

Inhaltsübersicht

- 1 **Stahlbaunormen – DIN EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau** 1
Ulrike Kuhlmann, Fabian Jörg
- 2 **Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Normen und Bescheide im Metallbau** 87
Karsten Kathage, Christoph Ortmann
- 3 **Drucktragfähigkeit von Winkelprofilen mit Erfassung baupraktischer geschraubter bzw. geschweißter Anschlüsse und zutreffendes Bemessungsmodell** 201
Harald Unterweger, Markus Kettler, Paul Reinhold Zauchner
- 4 **Anwendung numerischer Methoden bei der Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Die neue prEN 1993-1-14:2023** 239
Markus Knobloch, Faranak Faghghi, Mehmed Numanović, Anna-Lena Bours
- 5 **Erweiterte Konzepte der Betriebsfestigkeit** 307
Markus Knobloch, Stefanie Röscher, Simon Steinhoff, Marc Seidel, Marion Rauch
- 6 **Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-11:2024** 375
Heinz Friedrich, Thomas Misiek, José J. Oliveira Pedro, Daniel C. Ruff
- 7 **Neue Entwicklungen in prEN 1993-2:2023** 451
Ulrike Kuhlmann, Lisa-Marie Gölz, José J. Oliveira Pedro, Wolfram Schleicher, Michael Schmidmeier, Ralf Schubart, Ulrike Spiegelhalder
- 8 **Ermittlung der Beanspruchungen in Stahlbrücken beim Heißeinbau des Fahrbahnbelags** 523
Gerhard Hanswille, Ingbert Mangerig
- 9 **Neue Entwicklungen in prEN 1993-5:2023** 581
Cécile Prüm, Jacobs Colin, Dirk Jan Peters, Alexander Enders
- 10 **Tragstrukturen für Windenergieanlagen** 645
Peter Schaumann, Manuela Böhm, Sebastian Kelma, Christopher Schierl

VERANKERUNGS-SET

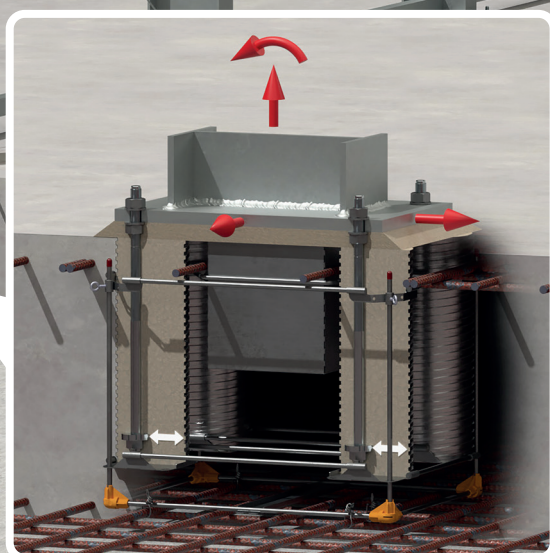
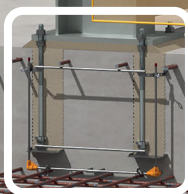
TOLERANZPROBLEME SICHER GELÖST

Tragwerksplanung | Kostenfreie Software zur Bemessung und Dokumentation bis Erdbebenkategorie C2.



Betonbau | Einbauset für einfachen Einbau und sichere Fixierung an der Bewehrung während des Betonierens.

Stahlbau | Das Verankerungs-Set bewältigt mühelos bis zu +/- 60 mm Toleranz zwischen Stahl- und Betonkonstruktion.



Zulassungs-Nr.
Z-21.8-2113
für seismische
Beanspruchung
erteilt.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XIX

