

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	Holzpfetten	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
<b>Literaturverzeichnis</b>		528
<b>Sachverzeichnis</b>		542
<b>Bildnachweis</b>		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*  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  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 <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>DIN EN 10025-2</b>				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	490	335	470
S450	440	550	410	550
<b>DIN EN 10025-3</b>				
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
<b>DIN EN 10025-4</b>				
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
<b>DIN EN 10025-5</b>				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	490	335	490
<b>DIN EN 10025-6</b>				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
<b>DIN EN 10210-1</b>				
S355 H	355	510	335	490
S355 NH/NLH	355	490	335	470
<b>DIN EN 10219-1</b>				
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/mm<sup>2</sup> 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 <sup>1)</sup>	Mindeststreckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]	Stähle für den Stahlbau	
	P <sup>1)</sup>	Mindeststreckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]	Druckbehälterstähle	
	L	Mindeststreckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]	Stähle für Leitungsrohre	
	E <sup>1)</sup>	Mindeststreckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]	Maschinenbaustähle	
	B	Charakt. Streckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]	Betonstähle	
	Y	Nennwert Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Spannstähle	
	R	Mindesthärte nach Brinell	Stähle für Schienen	
	C <sup>1)</sup>	Kohlenstoffgehalt	Unlegierte Stähle (Kohlenstoff)	
<sup>1)</sup> Für Stahlguss ist der Buchstabe G voranzustellen.				
Zusatzsymbole	Gruppe 1:			Gruppe 2:
	Kerbschlagarbeit			Prüftemp.
	27 J	40 J	60 J	°C
	JR	KR	LR	+20
	J0	K0	L0	0
	J2	K2	L2	-20
	J3	K3	L3	-30
	J4	K4	L4	-40
	J5	K5	L5	-50
	J6	K6	L6	-60
	A <sup>1)</sup>	Ausscheidungshärtend		
	M <sup>1)</sup>	Thermomechanisch gewalzt		
	N <sup>1)</sup>	Normalgeglüht oder normalisierend gewalzt		
	Q <sup>1)</sup>	Vergütet		
	G	Andere Merkmale		
	G1	Unberuhigt <sup>2)</sup>		
	G2	Beruhigt <sup>2)</sup>		
G3	Normalgeglüht <sup>2)</sup>			
G4	Lieferzustand <sup>2)</sup>			
C	Besondere Kaltumformbarkeit			
D	Für Schmelzübergänge			
E	Für Emaillierung			
F	Zum Schmieden			
H	Hohlprofile			
L	Für tiefere Temperaturen			
M	Thermomechanisch gewalzt			
N	Normalgeglüht			
P	Für Spundbohlen			
Q	Vergütet			
S	Für Schiffsbau			
T	Für Rohre			
W	Wetterfest			
an	Zusätzliche Elemente			
<sup>1)</sup> Für Feinkornstähle <sup>2)</sup> Nach DIN EN 10025 (2005) entfallen die Gütebezeichnungen G1 bis G4				

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 <sup>l</sup>	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 Profilverfahren 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 Flansflächen 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 Flansflächen 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 Flansflächen, 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 Flansflächen, 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 Querkräften – Druckstäbe – Abfangträger – schwere Unterzüge – Stützen im Geschossbau

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 Flansflächen als besonders leichte Ausführung (HEAA), I-Träger mit besonders breiten Flansflächen und großen Höhen (HL), Breitflansch-Stützenprofile (HD) und Breitflanschpfähle 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	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$V_{pl,z,Rd}$ [kN]	$M_{pl,y,Rd}$ [kNm]	$V_{pl,y,Rd}$ [kN]	$M_{pl,z,Rd}$ [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	1137	825,4	1134	114,1



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

HEA	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$V_{pl,z,Rd}$ [kN]	$M_{pl,y,Rd}$ [kNm]	$V_{pl,y,Rd}$ [kN]	$M_{pl,z,Rd}$ [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

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





HEB	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$V_{pl,z,Rd}$ [kN]	$M_{pl,y,Rd}$ [kNm]	$V_{pl,y,Rd}$ [kN]	$M_{pl,z,Rd}$ [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	
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	– leichte Biegeträger – leichte Zug- und Druckstäbe – Wandriegel – Fachwerkstäbe
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	

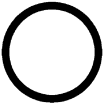
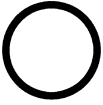


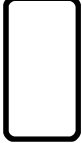
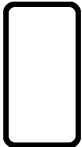
Die *U-Profile* können in rundkantigen U-Stahl mit geneigten, inneren Flanschflächen und scharfkantigen U-Stahl mit parallelen Flanschflächen unterschieden werden, s. Tabelle 1.8. Die für den Stahlbau wichtigsten Stabstahlerzeugnisse *Winkel-, Rund- und Flachstähle* sind in Tabelle 1.9 zusammengestellt. Sie werden hauptsächlich als Diagonalen in Verbänden und anderen Fachwerkstrukturen 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zug- und Druckstäbe</li> <li>– Fachwerkbinder</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbandspfosten</li> <li>– Stützen im Geschossbau</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zug- und Druckstäbe</li> <li>– Fachwerkbinder</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wandriegel</li> <li>– Stützen im Geschossbau</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zug- und Druckstäbe mit zusätzlicher Biegung</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fachwerkbinder</li> <li>– Stützen im Geschossbau</li> </ul>

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.

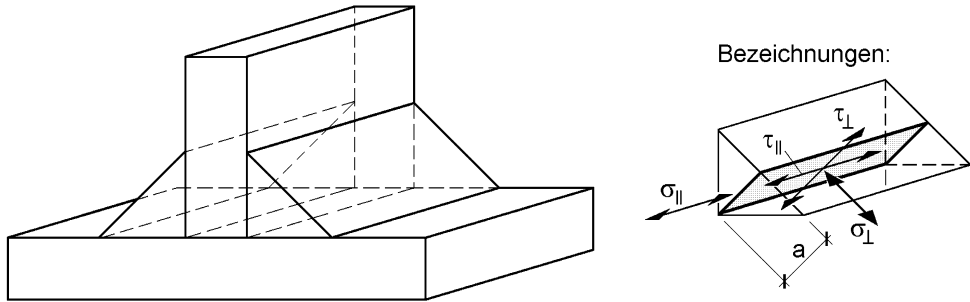
Beim Entwurf von Stahlkonstruktionen ist neben der Dimensionierung der Querschnitte die jeweilige Verbindungstechnik zu berücksichtigen, weil mit ihr die Art der baustatischen Systeme und die Verteilung der Schnittgrößen zusammenhängen. So führen beispielsweise biegesteife Verbindungen zu gleichmäßigeren 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  $\sigma_{\parallel}$ ,  $\sigma_{\perp}$ ,  $\tau_{\parallel}$  und  $\tau_{\perp}$  unterschieden. Der Index „ $\parallel$ “ (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]

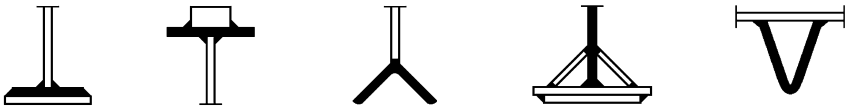
Für die Bemessung und Ausführung von Schweißnähten sind DIN EN 1993-1-8 als Grundnorm und die jeweiligen Fachnormen zu beachten. Die Bauteile und ihre Verbindungen müssen schweißgerecht konstruiert werden. Anhäufungen von Schweißnähten sollen vermieden werden. Die Stahlsorten (siehe Abschnitt 1.2) sind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

Spannungszustand: niedrig



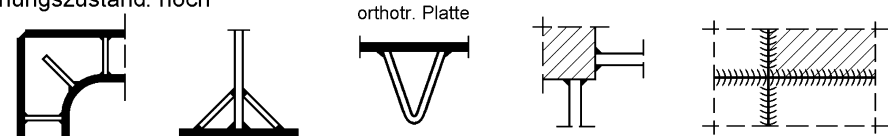
Ferner: Aussteifungen, Schotte, Verbände und spannungsarmgeglühte Bauteile des Spannungszustandes „mittel“

Spannungszustand: mittel



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

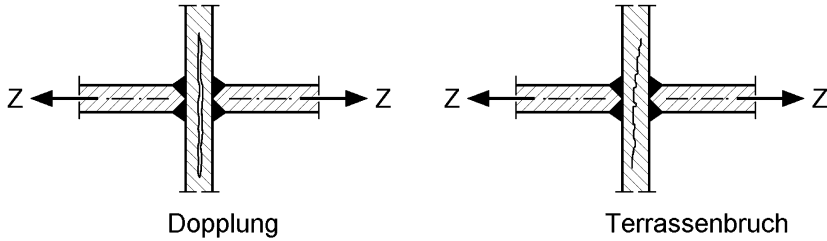
Spannungszustand: hoch



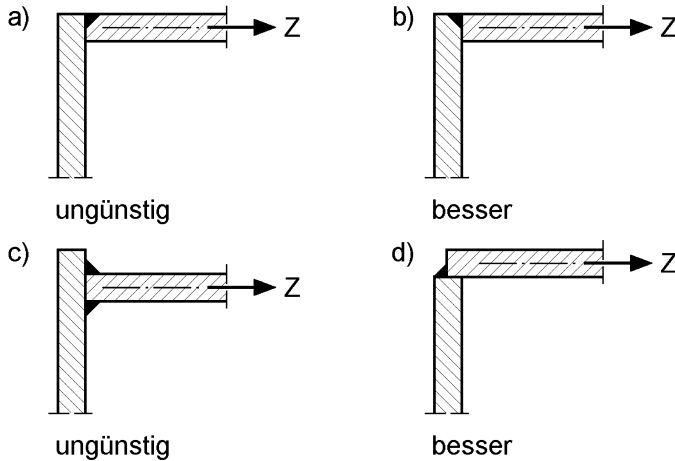
Ferner: Bauteile im Bereich von schroffen Querschnittsübergängen, Spannungsspitzen, konzentrierten Kräfteinleitungen und räumlichen Zugspannungszuständen

**Bild 1.2** Zur Beurteilung des Spannungszustandes nach [97]

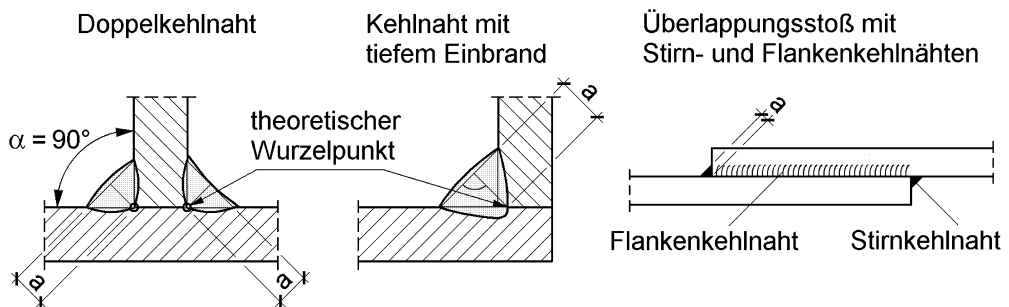
Die Skizzen in Bild 1.3 zeigen das Aufreißen infolge von Dopplungen und infolge *Terrassenbruch*. Bild 1.4 ermöglicht die Bewertung von Anschlussdetails bezüglich der Terrassenbruchgefahr. Sofern Stahlerzeugnisse mit verbesserten Eigenschaften in Dickenrichtung nach DIN EN 1993-1-10 erforderlich sind, 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).



