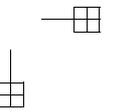
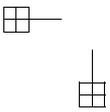
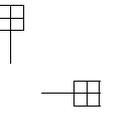
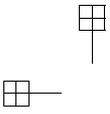


Inhaltsübersicht

- 1 **Stahlbaunormen – DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen** 1
Dieter Ungermann, Stephan Schneider, Ulrike Kuhlmann
- 2 **Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB),
Normen und Bescheide im Metallbau** 125
Karsten Kathage, Christoph Ortmann
- 3 **Neue Bemessungskonzepte für den Stahlleichtbau** 243
Bettina Brune, Tim Lemański, Dieter Ungermann
- 4 **Bemessung und Konstruktion von Sandwichelementen –
Kommentare zur prEN 1993-7** 361
Bernd Naujoks, Niklas Ardelmann, Fabian Kischkewitz
- 5 **Bemessung von Kranbahnen nach E DIN EN 1993-6:2024** 399
Mathias Euler, Ulrike Kuhlmann, Elena Sidorov, Tom Rudolph
- 6 **Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken** 597
Daniel Pak, Max Spannaus, Max Gündel, Benno Hoffmeister, Christina Radlbeck,
Dorina Siebert, Andreas Fellhauer, Reinhold Gitter
- 7 **Hintergründe zu den Neuerungen in prEN 1991-1-4:2024 für die Berechnung
windinduzierter Reaktionen schlanker Bauwerke** 691
Rüdiger Höffer, Norbert Hölscher, Susanne Diburg, Francesca Lupi, Ika Kurniawati,
Ulf Winkelmann, Cornelia Kalender
- 8 **Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-3 Schneelasten –
neue Entwicklungen** 729
Volker Cornelius, Bodo Wichura
- 9 **Künstliche Intelligenz im Stahlbau** 781
Andreas Müller, Andreas Taras, Michael A. Kraus
- 10 **3D-Druck** 817
Jörg Lange, Thilo Feucht



Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XXIII

1 Stahlbaunormen – DIN EN 1993-1-8: Bemessung von Anschlüssen 1

Dieter Ungermann, Stephan Schneider, Ulrike Kuhlmann

Anmerkung zum Abdruck von DIN EN 1993-1-8	5	2.5	Annahmen für die Berechnung	15
DIN EN 1993-1-8		2.6	Schubbeanspruchte Anschlüsse mit Stoßbelastung, Belastung mit Schwingungen oder mit Lastumkehr	15
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen	5	2.7	Exzentrizitäten in Knotenpunkten	15
Nationales Vorwort	5	3	Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen	16
Hintergrund des Eurocode-Programms	5	3.1	Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben	16
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes	6	3.1.1	Allgemeines	16
Nationale Fassungen der Eurocodes	7	3.1.2	Vorgespannte Schrauben	17
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAG)	7	3.2	Niete	17
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-8	7	3.3	Ankerschrauben	17
1 Allgemeines	7	3.4	Kategorien von Schraubenverbindungen	17
1.1 Anwendungsbereich	7	3.4.1	Scherverbindungen	17
1.2 Normative Verweisungen	7	3.4.2	Zugverbindungen	19
1.2.1 Bezugsnormengruppe 1: Schweißgeeignete Baustähle	7	3.5	Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete	19
1.2.2 Bezugsnormengruppe 2: Toleranzen, Maße und technische Lieferbedingungen	8	3.6	Tragfähigkeiten einzelner Verbindungsmittel	20
1.2.3 Bezugsnormengruppe 3: Hohlprofile	8	3.6.1	Schrauben und Niete	20
1.2.4 Bezugsnormengruppe 4: Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben	8	3.6.2	Injektionsschrauben	25
1.2.5 Bezugsnormengruppe 5: Schweißzusatzmittel und Schweißen	9	3.6.2.1	Allgemeines	25
1.2.6 Bezugsnormengruppe 6: Niete	9	3.6.2.2	Beanspruchbarkeiten	25
1.2.7 Bezugsnormengruppe 7: Bauausführung von Stahlbauten	9	3.7	Gruppen von Verbindungsmitteln	26
1.3 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	9	3.8	Lange Anschlüsse	27
1.4 Begriffe	9	3.9	Gleitfeste Verbindungen mit hochfesten 8.8 oder 10.9 Schrauben	27
1.4.1 Grundkomponente (eines Anschlusses)	9	3.9.1	Gleitwiderstand	27
1.4.2 Verbindung	9	3.9.2	Kombinierte Scher- und Zugbeanspruchung	28
1.4.3 angeschlossenes Bauteil	9	3.9.3	Hybridverbindungen	28
1.4.4 Anschluss	10	3.10	Lochabminderungen	28
1.4.5 Anschlusskonfiguration	10	3.10.1	Allgemeines	28
1.4.6 Rotationskapazität	10	3.10.2	Blockversagen von Schraubengruppen	28
1.4.7 Rotationssteifigkeit	10	3.10.3	Einseitig angeschlossene Winkel und andere unsymmetrisch angeschlossene Bauteile unter Zugbelastung	29
1.4.8 Kennwerte (eines Anschlusses)	10	3.10.4	Anschlusswinkel für indirekten Anschluss	29
1.4.9 ebener Anschluss	10	3.11	Abstützkräfte	30
1.5 Formelzeichen	10	3.12	Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel im Grenzzustand der Tragfähigkeit	30
2 Grundlagen der Tragwerksplanung	14	3.13	Bolzenverbindungen	30
2.1 Annahmen	14	3.13.1	Allgemeines	30
2.2 Allgemeine Anforderungen	14	3.13.2	Bemessung der Bolzen	32
2.3 Schnittgrößen	14			
2.4 Beanspruchbarkeit von Verbindungen	14			

