecks Weiterverarbeitung bezogen werden, in folgende Kategorien eingeteilt:

- Formstahl
- Stabstahl
- Hohlprofile
- Flacherzeugnisse
- dünnwandige Kaltprofile

Die von den Herstellern gewählten Bezeichnungen haben sich bei den Stahlbauern nicht durchgängig durchgesetzt. Sie unterscheiden aufgrund der herzustellenden Konstruktionen in der Regel wie folgt:

- *Profilkonstruktionen*
- *Blechkonstruktionen*

Diese Einteilung wird mit DIN EN 10079 bezüglich der für den Stahlbau wichtigen Stahlerzeugnisse besser abgedeckt als die Einteilung in die o. g. Kategorien. Nach DIN EN 10079 kann wie folgt unterschieden werden:

- Langerzeugnisse
warmgewalzte Profile, geschweißte Profile, Kaltprofile, Hohlprofile, Rundstähle, Vierkantstähle, Flachstähle
- Flacherzeugnisse
Breitflachstahl, Blech und Bandstahl

Für den Entwurf und die konstruktive Durchbildung von Stahlkonstruktionen werden die lieferbaren Abmessungen der Erzeugnisse benötigt. In den folgenden Abschnitten werden daher für den Stahlbau häufig verwendete Erzeugnisse zusammengestellt und Angaben zu den Abmessungen und Verwendungszwecken gemacht. Dabei ist zu beachten, dass von den verschiedenen Herstellern nicht immer die gesamte Produktpalette angeboten wird. Die genormten Abmessungen der gebräuchlichen Stahlerzeugnisse und die für Konstruktion und statische Berechnungen notwendigen Querschnittswerte können Profiltafeln entnommen werden, z. B. [92].

1.3.2 Langerzeugnisse

Die wichtigste Gruppe der warmgewalzten *Stahlprofile* umfasst die I- und U-förmigen Stähle mit Höhen über 80 mm. Sie finden vor allem als Träger und Stützen Verwendung. In den Tabellen 1.4 und 1.8 sind die am häufigsten verwendeten Profilvereihen zusammengestellt.

Für biegebeanspruchte Bauteile werden überwiegend *mittelbreite I-Träger* mit parallelen Flanschen aus der IPE-Reihe gewählt. Sie haben die früher üblichen schmalen I-Träger mit geneigten inneren Flanschflächen abgelöst, da sie einen besseren Nutzungsgrad aufweisen und sich aufgrund der parallelen Flansche besser für eingeschweißte Rippen und geschraubte Anschlüsse eignen. Zusätzlich zur IPE-Reihe werden von den Walzwerken auch Varianten als IPEa (leichte Ausführung), IPEo (optimierte Ausführung) und IPEv (verstärkte Ausführung) hergestellt. Für Druckstäbe und stabilitätsgefährdete Biegeträger (Biegedrillknicken) werden aufgrund der größeren Steifigkeit bezüglich der schwachen Achse *breite I-Träger* mit parallelen Flanschflächen aus den HE-Reihen gewählt. Bei HEB-Profilen entspricht die Querschnittshöhe der Kennziffer des Kurzzeichens. Bei Profilen bis HEB 300 ist die Breite gleich der Höhe. Größere Profile bis einschließlich HEB 1000 haben die konstante Flanschbreite von 300 mm. Die HEA-Reihe als leichte Ausführung der Breitflanschprofile weist aufgrund der verminderten Flanschdicken durchweg etwas geringere Höhen als die zugehörigen HEB-Profile mit gleicher Nennhöhe auf. Bei der HEM-Reihe als verstärkte Ausführung sind die Abmessungen stets größer als bei den entsprechenden Profilen der HEB-Reihe. Aufgrund der großen Stegdicken eignen sich HEM-Profile insbesondere für Träger mit großen Querkraften.

Tabelle 1.4 I-Profile

Bezeichnungen	Normen	Abmessungen	Verwendung
Mittelbreite I-Träger mit parallelen Flanschflächen IPE 80 bis IPE 600 	DIN 1025 Teil 5 (03/94)	Höhe: 80 bis 600 mm Breite: 46 bis 220 mm Lieferlängen: h < 300 mm: 8 bis 16 m h ≥ 300 mm: 8 bis 18 m	– Biegeträger – Rahmenriegel und Rahmenstützen im Hallenbau – Dachpfetten – Deckenträger
Breite I-Träger mit parallelen Flanschflächen HEB 100 bis HEB 1000 	DIN 1025 Teil 2 (11/95)	Höhe: 100 bis 1000 mm Breite: 100 bis 300 mm Lieferlängen: h < 300 mm: 8 bis 16 m h ≥ 300 mm: 8 bis 18 m	– Biegeträger mit Normalkräften – Druckstäbe – Stützen im Hallenbau
Breite I-Träger mit parallelen Flanschflächen, leichte Ausführung HEA 100 bis HEA 1000 	DIN 1025 Teil 3 (03/94)	Höhe: 96 bis 990 mm Breite: 100 bis 300 mm Lieferlängen: h < 300 mm: 8 bis 16 m h ≥ 300 mm: 8 bis 18 m	– Fachwerkbinder – Deckenträger – Stützen im Geschossbau
Breite I-Träger mit parallelen Flanschflächen, verstärkte Ausführung HEM 100 bis HEM 1000 	DIN 1025 Teil 4 (03/94)	Höhe: 120 bis 1008 mm Breite: 106 bis 302 mm Lieferlängen: h < 300 mm: 8 bis 16 m h ≥ 300 mm: 8 bis 18 m	– Biegeträger mit großen Querkraften – Druckstäbe – Abfangträger – schwere Unterzüge – Stützen im Geschoss- bau