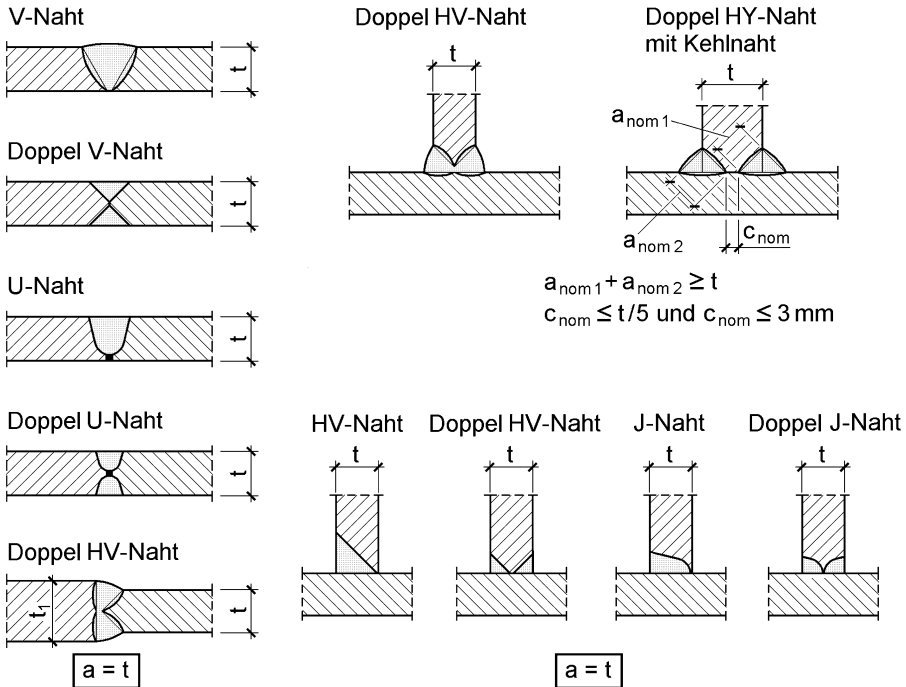
**Bild 1.3** Dopplungen und Terrassenbruch



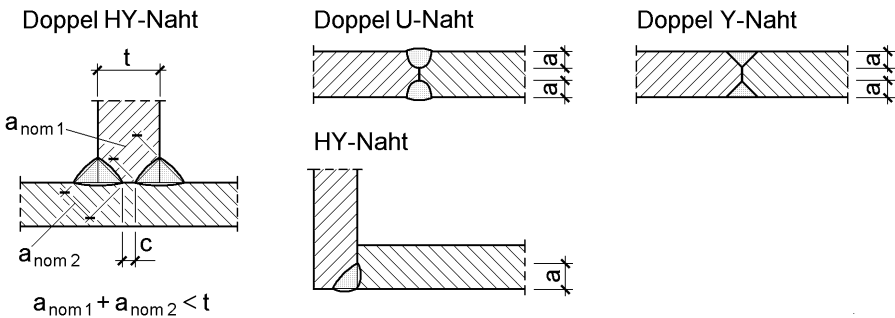
**Bild 1.4** Bewertung von Anschlussdetails bezüglich der Terrassenbruchgefahr



**Bild 1.5** Kehl­nähte in T-Stößen und in Überlappungs­stößen

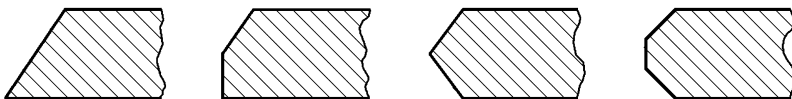


**Bild 1.6** Durchgeschweißte Stumpf- und T-Stöße



**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.

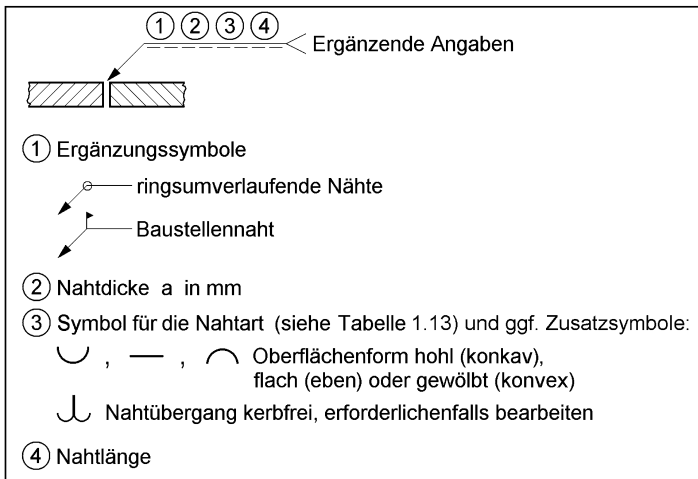


**Bild 1.8** Vorbereitung der Blechenden im Bereich von Schweißnähten

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		Υ	Doppel U-Naht		X
U-Naht		Υ	Doppel U-Naht		X
Steiflanken-Naht		∇	V-Naht mit Gegenlage		∇
Gegenlage		∪	Doppel-Kehlnaht		▷
Punktnaht		○			
Kehlnaht		▷			

**Tabelle 1.14** Ordnungsnummern und Kurzzeichen für Schweißverfahren

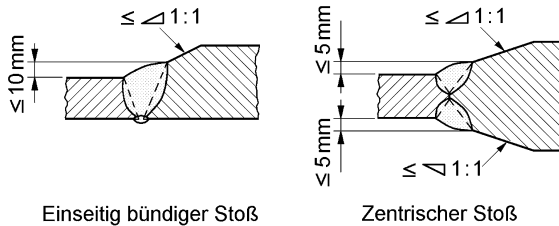
Schweißverfahren	Ordnungsnummer	Kurzzeichen
Lichtbogenhandschweißen	111	E
Unterpulverschweißen	12	UP
Metall-Schutzgasschweißen	13	MSG
Metall-Inertgasschweißen	131	MIG
Metall-Aktivgasschweißen	135	MAG
Wolfram-Inertgasschweißen	141	WIG

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.

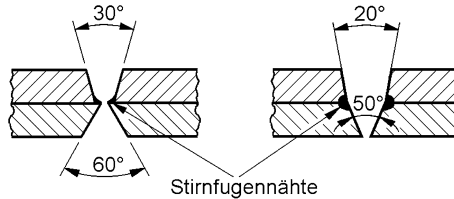
Die unterschiedlichen *Schweißnahtarten* haben für den Stahlbau mehr oder minder große Bedeutung. Sehr häufig werden Kehlnähte, Doppelkehlnähte und Stumpfnähte ausgeführt. *Stumpfnähte* werden üblicherweise bis etwa 16 mm Blechdicke als V-Naht und bei größeren Blechdicken als Doppel-V-Naht (X-Naht) ausgebildet. 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

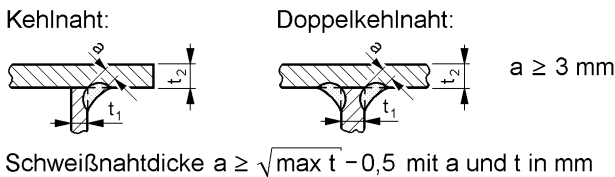
von den gewählten Schweißbedingungen darf auf die Einhaltung der Bedingung verzichtet werden, jedoch sollte für Blechdicken  $t \geq 30$  mm die Schweißnahtdicke mit  $a \geq 5$  mm gewählt werden. Für den Nachweis ausreichender Tragfähigkeit dürfen Kehlnähte nur berücksichtigt werden, wenn sie mindestens  $6a$  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 folgender 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

- dass die Ausführung von geschweißten Bauteilen, Tragwerken und Bauwerken aus Stahl in den genannten Ausführungsklassen nur durch solche Betriebe auf der Baustelle erfolgen darf, die über einen Eignungsnachweis für die Ausführung von Schweißarbeiten in den entsprechenden Ausführungsklassen verfügen.

### **Ausführungsklasse EXC 1**

In diese Ausführungsklasse fallen vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile oder Tragwerke aus Stahl bis zur Festigkeitsklasse S275, für die mindestens einer der folgenden Punkte zutrifft:

1. Tragkonstruktionen mit
  - bis zu zwei Geschossen aus Walzprofilen ohne biegesteife Kopfplattenstöße
  - druck- und biegebeanspruchte Stützen mit bis zu 3 m Knicklänge
  - Biegeträgern mit bis zu 5 m Spannweite und Auskragungen bis 2 m
  - charakteristischen veränderlichen, gleichmäßig verteilten Einwirkungen/ Nutzlasten bis 2,5 kN/m<sup>2</sup> und charakteristischen veränderlichen Einzelnutzlasten bis 2,0 kN
2. Tragkonstruktionen mit max. 30° geneigten Belastungsebenen (z.B. Rampen) mit Beanspruchungen durch charakteristische Achslasten von max. 63 kN oder charakteristische veränderliche, gleichmäßig verteilte Einwirkungen/ Nutzlasten von bis zu 17,5 kN/m<sup>2</sup> (Kategorie E2.4 nach DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12, Tabelle 6.4DE) in einer Höhe von max. 1,25 m über festem Boden wirkend
3. Treppen und Geländer in Wohngebäuden
4. Landwirtschaftliche Gebäude ohne regelmäßigen Personenverkehr (z.B. Scheunen, Gewächshäuser)
5. Wintergärten an Wohngebäuden
6. Einfamilienhäuser mit bis zu 4 Geschossen
7. Gebäude, die selten von Personen betreten werden, wenn der Abstand zu anderen Gebäuden oder Flächen mit häufiger Nutzung durch Personen mindestens das 1,5-fache der Gebäudehöhe beträgt

Die Ausführungsklasse EXC 1 gilt auch für andere vergleichbare Bauwerke, Tragwerke und Bauteile.

### **Ausführungsklasse EXC 2**

In diese Ausführungsklasse fallen vorwiegend ruhend und nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile oder Tragwerke aus Stahl bis zur Festigkeitsklasse S700, die nicht den Ausführungsklassen EXC 1, EXC 3 und EXC 4 zuzuordnen sind.

### **Ausführungsklasse EXC 3**

In diese Ausführungsklasse fallen vorwiegend ruhend und nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile oder Tragwerke aus Stahl bis zur Festigkeitsklasse S700, für die mindestens einer der folgenden Punkte zutrifft:

1. Großflächige Dachkonstruktionen von Versammlungsstätten/Stadien
2. Gebäude mit mehr als 15 Geschossen
3. vorwiegend ruhend beanspruchte Wehrverschlüsse bei extremen Abflussvolumen

4. folgende nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Tragwerke oder deren Bauteile:
- Geh- und Radwegbrücken
  - Straßenbrücken
  - Eisenbahnbrücken
  - Fliegende Bauten
  - Türme und Maste wie z.B. Antennentragwerke
  - Kranbahnen
  - zylindrische Türme wie z.B. Stahlschornsteine

Die Ausführungsklasse EXC 3 gilt auch für andere vergleichbare Bauwerke, Tragwerke und Bauteile.

#### **Ausführungsklasse EXC 4**

In diese Ausführungsklasse fallen alle Bauteile oder Tragwerke der Ausführungsklasse EXC 3 mit extremen Versagensfolgen für Menschen und Umwelt, wie z. B.:

1. Straßenbrücken und Eisenbahnbrücken (siehe DIN EN 1991-1-7) über dicht besiedeltem Gebiet oder über Industrieanlagen mit hohem Gefährdungspotential
2. Sicherheitsbehälter in Kernkraftwerken
3. nicht vorwiegend ruhend beanspruchte Wehrverschlüsse bei extremen Abflussvolumen

Unabhängig von der Ausführungsklasse müssen alle Schweißnähte über der gesamten Länge einer Sichtprüfung unterzogen werden. Werden Oberflächenunregelmäßigkeiten festgestellt, muss an der kontrollierten Schweißnaht eine Oberflächenprüfung mittels Eindringprüfung oder Magnepulverprüfung durchgeführt werden.

### **1.4.3 Verbindungen mit Schrauben**

Gemäß DIN EN 1993-1-8 werden *geschraubte Verbindungen* in die Kategorien A bis E eingeteilt und dabei Verbindungen mit *Scherbeanspruchungen* und *zugbeanspruchte Verbindungen* unterschieden, s. Tabelle 1.15. Der Durchmesser der Schraubenlöcher ist normalerweise etwas größer als der Durchmesser der Schrauben. Als *Nennlochspiel* werden in DIN EN 1090-2 für normale runde Löcher folgende Werte angegeben:

- 1 mm für Schrauben M 12 und M 14
- 2 mm für Schrauben M 16 bis M 24
- 3 mm für Schrauben M 27 und größer

Bei *Passschrauben* muss der Nennlochdurchmesser gleich dem Schaftdurchmesser der Schrauben sein. Dabei ist zu beachten, dass bei Passschrauben nach DIN EN 14399-8 der Nenndurchmesser des Schraubenschaftes 1 mm größer als der Nenndurchmesser im Bereich des Gewindes ist. Bei Passverbindungen werden die Schraubenlöcher zunächst mit einem geringeren Durchmesser und, sofern das möglich ist, gemeinsam gebohrt. Bei der Montage werden die Löcher gemeinsam aufgerieben, um einen Anriss der Lochränder zu vermeiden.



Die unterschiedlichen Ausführungsformen von geschraubten Verbindungen beeinflussen das Trag- und Verformungsverhalten sowie den Herstellungsaufwand. Für Verbindungen mit Scherbeanspruchungen wird fast ausschließlich die Kategorie A gewählt. Die *gleitfesten Verbindungen* der Kategorien B und C werden wegen des erheblich größeren Herstellungsaufwandes nur selten ausgeführt. Sie bieten Vorteile, wenn die Ermüdungsfestigkeit maßgebende Bedeutung hat oder Verformungen in den Verbindungen vermieden werden sollen. Für derartige Anwendungsfälle werden meistens Passverbindungen bevorzugt. Bei zugbeanspruchten Verbindungen können die Schrauben planmäßig vorgespannt werden. Ob die Kategorie D oder E gewählt wird, hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Das Trag- und Verformungsverhalten von geschraubten Verbindungen und ihre Bemessung wird in [97] ausführlich erläutert.

**Tabelle 1.15** Einteilung von geschraubten Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8

Kategorie	Erläuterungen	Nachweise
<b>Verbindungen mit Scherbeanspruchungen</b>		
A	Scher-/Lochleibungsverbindung; Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9	Abscheren Lochleibung
B	Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit; hochfeste vorgespannte Schrauben	Gleiten (Gebrauchszustand) Abscheren Lochleibung
C	Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit; hochfeste vorgespannte Schrauben	Gleiten Lochleibung Nettoquerschnitt
<b>Zugbeanspruchte Verbindungen</b>		
D	Nichtvorgespannte Verbindungen; Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9	Zug Durchstanzen Schraubenkopf
E	Vorgespannte Verbindungen; hochfeste vorgespannte Schrauben Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9	Zug Durchstanzen Schraubenkopf

Im Stahlbau sind die in Tabelle 1.16 aufgeführten Schraubenfestigkeitsklassen zugelassen.