X	Inhaltsverzeichnis	
4	Schweißverbindungen	32
4.1	Allgemeines	32
4.2	Schweißzusätze	33
4.3	Geometrie und Abmessungen	33
4.3.1	Schweißnahtarten	33
4.3.2	Kehlnähte	33
4.3.2.1	Allgemeines	33
4.3.2.2	Unterbrochen geschweißte Kehlnähte	34
4.3.3	Schlitznähte	34
4.3.4	Stumpfnähte	35
4.3.5	Lochschweißungen	35
4.3.6	Hohlkehlnähte	35
4.4	Schweißen mit Futterblechen	35
4.5	Beanspruchbarkeit von Kehlnähten	35
4.5.1	Schweißnahtlänge	35
4.5.2	Wirksame Nahtdicke	35
4.5.3	Tragfähigkeit von Kehlnähten	37
4.5.3.1	Allgemeines	37
4.5.3.2	Richtungsbezogenes Verfahren	37
4.5.3.3	Vereinfachtes Verfahren	38
4.6	Tragfähigkeit von Schlitznähten	38
4.7	Tragfähigkeit von Stumpfnähten	39
4.7.1	Durchgeschweißte Stumpfnähte	39
4.7.2	Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte	39
4.7.3	T-Stöße	39
4.8	Tragfähigkeit von Lochschweißungen	39
4.9	Verteilung der Kräfte	39
4.10	Steifenlose Anschlüsse an Flansche	40
4.11	Lange Anschlüsse	41
4.12	Exzentrisch belastete einseitige Kehlnähte oder einseitige nicht durchgeschweißte Stumpfnähte	41
4.13	Einschenkligter Anschluss von Winkelprofilen	41
4.14	Schweißen in kaltverformten Bereichen	42
5	Tragwerksberechnung, Klassifizierung und statische Modelle	43
5.1	Tragwerksberechnung	43
5.1.1	Allgemeines	43
5.1.2	Elastische Tragwerksberechnung	43
5.1.3	Starr-plastische Tragwerksberechnung	44
5.1.4	Elastisch-plastische Tragwerksberechnung	45
5.1.5	Berechnung von Fachwerkträgern	45
5.2	Klassifizierung von Anschlüssen	47
5.2.1	Allgemeines	47
5.2.2	Klassifizierung nach der Steifigkeit	47
5.2.2.1	Allgemeines	47
5.2.2.2	Gelenkige Anschlüsse	47
5.2.2.3	Starre Anschlüsse	47
5.2.2.4	Verformbare Anschlüsse	47
5.2.2.5	Grenzkriterien	47
5.2.3	Klassifizierung nach der Tragfähigkeit	49
5.2.3.1	Allgemeines	49
5.2.3.2	Gelenkige Anschlüsse	49
5.2.3.3	Volltragfähige Anschlüsse	49
5.2.3.4	Teiltragfähige Anschlüsse	49
5.3	Statisches Modell für Träger-Stützenanschlüsse	50
6	Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten	52
6.1	Allgemeines	52
6.1.1	Geltungsbereich	52
6.1.2	Kenngrößen	52
6.1.2.1	Momenten-Rotations-Charakteristik	52
6.1.2.2	Momententragfähigkeit	55
6.1.2.3	Rotationssteifigkeit	55
6.1.2.4	Rotationskapazität	55
6.1.3	Grundkomponenten eines Anschlusses	56
6.2	Tragfähigkeit	56
6.2.1	Schnittgrößen	56
6.2.2	Querkräfte	56
6.2.3	Biegemomente	58
6.2.4	Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung	59
6.2.4.1	Allgemeines	59
6.2.4.2	Einzelne Schraubenreihen, Schrauben- gruppen und Gruppen von Schrauben- reihen	61
6.2.4.3	Verstärkungsbleche	62
6.2.5	Äquivalenter T-Stummel mit Druckbeanspruchung	62
6.2.6	Tragfähigkeit der Grundkomponenten	65
6.2.6.1	Stützensteg mit Schubbeanspruchung	65
6.2.6.2	Stützensteg mit Beanspruchung durch Querdruk	66
6.2.6.3	Stützensteg mit Beanspruchung durch Querzug	68
6.2.6.4	Stützenflansch mit Biegebeanspruchung	69
6.2.6.5	Stirnblech mit Biegebeanspruchung	70
6.2.6.6	Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung	74
6.2.6.7	Trägerflansch und -steg mit Druck- beanspruchung	74
6.2.6.8	Trägersteg mit Zugbeanspruchung	75
6.2.6.9	Beton oder Mörtel mit Druck- beanspruchung	75
6.2.6.10	Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Druck	75
6.2.6.11	Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zug	75
6.2.6.12	Ankerschrauben mit Zug- beanspruchung	75
6.2.7	Biegetragfähigkeit von Träger-Stützen- anschlüssen und Stößen	76
6.2.7.1	Allgemeines	76
6.2.7.2	Träger-Stützenanschlüsse mit geschraubten Stirnblechverbindungen	79
6.2.8	Tragfähigkeit von Stützenfüßen mit Fußplatten	79
6.2.8.1	Allgemeines	79
6.2.8.2	Stützenfußverbindung unter reiner Normalkraftbeanspruchung	81
6.2.8.3	Stützenfußverbindung mit Normalkraft- und Biegebeanspruchung	81
6.3	Rotationssteifigkeit	82
6.3.1	Grundmodell	82
6.3.2	Steifigkeitskoeffizienten für die Grund- komponenten eines Anschlusses	82

6.3.3	Stirnblechanschlüsse mit zwei oder mehr Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung	86	7.4.2	Ebene Anschlüsse	95
6.3.3.1	Allgemeines Verfahren	86	7.4.3	Räumliche Anschlüsse	101
6.3.3.2	Vereinfachtes Verfahren für überstehende Stirnbleche mit zwei Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung	86	7.5	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an RHP-Gurtstäbe	101
6.3.4	Stützenfüße	86	7.5.1	Allgemeines	101
6.4	Rotationskapazität	87	7.5.2	Ebene Anschlüsse	102
6.4.1	Allgemeines	87	7.5.2.1	Unverstärkte Anschlüsse	102
6.4.2	Geschraubte Anschlüsse	87	7.5.2.2	Verstärkte Anschlüsse	111
6.4.3	Geschweißte Anschlüsse	88	7.5.3	Räumliche Anschlüsse	113
7	Anschlüsse mit Hohlprofilen	88	7.6	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an I- oder H-Profil Gurtstäbe	113
7.1	Allgemeines	88	7.7	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an U-Profil Gurtstäbe	116
7.1.1	Geltungsbereich	88	Anhang NA.A (normativ)		119
7.1.2	Anwendungsbereich	88	Ergänzende Vorspannverfahren zu DIN EN 1090-2		119
7.2	Berechnung und Bemessung	90	Anhang NA.B (normativ)		120
7.2.1	Allgemeines	90	Gussteile, Schmiedeteile und Bauteile aus Vergütungsstählen		120
7.2.2	Versagensformen von Anschlüssen mit Hohlprofilen	91	Literatur zu den Kommentaren		123
7.3	Schweißnähte	91			
7.3.1	Tragfähigkeit	91			
7.4	Geschweißte Anschlüsse von KHP-Bauteilen	95			
7.4.1	Allgemeines	95			
2	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Normen und Bescheide im Metallbau	125			
	Karsten Kathage, Christoph Ortman				
1	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)	127	3.1	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen/ allgemeine Bauartgenehmigungen	184
2	Normen und Richtlinien für den Metallbau	179	3.1.1	Sachgebiet Verbundbau	184
3	Bescheide des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt (Stand: Juli 2024)	184	3.1.2	Sachgebiet Metallbau – Werkstoffe	186
			3.1.3	Sachgebiet Metallbau – Metallbauarten	188
			3.1.4	Sachgebiet Gerüste	218
			3.2	Europäische Technische Bewertungen	231
3	Neue Bemessungskonzepte für den Stahlleichtbau	243			
	Bettina Brune, Tim Lemański, Dieter Ungermann				
1	Einführung	247	1.3.2	DIN EN 1993-1-3 und prEN 1993-1-3	253
1.1	Stahlleichtbau	247	1.3.2.1	Einführung	253
1.2	Herstellung von kaltgeformten Stahlprofilen für den Stahlleichtbau	248	1.3.2.2	Methode der wirksamen Breiten zur Berücksichtigung des Plattenbeulens	253
1.2.1	Allgemeines	248	1.3.2.3	Methode der wirksamen Blechdicken zur Berücksichtigung der Forminstabilität	254
1.2.2	Walzprofilierung	248	1.3.2.4	Beanspruchbarkeit von dünnwandigen Querschnitten unter Berücksichtigung der Interaktion von Plattenbeulen und Forminstabilität	255
1.2.3	Abkanten	249	1.3.2.5	Beanspruchbarkeit von kaltgeformten Stahlbauteilen unter Berücksichtigung von Biegeknicken und Biegedrillknicken	255
1.3	Bemessung im Stahlleichtbau	249	1.3.2.6	Beurteilung der Bemessungsverfahren nach DIN EN 1993-1-3 und prEN 1993-1-3	257
1.3.1	Zur Beanspruchbarkeit von kaltgeformten Stahlbauteilen	249			
1.3.1.1	Spezifika und relevante Einflussparameter	249			
1.3.1.2	Plattenbeulen	251			
1.3.1.3	Forminstabilität	251			
1.3.1.4	Globale Instabilitätsformen	252			