Da in stabartigen Konstruktionen häufig IPE-, HEA-, HEB- und HEM-Profile verwendet werden, sind als Hilfe für Entwurf und Bemessung in den Tabellen 1.5 bis 1.7 die *Grenzschnittgrößen* N_{pl} , $V_{pl,z}$, $M_{pl,y}$, $V_{pl,y}$ und $M_{pl,z}$ von Profilen aus S 235 zusammengestellt. Für Profile aus S 355 können die 1,51fachen Tabellenwerte (= 355/235) verwendet werden. Bei Stabilitätsuntersuchungen sind die Werte gemäß dem NA zur DIN EN 1993-1-1 durch den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M1} = 1,1$ zu dividieren.

Analog zu den IPE-Profilen gibt es auch eine Vielzahl von aus den HE-Reihen abgeleiteten Profilformen. Dies sind unter anderem breite I-Träger mit parallelen Flanschflächen als besonders leichte Ausführung (HEAA), I-Träger mit besonders breiten Flanschflächen und großen Höhen (HL), Breitflansch-Stützenprofile (HD) und Breitflanschkpfeiler mit gleicher Dicke für Flansche und Steg (HP).

Tabelle 1.5 Grenzschnittgrößen für IPE-Profile und $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$

1

IPE	$N_{pl,Rd} \text{ [kN]}$	$V_{pl,z,Rd} \text{ [kN]}$	$M_{pl,y,Rd} \text{ [kNm]}$	$V_{pl,y,Rd} \text{ [kN]}$	$M_{pl,z,Rd} \text{ [kNm]}$
80	179,6	48,53	5,456	64,91	1,367
100	242,6	68,99	9,261	85,07	2,149
120	310,4	85,55	14,27	109,4	3,191
140	386,0	103,7	20,76	136,7	4,523
160	472,1	131,0	29,11	164,7	6,133
180	562,8	152,7	39,11	197,5	8,131
200	669,4	189,9	51,85	230,7	10,48
220	784,2	215,5	67,07	274,6	13,66
240	919,2	259,7	86,16	319,1	17,37
270	1 080	300,4	113,7	373,7	22,78
300	1 265	348,4	147,7	435,5	29,43
330	1 471	418,0	189,0	499,3	36,11
360	1 709	476,7	239,5	585,9	44,91
400	1 985	579,3	307,2	659,4	53,82
450	2 322	689,9	399,9	752,7	64,95
500	2 715	812,3	515,6	868,3	78,93
550	3 159	981,5	654,9	980,1	94,13
600	3 666	1 137	825,4	1 134	114,1

Tabelle 1.6 Grenzschnittgrößen für HEA-Profile und $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$

HEA	$N_{pl,Rd} \text{ [kN]}$	$V_{pl,z,Rd} \text{ [kN]}$	$M_{pl,y,Rd} \text{ [kNm]}$	$V_{pl,y,Rd} \text{ [kN]}$	$M_{pl,z,Rd} \text{ [kNm]}$
100	499,0	102,5	19,51	217,1	9,668
120	595,4	114,7	28,08	260,5	13,83
140	738,3	137,4	40,77	322,9	19,94
160	911,1	179,2	57,61	390,8	27,64
180	1 063	196,3	76,34	464,0	36,78
200	1 265	245,3	100,9	542,7	47,90
220	1 512	280,5	133,6	656,7	63,59
240	1 806	341,6	175,0	781,5	82,65
260	2 040	390,2	216,1	881,9	101,1
280	2 286	430,7	261,4	987,7	121,8
300	2 644	505,8	325,1	1 140	150,7
320	2 923	558,1	382,6	1 262	166,8
340	3 137	609,9	434,9	1 343	177,6
360	3 355	664,2	490,8	1 425	188,5
400	3 736	777,8	602,0	1 547	205,1
450	4 184	892,5	755,7	1 710	226,9
500	4 642	1 014	928,0	1 872	248,8
550	4 976	1 136	1 086	1 954	260,1
600	5 322	1 265	1 257	2 035	271,6
650	5 678	1 400	1 442	2 117	283,1
700	6 121	1 587	1 652	2 198	295,3
800	6 717	1 884	2 044	2 279	308,4
900	7 532	2 216	2 541	2 442	332,4
1000	8 151	2 504	3 014	2 524	345,4

1

Tabelle 1.7 Grenzschnittgrößen für HEB-Profile und $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$

HEB	$N_{pl,Rd} \text{ [kN]}$	$V_{pl,z,Rd} \text{ [kN]}$	$M_{pl,y,Rd} \text{ [kNm]}$	$V_{pl,y,Rd} \text{ [kN]}$	$M_{pl,z,Rd} \text{ [kNm]}$
100	611,8	122,6	24,49	271,4	12,08
120	799,1	148,7	38,82	358,2	19,03
140	1 009	177,4	57,68	455,9	28,15
160	1 275	238,7	83,18	564,4	39,94
180	1 533	274,6	113,1	683,8	54,29
200	1 835	336,9	151,0	814,1	71,87
220	2 139	378,8	194,4	955,2	92,56
240	2 491	450,8	247,5	1 107	117,1
260	2 783	510,1	301,5	1 235	141,5
280	3 087	557,6	360,6	1 368	168,6
300	3 503	643,5	439,1	1 547	204,5
320	3 792	702,4	505,1	1 669	220,7
340	4 016	761,0	565,9	1 750	231,6
360	4 245	822,1	630,5	1 832	242,6
400	4 648	949,4	759,5	1 954	259,4
450	5 122	1 081	935,9	2 117	281,4
500	5 608	1 219	1 131	2 279	303,5
550	5 970	1 358	1 314	2 361	315,2
600	6 344	1 503	1 510	2 442	326,9
650	6 729	1 656	1 720	2 524	338,7
700	7 200	1 860	1 957	2 605	351,3
800	7 853	2 195	2 404	2 686	365,0
900	8 725	2 561	2 957	2 849	389,7
1000	9 401	2 883	3 491	2 931	403,3