1	Stahlbaunormen – DIN EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau	1
	Ulrike Kuhlmann, Fabian Jörg	
1	Allgemeines	8
1.1	Anwendungsbereich	8
1.1.1	Anwendungsbereich von Eurocode 3	8
1.1.2	Anwendungsbereich von Eurocode 3 Teil 1-1	9
1.2	Normative Verweisungen	10
1.2.1	Allgemeine normative Verweisungen	10
1.2.2	Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustählen	10
1.3	Annahmen	10
1.4	Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	10
1.5	Begriffe	10
1.5.1	Tragwerk	10
1.5.2	Teiltragwerke	10
1.5.3	Art des Tragwerks	10
1.5.4	Tragwerksberechnung	11
1.5.5	Systemlänge	11
1.5.6	Knicklänge	11
1.5.7	mitttragende Breite	11
1.5.8	Kapazitätsbemessung	11
1.5.9	Bauteil mit konstantem Querschnitt	11
1.6	Formelzeichen	11
1.7	Definition der Bauteilachsen	16
2	Grundlagen für die Tragwerksplanung	16
2.1	Anforderungen	16
2.1.1	Grundlegende Anforderungen	16
2.1.2	Behandlung der Zuverlässigkeit	17
2.1.3	Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit	17
2.1.3.1	Allgemeines	17
2.1.3.2	Nutzungsdauer bei Hochbauten	17
2.1.3.3	Dauerhaftigkeit von Hochbauten	17
2.2	Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	17
2.3	Basisvariable	18
2.3.1	Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	18
2.3.2	Werkstoff- und Produkteigenschaften	18
2.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	18
2.4.1	Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften	18
2.4.2	Bemessungswerte der geometrischen Größen	18
2.4.3	Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit	18
2.4.4	Nachweis der Lagesicherheit (EQU)	19
2.5	Bemessung mit Hilfe von Versuchen	19
3	Werkstoffe	19
3.1	Allgemeines	19
3.2	Baustahl	20
3.2.1	Werkstoffeigenschaften	20
3.2.2	Anforderungen an die Duktilität	22
3.2.3	Bruchzähigkeit	22
3.2.4	Eigenschaften in Dickenrichtung	22
3.2.5	Toleranzen	23
3.2.6	Bemessungswerte der Materialkonstanten	23
3.3	Verbindungsmittel	23
3.3.1	Schrauben, Bolzen, Nieten	23
3.3.2	Schweißwerkstoffe	23
3.4	Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau	23
4	Dauerhaftigkeit	23
5	Tragwerksberechnung	24
5.1	Statische Systeme	24
5.1.1	Grundlegende Annahmen	24
5.1.2	Berechnungsmodelle für Anschlüsse	25
5.1.3	Bauwerks-Boden-Interaktion	25
5.2	Untersuchung von Gesamttragwerken	25
5.2.1	Einflüsse der Tragwerksverformung	25
5.2.2	Stabilität von Tragwerken	27
5.3	Imperfektionen	29
5.3.1	Grundlagen	29
5.3.2	Imperfektionen für die Tragwerksberechnung	29
5.3.3	Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme	33
5.3.4	Bauteilimperfektionen	34
5.4	Berechnungsmethoden	35
5.4.1	Allgemeines	35
5.4.2	Elastische Tragwerksberechnung	35
5.4.3	Plastische Tragwerksberechnung	36
5.5	Klassifizierung von Querschnitten	36
5.5.1	Grundlagen	36
5.5.2	Klassifizierung	36
5.6	Anforderungen an Querschnittsformen und Aussteifungen am Ort der Fließgelenkbildung	37
6	Grenzzustände der Tragfähigkeit	41
6.1	Allgemeines	41
6.2	Beanspruchbarkeit von Querschnitten	41

X Inhaltsverzeichnis

6.2.1	Allgemeines	41	6.3.2.3	Biegedrillknicklinien gewalzter Querschnitte oder gleichartiger geschweißter Querschnitte	57
6.2.2	Querschnittswerte	43	6.3.2.4	Vereinfachtes Bemessungsverfahren für Träger mit Biegedrillknickbehinderungen im Hochbau	58
6.2.2.1	Bruttoquerschnitte	43	6.3.3	Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile	59
6.2.2.2	Nettofläche	43	6.3.4	Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile	61
6.2.2.3	Mittragende Breite	43	6.3.5	Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken	63
6.2.2.4	Wirksame Querschnittswerte bei Querschnitten mit Klasse-3-Stegen und Klasse-1- oder Klasse-2-Gurten bei Momentenbeanspruchung M_y	43	6.3.5.1	Allgemeines	63
6.2.2.5	Wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4	44	6.3.5.2	Stützungen an Fließgelenken mit Rotationsanforderungen	63
6.2.3	Zugbeanspruchung	44	6.3.5.3	Stabilitätsnachweis für Tragwerksabschnitte zwischen seitlichen Stützungen	64
6.2.4	Druckbeanspruchung	45	6.4	Mehrteilige Bauteile	64
6.2.5	Biegebeanspruchung	45	6.4.1	Allgemeines	64
6.2.6	Querkraftbeanspruchung	45	6.4.2	Gitterstützen	67
6.2.7	Torsionsbeanspruchung	47	6.4.2.1	Tragfähigkeit von Elementen von Gitterstützen	67
6.2.8	Beanspruchung aus Biegung und Querkraft	48	6.4.2.2	Konstruktive Durchbildung	67
6.2.9	Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft	48	6.4.3	Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen)	67
6.2.9.1	Querschnitte der Klasse 1 und 2	48	6.4.3.1	Tragfähigkeit von Komponenten von Stützen mit Bindeblechen	67
6.2.9.2	Querschnitte der Klasse 3	49	6.4.3.2	Konstruktive Durchbildung	68
6.2.9.3	Querschnitte der Klasse 4	49	6.4.4	Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung	68
6.2.10	Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft	50	7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	69
6.3	Stabilitätsnachweise für Bauteile	51	7.1	Allgemeines	69
6.3.1	Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck	51	7.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den Hochbau	69
6.3.1.1	Biegeknicken	51	7.2.1	Vertikale Durchbiegung	69
6.3.1.2	Knicklinien	51	7.2.2	Horizontale Verformungen	69
6.3.1.3	Schlankheitsgrad für Biegeknicken	51	7.2.3	Dynamische Einflüsse	69
6.3.1.4	Schlankheitsgrad für Drillknicken oder Biegedrillknicken	54		Literatur zu den Kommentaren	85
6.3.2	Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse	54			
6.3.2.1	Biegedrillknicken	54			
6.3.2.2	Knicklinien für das Biegedrillknicken – Allgemeiner Fall	56			
2	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Normen und Bescheide im Metallbau	87			
	Karsten Kathage, Christoph Ortmann				
1	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)	89	3.1	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen/ allgemeine Bauartgenehmigungen	146
2	Normen und Richtlinien für den Metallbau	141	3.1.1	Sachgebiet Verbundbau	146
3	Bescheide des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt (Stand: Juli 2023)	146	3.1.2	Sachgebiet Metallbau – Werkstoffe	148
			3.1.3	Sachgebiet Metallbau – Metallbauarten	150
			3.1.4	Sachgebiet Gerüste	178
			3.2	Europäische Technische Bewertungen	190