XII Inhaltsverzeichnis

1.3.3	AISI – Direct Strength Method	259	2.2.4	Bauteile ohne Perforationen unter Biegebeanspruchung	273
1.3.3.1	Einführung	259	2.2.4.1	Querschnittsbeanspruchbarkeit infolge Plattenbeulen (aus AISI S100-16, F3.2)	273
1.3.3.2	Beanspruchbarkeit bei axialer Druckbeanspruchung	260	2.2.4.2	Querschnittsbeanspruchbarkeit infolge Plattenbeulen mit Berücksichtigung plastischer Reserven (aus AISI S100-16, F3.2.3)	273
1.3.3.3	Beanspruchbarkeit bei Biegebeanspruchung	262	2.2.4.3	Querschnittsbeanspruchbarkeit infolge Forminstabilität (aus AISI S100-16, F4.1)	274
1.3.3.4	Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit bei Druck- und/oder Biegebeanspruchung	263	2.2.4.4	Querschnittsbeanspruchbarkeit infolge Forminstabilität mit Berücksichtigung plastischer Reserven (aus AISI S100-16, F4.3)	274
1.3.3.5	Sicherheitskonzept der Bemessung nach AISI S100-16	263	2.2.4.5	Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Bauteils unter Berücksichtigung von Biegedrillknicken (nach prEN 1993-1-3)	274
1.3.3.6	Beurteilung der Direct Strength Method DSM nach AISI S100-16	265	2.2.4.6	Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Bauteils auf Biegedrillknicken mit Berücksichtigung plastischer Reserven (aus AISI S100-16, F2.4.2)	275
1.3.4	Vergleich der Normenkonzepte – DIN EN 1993-1-3 bzw. prEN 1993-1-3 und Direct Strength Method DSM nach AISI S100-16	265	2.2.5	Bauteile mit Perforationen unter Biegebeanspruchung	275
1.4	Forschungen zur Bemessung im Stahlleichtbau	267	2.2.5.1	Biegemomentenbeanspruchbarkeit infolge Plattenbeulen (aus AISI S100-16, F3.2.2)	275
1.5	Forschungsaktivitäten zum Stahlleichtbau im ECCS TC7 TWG7.5	268	2.2.5.2	Biegemomentenbeanspruchbarkeit infolge Forminstabilität (aus AISI S100-16, F4.2)	276
2	Neues, prEN 1993-1-3 und AISI Direct Strength Method DSM kombinierendes, eurocodekonformes Bemessungskonzept für kaltgeformte, dünnwandige Stahlbauteile	269	2.2.5.3	Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Bauteils infolge Biegedrillknicken (nach prEN 1993-1-3)	276
2.1	Einführung	269	2.2.6	Bauteile mit kombinierter Beanspruchung aus Druck und Biegung	276
2.2	Neue Stabilitätsnachweise für dünnwandige kaltgeformte Bauteile	270	3	Experimentelle Forschungen zur Druckbeanspruchbarkeit von kaltgeformten Stahlbauteilen	277
2.2.1	Grundlagen des neuen kombinierten Bemessungskonzepts	270	3.1	Zielsetzung	277
2.2.1.1	Allgemeines	270	3.2	Experimentelle Untersuchungen	277
2.2.1.2	Anpassungsfaktoren	270	3.2.1	Versuchsprogramm	277
2.2.1.3	Ausnutzung von (teil)plastischen Querschnittsreserven	271	3.2.1.1	Versuchsserien und Querschnitte	277
2.2.2	Bauteile ohne Perforationen unter axialer Druckbeanspruchung	271	3.2.1.2	Werkstoffprüfungen	279
2.2.2.1	Querschnittsbeanspruchbarkeit infolge Plattenbeulen (AISI S100-16, E3.2)	271	3.2.1.3	Numerische Voruntersuchung zur Spezifikation von Prüflängen in Abhängigkeit möglicher Instabilitätsformen	281
2.2.2.2	Querschnittsbeanspruchbarkeit infolge Forminstabilität (aus AISI S100-16, E4.1)	271	3.2.1.4	Prüflängen in Stützendruckversuchen	282
2.2.2.3	Beanspruchbarkeit des Bauteils unter Berücksichtigung von Biegeknicken und Biegedrillknicken (nach prEN 1993-1-3)	272	3.2.1.5	Versuchsmatrix	283
2.2.3	Bauteile mit Perforationen unter axialer Druckbeanspruchung	272	3.2.2	Versuchsaufbau	283
2.2.3.1	Querschnittsbeanspruchbarkeit infolge Plattenbeulen (aus AISI S100-16, E3.2)	272	3.2.3	Messtechnik	284
2.2.3.2	Querschnittsbeanspruchbarkeit infolge Forminstabilität (aus AISI S100-16, E4.2)	273	3.2.4	Messung von geometrischen Imperfektionen	285
2.2.3.3	Beanspruchbarkeit des Bauteils unter Berücksichtigung von Biegeknicken und Biegedrillknicken (nach prEN 1993-1-3)	273	3.2.5	Messung von physikalischen Imperfektionen (Eigenspannungen)	285
			3.2.6	Versuchsdurchführung	286
			3.2.7	Versuchsergebnisse	286
			3.2.7.1	Druckbeanspruchbarkeit von kaltgeformten Bauteilen	286

3.2.7.2	Analyse von Instabilitätsformen	286	5.2.4	Messung von geometrischen Imperfektionen	322
3.2.7.3	Analyse zur Verschiebung der Druckspannungsergebnisse infolge Querschnitts- und Bauteilinstabilitäten	294	5.2.5	Messung von physikalischen Imperfektionen (Eigenspannungen)	322
3.3	Validierung des kombinierten Bemessungsverfahrens	298	5.2.6	Versuchsdurchführung	322
3.3.1	Vergleichsrechnungen für die geprüften Bauteile mit axialer Druckbeanspruchung	298	5.2.7	Versuchsergebnisse	322
3.3.1.1	Grundlagen	298	5.2.7.1	Druckbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung einer zusätzlichen Biegebeanspruchung	322
3.3.1.2	Bemessung von nicht perforierten Stahlbauteilen	299	5.2.7.2	Exemplarische Stabilitätsanalysen	324
3.3.1.3	Bemessung von perforierten Stahlbauteilen	300	5.3	Validierung des kombinierten Bemessungsverfahrens	328
3.3.2	Resümee	303	5.3.1	Vergleichsrechnungen für die geprüften Bauteile bei interaktiver Druck- und Biegebeanspruchung	328
4	Experimentelle Forschungen zu kaltgeformten Stahlbauteilen unter Biegebeanspruchung	303	5.3.1.1	Grundlagen	328
4.1	Zielsetzung	303	5.3.1.2	Bemessung von nicht perforierten Stahlbauteilen	329
4.2	Experimentelle Untersuchungen	304	5.3.1.3	Bemessung von perforierten Stahlbauteilen	330
4.2.1	Versuchsprogramm	304	5.3.2	Resümee	331
4.2.2	Versuchsaufbau	305	6	Numerische Simulationen	333
4.2.2.1	Versuchsaufbau für die Prüfreiheiten A und E (C-, Z-, Ω -förmige Profile)	306	6.1	Zielsetzung	333
4.2.2.2	Versuchsaufbau für die Prüfreiheiten B und C	307	6.2	Numerische Simulationen zum Tragverhalten von kaltgeformten Stahlbauteilen unter Druckbeanspruchung	333
4.2.3	Messtechnik	307	6.2.1	FE-Modellierung der Versuchskörper	333
4.2.4	Messung von geometrischen Imperfektionen	308	6.2.2	Werkstoffmodell	334
4.2.5	Messung von physikalischen Imperfektionen (Eigenspannungen)	308	6.2.3	Imperfektionen	335
4.2.6	Versuchsdurchführung	309	6.2.3.1	Geometrische Imperfektionen	335
4.2.7	Experimentelle Kurzstudie zur Lasteinleitung im „Doppelversuch“	309	6.2.3.2	Physikalische Imperfektionen	336
4.2.8	Versuchsergebnisse	311	6.2.4	Validierung des numerischen Modells	336
4.2.8.1	Biegemomentenbeanspruchbarkeit	311	6.2.4.1	Allgemeines	336
4.2.8.2	Exemplarische Stabilitätsanalyse – Biegedrillknicken	314	6.2.4.2	Einfluss der Kaltverfestigung	337
4.2.8.3	Exemplarische Stabilitätsanalyse – Forminstabilität	315	6.2.5	Modellannahmen für FE-Parameterstudien	337
4.3	Validierung des kombinierten Bemessungsverfahrens	316	6.2.5.1	Allgemeines	337
4.3.1	Vergleichsrechnung für die geprüften Bauteile bei Biegemomentenbeanspruchung (um die Symmetrieachse)	316	6.2.5.2	Geometrische Imperfektionen	338
4.3.1.1	Grundlagen	316	6.2.5.3	Einfluss unterschiedlicher Imperfektionsansätze	339
4.3.1.2	Bemessung von nicht perforierten Stahlbauteilen	317	6.2.6	FE-Parameterstudien zur Druckbeanspruchbarkeit von C- und Ω -förmigen Stahlbauteilen	340
4.3.1.3	Bemessung von perforierten Stahlbauteilen	318	6.3	Numerische Simulationen zum Tragverhalten von kaltgeformten Stahlbauteilen unter Biegebeanspruchung um die Symmetrieachse	341
4.3.2	Resümee	318	6.3.1	Modellierung der Versuchskörper	341
5	Experimentelle Forschungen zu kaltgeformten Stahlbauteilen unter Druck- und Biegebeanspruchung	320	6.3.2	Validierung des numerischen Modells	342
5.1	Zielsetzung	320	6.3.3	Modellannahmen für numerische Parameterstudien an kaltgeformten Stahlbauteilen unter Biegebeanspruchung	344
5.2	Experimentelle Untersuchungen	320	6.3.3.1	Allgemeines	344
5.2.1	Versuchsprogramm	320	6.3.3.2	Geometrische Imperfektionen	345
5.2.2	Versuchsaufbau	320	6.3.4	FE-Parameterstudien zur Biegebeanspruchbarkeit von kaltgeformten Profilen	345
5.2.3	Messtechnik	322	6.4	Resümee	347