Tabelle 1.8 U-Profile

Bezeichnungen	Normen	Abmessungen	Verwendung
Rundkantiger U-Stahl mit geneigten, inneren Flanschflächen U 80 bis U 400 	DIN 1026-1 (09/2009)	Höhe: 80 bis 400 mm Breite: 45 bis 110 mm Lieferlängen: h < 300 mm: 8 bis 16 m h ≥ 300 mm: 8 bis 18 m	– leichte Biegeträger – leichte Zug- und Druckstäbe – Wandriegel – Fachwerkstäbe
Scharfkantiger U-Stahl mit parallelen Flanschflächen UPE 80 bis UPE 400 	DIN 1026-2 (10/2002)	Höhe: 80 bis 400 mm Breite: 50 bis 115 mm Lieferlängen: h < 300 mm: 8 bis 16 m h ≥ 300 mm: 8 bis 18 m	
Scharfkantiger U-Stahl mit parallelen Flanschflächen UAP 80 bis UAP 300 (Form wie UPE-Profile)	NF A 45-255 (franz. Norm)	Höhe: 80 bis 300 mm Breite: 45 bis 100 mm Lieferlängen: h < 300 mm: 8 bis 16 m h ≥ 300 mm: 8 bis 18 m	

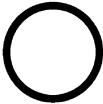
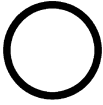
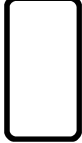
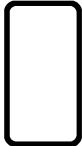
Die *U-Profile* können in rundkantigen U-Stahl mit geneigten, inneren Flanschflächen und scharfkantigen U-Stahl mit parallelen Flanschflächen unterschieden werden, s. Tabelle 1.8. Die für den Stahlbau wichtigsten Stabstahlerzeugnisse *Winkel-, Rund- und Flachstähle* sind in Tabelle 1.9 zusammengestellt. Sie werden hauptsächlich als Diagonalen in Verbänden und anderen Fachwerkkonstruktionen eingesetzt. Es werden aber auch Knotenbleche, Anschlusswinkel und andere Kleinteile aus diesen Erzeugnissen hergestellt.

Tabelle 1.9 Winkel-, Rund- und Flachstähle

Bezeichnungen	Normen	Abmessungen	Verwendung
Gleichschenkliger, rundkantiger Winkelstahl L 20 x 3 bis L 200 x 24 	DIN EN 10056-1 (10/98)	Seitenlänge: 20 x 20 bis 200 x 200 mm Blechdicke: 3 bis 24 mm Lieferlängen: 6 bis 12 m	– Verbandsdiagonalen – Fachwerkfüllstäbe – Anschlusswinkel
Ungleichschenkliger, rundkantiger Winkelstahl L 30 x 20 x 3 bis L 200 x 100 x 14 	DIN EN 10056-1 (10/98)	Seitenlänge: 30 x 20 bis 200 x 100 mm Blechdicke: 3 bis 14 mm Lieferlängen: 6 bis 12 m	
Rundstahl Ø 8 bis Ø 42 	DIN EN 10060 (02/2004)	Durchmesser: 8 bis 42 mm Lieferlängen: 6 bis 12 m	– Zugstäbe – Verbandsdiagonalen – Zugglieder für Abspannungen
Flachstahl 	DIN EN 10058 (02/2004)	Breite: 10 bis 150 mm Blechdicke: 5 bis 60 mm Lieferlängen: 6 bis 12 m	– Laschen und Knotenbleche – Futterbleche – Zugstäbe – Verbandsdiagonalen – Gurte von Biegeträgern

Hohlprofile werden als Rohre (kreisförmige Hohlprofile), quadratische Hohlprofile und rechteckige Hohlprofile gefertigt. Die Herstellung dieser Erzeugnisse kann mit verschiedenen Verfahren erfolgen. Zum einen gibt es nahtlose Rohre, zum anderen aus Blechen geschweißte Rohre. Die Ausgangsbasis für die nicht runden Hohlprofile sind häufig Rundrohre, die entsprechend ihrer gewünschten Geometrie kalt oder warm umgeformt werden. Einen Überblick über die gängigen Abmessungen und Wanddicken gibt Tabelle 1.10.