**Tabelle 1.16** Nennwerte der Streckgrenze und der Zugfestigkeit für Schrauben

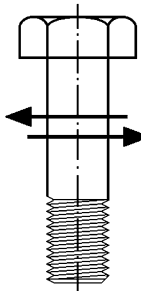
Festigkeitsklasse der Schraube	4.6	5.6	8.8	10.9
Streckgrenze $f_{yb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	240	300	640	900
Zugfestigkeit $f_{ub}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	400	500	800	1000

Bei der *Beanspruchung von Schrauben* und der Bauteile wird wie folgt unterschieden:

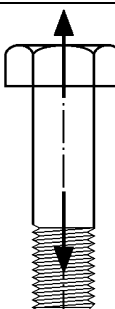
- Abscheren:  
Beanspruchung senkrecht zur Schraubenachse  
⇒ Beanspruchung der Bauteile auf Lochleibung
- Zug:  
Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse  
⇒ Beanspruchung der Bauteile auf (Blech-)Biegung
- Kombination aus Abscheren und Zug

*Grenzscherkräfte* und *Grenzzugkräfte* können den Tabellen 1.17 und 1.18 entnommen werden. Sie gelten jeweils für eine einzelne Schraube.

**Tabelle 1.17** Grenzscherkräfte  $F_{v,Rd}$  in kN für eine Scherfläche

	Festigkeit	Schraubengröße					
		M12	M16	M20	M24	M27	M30
	<b>glatter Teil des Schaftes in der Scherfuge</b>						
	4.6	21,7	38,6	60,3	86,8	110,0	135,7
	5.6	27,1	48,2	75,4	108,5	137,5	169,7
	8.8	43,4	77,2	120,6	173,6	220,0	271,5
	10.9	54,3	96,5	150,7	217,0	275,0	339,4
	<b>Gewinde in der Scherfuge</b>						
	4.6	16,2	30,1	47,0	67,8	88,1	107,7
	5.6	20,2	37,7	58,8	84,7	110,2	134,6
	8.8	32,4	60,3	94,1	135,6	176,3	215,4
	10.9	33,7	62,8	98,0	141,2	183,6	224,4

**Tabelle 1.18** Grenzzugkräfte  $F_{t,Rd}$  in kN

	Festigkeit	Schraubengröße					
		M12	M16	M20	M24	M27	M30
	4.6	24,3	45,2	70,6	101,7	132,2	161,6
	5.6	30,3	56,5	88,2	127,1	165,2	202,0
	8.8	48,6	90,4	141,1	203,3	264,4	323,1
	10,9	60,7	113,0	176,4	254,2	330,5	403,9

Für die Abstände der Schrauben untereinander und zu den Rändern der Bauteile sind untere Grenzwerte einzuhalten, die ein Ausreißen der gelochten Bauteile ausschließen. Mit oberen Grenzwerten werden klaffende Fugen und die daraus resultierende Korrosionsgefahr vermieden. Tabelle 1.19 enthält Bedingungen für die kleinsten und größten *Rand- und Lochabstände* nach DIN EN 1993-1-8 für Scherverbindungen.

**Tabelle 1.19** Rand- und Lochabstände von Schrauben

Rand- bzw. Lochabstände	kleinste Abstände	größte Abstände
Löcher, $\rightarrow$ : $p_1$	$2,2 \cdot d_0$	200 mm; $14 \cdot t$
Ränder, $\rightarrow$ : $e_1$	$1,2 \cdot d_0$	$40 \text{ mm} + 4 \cdot t$
Ränder, $\downarrow$ : $e_2$	$1,2 \cdot d_0$	$40 \text{ mm} + 4 \cdot t$
Löcher, $\downarrow$ : $p_2$	$2,4 \cdot d_0$	200 mm; $14 \cdot t$

Bei Verbindungen mit Scherbeanspruchungen ist die *Lochleibung* der Bauteile ein Versagenskriterium, das überprüft werden muss. Gemäß DIN EN 1993-1-8 werden die *Grenzlochleibungskräfte* wie folgt ermittelt:

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} \quad (1.1)$$

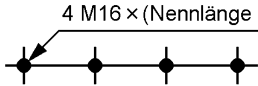
Die Beiwerte  $k_1$  und  $\alpha_b$  können mithilfe von Tabelle 1.22 bestimmt werden.

**Tabelle 1.20** Beiwerte  $k_1$  und  $\alpha_b$  zur Ermittlung von Grenzlochleibungskräften

Beiwert $\alpha_b$ (in Krafrichtung)	Beiwert $k_1$ (senkrecht zur Krafrichtung)
Innere Schrauben: $\alpha_b = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$	Innere Schrauben: $k_1 = 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7$
Randschrauben: $\alpha_b = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$	Randschrauben: $k_1 = 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ $\leq 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7$
jedoch $\alpha_b \leq \frac{f_{ub}}{f_u}$ und $\alpha_b \leq 1$	jedoch $k_1 \leq 2,5$

Geschraubte Verbindungen können auf Zeichnungen wie in Tabelle 1.21 angegeben dargestellt werden.

**Tabelle 1.21** Symbole für Schrauben auf Zeichnungen nach DIN ISO 5845 (04/97)

	Darstellung senkrecht zur Schraubenachse			Darstellung parallel zur Schraubenachse	
	Schraube	Senkschraube mit Senkung auf der Vorderseite	Senkschraube mit Senkung auf der Rückseite	Schraube	Senkschraube
Schraube in der Werkstatt eingebaut					
Schraube auf der Baustelle eingebaut					
Loch auf der Baustelle gebohrt					
Bezeichnung für eine Gruppe gleicher Schrauben Pfeillinie an einer äußeren Schraube. Beispiel:					
Bei Symbolen für Löcher entfällt der Punkt in der Mitte.					

## 1.5 Werkstattfertigung

Im Rahmen der gesamten Bauausführung im Stahlbau beginnt die *Fertigung* mit der Übernahme fertiger Zeichnungen und Stücklisten vom Technischen Büro sowie dem durch die Materialwirtschaft bereitgestellten Material und endet mit der Auslieferung der werkstattfertigen Konstruktionen. Die Stahlbaufertigung ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl von Transportvorgängen vom Einlagern des Vormaterials im eigenen Lager über die Transportvorgänge in der Einzelteilbearbeitung, im Zusammenbau und der Konservierung bis hin zum Fertiglager und Verladen.

## Materialbeschaffung

Der Entwurf, die konstruktive Durchbildung und insbesondere die statische Berechnung bilden die Grundlage für die Wahl von Profilen, Blechen und anderen Erzeugnissen aus Baustahl. Häufig wird die Materialbestellung aus terminlichen Gründen aufgrund einer Vorbemessung (noch vor Abschluss der endgültigen statischen Berechnungen) vorgenommen. Vor und während der Materialbeschaffung – in kleinen Mengen vom Stahlhandel, in großen Mengen direkt von den Walzwerken – erfolgt die Erstellung der Fertigungsunterlagen, speziell der Werkstattzeichnungen und Stücklisten. Aufgrund der im Stahlbau überwiegenden Einzelfertigung werden Profile und Bleche in vielen unterschiedlichen Abmessungen benötigt. Eine Vorratshaltung bei

den Stahlbaubetrieben ist daher nur sehr begrenzt möglich, so dass fast das gesamte Material auftragsbezogen bestellt werden muss.

Für die Materialbeschaffung werden bei Bezug vom Stahlhandel ca. 1 bis 2 Wochen und bei Bezug von den Walzwerken (von der „Strecke“) ca. 8 bis 12 Wochen benötigt. Für die verwendeten Erzeugnisse müssen *Prüfbescheinigungen* nach DIN EN 10204 vorliegen. Nach DIN EN 10025-1 werden für warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen folgende Prüfbescheinigungen benötigt:

- **Werkszeugnis 2.2** für Stähle mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze  $\leq 355 \text{ N/mm}^2$  und einer festgelegten Kerbschlagarbeit, die bei einer Temperatur von  $0^\circ\text{C}$  oder  $20^\circ\text{C}$  zu prüfen ist: Bescheinigung, in welcher der Hersteller bestätigt, dass die gelieferten Werkstoffe den Vereinbarungen bei der Bestellung entsprechen, mit Angabe der chemischen Zusammensetzung und weiterer Ergebnisse nichtspezifischer Prüfungen.
- **Abnahmeprüfzeugnis 3.1** für Stähle mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze  $\leq 355 \text{ N/mm}^2$  und einer festgelegten Kerbschlagarbeit, die bei einer Temperatur unter  $0^\circ\text{C}$  zu prüfen ist, und für Stähle mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze  $> 355 \text{ N/mm}^2$ : Bescheinigung in welcher der Hersteller bestätigt, dass die gelieferten Werkstoffe den Vereinbarungen bei der Bestellung entsprechen mit Angabe der Prüfergebnisse. Die Prüfeinheit und die Durchführung der Prüfung sind in den Werkstoffspezifikationen, den amtlichen Vorschriften und Technischen Regeln und/oder der Bestellung festgelegt. Die Bescheinigung wird bestätigt von einem von der Fertigungsabteilung unabhängigen Sachverständigen des Herstellers („Werksachverständiger“).
- **Abnahmeprüfzeugnis 3.2** für Stähle wie beim Abnahmeprüfzeugnis 3.1: Das Abnahmeprüfzeugnis „3.2“ wird aufgrund einer besonderen Vereinbarung sowohl von einem von der Fertigungsabteilung unabhängigen Sachverständigen des Herstellers als auch von dem vom Besteller beauftragten Sachverständigen oder dem in den amtlichen Vorschriften genannten Sachverständigen bestätigt.

## Herstellung

In der Werkstatt sind verschiedene Arbeitsgänge erforderlich. Dies sind im Wesentlichen:

- Fertigungsbeschichtungen aufbringen
- Vorzeichnen zur Markierung von Schnitten, Löchern und Anbauteilen
- Zuschnitte durch Sägen, Scheren und Brennen
- Löcher herstellen durch Bohren oder Stanzen
- Zusammenbau von Einzelteilen (Heften)
- Schweißen nach dem Zusammenbau
- ggf. Richten, Verformen, Hobeln, Fräsen, Schleifen
- Korrosionsschutz im Werk
- Qualitätskontrolle

Bei Profilkonstruktionen, d. h. stabartigen Bauteilen, werden in modernen Fertigungsbetrieben NC-gesteuerte Fertigungsanlagen zur Bearbeitung und Rollengänge zum Transport verwendet. Zu den wichtigsten Arbeiten gehören der Zuschnitt durch Sä-

gen, das Bohren von Löchern für geschraubte Verbindungen und das Anschweißen von Kleinteilen (Stirnplatten, Aussteifungen, Knotenbleche usw.).

Für Blechkonstruktionen liegt der Schwerpunkt der Arbeiten beim Zusammenbau und Schweißen. Diese Arbeiten erfolgen auf sogenannten *Zulagen* oder in speziellen Fertigungsvorrichtungen. Als Zulagen werden mehrere nebeneinanderliegende Stahlträger bezeichnet (Abstände ca. 3 m, Höhe ca. 80 bis 90 cm). Die Oberkante der Zulagen ist waagrecht ausgerichtet, so dass notwendige Überhöhungen oder andere Sollformen realisiert werden können.

### **Korrosionsschutz im Werk**

Der *Korrosionsschutz* von Stahlkonstruktionen ist in den verschiedenen Anwendungsbereichen sehr unterschiedlich. Im Brückenbau sind 2 *Grundbeschichtungen* und 2 bis 3 *Deckbeschichtungen* üblich. Hochbaukonstruktionen dagegen werden in der Regel verzinkt und erhalten eine geringere Anzahl an Beschichtungen (insgesamt 2 bis 3). Um die Arbeiten unabhängig von der Witterung ausführen zu können, werden die Beschichtungen zum größten Teil im Werk aufgebracht. Auf der Baustelle werden Transport- und Montageschäden ausgebessert und in der Regel die letzte Deckbeschichtung aufgebracht.

### **Qualitätskontrolle**

Das Produkt Stahlkonstruktion wird durch eine Vielzahl von bauaufsichtlich eingeführten Vorschriften geregelt, so dass sich neben deren Einhaltung drei Bereiche der eigenverantwortlichen Kontrolle, Prüfung und Abnahme ergeben:

- geometrie- und zeichnungsgerechte Ausführung
- Technologie, insbesondere die Schweißtechnik
- Korrosionsschutz

Prüfungen und Abnahmen erstrecken sich schwerpunktmäßig auf die schweißtechnische Herstellung, da die Technologie eine sehr genaue Beachtung der schweißtechnischen Regeln und Vorschriften erfordert und die Zuverlässigkeit sowie das Können des einzelnen Schweißers die Güte entscheidend beeinflussen. Auf die erforderlichen Werkszeugnisse und Abnahmeprüfzeugnisse nach DIN EN 10204 und die Herstellerqualifikation nach DIN EN 1090 sei hier wegen der Bedeutung besonders hingewiesen.

## **1.6 Transport und Montage**

Die Fertigung in der Werkstatt ist grundsätzlich wirtschaftlicher als auf der Baustelle. Die Vorfertigung in der Werkstatt reduziert die Anzahl der auf der Baustelle auszuführenden Montagestöße und ermöglicht somit eine rasche Montage und kürzere Bauzeiten. Darüber hinaus sind in der Werkstatt Transporteinrichtungen vorhanden. Der Zusammenbau der Einzelteile kann in günstiger Arbeitslage und unter witterungsgeschützten Bedingungen erfolgen. In der Werkstatt sollten daher möglichst große Ein-

zerteile hergestellt werden. Ihre Abmessungen werden jedoch von den Möglichkeiten des Straßentransports und von den an der Baustelle vorhandenen Krankapazitäten begrenzt. Für den normalen *Straßentransport* gelten etwa folgende Grenzwerte:

- Länge bis 18 m
- Breite bis 2,5 m
- Höhe bis 4 m
- Gewicht bis 40 t

Sondertransporte mit größeren Abmessungen und Gewichten sind möglich.