XIV Inhaltsverzeichnis

7	Bemessungsbeispiele	347	7.2.5	Querschnittsbeanspruchbarkeit des biegebeanspruchten, kaltgeformten Stahlprofils	353
7.1	Bemessungsbeispiel 1: C-Profil unter axialer Druckbeanspruchung	347	7.2.6	Bauteilbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Gesamtinstabilität	353
7.1.1	Einführung	347	7.3	Bemessungsbeispiel 3: C-Profil unter kombinierte Beanspruchung aus Druckkraft und einaxialer Biegung um die Symmetrieachse	354
7.1.2	Eingangsparameter	348	7.3.1	Einführung	354
7.1.3	Querschnittsbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung des Plattenbeulens	351	7.3.2	Grundlagen der Bemessung	354
7.1.4	Querschnittsbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Forminstabilität des Querschnitts	351	7.3.3	Interaktionsparameter für den Bauteilnachweis nach dem kombinierten Bemessungsverfahren bzw. prEN 1993-1-3	354
7.1.5	Querschnittsbeanspruchbarkeit des druckbeanspruchten, kaltgeformten Profils	351	7.3.4	Bauteilbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Gesamtinstabilität	355
7.1.6	Bauteilbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Gesamtinstabilität	351	8	Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	355
7.2	Bemessungsbeispiel 2: C-Profil unter Biegebeanspruchung	352	8.1	Zusammenfassung und Fazit	355
7.2.1	Einführung	352	8.2	Ausblick	356
7.2.2	Bestimmung der Eingangsparameter	352		Literatur	356
7.2.3	Querschnittsbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung des Plattenbeulens	353			
7.2.4	Querschnittsbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Forminstabilität des Querschnitts	353			
4	Bemessung und Konstruktion von Sandwichelementen – Kommentare zur prEN 1993-7	361			
	Bernd Naujoks, Niklas Ardelmann, Fabian Kischkewitz				
1	Vorbemerkungen	365	6	Dauerhaftigkeit	371
0.3	Einleitung zu EN 1993-7	365	7	Tragwerksberechnung	371
1.1	Anwendungsbereich von EN 1993-7	365	7.1	Berechnungsverfahren	371
1.2	Annahmen	365	7.1.1	Allgemein	371
2	Normative Verweisungen	366	7.1.2	Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie	371
3	Begriffe, Definitionen und Symbole	366	7.1.3	Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie	371
3.1	Begriffe und Definitionen	366	7.2	Grundsätze für Sandwichelemente	371
3.1.1	Geometrische Eigenschaften	366	7.2.1	Sandwichelemente mit ebenen oder leicht profilierten Deckschichten	371
4	Grundlagen für die Tragwerksplanung	367	7.2.2	Sandwichelemente mit einer oder zwei profilierten Deckschichten	372
4.1	Anforderungen	367	7.3	Grundsätze für Querschnittsnachweise	372
4.2	Prinzipien der Bemessung nach Grenzzuständen	367	7.3.1	Allgemein	372
4.3	Basisvariablen	367	7.3.2	Spannungen auf Biegung beanspruchter Sandwichelemente	373
4.3.1	Einwirkungen und Umwelteinflüsse	367	7.3.2.1	Sandwichelemente mit ebenen oder leicht profilierten Deckschichten auf beiden Seiten	373
4.3.1.1	Ständige Einwirkungen	367	7.3.2.2	Sandwichelemente mit einer profilierten Deckschicht und einer ebenen oder leicht profilierten Deckschicht	374
4.3.1.2	Veränderliche Einwirkungen	367	7.3.2.3	Sandwichelemente mit zwei profilierten Deckschichten	374
4.3.1.3	Temperatureinwirkungen	367	7.3.3	Schubspannungen in Sandwichelementen	374
4.3.1.4	Erdbebeneinwirkungen	368	7.3.3.1	Schubspannungen im Kern	374
4.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	368	7.3.3.2	Schubspannung in der Deckschicht oder den Deckschichten	374
4.4.1	Bemessungswerte von Einwirkungen	368	7.3.4	Druckspannung im Kern am Auflager	374
4.4.2	Kombination von Einwirkungen	368			
4.4.3	Bemessungswerte der Werkstoffeigenschaften	369			
5	Materialien	370			
5.1	Allgemeines	370			
5.2	Deckschichtmaterial	370			
5.3	Kernmaterial	370			
5.3.1	Kriechen	370			