Tabelle 1.10 Hohlprofile

Bezeichnungen	Normen	Abmessungen	Verwendung
Nahtlose Rohre 	DIN EN 10210-2 (07/2006) DIN EN 10220 (03/2003)	Durchmesser: 21,3 bis 711 mm Wanddicke: 2,0 bis 60 mm Lieferlängen: 6 bis 16 m	– Zug- und Druckstäbe – Fachwerkbinder
Geschweißte Rohre 	DIN EN 10219-2 (07/2006) DIN EN 10220 (03/2003)	Durchmesser: 21,3 bis 508 mm Wanddicke: 2,6 bis 14,2 mm Lieferlängen: 6 bis 16 m	– Verbandspfosten – Stützen im Geschossbau
Quadrathohlprofile warmgefertigt 	DIN EN 10210-2 (07/2006)	Seitenlänge: 40 bis 400 mm Wanddicke: 2,9 bis 16,0 mm Lieferlängen: 6 bis 16 m	– Zug- und Druckstäbe – Fachwerkbinder
Quadrathohlprofile kaltgefertigt 	DIN EN 10219-2 (07/2006) mit Ber. 01/2007	Seitenlänge: 20 bis 400 mm Wanddicke: 1,6 bis 12,5 mm Lieferlängen: 6 bis 16 m	– Wandriegel – Stützen im Geschossbau
Rechteckhohlprofile warmgefertigt 	DIN EN 10210-2 (07/2006)	Seitenlängen: 50 x 30 bis 500 x 300 mm Wanddicke: 2,9 bis 16,0 mm Lieferlängen: 6 bis 16 m	– Zug- und Druckstäbe mit zusätzlicher Bie- gung
Rechteckhohlprofile kaltgefertigt 	DIN EN 10219-2 (07/2006) mit Ber. 01/2007	Seitenlängen: 40 x 20 bis 500 x 300 mm Wanddicke: 1,6 bis 12,5 mm Lieferlängen: 6 bis 16 m	– Fachwerkbinder – Stützen im Geschossbau

Hohlprofile eignen sich aufgrund ihrer Symmetrieeigenschaften besonders als Druckstäbe und bei zweiachsiger Biegung. Neben der großen Knicksteifigkeit weisen sie infolge der geschlossenen Querschnittsform auch eine große Torsionssteifigkeit auf. Weitere Vorteile sind reduzierte Kosten beim Korrosionsschutz aufgrund kleiner Oberflächen und bei geschweißten Konstruktionen aufgrund von Einsparungen bei den Schweißnahtlängen. Nachteilig sind bei Hohlprofilen der im Vergleich zu offenen Profilen höhere Erzeugnispreis und die häufig schwierig zu realisierenden geschraubten Anschlüsse sowie örtliche Aussteifungen.

Weitere wichtige Erzeugnisse, die überwiegend im Hochbau Verwendung finden, sind dünnwandige *Kaltprofile*, welche entweder durch Kaltwalzung oder durch Abkanten hergestellt werden. Die Anwendungspalette reicht von einfachen C- oder Z-Querschnitten über Sonderprofile bis hin zu Trapezprofilen. Das Haupteinsatzgebiet dieser Elemente liegt im Dach- und Wandbereich, angefangen mit Leichtbau-Pfetten und -Wandriegeln bis hin zur Eindeckung durch Stahltrapezprofile oder Sandwichelemente. Ein weiteres Anwendungsgebiet für Stahltrapezprofile ist der Deckenbereich, wo sie als verlorene Schalung oder Teile von Verbunddecken eingesetzt werden.

Beispiele zur Querschnittsgestaltung und zu den Verwendungsmöglichkeiten von Kaltprofilen finden sich in den Abschnitten 2.2 Dacheindeckung, 2.3 Pfetten, 2.7 Wandverkleidung, 2.8 Wandriegel und 3.2 Geschossdecken.

1.3.3 Flacherzeugnisse

Bei den *Flacherzeugnissen* unterscheidet man zwischen *Breitflachstahl*, *Blech* und *Band*. Breitflachstähle sind ähnlich wie Bänder in einer Richtung gewalzte, längsentwickelte Formen. Bleche werden im Gegensatz dazu in zwei Richtungen (längs und quer) gewalzt.

Tabelle 1.11 Breitflachstähle und Bleche

Bezeichnungen	Normen	Abmessungen	Verwendung
Breitflachstahl 	DIN 59200 (05/2001)	Breite: ≥ 100 mm ≤ 1250 mm Dicke: ≥ 4 mm ≤ 80 mm Lieferlängen: 4 bis 12 m	– Stirn- und Fußplatten – Rippen und Steifen – Laschen und Knotenbleche – Futterbleche – Gurte von Biegeträgern
Blech 	DIN EN 10029 (02/2011)	siehe Tabelle 4.10	– geschweißte Konstruktionen – geschweißte hohe I-Träger und Rahmen – geschweißte Kastenstützen und -träger – Brückenbaukonstruktionen

Breitflachstähle werden in Deutschland kaum noch durch Walzen hergestellt. Sie werden fast ausschließlich aus Blechen durch Brennschneiden gefertigt. Die genannte Herstellungsart ist nach DIN 59200 zugelassen. Tabelle 1.11 enthält eine Übersicht zu

den Breitflachstählen und Blechen. Die lieferbaren Abmessungen von Blechen hängen sehr stark von den einzelnen Herstellerwerken ab. In Tabelle 4.10 (Kapitel 4 Brückenbau) wird als Auszug aus dem Lieferprogramm eines deutschen Herstellers die maximale Blechlänge in Abhängigkeit von *Blechdicke* und *Blechbreite* angegeben. Sie beträgt maximal 24 m und ist bei kleinen Blechdicken und -breiten auf 12 m aufgrund des Handlings begrenzt. Bei großen Blechdicken und -breiten muss die Blechlänge infolge des maximalen Gewichtes des Vormaterials beschränkt werden.

Bleche finden Anwendung in allen Formen von geschweißten Konstruktionen, aber auch eine Vielzahl von Kleinteilen wie z. B. Knotenbleche, Steifen, Stirn- und Fußplatten werden aus Blechen zugeschnitten. Für *Knotenbleche* wird dabei häufig eine Blechdicke von etwa 10 mm verwendet.