Auf der Baustelle sollten die *Krankapazitäten* voll ausgenutzt werden. Die Stückgewichte sind beim Autokraneinsatz auf maximale Gewichte für die größte Ausladung abzustimmen. Die Tragfähigkeit der Autokrane reicht etwa bis zu 1000 t und die Spitzenhöhe etwa bis zu 150 m. Mit Baukränen können in der Regel Lasten mit einem Stückgewicht von bis zu 3 t, in Sonderfällen bis zu 5 t bewegt werden.

Für den Montagebeginn ist es wichtig, dass die Vorbereitungen vollständig durchgeführt sind. Fundamente, Abstützungen und Zufahrten müssen zur Nutzung bereitstehen und die Stahlkonstruktion muss mit allen Teilen einer sinnvollen Montageeinheit vollständig gefertigt sein.

Die Montage steht am Ende der Stahlbauproduktion und wird dadurch zwangsläufig mit der Summe der Fehler bzw. Änderungen in Konstruktion und Fertigung konfrontiert und hat zudem meistens auch enge terminliche Vorgaben. Ziel einer Optimierung zwischen technischer Bearbeitung, Fertigung und Montage ist es, den Montageanteil so zu gestalten, dass er technisch einfach handhabbar ist, ein geringes Fehlerpotential bietet und in einer möglichst kurzen Zeit abzuwickeln ist. Dazu werden als Verbindungsmittel im Hochbau fast ausschließlich Schrauben eingesetzt. Bei der Anwendung des Schweißens auf der Baustelle muss der Einfluss der Witterung beachtet werden, so dass bei *Baustellenschweißungen* häufig Einhausungen erforderlich sind.

Bei Montagevorgängen treten Tragsysteme und Belastungen auf, die im fertigen Bauwerk nicht vorhanden sind. Daher müssen entweder bereits bei der Hauptberechnung oder im Rahmen der *Montageplanung* detaillierte Berechnungen der einzelnen Bauzustände, sowohl für die Hauptkonstruktion als auch für die Hilfskonstruktionen, vorgenommen werden.

Stahlbautechnisch sind von der Montage ebenfalls alle für Transport, Krananschlag und Hilfsabfangungen oder -abstützungen sowie alle für Sicherheitsvorkehrungen notwendigen Konstruktionen zu entwickeln, die in Konstruktion und Fertigung entsprechende Berücksichtigung finden müssen. Hierzu gehören:

- Angabe von Auflagerpunkten und deren Aussteifungen für Zwischenauflagerungen im Bauzustand
- Festlegung von Anschlagösen bzw. Anschlagpunkten für Umschlag und Montage
- Entwicklung, Berechnung und Konstruktion von Hilfsabstützungen, -aussteifungen und -konstruktionen
- Angabe von Befestigungspunkten für Begehungen, Geländer, Gerüste und Aufstiege

## 1.7 Hinweise für das Konstruieren

### **Statik**

- Die Konstruktion muss die Schnittgrößen mit ausreichender Sicherheit aufnehmen. Soweit wie möglich, ist die Konstruktion dem Schnittgrößenverlauf, in erster Linie der Verteilung der Biegemomente, anzupassen.
- Schwerlinienversätze von Bauteilen und Exzentrizitäten in den Verbindungen sind möglichst gering zu halten.

### **Materialauswahl**

- Bei Profilen und Blechen sollten Aufpreise für Mindermengen, Überlängen und Überbreiten möglichst vermieden werden, ebenso wie für Sondergüten und -qualitäten. Zudem sollten Vergleichsuntersuchungen bei Grenzfällen aufzeigen, ob ein zusätzlicher Stoß in der Werkstatt wirtschaftlicher ist als der Mehrpreis für dickere Bleche oder größere Profile.
- Anzustreben ist eine Vereinheitlichung ähnlicher Bauteile zur Erzielung eines möglichst effizienten Materialeinsatzes.

### **Fertigung**

- Soweit wie möglich sollten Bauteile nur eine Fertigungslinie passieren, d. h. Bevorzugung von Teilen, die nur Bohrungen enthalten und daher nicht über den Zusammenbau oder die Schweißplätze laufen müssen oder von Teilen, die keine Bohrungen enthalten und deswegen nach dem Ablängen unmittelbar im Zusammenbau bearbeitet werden können.
- Konstruktionen ohne aufwändige Aussteifungen und Einpassarbeiten sind anzustreben.
- Für das Schweißen ist eine günstige *Arbeitslage* des Werkstückes entscheidend. Die qualitäts- und arbeitsmäßig beste Wannelage wird durch entsprechende Lagerung des Werkstückes für den Schweißvorgang mit betriebsüblichen Hilfseinrichtungen in der Werkstatt erreicht. Überkopfschweißen erfordert ca. drei- bis fünfmal so viel Arbeitszeit wie Arbeiten in Wannelage. Hieraus folgt, dass Schweißarbeiten möglichst an kleinen Teilen ausgeführt werden sollten, da sie leicht in die jeweils günstigste Arbeitslage gebracht werden können. Bei größeren Teilen sind ggf. Drehvorrichtungen („Rhönräder“) zu verwenden.

### **Montage**

- Montagestöße mit Schweißnähten oder Schrauben müssen unter Berücksichtigung der erforderlichen Werkzeuge zugänglich konstruiert werden.
- Bei Verwendung geschraubter Verbindungen sollten möglichst wenige unterschiedliche Durchmesser in einem Tragwerk eingesetzt werden, um Verwechslungen zu vermeiden.



- Durch Ausgleichsmöglichkeiten wie Vergussfugen, Futterbleche, Langlöcher oder auch durch Montageschweißungen lassen sich Bautoleranzen ausgleichen. Die Ausführung von Montageschweißungen ist jedoch witterungsabhängig und erfordert eine nachträgliche Ausbesserung der Anstriche.

### **Brandschutz**

- Für feuerbeständige Stahlbauten ist die Konstruktion auf die Ausführung von Brandschutzverkleidungen aus dämmschichtbildenden Anstrichen, Spritzputzen, Platten oder Betonummantelungen abzustimmen.

### **Korrosionsschutz**

- Bauteile, die eine *Feuerverzinkung* erhalten sollen, sind in ihren Abmessungen den Zinkbädern anzupassen.
- Bauteile mit Korrosionsschutzbeschichtungen müssen zugänglich konstruiert werden, um eine Erneuerung der *Anstriche* zu ermöglichen.
- Die Konstruktion ist so auszubilden, dass ein einwandfreier Ablauf des Regenwassers gewährleistet ist.

### **Ermüdungsfestigkeit**

- Für dynamisch belastete Konstruktionen wie Kranbahnen, Schornsteine oder Brücken sind folgende Konstruktionsdetails zu vermeiden:
  - Anhäufung von Schweißnähten
  - kreuzende Schweißnähte
  - unterbrochene Schweißnähte
  - unsymmetrische Verbindungen
- Die Zuordnung von Konstruktionsdetails zu *Kerbgruppen* und konstruktive Mindestanforderungen enthalten die jeweiligen Fachnormen, s. auch Abschnitt 4.8 (Ermüdungsnachweise für Brücken).

## 2 Hallenbau

### 2.1 Tragwerksentwurf

#### 2.1.1 Einführungsbeispiel

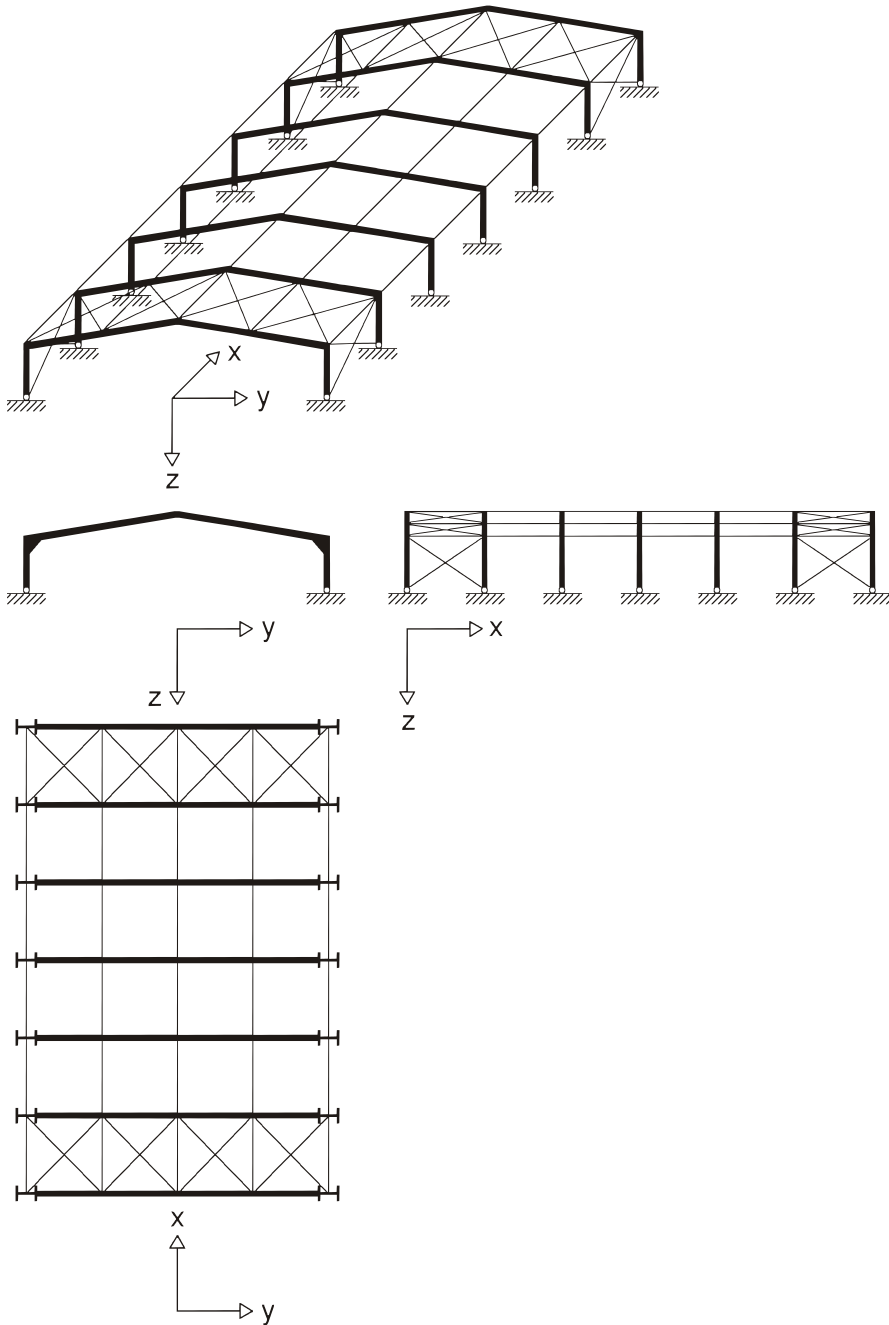
Grundaufgabe im Hallenbau ist die Schaffung einer Gebäudehülle über großen, möglichst stützenfreien Grundrissen. Die Aufgabe des Tragwerksplaners besteht in Entwurf und Bemessung eines Tragwerkes zur Weiterleitung aller auf diese Gebäudehülle wirkenden Lasten in den Baugrund. Im Hallenbau sind Schnee, Wind, Eigengewicht und eventuelle Lasten aus Kranbetrieb die maßgebenden Einwirkungen. Zur Abtragung der Lasten werden Tragwerks- bzw. Bauteile angeordnet. Dabei geht der Tragwerksplaner im Stahlhallenbau in der Regel von folgenden Lastfällen aus:

- Schnee und Eigengewicht auf der Dachfläche (Lasten in z-Richtung gemäß Bild 2.1),
- Wind auf den Längswänden (Lasten in y-Richtung gemäß Bild 2.1),
- Wind auf den Giebelwänden (Lasten in x-Richtung gemäß Bild 2.1).

Das Tragwerk in Bild 2.1 soll als Einführungsbeispiel dienen, um eine Übersicht über die erforderlichen Bauteile zu geben und die Zuordnung von Konstruktionsdetails aus den verschiedenen Abschnitten zum Thema Hallenbau zu zeigen. Randbedingungen für den Tragwerksentwurf des Einführungsbeispiels sind:

- Hallenlänge: 30 m
- Hallenbreite: 20 m
- Traufhöhe: 6 m
- Dachneigung: 3°

Um eine Erweiterungsmöglichkeit vorzusehen, werden auch in den Giebelwänden Rahmen angeordnet. Dach- und Wandkonstruktionen werden ohne Pfetten und ohne Wandriegel ausgeführt. Die Ergebnisse der Bauteilwahl für die einschiffige Lagerhalle gemäß Bild 2.1 sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt. Angegeben wird auch das jeweils der Berechnung der einzelnen Bauteile zugrunde gelegte statische System (Einfeldträger, Durchlaufträger, Rahmen, Fachwerk). Der Werkstoff für die gewählten Profile ist Stahl S 235.