7.4	Interaktion von Knitterspannung und Auflagerkräften oder Linienlasten senkrecht zur Spannrichtung	374	9.2.2.1	Schubfestigkeit	383
7.5	Elemente mit Öffnungen	375	9.2.2.2	Widerstand am Auflager	384
7.6	Axial belastete Elemente	375	9.3	Punkt- und Linienlasten	384
7.7	Elemente mit Linien- oder Punktlasten	375	9.3.1	Knittern	384
7.8	Elemente unter Erdbebenbeanspruchung	376	9.3.2	Berechnung der Verformungen	384
7.9	Aussteifende Wirkung von Sandwichelementen zur Stabilisierung der Unterkonstruktion	376	9.4	Kopfverformung des Verbindungsmittels	384
7.10	Elemente unter Torsionsbeanspruchung	376	9.5	Begrenzung der Durchbiegung	384
8	Grenzzustand der Tragfähigkeit	377	10	Anhänge zur DIN EN 1993-7	385
8.1	Allgemein	377		Anhang B (informativ)	
8.2	Querschnittswiderstand von Sandwichelementen	377		Elemente mit Punkt- oder Linienlasten	385
8.2.1	Deckschichten	377	B.1	Zweck dieses Anhangs	385
8.2.1.1	Fließen	377	B.2	Anwendungs- und Gültigkeitsgrenzen	385
8.2.1.2	Knittern	377	B.3	Effektive Breite für Punkt- und Längslinienlasten	385
8.2.1.3	Einfluss von Querdruck auf die Knitterspannung	378	B.3.1	Allgemein	385
8.2.1.4	Schubversagen einer profilierten Deckschicht	378	B.3.2	Effektive Breiten	386
8.2.1.5	Widerstand einer profilierten Deckschicht bei zusätzlicher Beanspruchung infolge lokaler Querlast oder Auflagerkraft	378	B.3.3	Reduzierte effektive Breite aufgrund der Nähe zwischen Lasteinleitung und Längsfugen	386
8.2.2	Kern	378	B.3.4	Mehrere Punktlasten	386
8.2.2.1	Schubfestigkeit	378		Anhang C (informativ)	
8.2.2.2	Widerstand am Auflager	379	C.1	Zweck dieses Anhangs	389
8.3	Punkt- und Linienlasten	380	C.2	Anwendungs- und Gültigkeitsgrenzen	389
8.3.1	Linienlasten senkrecht zur Spannrichtung	380	C.3	Bestimmung der Tragfähigkeit eines Sandwichelements mit Öffnung	389
8.3.2	Punktlasten ohne Abminderung der Knitterspannung	380	C.3.1	Sandwichelemente mit ebenen und leicht profilierten Deckschichten	389
8.3.3	Linien- oder Punktlasten mit Abminderung der Knitterspannung	380	C.3.1.1	Knittern	389
8.4	Globales Knicken eines axial belasteten Elements	380	C.3.1.2	Schubfestigkeit	389
8.5	Bemessung der Verbindungsmittel	381	C.3.2	Sandwichelemente mit profilierten Deckschichten	390
9	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	382	C.3.2.1	Knittern	390
9.1	Allgemein	382	C.3.2.2	Schubfestigkeit	390
9.2	Querschnittswiderstand von Sandwichelementen	382		Anhang D (informativ)	
9.2.1	Deckschichten	382		Versuchsgestützte Bemessung von Sandwichelementen und deren Befestigungselementen unter Erdbebenbelastung	391
9.2.1.1	Fließen	382	D.1	Zweck dieses Anhangs	391
9.2.1.2	Knittern	382	D.2	Anwendungs- und Gültigkeitsgrenzen	391
9.2.1.3	Einfluss von Querdruck auf die Knitterspannung	382	D.3	Bemessung von Sandwichelementen unter Erdbebenbelastung	392
9.2.1.4	Schubversagen einer profilierten Deckschicht	383	D.3.1	Allgemein	392
9.2.1.5	Widerstand einer profilierten Deckschicht bei zusätzlicher Beanspruchung infolge lokaler Querlast oder Auflagerkraft	383	D.3.2	Bemessung der Verbindungsmittel	392
9.2.2	Kern	383	D.3.2.1	In der Ebene (Scherkräfte)	392
			D.3.2.2	Senkrecht zur Ebene (Zugkräfte)	392
			D.4	Bestimmung der Erdbebentragungsfähigkeit der Elemente und deren Befestigungselementen mittels Prüfung	393
			D.4.1	Allgemein	393
			D.4.2	In der Ebene	393
			D.4.3	Senkrecht zur Ebene	394
			D.4.4	Anzahl der Prüfungen	395
			D.4.5	Prüfbericht	395

	Anhang M (informativ)	M.4	Verbindungsmittel	396
	Kennwerte für die Bemessung	M.5	Optionale Herstellerangaben	397
M.1	Zweck dieses Anhangs		Literatur [zur prEN 1993-7]	397
M.2	Anwendungs- und Gültigkeitsgrenzen		Literatur	398
M.3	Werkstoffeigenschaften			
5	Bemessung von Kranbahnen nach E DIN EN 1993-6:2024			399
	Mathias Euler, Ulrike Kuhlmann, Elena Sidorov, Tom Rudolph			
1	Einleitung	5	Einwirkungen auf Kranbahnträger	427
1.1	Notwendigkeit für kranbahnspezifische Bemessungsregeln	5.1	Notwendigkeit zur Überarbeitung von DIN EN 1991-3	427
1.2	Bautechnische Bestimmungen für Kranbahnen	5.2	Änderungen im Norm-Entwurf E DIN EN 1991-3	428
1.2.1	Aktuelle Normensituation	5.2.1	Wesentliche Grundzüge der Überarbeitung	428
1.2.2	Nächste Eurocode-Generation	5.2.2	Klassifizierung der Kraneinwirkungen für eine Ermüdungsbemessung der Kranunterstützung – Anhang A	430
1.3	Sicherheitstechnische Bestimmungen für Kranbahnen	5.2.3	Vereinfachte Berechnung der Einwirkungen ausgewählter Brückenkranen – Anhang B	430
1.4	Ziel des Beitrags	5.2.4	Einwirkungen aus Wandlaufkranen – Anhang C	430
1.5	Kranbahnspezifische Begriffe und Definitionen	5.3	Überblick zu den Einwirkungen auf Kranbahnträger	430
1.6	Abgrenzung von Kran und Kranbahn	5.4	Ständige Einwirkungen	431
1.7	Anwendungsbereich von E DIN EN 1993-6	5.5	Veränderliche Einwirkungen aus Kranbetrieb	431
2	Allgemeine Konstruktionsgrundsätze für Kranbahnen	5.5.1	Vorbemerkung	431
2.1	Vorbemerkung	5.5.2	Begriffe	432
2.2	Querschnitte von Kranbahnträgern	5.5.3	Schwingbeiwerte	433
2.2.1	Gewalzte Querschnitte mit und ohne Verstärkung	5.5.4	Vertikale Einwirkungen (Radlasten)	436
2.2.2	Zusammengesetzte Querschnitte	5.5.5	Massenkräfte infolge Beschleunigungs und Bremsens beim Kranfahren	438
2.3	Auswahl von Kranschienen	5.5.6	Massenkräfte infolge Beschleunigungs und Bremsens beim Katzfahren	440
2.4	Schienenstöße	5.5.7	Horizontalkräfte aus Schräglauf des Krans	441
2.5	Schienenbefestigung	5.5.8	Horizontalkräfte für Einschiene-katzbahnen	445
2.5.1	Überblick	5.5.9	Horizontalkräfte für Kranbahnen von Hängekranen	445
2.5.2	Starre Schienenbefestigung	5.5.10	Prüflasten	445
2.5.3	Halbelastische Schienenbefestigung	5.6	Sonstige veränderliche Einwirkungen	445
2.5.4	Elastische Schienenbefestigung	5.6.1	Nutzlasten	445
2.6	Kranbahnträgerauflager	5.6.2	Temperaturänderungen	446
2.7	Queraussteifung von Kranbahnen	5.6.3	Wind	446
2.8	Längsaussteifung von Kranbahnen	5.6.4	Schnee	447
2.9	Hinweise zu Kranbahnen von Hängekranen und Katzbahnen	5.7	Außergewöhnliche Einwirkungen aus Kranbetrieb	447
3	Sicherheits- und Nachweis-konzept von Eurocode 3	5.7.1	Vorbemerkung	447
3.1	Semi-probabilistisches Sicherheitskonzept	5.7.2	Pufferanprall des Krans	447
3.2	Eingangsgrößen und Nachweisformat	5.7.3	Pufferanprall der Laufkatze	450
3.3	Überleitung zu nachfolgenden Abschnitten	5.7.4	Kippen der Laufkatze	450
4	Werkstoffkennwerte	6	Einwirkungskombinationen	450
4.1	Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitswerte	6.1	Lastgruppen für den Einzelkran	450
4.2	Anforderungen an Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung	6.1.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit	450
4.3	Teilsicherheitsbeiwerte der Beanspruchbarkeit			