1.4 Verbindungen

1.4.1 Allgemeines

Stahlkonstruktionen werden prinzipiell in zwei Arbeitsschritten hergestellt. In der Werkstatt werden transportfähige Bauteile gefertigt, die anschließend auf der Baustelle zu Stahltragwerken zusammengefügt werden. Die Bauteile bestehen in der Regel aus genormten Profilen, geschweißten Profilkonstruktionen und Blechen. Die Verbindungen werden in der Werkstatt fast ausschließlich durch Schweißen hergestellt. Auf der Baustelle werden die Verbindungen – Anschlüsse und Stöße – in der Regel wie folgt ausgeführt:

- Stäbe und Stabwerke („Profilkonstruktionen“)
 - ⇒ *geschraubte Verbindungen*
- Blechkonstruktionen
 - ⇒ *geschweißte Verbindungen*

Die Kosten eines Tragwerkes werden maßgeblich durch die Verbindungen der Einzelteile beeinflusst. Der Aufwand für die Verbindungen muss daher auf ein Minimum beschränkt werden. Unter Beachtung der Transportmöglichkeiten und der Kapazitäten für die erforderlichen Hebezeuge sollten möglichst große Einzelteile verwendet werden. Die lieferbaren Abmessungen der Erzeugnisse (siehe Abschnitt 1.3) sind daher für eine wirtschaftliche Auslegung der Stahlkonstruktionen von großer Bedeutung.

Beim Entwurf von Stahlkonstruktionen ist neben der Dimensionierung der Querschnitte die jeweilige Verbindungstechnik zu berücksichtigen, weil mit ihr die Art der baustatischen Systeme und die Verteilung der Schnittgrößen zusammenhängen. So führen beispielsweise biegesteife Verbindungen zu gleichmäßigeren Schnittgrößenverteilungen in Stäben und Stabwerken und somit zu kleineren Profilen. Biegesteife Tragwerksknoten verursachen jedoch höhere Kosten, als dies bei alternativ einsetzbaren gelenkigen Verbindungen der Fall ist.

In den nächsten beiden Abschnitten wird auf geschweißte und geschraubte Verbindungen näher eingegangen, soweit dies für Entwurf und Konstruktion von Bedeutung ist.

1.4.2 Verbindungen mit Schweißnähten

Schweißnähte dienen zur Verbindung von Blechen und/oder Profilen. Bei der Beanspruchung von Schweißnähten werden die Spannungen $\sigma_{||}$, $\sigma_{\perp}$, $\tau_{||}$ und $\tau_{\perp}$ unterschieden. Der Index „||“ (parallel) kennzeichnet Spannungen **in** Richtung der Schweißnaht, der Index „ $\perp$ “ senkrecht dazu, s. Bild 1.1.

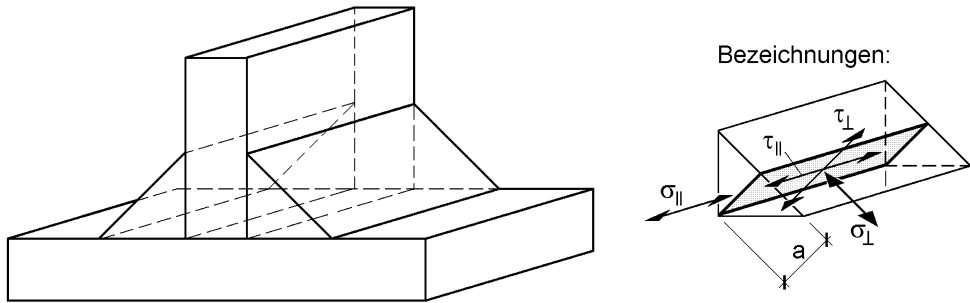


Bild 1.1 Schweißnahtspannungen im schrägen Schnitt in einer Kehlnaht [97]

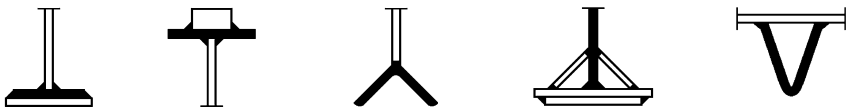
Für die Bemessung und Ausführung von Schweißnähten sind DIN EN 1993-1-8 als Grundnorm und die jeweiligen Fachnormen zu beachten. Die Bauteile und ihre Verbindungen müssen schweißgerecht konstruiert werden. Anhäufungen von Schweißnähten sollen vermieden werden. Die Stahlsorten (siehe Abschnitt 1.2) sind entsprechend dem Verwendungszweck und ihrer *Schweißbarkeit* auszuwählen.

Spannungszustand: niedrig



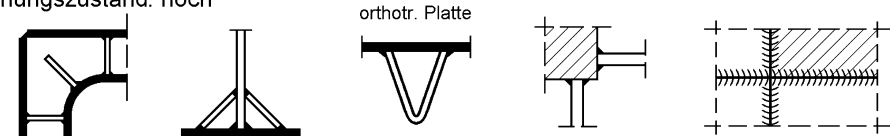
Ferner: Aussteifungen, Schotte, Verbände und spannungsarmgeglühte Bauteile des Spannungszustandes „mittel“

Spannungszustand: mittel



Ferner: Knotenbleche an Zuggurten und spannungsarmgeglühte Bauteile des Spannungszustandes „hoch“

Spannungszustand: hoch



Ferner: Bauteile im Bereich von scharfen Querschnittsübergängen, Spannungsspitzen, konzentrierten Kräfteinleitungen und räumlichen Zugspannungszuständen

Bild 1.2 Zur Beurteilung des Spannungszustandes nach [97]

Die Skizzen in Bild 1.3 zeigen das Aufreißen infolge von Dopplungen und infolge *Terrassenbruch*. Bild 1.4 ermöglicht die Bewertung von Anschlussdetails bezüglich der Terrassenbruchgefahr. Sofern Stahlerzeugnisse mit verbesserten Eigenschaften in Dickenrichtung nach DIN EN 1993-1-10 erforderlich sind, so sind diese in der Regel nach den *Qualitätsklassen* in EN 10164 auszuwählen, s. DIN EN 1993-1-1 Abschnitt 3.2.4. (Stichwort: Z-Güte).