**Bild 2.1** Räumliches Tragwerk und ebene Teilsysteme einer einschiffigen Halle

**Tabelle 2.1** Bauteile und konstruktive Ausführung zum Einführungsbeispiel aus Bild 2.1

Bauteil, statisches System	Ausführung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zweigelenrahmen: Abstand: 5 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riegel: IPE 360</li> <li>Stiel: HEA 300</li> <li>Voutenlänge: 2 m</li> <li>Voute: Bild 2.39</li> <li>Rahmenecke: Bild 2.43</li> <li>Stegverstärkung: Bild 2.48</li> <li>Firstpunkt: Bild 2.54</li> <li>Fußpunkt: Bild 2.91</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dachdeckung: Dreifeldträger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einschaliges Stahltrapezprofildach mit Wärmedämmung und oberseitiger Dichtungsbahn</li> <li>Trapezprofil: 135 / 0,88, siehe Tabelle 2.10 bis Tabelle 2.13</li> <li>Dachquerschnitt: Bild 2.9</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dachverband: Fachwerkeinfeldträger mit druckweichen Diagonalen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gurte: Rahmenriegel</li> <li>Pfosten: Rohre 88,9 x 3,2</li> <li>Diagonalen: Rundstahl Ø 20</li> <li>Konstruktion: Bild 2.123</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbindung der Rahmenriegel in der Dachebene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zugstangen: Rundstahl Ø 16 in den Achsen der Dachverbandspfosten alternativ: Rohre 88,9 x 3,2</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wandverkleidung: Einfeldträger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Porenbetonplatten: d = 20 cm liegend von Rahmenstiel zu Rahmenstiel gespannt</li> <li>Konstruktion: Bild 2.104</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wandverbände: Fachwerkkräger mit druckweichen Diagonalen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gurte: Rahmenstiele</li> <li>Pfosten: Rohre 88,9 x 3,2</li> <li>Diagonalen: Rundstahl Ø 20</li> <li>Konstruktion: Bild 2.129</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Giebelwandstützen: Einfeldträger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Profil: HEA 180</li> <li>Anordnung: Bild 2.107</li> <li>Kopfpunkt: Bild 2.110 und Bild 2.111</li> <li>Fußpunkt: Bild 2.87</li> </ul>

Die räumliche Tragstruktur kann häufig in ebene, orthogonal angeordnete Teilsysteme zerlegt werden. Dabei ist jedoch die wechselseitige Beeinflussung der verschiedenen Teiltragwerke zu beachten. In den Abschnitten 2.1.2 bis 2.1.4 wird die Vorgehensweise exemplarisch für die einschiffige Lagerhalle aus Bild 2.1 erläutert. Gegenüber der

gewählten Lösung in Tabelle 2.1 werden auch Varianten, wie z.B. Hallen mit Pfetten und Wandriegeln, betrachtet. Explosionszeichnungen veranschaulichen die gedankliche Trennung der orthogonal angeordneten Tragwerke. Die genannte Modellierung ist häufig zulässig, wenn das jeweils lastabnehmende Bauteil im Verhältnis zum lastbringenden Bauteil so steif ist, dass es als festes Auflager angesehen werden kann, oder wenn das lastbringende Bauteil statisch bestimmt auf dem lastabnehmenden Bauteil aufgelagert ist. Systeme, die die vorgenannten Bedingungen nicht erfüllen, erfordern genauere Untersuchungen als räumliches Tragwerk. Pfetten und Dachbinder mit annähernd gleichen Stützweiten sind dann beispielsweise nicht mehr getrennt voneinander zu berechnen, sondern als Trägerrost. In vielen Fällen ist es ausreichend, die möglichen Grenzfälle zu untersuchen (unnachgiebige Lagerung, maximale Nachgiebigkeit).

### 2.1.2 Abtragung der Vertikallasten

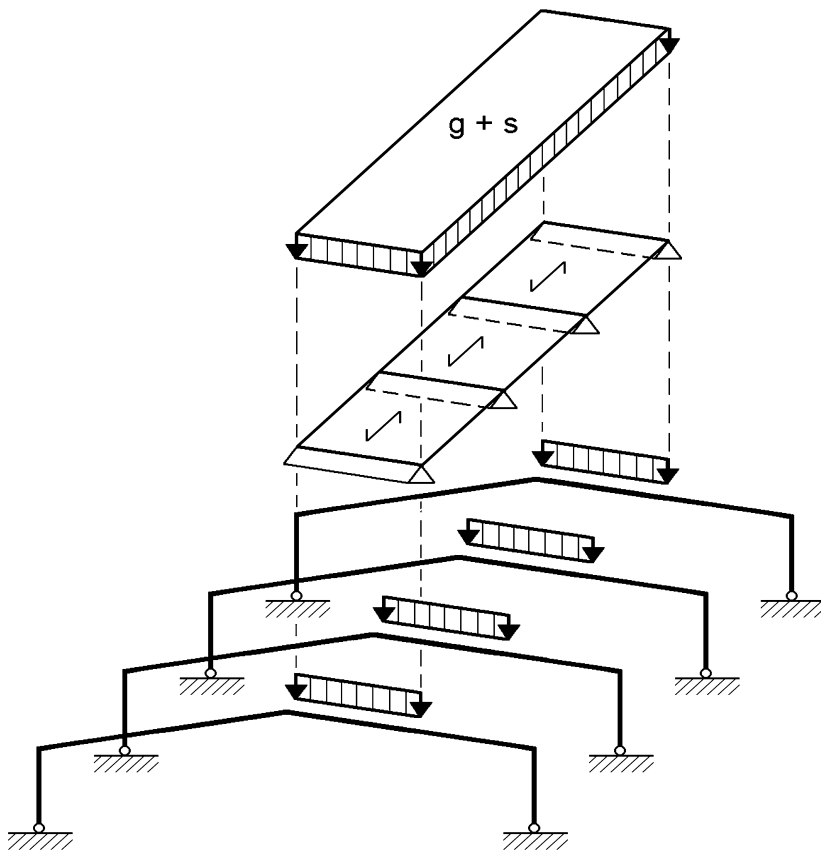
Bis vor einigen Jahren waren Dächer mit Pfetten die Regelausführung. In jüngster Zeit setzen sich in der Baupraxis vermehrt Dachkonstruktionen ohne Pfetten durch. Tabelle 2.2 enthält eine Übersicht für die Tragglieder bei üblichen Stahlhallen.

**Tabelle 2.2** Tragglieder für Vertikallasten bei üblichen Stahlhallen

Hallen mit Pfetten	Hallen ohne Pfetten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trapezprofile:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: quer</li> <li>– Spannweite: 1,5 bis 4 m</li> <li>– Höhe: 35 bis 85 mm</li> <li>– „nacktes Blech“ möglich</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trapezprofile:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: längs</li> <li>– Spannweite: 5 bis 7 m</li> <li>– Höhe: 100 bis 165 mm</li> <li>– Dachabdichtung wegen Entwässerung erforderlich</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pfetten:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: längs</li> <li>– Abstand: 1,5 bis 4 m</li> <li>– Spannweite: 5 bis 8 m</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zweigelenkrahmen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: quer</li> <li>– Spannweite: 10 bis 30 m</li> </ul> </li> </ul>	

#### **Hallen ohne Pfetten**

Pfettenlose Dächer wie in Bild 2.2 werden überwiegend mit Binder- bzw. Rahmenabständen von 5 bis 7 m realisiert. Häufig sind die Achsabstände kleiner als 6 m. Die Dachhaut spannt in Hallenlängsrichtung und belastet die Binder durch Streckenlasten. Bild 2.2 zeigt die prinzipielle Abtragung der Vertikallasten (hier:  $g + s$ ) durch die längsorientierten Trapezprofile, siehe auch Tabelle 2.2.

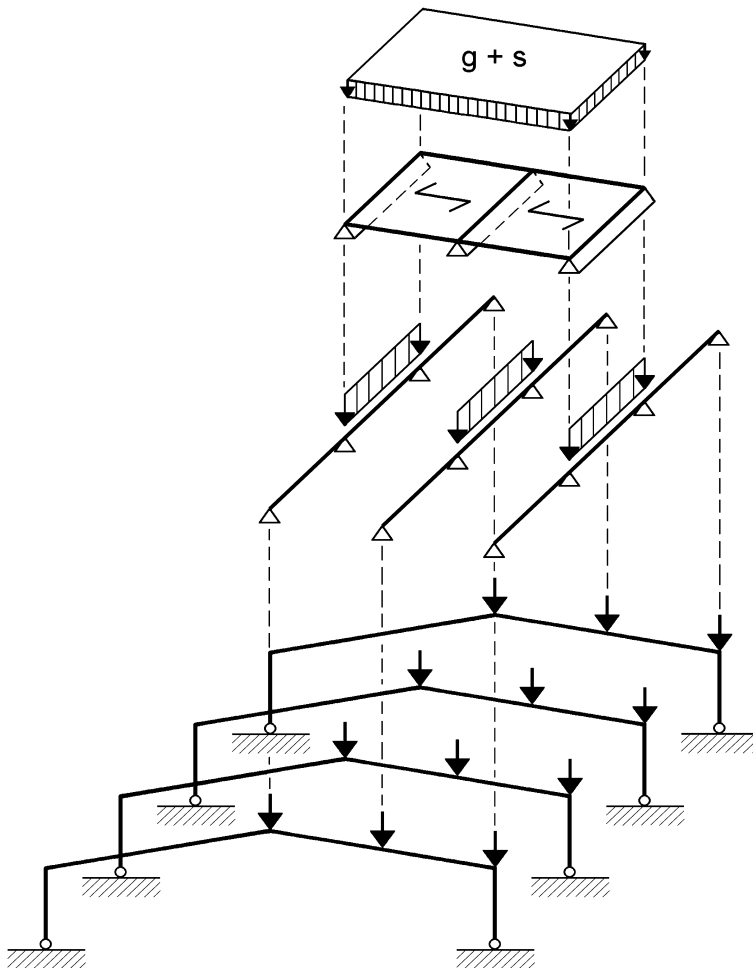


**Bild 2.2** Abtragung der Vertikallasten durch die Dachdeckung bei Hallen ohne Pfetten

### **Hallen mit Pfetten**

Bei Pfettendächern gemäß Bild 2.3 spannt die Dachhaut in Hallenquerrichtung, was der Gefällrichtung für die Entwässerung entspricht. Übliche Pfettenabstände sind 1,5 bis 4 m. Die Stützweite der Pfetten und damit die Binderabstände liegen zwischen 5 und 8 m. In Bild 2.3 ist die prinzipielle Abtragung der Vertikallasten auf die Rahmenriegel skizziert.

Neben Vollwandprofilen kommen insbesondere bei großen Spannweiten auch Fachwerkbinder zur Ausführung. Die Einzellasten aus den Pfetten werden dann möglichst in die Obergurtnotenpunkte der Fachwerkbinder eingeleitet, woraus eine Abhängigkeit zwischen den Pfettenabständen und der Füllstabgeometrie der Fachwerkbinder resultiert.



**Bild 2.3** Abtragung der Vertikallasten bei Hallen mit Pfetten

### **Dachschub**

In Bild 2.2 und Bild 2.3 wird die prinzipielle Abtragung der Vertikallasten bei Hallen mit und ohne Pfetten skizziert. Zusätzlich ist zu beachten, dass aufgrund der vorhandenen Dachneigung in Hallenquerrichtung infolge von vertikalen Lasten Lastkomponenten senkrecht zur Dachneigung und in Richtung der Dachneigung auftreten. Die Komponente senkrecht zur Dachneigung wird in der Regel direkt von den Stahltrapezprofilen und ggf. den Pfetten übertragen. Die Komponente in Richtung der Dachneigung wird als Dachschub bezeichnet. Auf die Abtragung des Dachschubes wird in Abschnitt 2.3.5 näher eingegangen, siehe auch Bild 2.27.

### 2.1.3 Abtragung der Horizontallasten in Hallenquerrichtung

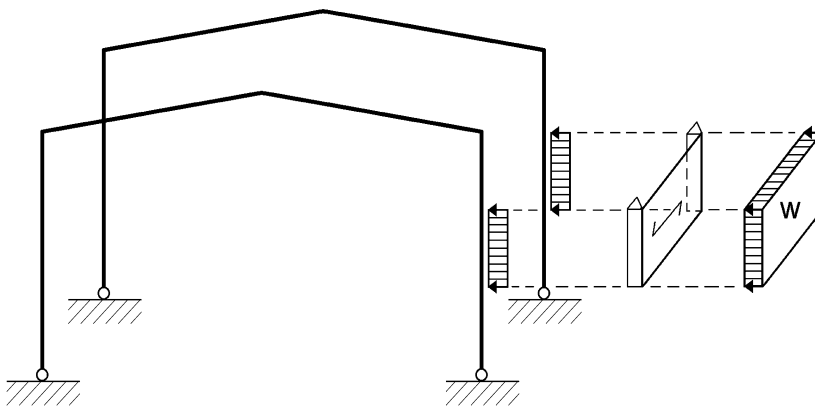
Es werden Seitenwände mit und ohne Wandriegel betrachtet. Tabelle 2.3 enthält eine Übersicht für die Tragglieder bei üblichen Stahlhallen.