6.1.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	453	7.7.2	Weit auseinander liegende Räder	484
6.2	Einwirkungen mehrerer Krane	454	7.7.3	Dicht beieinander liegende Räder	486
6.2.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit	454	7.8	Lokale Spannungen in Schienenschweißnähten	487
6.2.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	456	7.8.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Ausnahme von Ermüdung	487
6.3	Einwirkungskombinationen	456	7.8.2	Bemessungssituation mit Ermüdung	488
6.3.1	Vorbemerkung	456	8	Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ohne Ermüdung)	490
6.3.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit	456	8.1	Überblick	490
6.3.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	458	8.2	Querschnittsnachweise	490
6.4	Beispiel	459	8.2.1	Vorbemerkung	490
6.4.1	Vorbemerkung	459	8.2.2	Schubspannungen	492
6.4.2	Allgemeine Angaben	459	8.2.3	Längsnormalspannungen aus Längskraft, Biegung und Torsion	493
6.4.3	Schwingbeiwerte	460	8.2.4	Zusammengesetzte Spannungen	495
6.4.4	Vertikale Einwirkungen aus Kranbetrieb	461	8.2.5	Maßgebende Nachweisstellen von I-Querschnitten	495
6.4.5	Horizontale Einwirkungen aus Kranbetrieb	462	8.3	Bauteilnachweise gegen Biegedrillknicken	495
6.4.6	Pufferanprall des Krans	464	8.3.1	Vorbemerkung	495
6.4.7	Pufferanprall der Laufkatze	465	8.3.2	Vereinfachter Nachweis des Druckgurts als Druckstab	496
6.4.8	Zusammenstellung	465	8.3.3	Vereinfachter Bauteilnachweis	497
7	Tragwerksberechnung	468	8.3.4	Nachweis nach Theorie II. Ordnung	500
7.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit	468	8.4	Beulnachweise des Stegs infolge konzentrierter Lasteinleitung	500
7.1.1	Ständige und vorübergehende Bemessungssituation	468	8.4.1	Überblick	500
7.1.2	Bemessungssituation mit Ermüdung	469	8.4.2	Methode der wirksamen Breiten	501
7.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	469	8.4.3	Methode der reduzierten Spannungen	503
7.3	Annahmen zum statischen System	469	8.4.4	Flanschinduziertes Stegbeulen	506
7.3.1	Imperfektionen und Exzentrizitäten	469	8.5	Nachweise für Katzbahnträger und Kranbahnträger von Hängekränen	506
7.3.2	Räumliche Tragwerksberechnung	470	8.5.1	Überblick	506
7.3.3	Vereinfachte Tragwerksberechnung bei offenen Querschnitten	471	8.5.2	Plastische Bemessung	506
7.3.4	Vereinfachte Tragwerksberechnung bei Kastenquerschnitten	473	8.6	Bemessung von geklemmten Kranschienen mit A-Form	507
7.3.5	Mitwirkung und Abnutzung der Kranschienen	473	8.7	Weitere Nachweise	507
7.4	Schnittgrößen und Verformungen aus globaler Biegung und Querkraftschub	474	8.8	Beispiel	508
7.4.1	Vorbemerkung	474	8.8.1	Allgemeines	508
7.4.2	Schnittgrößen von Einfeldträgern	474	8.8.2	Querschnittswerte	508
7.4.3	Schnittgrößen von Zwei- und Mehrfeldträgern	476	8.8.3	Beanspruchungen	511
7.4.4	Durchbiegungen	477	8.8.4	Schnittgrößen	511
7.5	Berücksichtigung lokaler Beanspruchungen infolge der Radlasteinleitung	477	8.8.5	Querschnittsklassifizierung	513
7.6	Lokale Spannungen aus Radlasteinleitung in Trägerstegen von Kranbahnträgern für Laufkrane	478	8.8.6	Elastischer Nachweis der Schubspannungen	513
7.6.1	Überblick zur Berücksichtigung der lokalen Spannungen	478	8.8.7	Elastischer Nachweis der Längsspannungen	514
7.6.2	Zentrische Radlasteinleitung	478	8.8.8	Elastischer Nachweis bei zusammengesetzten Spannungen	515
7.6.3	Exzentrische Radlasteinleitung	481	8.8.9	Beulnachweis des Stegs am Auflager	516
7.7	Lokale Spannungen aus Radlasteinleitung in Unterflanschen von Kranbahnträgern für Hängekrane und Einschiene Katzen	484	8.8.10	Beulnachweis des Stegs infolge konzentrierter Lasteinleitung	517
7.7.1	Überblick zur Berücksichtigung der lokalen Spannungen	484	8.8.11	Alternativer Beulnachweis des Stegs infolge konzentrierter Lasteinleitung	519
			8.8.12	Flanschinduziertes Stegbeulen	521
			8.8.13	Biegedrillknicknachweis	521
			8.8.14	Zusammenfassung	526

XVIII Inhaltsverzeichnis

9	Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	527	10.8	Ermüdungsnachweis	560
9.1	Schutzziele	527	10.8.1	Vorbemerkung	560
9.2	Einwirkungskombination	527	10.8.2	Anwendungsbereich	560
9.3	Begrenzung der Verformungen und Verschiebungen	527	10.8.3	Bemessungsphilosophien	560
9.3.1	Vertikale Verformungen	527	10.8.4	Ermüdungseinwirkungen	561
9.3.2	Horizontale Verformungen	528	10.8.5	Ermittlung der Nennspannungen	562
9.4	Gewährleistung elastischen Verhaltens	531	10.8.6	Nennspannungserhöhung durch makrogeometrische Einflüsse	564
9.4.1	Vorbemerkung	531	10.8.7	Nennspannungserhöhung infolge Radlasteinleitung	565
9.4.2	Allgemeiner Fall	532	10.8.8	Nennspannungsschwingbreiten	566
9.4.3	Kranbahnen von Brückenlaufkränen	533	10.8.9	Schadensäquivalenzbeiwert	567
9.4.4	Katzbahnen und Kranbahnen von Hängekränen	533	10.8.10	Voraussetzungen des Ermüdungsnachweises	569
9.5	Begrenzung des Stegatemens	534	10.8.11	Ermüdungsnachweis für die einzelnen Beanspruchungen infolge eines Einzelkrans	571
9.6	Schwingungen des Unterflanschs	534	10.8.12	Ermüdungsnachweis der kombinierten Beanspruchung infolge eines Einzelkrans	572
9.7	Beispiel	535	10.8.13	Ermüdungsnachweis bei zwei oder mehreren Kränen	573
9.7.1	Allgemeines	535	10.9	Kerbfalleinstufung kranbahn-spezifischer Konstruktionsdetails in E DIN EN 1993-1-9	574
9.7.2	Begrenzung der Verformungen	535	10.10	Berechnungsbeispiel	577
9.7.3	Nachweis elastischen Verhaltens	535	10.10.1	Vorbemerkung	577
9.7.4	Begrenzung des Stegatemens	535	10.10.2	Ermüdungseinwirkung	577
9.7.5	Schwingungen des Unterflanschs	536	10.10.3	Teilsicherheitsbeiwerte	577
9.7.6	Zusammenfassung	536	10.10.4	Vereinfachtes Ermüdungslastmodell	577
10	Bemessung bei Ermüdung	537	10.10.5	Ermüdungsnachweis für Schienenbefestigung mittels Klemmplatten	577
10.1	Einführung	537	10.10.6	Ermüdungsnachweis der Oberflansch-Steg-Verbindung	579
10.2	Ermüdung metallischer Werkstoffe	537	10.11	Zusätzliches Berechnungsbeispiel zu aufgeschweißten Flachschienen	584
10.3	Überblick über Bemessungskonzepte	538	10.11.1	Vorgaben	584
10.4	Ermüdungswiderstand für das Nennspannungskonzept	540	10.11.2	Vereinfachtes Ermüdungslastmodell	584
10.4.1	Einflussgrößen des Ermüdungswiderstands	540	10.11.3	Ermittlung der lokalen Druckspannungen aus Radlasteinleitung	584
10.4.2	Beschreibung und Ermittlung der Wöhlerkurve	545	10.11.4	Schadensäquivalente Schwingbreite der lokalen Druckspannungen	584
10.4.3	Konzept der normierten Wöhlerkurven	546	10.11.5	Ermittlung der lokalen Schubspannungen aus Radlasteinleitung	585
10.5	Betriebsfestigkeitsnachweis	547	10.11.6	Ermittlung der globalen Schubspannungen aus Trägerbiegung	585
10.6	Schädigungshypothese	548	10.11.7	Schadenäquivalente Schwingbreiten der Schubspannungen	585
10.6.1	Hypothese der linearen Schadensakkumulation	548	10.11.8	Ermüdungsnachweis	585
10.6.2	Modifizierte Hypothese der linearen Schadensakkumulation	548	11	Zusammenfassung	586
10.6.3	Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite	549		Literatur	586
10.7	Betriebsbeanspruchung von Kränen und Kranbahnen	550			
10.7.1	Vorbemerkung	550			
10.7.2	Beanspruchungskollektive von Kränen	551			
10.7.3	Einstufung von Kränen nach DIN EN 13001-3-1	553			
10.7.4	Bisherige Einstufung von Kranbahnen	554			
10.7.5	Neue Einstufung von Kranbahnen	555			