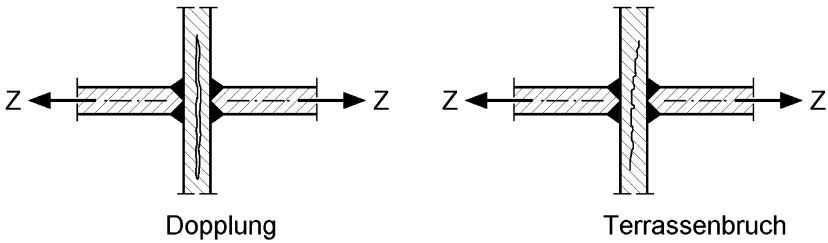


Bild 1.3 Dopplungen und Terrassenbruch

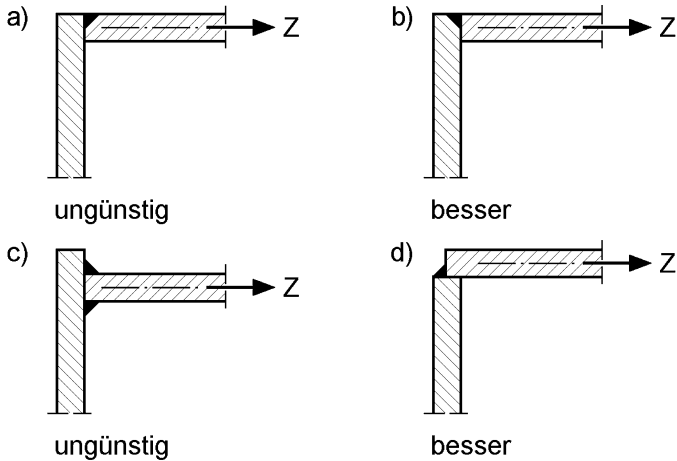


Bild 1.4 Bewertung von Anschlussdetails bezüglich der Terrassenbruchgefahr

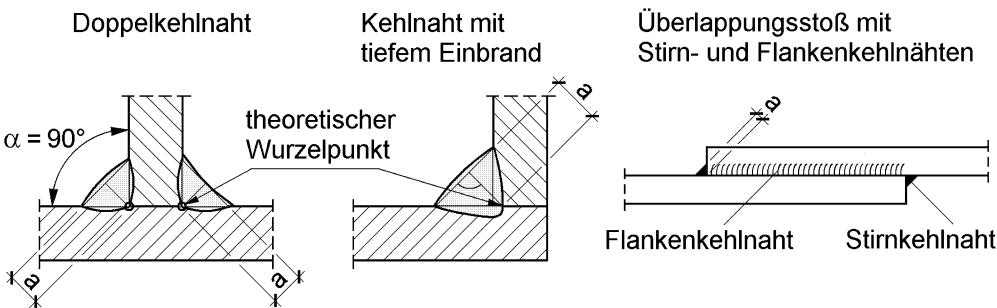
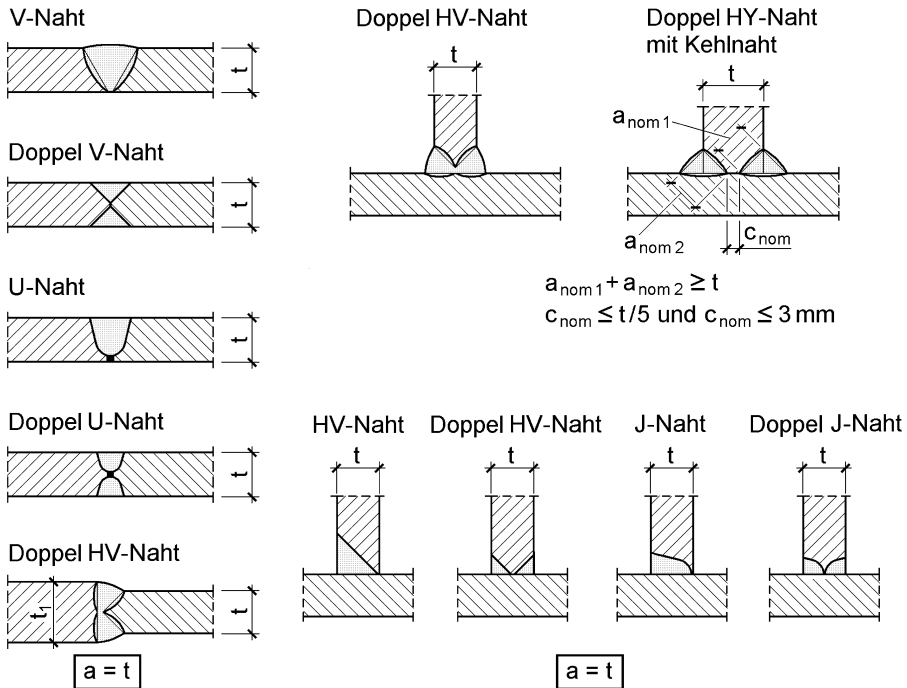
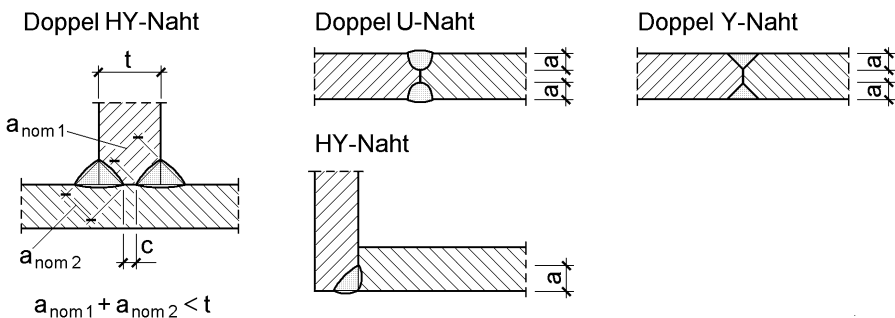