**Tabelle 2.3** Tragglieder für Horizontallasten in Querrichtung bei üblichen Stahlhallen

Hallen mit Wandriegeln	Hallen ohne Wandriegel
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wandverkleidung:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Trapezprofile oder Sandwichelemente</li> <li>– Tragrichtung: vertikal</li> <li>– Spannweite: 3 bis 5 m</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wandverkleidung:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kassettenprofile oder Porenbetonplatten</li> <li>– Tragrichtung: horizontal</li> <li>– Spannweite: 5 bis 7 m</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wandriegel:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: horizontal</li> <li>– Abstand: 3 bis 5 m</li> <li>– Spannweite: 5 bis 8 m</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zweigelenrahmen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: vertikal</li> <li>– Rahmenhöhe: 4 bis 10 m</li> </ul> </li> </ul>	

#### Hallen ohne Wandriegel

Die Wandverkleidung spannt in diesem Fall horizontal von Stütze zu Stütze. Übliche Wandaufbauten bestehen dabei aus Stahlkassettenprofilen oder Porenbetonwandplatten. Die Horizontallasten in den Binderachsen werden durch Rahmenwirkung (Bild 2.4) oder alternativ durch eingespannte Stützen in den Baugrund geleitet.

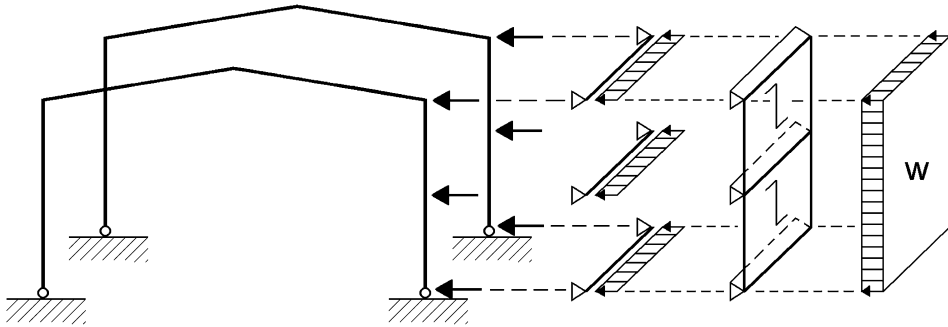


**Bild 2.4** Abtragung der Horizontallasten in Hallenquerrichtung bei Hallen ohne Wandriegel



## Hallen mit Wandriegeln

Die Wandverkleidung spannt in diesem Fall vertikal von Wandriegel zu Wandriegel. Übliche Wandaufbauten bestehen aus Stahltrapezprofilen oder Sandwichelementen, wobei die vertikale Spannrichtung Schmutzablagerungen und Regenwasseransammlungen in den Profilrippen verhindert. In Bild 2.5 erkennt man, dass die Horizontallasten nicht gleichmäßig auf der Stützenhöhe angreifen, sondern als Einzellasten am Stützenkopf und an Zwischenpunkten als Auflagerkräfte der Wandriegel auf das Quertragsystem (Zweigelenrahmen) wirken.



**Bild 2.5** Abtragung der Horizontallasten in Hallenquerrichtung bei Hallen mit Wandriegeln

### 2.1.4 Abtragung der Horizontallasten in Hallenlängsrichtung

In Tabelle 2.4 sind die Tragglieder bei üblichen Stahlhallen aufgeführt, die zur Abtragung der Horizontallasten in Hallenlängsrichtung dienen.

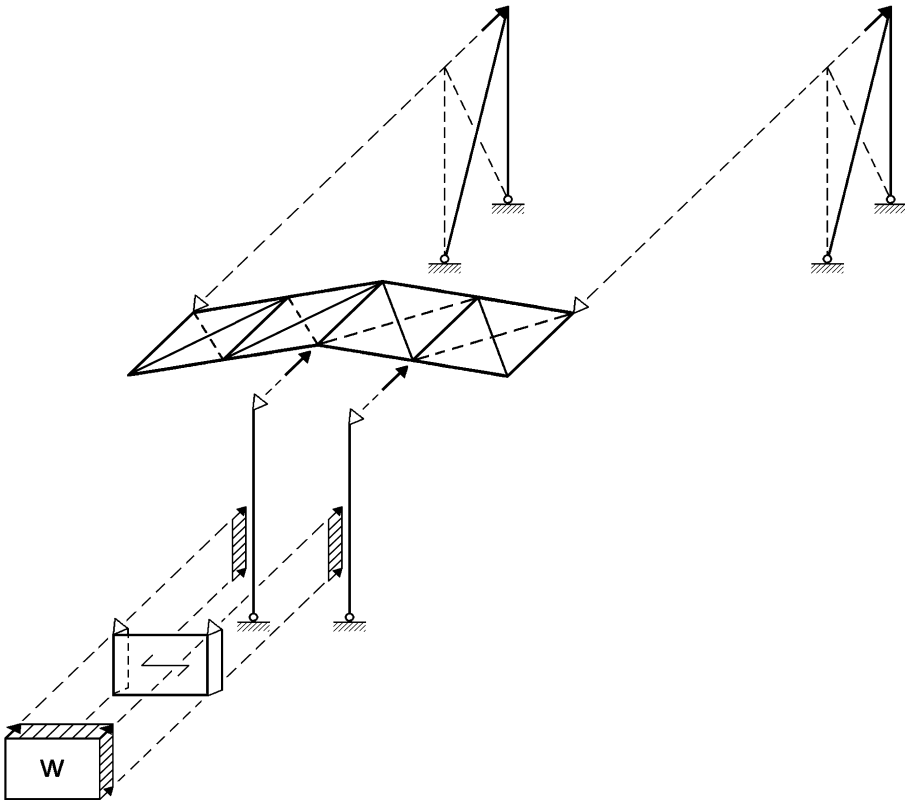
**Tabelle 2.4** Tragglieder für Horizontallasten in Längsrichtung bei üblichen Stahlhallen

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Giebelwandstützen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: vertikal</li> <li>– Abstand: 3 bis 6 m</li> <li>– Spannweite: 4 bis 10 m (Firsthöhe)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dachverband</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: horizontal</li> <li>– Spannweite: 10 bis 30 m (Hallenbreite)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wandverbände in den Seitenwänden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tragrichtung: vertikal</li> <li>– Höhe: 4 bis 10 m (Traufhöhe)</li> </ul>

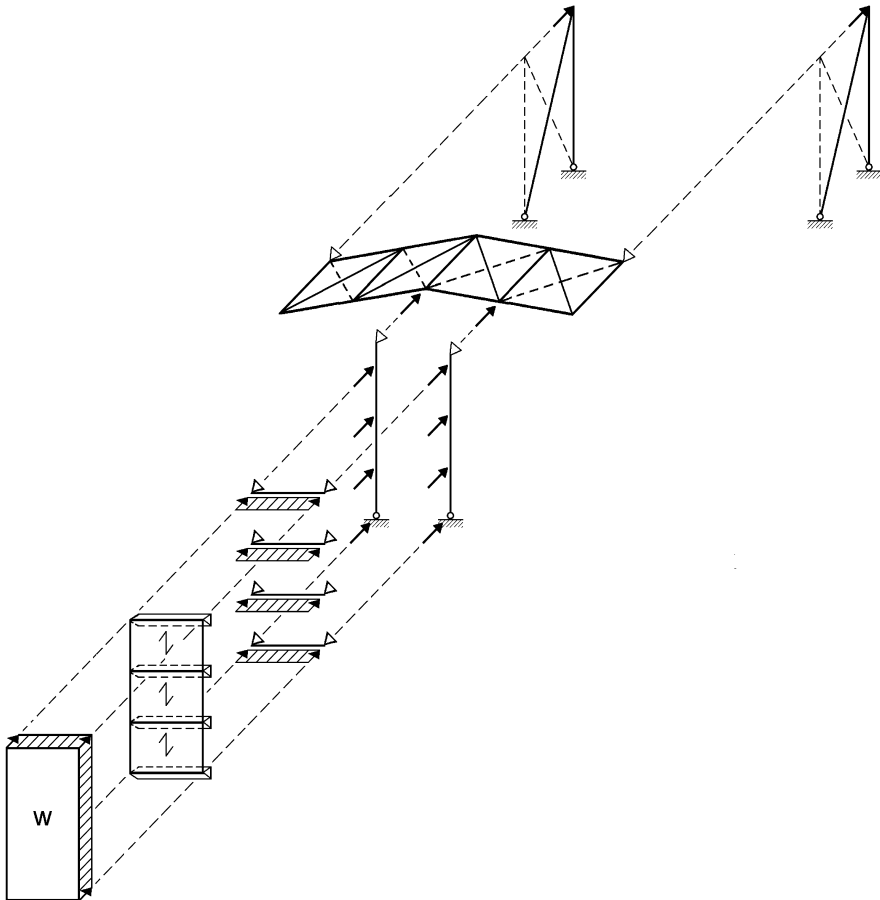
Analog zu den Ausführungen in Abschnitt 2.1.3 kommen auch hier Konstruktionen mit und ohne Giebelwandriegel zur Ausführung. Die zugehörige Lastabtragung der Windlasten durch Giebelwandstützen, Dachverband und Wandverbände ist in Bild 2.6 und Bild 2.7 dargestellt.

Die Giebelwandstützen belasten in ihren Fußpunkten direkt die Fundamente. An den Kopfpunkten werden die Windlasten in die Pfosten des Dachverbandes abgesetzt, dessen Auflager wiederum durch Wandverbände in den Seitenwänden gebildet werden.

Die Gurte des Dachverbandes werden durch die zwei, das Verbandsfeld begrenzenden Binder gebildet. Wenn zur Abtragung der Vertikallasten eine Konstruktion mit Pfetten gewählt wird, können diese in den Verbandsfeldern zusätzlich als Pfosten des Dachverbandes genutzt werden. Es sind dann lediglich die (druckweichen) Verbandsdiagonalen als zusätzliche Bauteile zu ergänzen. Werden keine Pfetten angeordnet, oder sollen die Pfetten normalkraftfrei bleiben, sind außerdem gesonderte Druckstäbe zwischen den Bindern erforderlich.



**Bild 2.6** Abtragung der Horizontallasten in Hallenlängsrichtung bei Hallen ohne Wandriegel



**Bild 2.7** Abtragung der Horizontallasten in Hallenlängsrichtung bei Hallen mit Wandriegeln

Die Gurte der Wandverbände werden durch die Stützen gebildet. Die Ausfachung erfolgt vorwiegend durch druckweiche Verbandsdiagonalen. Für niedrige Hallen, deren Traufhöhe den Achsabstand der Binder nicht wesentlich übersteigt, genügt über die Höhe ein aussteifendes Kreuz. Die Diagonalen werden ungefähr im statisch günstigen Winkel von  $45^\circ$  eingebaut. Für höhere Hallen werden entsprechend mehr Verbandskreuze mit zwischengeschalteten Druckriegeln ausgeführt.

## 2.2 Dacheindeckung

### 2.2.1 Übersicht

Tabelle 2.5 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Dachdeckungen im Stahlhallenbau. In der Baupraxis ist eine Tendenz zu möglichst geringen *Dachneigungen* festzustellen.

**Tabelle 2.5** Übliche Dachdeckungen im Stahlhallenbau

Dachdeckung	übliche Dachneigung	übliche Stützweite
<ul style="list-style-type: none"> <li>Faserzementwellplatten nach DIN EN 494</li> </ul>	10 bis 20°	i. d. R. ca. 1,15 m zwischen Pfetten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Einschaliges ungedämmtes Stahltrapezprofildach</li> </ul>	7 bis 15°	2 bis 3 m zwischen Pfetten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Einschaliges gedämmtes Stahltrapezprofildach mit Abdichtung</li> </ul>	2 bis 5°	2 bis 3 m zwischen Pfetten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zweischaliges gedämmtes Stahltrapezprofildach</li> </ul>	7 bis 15°	oder
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zweischaliges gedämmtes und belüftetes Stahltrapezprofildach</li> </ul>	10 bis 20°	5 bis 7 m zwischen Rahmenriegeln
<ul style="list-style-type: none"> <li>PUR-Sandwichelemente</li> </ul>	7 bis 15°	3 bis 5 m zwischen Pfetten
<ul style="list-style-type: none"> <li>Porenbetonplatten mit Abdichtung</li> </ul>	2 bis 5°	5 bis 6 m zwischen Rahmenriegeln

Im Stahlhallenbau werden eine Vielzahl von Dachkonstruktionen ausgeführt. Auswahlkriterien sind Wirtschaftlichkeit, Tragfähigkeit, Bauphysik (Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz), Dauerhaftigkeit und architektonische Wirkung. Der letztgenannte Aspekt entfällt häufig bei Flachdachkonstruktionen, da diese in der Regel hinter einer umlaufenden Attika nicht sichtbar für den Betrachter der Halle sind. Bei Dachkonstruktionen mit Attika ist es wichtig, Durchbrüche in der Attika als Notüberläufe für Starkregenereignisse vorzusehen, um eine Überlastung des Dachtragwerkes infolge Belastung durch Regenwasser zu verhindern.