6	Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken	597
	Daniel Pak, Max Spannaus, Max Gündel, Benno Hoffmeister, Christina Radlbeck, Dorina Siebert, Andreas Fellhauer, Reinhold Gitter	
1	Einleitung	601
2	Werkstoffwahl	602
2.1	Einführung	602
2.2	Mechanismen zur Festigkeitssteigerung	603
2.2.1	Allgemeines	603
2.2.2	Legierungsverfestigung	603
2.2.3	Kaltverfestigung/Verformungsverfestigung	604
2.2.4	Aushärtung/Ausscheidungshärtung	604
2.3	Legierungen	605
2.3.1	Hauptlegierungselemente	605
2.3.2	Bezeichnung von Knetlegierungen	605
2.3.3	Bezeichnung von Gusslegierungen	606
2.3.4	Nomenklatur in europäischen Aluminiumnormen	606
2.4	Zustände	607
2.4.1	Zustände von kaltverfestigten Legierungen (Hxx, O, F)	607
2.4.2	Zustände von aushärtbaren Legierungen (Txx)	607
2.4.3	Sonstige Zustände (F, W)	608
2.5	Werkstoffe in DIN EN 1999	608
2.5.1	Auswahl von Legierungen und Zuständen	608
2.5.2	Festigkeitsbereiche	609
2.5.3	Werkstoffe für den konstruktiven Ingenieurbau	610
2.6	Erläuterungen zu werkstofflichen Regelungen in DIN EN 1999	610
2.6.1	Allgemeines	610
2.6.2	Knetlegierungen	610
2.6.3	Gusslegierungen	613
2.6.4	Inhalt der Werkstofftabellen nach DIN EN 1999-1-1 – exemplarisch für Blechmaterial	615
2.7	Materialwahl	616
2.7.1	Bleche, Platten	616
2.7.2	Strangpressprofile	617
2.7.3	Guss- und -Schmiedestücke	620
2.8	Entwurfsbeeinflussende physikalische Eigenschaften	621
2.8.1	Allgemein wichtige Eigenschaften	621
2.8.2	Einfluss von Wärme	621
2.9	Nachhaltigkeit des Werkstoffs Aluminium	622
2.10	Fazit zur Werkstoffwahl	623
3	Querschnittsklassifizierung	623
3.1	Vorgehen nach DIN EN 1999-1-1	623
3.1.1	Überblick	623
3.1.2	Querschnittsklassen	623
3.1.3	Schlankheitsparameter β	625
3.1.4	Zuteilung der Querschnittsklassen	628
3.1.5	Wirksamer Querschnitt	629
3.1.6	Bedeutung und Folgen der Klassifizierung	630
3.2	Beispiel: ausgesteifter Kastenquerschnitt	630
3.2.1	Einführung zum Beispiel	630
3.2.2	Querschnitt und Werkstoffkennwerte	631
3.2.3	Querschnittsklassifizierung für Normalkraft N	632
3.2.4	Querschnittsklassifizierung für Biegemoment M_y	634
3.2.5	Wirksame Querschnitte	636
3.3	Fazit	636
4	Bauteilnachweise und Stabilitätsnachweise	637
4.1	Bauteilnachweise	637
4.2	Stabilitätsnachweise	638
4.3	Weitere Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	638
4.4	Gegenüberstellung DIN EN 1999-1-1 und DIN EN 1993-1-1	638
4.4.1	Grundlagen	638
4.4.2	Bauteilnachweise	639
4.4.3	Stabilitätsnachweise	646
4.5	Beispiel: Bauteilnachweis und Stabilitätsnachweis Hohlprofil	653
4.5.1	Bauteilnachweise	653
4.5.2	Stabilitätsnachweise	658
5	Verbindungen	662
5.1	Geschweißte Verbindungen	662
5.1.1	Allgemeines	662
5.1.2	Schweißverbindungen nach Eurocode 9	663
5.1.2.1	Allgemeines	663
5.1.2.2	Bemessung von Stumpfnähten	665
5.1.2.3	Bemessung von Kehlnähten	666
5.1.2.4	Tragfähigkeitsnachweis für die WEZ	668
5.1.2.5	Beispiel: Kehlnahtanschluss	670
5.1.2.6	Biegung um die Schweißnahtachse von einseitigen Kehl- und Stumpfnähten	672

XX Inhaltsverzeichnis

5.1.2.7	Bemessung von Rührreißschweißungen	672	5.2.4	Bemessung von Verbindungen mit Vollnieten	681
5.1.2.8	Schweißbolzen, die mittels Lichtbogenbolzenschweißung mit Spitzenzündung angeschlossen werden	673	5.2.5	Spezielle Verbindungen	681
5.2	Schrauben- und Nietverbindungen	674	5.2.6	Bemessung von Verbindungen mit gewindeformenden Schrauben	684
5.2.1	Allgemeines	674	5.2.7	Bemessung von Verbindungen mit Blindnieten	685
5.2.2	Werkstoffe, Durchmesser und Abstände	674		Literatur	686
5.2.3	Bemessung von Verbindungen mit Schrauben	676			
7	Hintergründe zu den Neuerungen in prEN 1991-1-4:2024 für die Berechnung windinduzierter Reaktionen schlanker Bauwerke 691				
	Rüdiger Höffer, Norbert Hölcher, Susanne Diburg, Francesca Lupi, Ika Kurniawati, Ulf Winkelmann, Cornelia Kalender				
1	Gesichtspunkte der Fortschreibung und Inhalte der prEN 1991-1-4:2024	693	4	Windinduzierte Quer- oder Torsionsanregung von Bauwerken	707
2	Windmodelle	694	4.1	Allgemeines	707
2.1	Charakteristische Windgeschwindigkeiten – Extremwertanalyse mit ProGumbel	694	4.2	Querwindbelastung von Schornsteinen durch Windturbulenz	707
2.2	Windprofile	699	4.3	Regelungen für die Wirbelerregung	708
3	Windlasten bei böigem Wind	701	4.4	Verfahren 1 in EN 1991-1-4/NA:2010-12	708
3.1	Davenport's Konzept der äquivalenten statischen Windlast	701	4.5	Fortschreibung zum Wirbelerregungsmodell gem. prEN 1991-1-4:2024 mit Nutzung der NDP	710
3.2	Böengeschwindigkeitsdruck	702	4.6	Vergleich der Verfahren 1 und 2 von EN 1991-1-4:2005	715
3.3	Vergleich der Festlegungen des Böengeschwindigkeitsdrucks in der DIN EN 1991-1-4:2010-12 mit NA und der prEN 1991-1-4:2024	704	4.7	Anwendung der neuen aerodynamischen Kurve	719
3.4	Experimentelle Verifizierung des linearisierten Ansatzes	704	5	Einsatz und Anwendungen von numerischen Simulationen für schlanke Tragwerke	721
3.5	Windlastparameter für Windkräfte an Schornsteinen	706	6	Empfehlungen für den zukünftigen Nationalen Anhang	725
			7	Danksagung	726
				Literatur	726
8	Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-3 Schneelasten – neue Entwicklungen 729				
	Volker Cornelius, Bodo Wichura				
1	Entwicklung der Schneelastvorschriften	731	2.2.2	Modellierung der Schneedichte	739
2	Schneelast auf dem Boden	731	2.2.2.1	Empirische Regressionsmodelle	739
2.1	Meteorologische Grundlagen zur Schneelast	731	2.2.2.2	Das semi-empirische Multi-Ebenen-Modell Δ .Snow	740
2.1.1	Definitionen der Schneelast	731	2.2.3	Auswahl geeigneter Modelle für die Analyse von charakteristischen Werten der Schneelast am Boden	740
2.1.2	Schneedeckeneigenschaften und ihre messtechnische Erfassung	732	2.2.4	Interpolation der Schneemessdaten mit dem Modell SNOW4	741
2.1.3	Verfügbarkeit von Schneemessdaten	734	2.2.5	Extremwertanalysen	741
2.2	Analyse von charakteristischen Werten der Schneelast am Boden	736	2.3	Raster der charakteristischen Werte der Schneelast am Boden	744
2.2.1	Flächendeckende Bestimmung von Schneehöhen und Wasseräquivalenten	736			