Bild 1.5 Kehlnähte in T-Stößen und in Überlappungsstößen

**Bild 1.6** Durchgeschweißte Stumpf- und T-Stöße**Bild 1.7** Nicht durchgeschweißte Stumpf- und T-Stöße

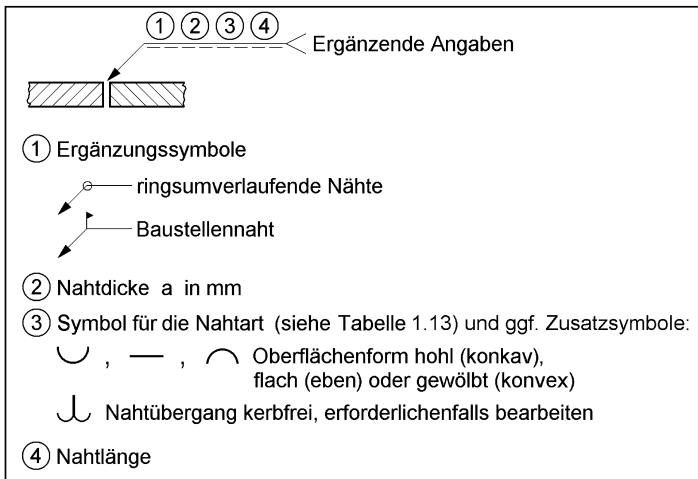
Die Bilder 1.6 und 1.7 zeigen, dass einige Nahtarten eine entsprechende Bearbeitung der Blechenden erfordern. In Bild 1.8 sind verschiedene Formen der *Schweißkanten-vorbereitung* dargestellt.

**Bild 1.8** Vorbereitung der Blechenden im Bereich von Schweißnähten

Die *zeichnerische Darstellung von Schweißnähten* kann nach DIN EN 22553 in bildlicher oder sinnbildlicher Form erfolgen, siehe Tabellen 1.12 und 1.13. Die Symbole kennzeichnen Form, Vorbereitung und Ausführung der Naht. Man unterscheidet Symbole (Grundsymbole und zusammengesetzte Symbole), Zusatzsymbole und Ergänzungssymbole.

Die Gabel am Ende der Bezugslinie (siehe Tabelle 1.12) wird nur dargestellt, wenn ergänzende Angaben folgen. Sie kennzeichnen das Schweißverfahren, die Bewertungsgruppe, die Schweißposition und Schweißzusatzstoffe. Tabelle 1.14 enthält eine Auswahl von Ordnungsnummern nach DIN EN ISO 4063 für verschiedene *Schweißverfahren* und Kurzzeichen.

Tabelle 1.12 Darstellung von Schweißnähten



Im Stahlbau werden überwiegend folgende Schweißverfahren angewandt:

- Schutzgasschweißen
- Lichtbogenhandschweißen
- Unterpulverschweißen

Das *Schutzgasschweißen* ist in allen Schweißpositionen einsetzbar und durch seine große Abschmelzleistung besonders wirtschaftlich. Da die Ausbildung des Schutzgasmantels über dem Schweißbad nur bei Windstille gewährleistet ist, bleibt dieses Schweißverfahren im Wesentlichen auf den Einsatz in der Werkstatt beschränkt.

In der Werkstatt und auf der Baustelle ist das *Lichtbogenhandschweißen* in allen Schweißpositionen anwendbar. Ein Nachteil des Lichtbogenhandschweißens ist die im Vergleich zum Schutzgasschweißen (mit Endloselektroden von der Spule, ohne Elektrodenwechsel und ohne Anfall von Schlacke) um den Faktor 10 niedrigere Abschmelzleistung.

Beim maschinellen *Unterpulverschweißen* wird der Schutz des Schweißbades durch eine Pulverüberschüttung gewährleistet. Dieses Schweißverfahren erfordert eine Wannenlage und ist nur bei großen Nahtlängen und Nahtdicken wirtschaftlich, die vornehmlich bei den großformatigen, aus Blechen geschweißten Konstruktionen des Brückenbaus vorkommen.