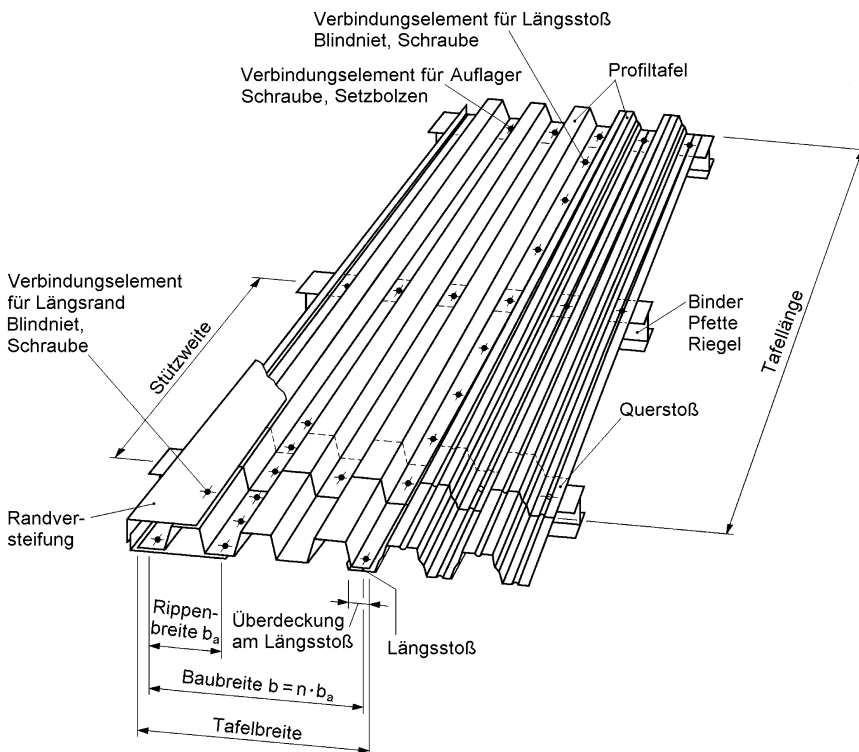
### 2.2.2 Stahltrapezprofildächer

Für den Stahlhallenbau sind Dächer mit Stahltrapezprofilen als tragende Bauteile die Regelausführung. Die üblichen *Stahltrapezprofile* werden in Tafeln mit folgenden Abmessungen geliefert:

- Bauhöhe der Querschnitte: 35–165 mm,
- Tafelbreite: 1035–750 mm (je nach Querschnittstyp),
- Lieferlänge: 18–24 m (zu beachten ist die maximale Länge von 18 m für den Straßentransport ohne Sondergenehmigung).

Die Bemessung und Konstruktion von Stahltrapezprofilen regelt in Verbindung mit DIN 18807 (06.87) „Trapezprofile im Hochbau, Stahltrapezprofil, Teil 3: Festigkeitsnachweis und konstruktive Ausbildung,“ [13] DIN EN 1993-1-3 „EC3 Teil 1-3: Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche“ [25].

Bild 2.8 zeigt beispielhaft eine Dachkonstruktion mit Stahltrapezprofilen.



**Bild 2.8** Dachkonstruktion mit Stahltrapezprofilen

Als Mindestblechdicke fordert DIN 18807 Teil 3 für tragende Dachschalen  $t = 0,75$  mm. Üblich sind jedoch in der Baupraxis Trapezprofile mit Blechdicken  $t \geq 0,88$  mm, da sie bei der Montage besser zu verlegen sind. Sofern statisch und konstruktiv möglich, wird  $t = 0,88$  mm gewählt und die erforderliche Tragfähigkeit durch Profile mit ausreichender Bauhöhe gewährleistet. Für die Trapezprofiltafeln ist feuerverzinktes Blech der Stahlsorte S 320 GD + Z nach DIN EN 10147 zu verwenden. Für den Korrosionsschutz gilt DIN 18807 Teil 1, Abschnitt 3.3.5 in Verbindung mit DIN 55928 Teil 8.

Für die Standsicherheitsnachweise von Stahltrapezprofilen können Prüfbescheide und *Belastungstabellen* für die verschiedenen Querschnittstypen bei den Herstellern angefordert werden. Die Tragfähigkeitswerte in den Prüfbescheiden sind keine zulässigen Beanspruchungsgrößen, da sie die Sicherheitsbeiwerte nicht enthalten. Mit den Tragfähigkeitswerten in den Prüfbescheiden sind die Nachweise der Gebrauchs- und Tragfähigkeit nach EC 3 Teil 1-3 für die Genehmigungsstatik zu führen. Für Entwurf und Vorbemessung stellen die Hersteller von Stahltrapezprofilen zusätzlich Belastungstabellen für Ein-, Zwei- und Dreifeldträger unter Flächenlast zur Verfügung. Die Verwendung dieser Belastungstabellen ersetzt jedoch nicht die statischen Nachweise auf der Basis der Tragfähigkeitswerte in den Prüfbescheiden.

Übliche Stützweiten für Stahltrapezprofile als Pfettenkonstruktionen betragen 1,5 bis 4 m. Meistens werden Pfettenabstände zwischen 2 und 3 m ausgeführt. Die Höhen der Stahltrapezprofile liegen dann etwa zwischen 35 und 85 mm. Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7 zeigen die Tragfähigkeitswerte aus dem Prüfbescheid für ein typisches Stahltrapezprofil für Pfettenkonstruktionen. Tabelle 2.8 und Tabelle 2.9 enthalten die zugehörigen Belastungstabellen für Entwurf und Vorbemessung. Übliche Stützweiten für Stahltrapezprofile als Binderkonstruktionen betragen 5 bis 7 m. Die zugehörigen Höhen der Stahltrapezprofile liegen dann zwischen 100 und 165 mm. Tabelle 2.10 und Tabelle 2.11 zeigen die Tragfähigkeitswerte aus dem Prüfbescheid für ein typisches Stahltrapezprofil für Binderkonstruktionen. Tabelle 2.12 und Tabelle 2.13 enthalten die zugehörigen Belastungstabellen für Entwurf und Vorbemessung.

**Tabelle 2.6** Auszug aus Prüfbescheid zu Stahltrapezprofil Typ T50.1

Stahltrapezprofil Typ <b>Hoesch T 50.1</b>		<b>Anlage 4 / 3</b>													
<b>Querschnitts- und Bemessungswerte</b>															
EN 1993-1-3															
Profiltafel in <b>Negativlage</b>															
Nennstreckgrenze des Stahlkerns $f_{y,k} = 320 \text{ N/mm}^2$															
<b>Charakteristische Tragfähigkeitswerte für andrückende Flächenbelastung <sup>3)</sup></b>															
Nennblechdicke <sup>12)</sup>	Feldmoment	Endauflagerkraft <sup>6)</sup>	Elastisch aufnehmbare Schnittgrößen an Zwischenauflägern <sup>1) 2) 4) 5)</sup>												
			Quer- kraft	Lineare Interaktion						Zwischenauflagerkräfte <sup>11)</sup>					
				Stützmomente <sup>11)</sup>		Stützkräfte <sup>11)</sup>		Stützkräfte <sup>11)</sup>		Stützkräfte <sup>11)</sup>		Stützkräfte <sup>11)</sup>		Stützkräfte <sup>11)</sup>	
$l_{a,A1} =$ -	$l_{a,A2} =$ 40 mm		$l_{a,B} =$ 0 mm	$l_{a,B} =$ 60 mm	$l_{a,B} =$ -	$l_{a,B} =$ 0 mm	$l_{a,B} =$ 60 mm	$l_{a,B} =$ -							
$t_H$	$M_{c,Rk,F}$	$R_{w,Rk,A}$	$V_{w,Rk}$	$M_{0,Rk,B}$	$M_{c,Rk,B}$	$M_{0,Rk,B}$	$M_{c,Rk,B}$	$M_{0,Rk,B}$	$M_{c,Rk,B}$	$R_{0,Rk,B}$	$R_{w,Rk,B}$	$R_{0,Rk,B}$	$R_{w,Rk,B}$	$R_{0,Rk,B}$	$R_{w,Rk,B}$
mm	kNm/m	kN/m		kN/m											
0,63	1,84	-	9,59	26,81	1,98	1,37	2,10	1,67	-	-	9,05	5,24	24,78	8,00	-
0,75	2,48	-	13,80	38,82	2,33	1,78	2,91	2,36	-	-	16,64	7,62	25,17	10,40	-
0,88	3,57	-	18,20	54,34	3,17	2,51	3,71	3,20	-	-	22,48	10,10	44,89	14,50	-
1,00	4,58	-	22,40	69,13	3,93	3,17	4,44	3,96	-	-	27,82	12,40	63,05	18,30	-
1,25	6,47	-	34,50	87,14	6,11	4,98	6,36	5,78	-	-	50,29	21,30	136,70	29,50	-
1,50	8,34	-	46,60	105,14	8,28	6,79	8,27	7,59	-	-	72,70	30,20	210,10	40,80	-
<b>Reststützmomente <sup>7)</sup></b>															
$t_H$	$l_{a,B} = 0 \text{ mm}$			$l_{a,B} = 60 \text{ mm}$			$l_{a,B} = -$			Reststützmomente $M_{R,Rk}$					
	min L	max L	max $M_{R,Rk}$	min L	max L	max $M_{R,Rk}$	min L	max L	max $M_{R,Rk}$						
mm	m	m	kNm/m	m	m	kNm/m	m	m	kNm/m	$M_{R,Rk} = 0$ für $L \leq \min L$ $M_{R,Rk} = \max M_{R,Rk}$ für $L \geq \max L$ $M_{R,Rk} = \frac{L - \min L}{\max L - \min L} \cdot \max M_{R,Rk}$					
0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
0,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
<b>Charakteristische Tragfähigkeitswerte für abhebbende Flächenbelastung <sup>1) 2)</sup></b>															
Nennblechdicke	Feldmoment	Befestigung in jedem anliegenden Gurt							Befestigung in jedem 2. anliegenden Gurt						
		Endauflagerkraft	Zwischenauflager					Endauflagerkraft	Zwischenauflager						
$t_H$	$M_{c,Rk,F}$	$R_{w,Rk,A}$	$M_{0,Rk,B}$	$M_{c,Rk,B}$	$R_{0,Rk,B}$	$R_{w,Rk,B}$	$V_{w,Rk}$	$R_{w,Rk,A}$	$M_{0,Rk,B}$	$M_{c,Rk,B}$	$R_{0,Rk,B}$	$R_{w,Rk,B}$	$V_{w,Rk}$		
mm	kNm/m	kN/m	kN/m					kN/m	kN/m						
0,63	1,80	26,81	-	1,87	-	-	26,81	13,40	-	0,94	-	-	13,40		
0,75	2,30	38,82	-	2,54	-	-	38,82	19,41	-	1,27	-	-	19,41		
0,88	3,07	54,34	-	3,21	-	-	54,34	27,17	-	1,60	-	-	27,17		
1,00	3,77	69,13	-	3,86	-	-	69,13	34,57	-	1,93	-	-	34,57		
1,25	5,64	87,14	-	5,32	-	-	87,14	43,57	-	2,66	-	-	43,57		
1,50	7,52	105,14	-	6,87	-	-	105,14	52,57	-	3,44	-	-	52,57		
Fußnoten s. Beiblatt 1/2 bzw. 2/2															

**Tabelle 2.7** Auszug aus Prüfbescheid zu Stahltrapezprofil Typ T50.1

Stahltrapezprofil Typ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Hoesch T 50.1</span>		Anlage 4 / 4										
Querschnitts- und Bemessungswerte												
EN 1993-1-3												
Profiltafel in <u>Negativlage</u>												
Nennstreckgrenze des Stahlkerns $f_{y,k} = 320 \text{ N/mm}^2$												
Maßgebende Querschnittswerte												
Nennblechdicke	Eigenlast	Biegung <sup>8)</sup>		Normalkraftbeanspruchung						Grenzstützweiten <sup>10)</sup>		
				nicht reduzierter Querschnitt			wirksamer Querschnitt <sup>9)</sup>			$L_{gr}$ in m		
				$A_g$	$i_g$	$z_g$	$A_{eff}$	$i_{eff}$	$z_{eff}$	Einfeldträger	Mehrfeldträger	
mm	$\text{kN/m}^2$	$I_{ef}^2$	$I_{ef}$	$\text{cm}^2/\text{m}$	cm	cm	$\text{cm}^2/\text{m}$	cm				
0,63	0,063	29,20	29,20	7,06	1,99	1,78	2,44	2,19	2,38	-	-	
0,75	0,075	35,10	35,10	8,50	1,99	1,78	3,46	2,15	2,36	2,20	2,75	
0,88	0,088	41,50	41,50	10,05	1,99	1,78	4,72	2,12	2,35	2,96	3,70	
1,00	0,100	47,50	47,50	11,49	1,99	1,78	6,03	2,10	2,34	3,38	4,23	
1,25	0,125	59,80	59,80	14,48	1,99	1,78	9,09	2,05	2,31	4,26	5,33	
1,50	0,149	72,20	72,20	17,47	1,99	1,78	12,54	2,03	2,28	5,14	6,43	
Schubfeldwerte												
Nennblechdicke	$t_N$	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit <sup>16)</sup>				Grenzzustand der Tragfähigkeit <sup>17)</sup>		$F_{L,Rk}$ in $\text{kN}^{18)}$				
		$T_{3,Rk} = G_s / 750 \text{ [kN/m]}^{15)}$				$G_s = 10^4 / (K_1 + K_2 / L_g)$		Einleitungslänge $a$				
		$\min L_g^{13)}$	$T_{2,Rk}$	$L_g^{14)}$	$K_1$	$K_2$	$T_{1,Rk}$	$K_3$	$\geq 130 \text{ mm}$	$\geq 280 \text{ mm}$		
mm	m	$\text{kN/m}$	m	$\text{m/kN}$	$\text{m}^2/\text{kN}$	$\text{kN/m}$	-					
Normalausführung: Verbindung in jedem Untergurt												
0,63	2,73	2,06	3,89	0,255	19,683	4,14	0,388					
0,75	2,49	3,28	3,25	0,212	12,390	5,47	0,388					
0,88	2,29	4,99	2,76	0,179	8,138	7,03	0,388					
1,00	2,14	6,97	2,43	0,157	5,828	8,59	0,388					
1,25	1,91	12,43	1,94	0,124	3,268	12,16	0,388					
1,50	1,74	19,88	1,74	0,103	2,043	16,12	0,388					
Sonderausführung: Verbindung mit 2 Schrauben oder verstärkter Unterlegscheibe in jedem Untergurt <sup>16)</sup>												
0,63	1,55	6,52	1,55	0,255	1,606	11,11	0,480					
0,75	1,41	10,36	1,41	0,212	1,011	14,67	0,480					
0,88	1,30	15,78	1,30	0,179	0,664	18,88	0,480					
1,00	1,22	22,03	1,22	0,157	0,476	23,06	0,480					
1,25	1,08	39,29	1,08	0,124	0,267	32,63	0,480					
1,50	0,99	62,84	0,99	0,103	0,167	43,25	0,480					