3	Schneelast auf dem Dach	746	3.6.6	Kuppeln nach FprEN 1991-1-3:2024-05	767
3.1	Was ist neu an der FprEN 1991-1-3:2024-05 – Zusammenfassung	746	3.6.7	Dächer mit Höhengsprüngen und Dächer in der Nähe höherer Bauwerke nach FprEN 1991-1-3:2024-05	768
3.2	Lastanordnung nach FprEN 1991-1-3:2024-05	747	3.7	Örtliche Effekte nach FprEN 1991-1-3:2024-05	774
3.3	Bestimmung von Schneelasten nach FprEN 1991-1-3:2024-05	747	3.7.1	Örtliche Nachweise nach FprEN 1991-1-3:2024-05	774
3.4	Umgebungsbeiwert C_e nach FprEN 1991-1-3:2024-05	748	3.7.2	Schneeverwehungen an Aufbauten auf flache Dächer nach FprEN 1991-1-3:2024-05	774
3.5	Temperaturbeiwert C_t nach FprEN 1991-1-3:2024-05	753	3.7.3	Verwehungen an Aufkantungungen nach FprEN 1991-1-3:2024-05	775
3.6	Formbeiwerte für Schneelasten nach FprEN 1991-1-3:2024-05	753	3.7.4	Schneeüberhang an Dachtraufen nach FprEN 1991-1-3:2024-05	775
3.6.1	Anwendungsgebiet	753	3.7.5	Schneelasten auf Schneefangvorrichtungen und andere Dachaufbauten nach FprEN 1991-1-3:2024-05	776
3.6.2	Flache Dächer nach FprEN 1991-1-3:2024-05	753	3.7.6	Schneeverwehungen am Kreuzungs- punkt von Satteldächern nach FprEN 1991-1-3:2024-05	777
3.6.3	Geneigte Dächer nach FprEN 1991-1-3:2024-05	756		Literatur	778
3.6.4	Scheddächer nach FprEN 1991-1-3:2024-05	763			
3.6.5	Tonnendächer nach FprEN 1991-1-3:2024-05	765			
9	Künstliche Intelligenz im Stahlbau	781			
	Andreas Müller, Andreas Taras, Michael A. Kraus				
1	Einleitung: Motivation und Aufbau des Beitrags	783	3.2	Conditional Variational Autoencoder für den Entwurf von Hohlprofil- konstruktionen	795
2	Künstliche Intelligenz – Einführung, aktuelle Trends und Entwicklungen	783	3.3	Materialparameteridentifikation via physik-informierte neuronale Netze für eine Lochscheibe mit von-Mises-Plastizität	797
2.1	Überblick und Einführung in die künstliche Intelligenz	783	3.4	LLMs für die baustatische Modellierung in Dlubal RFEM	797
2.2	Maschinelles Lernen/Machine Learning	787	3.5	Erkennung von Ermüdungsrissen in Knotenblechen mittels Convolutional Neural Networks	799
2.3	Tiefes Lernen/Deep Learning	787	3.6	Deep Learning: Konkretes Anwendungsbeispiel aus aktuellen Forschungsergebnissen	802
2.4	Grundarchitekturen neuronaler Netze: Feed Forward NN und Convolutional NN	788	3.6.1	Konzeptionelle Idee	802
2.5	Generative künstliche Intelligenz und conditional Variational Autoencoder	790	3.6.2	Datengrundlage	802
2.6	Physik-informierte/Domänen-informierte künstliche Intelligenz	791	3.6.3	Implementierung	804
2.7	Aktuelle Trends im Bauwesen und Stahlbau	792	3.6.4	Verifizierung auf Querschnitts- und Bauteilebene	808
3	Anwendungsbeispiele zum Einsatz von künstlicher Intelligenz im Stahlbau	792	3.6.5	Zusammenfassung	813
3.1	Deep Neural Networks für die Vorhersage von Profil-Bauteilwiderständen	792	4	Resümee und Ausblick	814
				Literatur	814

XXII Inhaltsverzeichnis

10	3D-Druck	817		
	Jörg Lange, Thilo Feucht			
1	Einleitung	819	4	Besonderheiten des WAAM
2	WAAM	821	4.1	Eingangsparameter
2.1	Additive Fertigung allgemein	821	4.1.1	Drahtelektrode
2.2	MSG-Schweißen	821	4.1.2	Drahtdurchmesser
2.3	Aufbau einer WAAM-Anlage	822	4.1.3	Schutzgas
2.4	Materialeigenschaften	823	4.1.4	Gasdurchflussmenge
2.5	Slicing	827	4.1.5	Geometrie der Gasdüse
2.6	Touchsensing	827	4.1.6	Schweißgerät
2.7	Fertigungsstrategien	828	4.1.7	Schweißbrennerführende Maschine
2.8	Schweißsimulation	829	4.2	Prozessparameter
3	Anwendungsgebiete/Beispiele im Bauwesen	831	4.2.1	Stromstärke/Drahtvorschub
3.1	MX3D-Brücke, Amsterdam	831	4.2.2	Spannung/Lichtbogenlänge
3.2	AM Bridge, Darmstadt	831	4.2.3	Schweißprozessregelung
3.3	Optimierungsprozess für Anschlusselemente	832	4.2.4	Schweißgeschwindigkeit
3.3.1	Ermittlung der Randbedingungen	832	4.3	Thermische Randbedingungen
3.3.2	Designraum	832	4.3.1	Zwischenlagentemperatur
3.3.3	Numerische Topologieoptimierung	832	4.3.2	Kühlung
3.3.4	Traglastanalyse	833	4.3.3	Streckenenergie
3.3.5	Bewertung und Auswahl	833	4.4	Geometrische Randbedingungen
3.3.6	Nachbildung, Vereinfachung, Parametrisierung	834	4.4.1	Orientierung des Schweißbrenners
3.3.7	Parameterstudie	835	4.4.2	Schweißposition und Schweißrichtung
3.3.8	Fazit	835	4.4.3	Freies Drahtelektrodenende bzw. Stickout
3.4	WAAM auf dünnen Blechen	835	4.4.4	Schweißnahtanfang, -mitte, -ende
3.5	Knoten für Raumtragwerke	837	4.5	Thermisch-induzierte Eigenspannungen und Verformungen
3.6	Stützen mit außergewöhnlichen Geometrien	838	4.5.1	Thermisch-induzierte Eigenspannungen
3.7	Takenaka/MX3D-Knoten	840	4.5.2	Thermisch-induzierte Verformungen
3.8	Rohre nach Ariza	840	4.5.3	Zusammenfassende Schlüsse
3.9	Querkraftanschluss nach Holzinger	840	5	Zusammenfassung
3.10	Modulare WAAM-Brücke	841		Literatur
				856
	Stichwortverzeichnis	859		