Tabelle 1.13 Nahtarten und Nahtsymbole

Nahtart	Darstellung	Symbol	Nahtart	Darstellung	Symbol
I-Naht			Doppel V-Naht		X
V-Naht		∨	Doppel HV-Naht		K
HV-Naht		∇	Doppel Y-Naht		X
Y-Naht		Y	Doppel HY-Naht		K
HY-Naht		Y	Doppel U-Naht		X
U-Naht		Y	V-Naht mit Gegenlage		∇
Steifflanken-Naht		∇	Doppel-Kehlnaht		▷
Gegenlage		∪			
Punktnaht		○			
Kehlnaht		▷			

Tabelle 1.14 Ordnungsnummern und Kurzzeichen für Schweißverfahren

Schweißverfahren	Ordnungsnummer	Kurzzeichen
Lichtbogenhandschweißen	111	E
Unterpulverschweißen	12	UP
Metall-Schutzgasschweißen	13	MSG
Metall-Inertgasschweißen	131	MIG
Metall-Aktivgasschweißen	135	MAG
Wolfram-Inertgasschweißen	141	WIG

Schweißnähte können verfahrensbedingt nur bis zu einer gewissen Schweißnahtdicke in **einer** Lage ausgeführt werden. Bei größeren Schweißnahtdicken sind mehrere Lagen erforderlich. Im Stahlbau werden Schweißnähte etwa bis zu den folgenden Grenzen in **einer** Lage hergestellt: Schutzgasschweißen 5 mm, Lichtbogenhandschweißen 4 mm und Unterpulverschweißen 7 mm.

Die unterschiedlichen *Schweißnahtarten* haben für den Stahlbau mehr oder minder große Bedeutung. Sehr häufig werden Kehlnähte, Doppelkehlnähte und Stumpfnähte ausgeführt. *Stumpfnähte* werden üblicherweise bis etwa 16 mm Blechdicke als V-Naht und bei größeren Blechdicken als Doppel-V-Naht (X-Naht) ausgebildet. Die Bilder 1.9 und 1.10 zeigen Beispiele für Stumpfstöße von Querschnittsteilen mit unterschiedlichen Dicken und für Stumpfstöße aufeinanderliegender Gurtplatten. Die in Bild 1.9 dargestellte Abschrägung ist im Brückenbau mit einer flacheren Neigung auszuführen (1:4 oder flacher).

Die *wirksame Nahtdicke einer Kehlnaht* sollte gemäß DIN EN 1993-1-8 mindestens 3 mm betragen. Bei Flacherzeugnissen und offenen Profilen mit Querschnittsteilen $t \geq 3$ mm muss gemäß NA zur DIN EN 1993-1-8 bei *Kehlnähten* der in Bild 1.11 angegebene Grenzwert für die Schweißnahtdicke a eingehalten werden. In Abhängigkeit

von den gewählten Schweißbedingungen darf auf die Einhaltung der Bedingung verzichtet werden, jedoch sollte für Blechdicken $t \geq 30$ mm die Schweißnahtdicke mit $a \geq 5$ mm gewählt werden. Für den Nachweis ausreichender Tragfähigkeit dürfen Kehlnähte nur berücksichtigt werden, wenn sie mindestens $6a$ und mindestens 30 mm lang sind. Bei überlappten Stößen muss die rechnerische Schweißnahtlänge der *Flankenkehlnähte* abgemindert werden, sofern sie länger als $L = 150a$ sind, s. DIN EN 1993-1-8 Abschnitt 4.11.

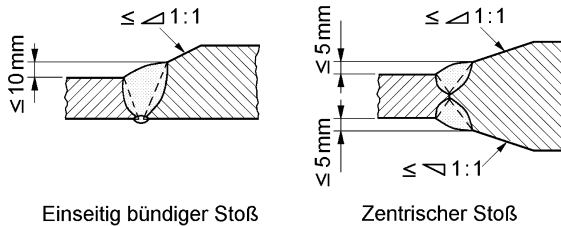


Bild 1.9 Stumpfstoße von Querschnittsteilen nach DIN EN 1993-1-8/NA

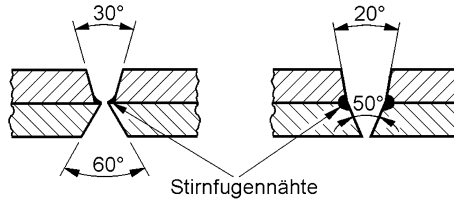


Bild 1.10 Nahtvorbereitung von Stumpfstoßen aufeinanderliegender Gurtplatten nach DIN EN 1993-1-8/NA

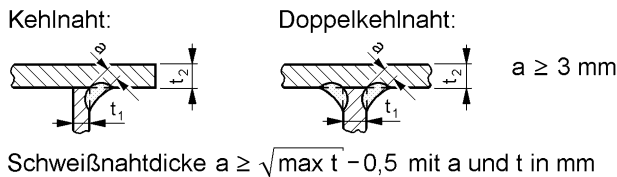


Bild 1.11 Schweißnahtdicke a von Kehlnähten

Für die Ausführung und das *Herstellen* tragender Bauteile aus Stahl ist DIN EN 1090-2 (10/2011) - Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken – unter Maßgabe der folgenden Bestimmungen zu beachten. Die Zuordnung von Bauwerken, Tragwerken und Bauteilen zu den in DIN EN 1090-2, Abschnitt 4.1.2 genannten Ausführungsklassen EXC 1 bis EXC 4 wird in Anlage 2.4/2 der Musterliste der Technischen Baubestimmungen geregelt und nachfolgend erläutert. Dabei ist zu beachten,

- dass die Herstellung von Bauteilen aus Stahl in den genannten Ausführungsklassen nur durch solche Hersteller erfolgen darf, deren werkseigene Produktionskontrolle durch eine notifizierte Stelle entsprechend DIN EN 1090-1 (02/2012) zertifiziert ist