Fußnoten s. Beiblatt 1/2 bzw. 2/2



**Tabelle 2.8** Auszug aus Belastungstabellen zu Stahltrapezprofil Typ T50.1

**Hoesch Trapezprofil T 50.1 Negativlage**

zul q, andrückend

**Bemessungstabellen "zul q, andrückend" zur Vorbemessung**

**Bauteilbreite:** 1000 mm  
**Rippenbreite:** 250 mm



Einfeldträger, zulässige andrückende Flächenlast zul q [kN/m <sup>2</sup> ]																								
Stützweite L[m]		1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00		
l <sub>n</sub>	g	Endauflagerbreite: b <sub>1</sub> = 40 mm																						
0,63	0,063	*	8,93	6,19	4,55	3,48	2,75	2,23	1,84	1,55	1,32	1,14	0,99	0,87	0,77	0,69	0,62	0,56	0,51	0,46	0,42	0,39	0,36	
		L/150	8,93	6,19	4,55	3,48	2,75	2,23	1,84	1,55	1,32	1,14	0,99	0,87	0,77	0,67	0,57	0,49	0,42	0,37	0,32	0,28	0,25	
		L/200	8,93	6,19	4,55	3,48	2,75	2,23	1,84	1,55	1,32	1,07	0,87	0,72	0,60	0,50	0,43	0,37	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	
		L/300	8,93	6,19	4,55	3,48	2,69	1,96	1,47	1,14	0,89	0,72	0,58	0,48	0,40	0,34	0,29	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	
0,75	0,075	*	12,03	8,36	6,14	4,70	3,71	3,01	2,48	2,09	1,78	1,53	1,34	1,18	1,04	0,93	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57	0,52	0,48	
		L/150	12,03	8,36	6,14	4,70	3,71	3,01	2,48	2,09	1,78	1,53	1,34	1,15	0,96	0,81	0,69	0,59	0,51	0,44	0,39	0,34	0,30	
		L/200	12,03	8,36	6,14	4,70	3,71	3,01	2,48	2,05	1,61	1,29	1,05	0,86	0,72	0,61	0,52	0,44	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	
		L/300	12,03	8,36	6,14	4,60	3,24	2,36	1,77	1,37	1,07	0,86	0,70	0,58	0,48	0,40	0,34	0,30	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	
0,88	0,088	*	17,30	12,03	8,83	6,76	5,34	4,33	3,58	3,01	2,56	2,21	1,92	1,69	1,50	1,33	1,20	1,08	0,98	0,89	0,82	0,75	0,69	
		L/150	17,30	12,03	8,83	6,76	5,34	4,33	3,58	3,01	2,54	2,03	1,65	1,36	1,14	0,96	0,81	0,70	0,60	0,52	0,46	0,40	0,36	
		L/200	17,30	12,03	8,83	6,76	5,34	4,19	3,14	2,42	1,91	1,52	1,24	1,02	0,85	0,72	0,61	0,52	0,45	0,39	0,34	0,30	0,27	
		L/300	17,30	12,03	8,13	5,44	3,82	2,79	2,09	1,61	1,27	1,02	0,83	0,68	0,57	0,48	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	
1,00	0,100	*	22,22	15,43	11,34	8,67	6,85	5,55	4,59	3,85	3,28	2,83	2,47	2,17	1,92	1,71	1,54	1,39	1,26	1,15	1,05	0,96	0,89	
		L/150	22,22	15,43	11,34	8,67	6,85	5,55	4,59	3,70	2,91	2,33	1,89	1,56	1,30	1,10	0,93	0,80	0,69	0,60	0,53	0,46	0,41	
		L/200	22,22	15,43	11,34	8,67	6,57	4,79	3,60	2,77	2,18	1,74	1,42	1,17	0,97	0,82	0,70	0,60	0,52	0,45	0,39	0,35	0,31	
		L/300	22,22	14,76	9,31	6,23	4,38	3,19	2,40	1,85	1,45	1,16	0,95	0,78	0,65	0,55	0,47	0,40	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	
1,25	0,125	*	31,37	21,77	16,01	12,26	9,69	7,84	6,48	5,45	4,64	4,00	3,49	3,06	2,71	2,42	2,17	1,96	1,78	1,62	1,48	1,36	1,25	
		L/150	31,37	21,77	16,01	12,26	9,69	7,84	6,04	4,65	3,66	2,93	2,38	1,96	1,64	1,38	1,17	1,00	0,87	0,76	0,66	0,58	0,52	
		L/200	31,37	21,77	16,01	11,77	8,27	6,03	4,53	3,49	2,74	2,20	1,79	1,47	1,23	1,03	0,88	0,75	0,65	0,57	0,50	0,44	0,39	
		L/300	31,37	18,61	11,72	7,85	5,51	4,02	3,02	2,33	1,83	1,46	1,19	0,98	0,82	0,69	0,59	0,50	0,43	0,38	0,33	0,29	0,26	

Zweifeldträger, zulässige andrückende Flächenlast zul q [kN/m <sup>2</sup> ]																							
Stützweite L[m]		1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00	
l <sub>n</sub>	g	Endauflagerbreite: b <sub>1</sub> = 40 mm											Zwischenauflegerbreite: b <sub>2</sub> = 60 mm										
0,63	0,063	*	5,24	4,37	3,75	3,28	2,75	2,23	1,84	1,55	1,32	1,14	0,99	0,87	0,77	0,69	0,62	0,56	0,51	0,46	0,42	0,39	0,36
		L/150	5,24	4,37	3,75	3,28	2,75	2,23	1,84	1,55	1,32	1,14	0,99	0,87	0,77	0,69	0,62	0,56	0,51	0,46	0,42	0,39	0,36
		L/200	5,24	4,37	3,75	3,28	2,75	2,23	1,84	1,55	1,32	1,14	0,99	0,87	0,77	0,69	0,62	0,56	0,51	0,46	0,42	0,39	0,36
		L/300	5,24	4,37	3,75	3,28	2,75	2,23	1,84	1,55	1,32	1,14	0,99	0,87	0,77	0,69	0,62	0,56	0,51	0,44	0,39	0,34	0,30
0,75	0,075	*	6,82	5,68	4,88	4,26	3,59	3,01	2,48	2,09	1,78	1,53	1,34	1,18	1,04	0,93	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57	0,52	0,48
		L/150	6,82	5,68	4,88	4,26	3,59	3,01	2,48	2,09	1,78	1,53	1,34	1,18	1,04	0,93	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57	0,52	0,48
		L/200	6,82	5,68	4,88	4,26	3,59	3,01	2,48	2,09	1,78	1,53	1,34	1,18	1,04	0,93	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57	0,52	0,48
		L/300	6,82	5,68	4,88	4,26	3,59	3,01	2,48	2,09	1,78	1,53	1,34	1,18	1,04	0,93	0,83	0,71	0,61	0,53	0,47	0,41	0,36
0,88	0,088	*	9,51	7,92	6,79	5,94	5,14	4,31	3,58	3,01	2,56	2,21	1,92	1,69	1,50	1,33	1,20	1,08	0,98	0,89	0,82	0,75	0,69
		L/150	9,51	7,92	6,79	5,94	5,14	4,31	3,58	3,01	2,56	2,21	1,92	1,69	1,50	1,33	1,20	1,08	0,98	0,89	0,82	0,75	0,69
		L/200	9,51	7,92	6,79	5,94	5,14	4,31	3,58	3,01	2,56	2,21	1,92	1,69	1,50	1,33	1,20	1,08	0,98	0,89	0,82	0,73	0,64
		L/300	9,51	7,92	6,79	5,94	5,14	4,31	3,58	3,01	2,56	2,21	1,92	1,64	1,37	1,15	0,98	0,84	0,72	0,63	0,55	0,49	0,43
1,00	0,100	*	12,00	10,00	8,57	7,50	6,46	5,39	4,56	3,85	3,28	2,83	2,47	2,17	1,92	1,71	1,54	1,39	1,26	1,15	1,05	0,96	0,89
		L/150	12,00	10,00	8,57	7,50	6,46	5,39	4,56	3,85	3,28	2,83	2,47	2,17	1,92	1,71	1,54	1,39	1,26	1,15	1,05	0,96	0,89
		L/200	12,00	10,00	8,57	7,50	6,46	5,39	4,56	3,85	3,28	2,83	2,47	2,17	1,92	1,71	1,54	1,39	1,24	1,08	0,95	0,83	0,74
		L/300	12,00	10,00	8,57	7,50	6,46	5,39	4,56	3,85	3,28	2,80	2,28	1,87	1,56	1,32	1,12	0,96	0,83	0,72	0,63	0,56	0,49
1,25	0,125	*	19,35	16,13	13,82	12,08	9,69	7,84	6,48	5,45	4,64	4,00	3,49	3,06	2,71	2,42	2,17	1,96	1,78	1,62	1,48	1,36	1,25
		L/150	19,35	16,13	13,82	12,08	9,69	7,84	6,48	5,45	4,64	4,00	3,49	3,06	2,71	2,42	2,17	1,96	1,78	1,62	1,48	1,36	1,24
		L/200	19,35	16,13	13,82	12,08	9,69	7,84	6,48	5,45	4,64	4,00	3,49	3,06	2,71	2,42	2,11	1,81	1,57	1,36	1,19	1,05	0,93
		L/300	19,35	16,13	13,82	12,08	9,69	7,84	6,48	5,45	4,40	3,52	2,86	2,36	1,97	1,66	1,41	1,21	1,04	0,91	0,79	0,70	0,62

Dreifeldträger, zulässige andrückende Flächenlast zul q [kN/m <sup>2</sup> ]																							
Stützweite L[m]		1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00	
l <sub>n</sub>	g	Endauflagerbreite: b <sub>1</sub> = 40 mm											Zwischenauflegerbreite: b <sub>2</sub> = 60 mm										
0,63	0,063	*	5,96	4,97	4,26	3,48	2,75	2,23	1,85	1,59	1,39	1,22	1,08	0,96	0,87	0,78	0,70	0,63	0,57	0,52	0,48	0,44	0,41
		L/150	5,96	4,97	4,26	3,48	2,75	2,23	1,85	1,59	1,39	1,22	1,08	0,96	0,87	0,78	0,70	0,63	0,57	0,52	0,48	0,44	0,41
		L/200	5,96	4,97	4,26	3,48	2,75	2,23	1,85	1,59	1,39	1,22	1,08	0,96	0,87	0,78	0,70	0,63	0,57	0,52	0,46	0,40	0,36
		L/300	5,96	4,97	4,26	3,48	2,75	2,23	1,85	1,59	1,39	1,22	1,08	0,91	0,76	0,64	0,54	0,46	0,40	0,35	0,31	0,27	0,24
0,75	0,075	*	7,75	6,45	5,54	4,70	3,71	3,01	2,48	2,09	1,78	1,55	1,38	1,23	1,11	1,01	0,92	0,84	0,77	0,71	0,65	0,61	0,56
		L/150	7,75	6,45	5,54	4,70	3,71	3,01	2,48	2,09	1,78	1,55	1,38	1,23	1,11	1,01	0,92	0,84	0,77	0,71	0,65	0,61	0,56
		L/200	7,75	6,45	5,54	4,70	3,71	3,01	2,48	2,09	1,78	1,55	1,38	1,23	1,11	1,01	0,92	0,84	0,72	0,63	0,55	0,49	0,43
		L/300	7,75	6,45	5,54	4,70	3,71	3,01	2,48	2,09	1,78	1,55	1,32	1,09	0,91	0,77	0,65	0,56	0,48	0,42	0,37	0,32	0,29
0,88	0,088	*	10,81	9,01	7,72	6,76	5,34	4,33	3,58	3,01	2,56	2,21	1,92	1,71	1,54	1,39	1,26	1,15	1,05	0,96	0,89	0,82	0,76
		L/150	10,81	9,01	7,72	6,76	5,34	4,33	3,58	3,01	2,56	2,21	1,92	1,71	1,54	1,39	1,26	1,15	1,05	0,96	0,87	0,76	0,68
		L/200	10,81	9,01	7,72	6,76	5,34	4,33	3,58	3,01	2,56	2,21	1,92	1,71	1,54								