3	Drucktragfähigkeit von Winkelprofilen mit Erfassung baupraktischer geschraubter bzw. geschweißter Anschlüsse und zutreffendes Bemessungsmodell 201		
	Harald Unterweger, Markus Kettler, Paul Reinhold Zauchner		
1	Einleitung und Inhaltsübersicht des Beitrags 205	5.2	Voraussetzungen für die Anwendung des Berechnungsmodells 224
2	Drucktragfähigkeit – allgemein 205	5.3	Modifikation des Berechnungs- bzw. Bemessungsmodells bei geschweißtem Winkelanschluss 224
2.1	Drucktragfähigkeit für Grenzfälle der Anschlusssteifigkeit 205	5.3.1	Modifizierte Exzentrizitäten 224
2.2	Zusammenhang zwischen Tragfähigkeit und Anschlusssteifigkeit 207	5.3.2	Modifizierte Kalibrierungsfaktoren $f_{Di,w}$ 224
3	Darstellung des Bemessungsmodells für geschraubte Anschlüsse sowie Voraussetzungen und Anwendungsgrenzen 208	5.3.3	Modifizierte Federsteifigkeiten $c_{\phi,in}$ und $c_{\phi,out}$ 224
3.1	Bemessungsmodell für geschraubte Anschlüsse im Detail 208	5.3.4	Sonderfälle von geschweißten Anschlüssen 227
3.2	Geschraubte Anschlüsse mit starrem Verhalten in der Anschlussebene 213	5.4	Treffsicherheit der Federsteifigkeit $c_{\phi1,out}$ für geschweißte Winkelanschlüsse 227
3.3	Sonderfälle von geschraubten Anschlüssen 213	5.5	Treffsicherheit des Bemessungsmodells gegenüber Versuchsergebnissen – Detail 1a geschweißt 227
3.4	Ermittlung der zusätzlichen Schraubenbeanspruchung aus der Einspannwirkung am Anschluss 214	5.6	Umfangreiche numerische Parameterstudie zur Validierung der Treffsicherheit des Bemessungsmodells – Anschlüsse geschweißt 228
3.5	Modellbildung in der globalen Systemberechnung 214	6	Anwendungsbeispiele für das neue Bemessungsmodell anhand von Detail 2a und 3a mit beidseitig geschraubten Anschlüssen 231
3.6	Voraussetzungen für die Anwendung des Bemessungsmodells 214	6.1	Allgemeines 231
4	Hintergründe zum Bemessungsmodell und Validierung 215	6.2	Anwendungsbeispiel 1 – Trägersteganschluss (Detail 3a) 232
4.1	Schritt 1 – Nachrechnung der Laborversuche 215	6.2.1	Abmessungen und erforderliche Parameter 232
4.2	Schritt 2 – Ermittlung von zutreffenden Anschlusssteifigkeiten für die untersuchten Anschlusstypen 216	6.2.2	Drehfedersteifigkeit $c_{\phi,3,in}$ in der Anschlussebene 232
4.3	Schritt 3 – Kalibrierung und Validierung des 1D-Bemessungsmodells durch FEM-Berechnungen 216	6.2.3	Drehfedersteifigkeit $c_{\phi,3,out}$ aus der Anschlussebene 232
4.4	Hintergrund zum Bemessungsmodell – allgemein 217	6.2.4	Basisdaten und Ergebnis der 1D-Traglastberechnung nach Theorie II. Ordnung 233
4.5	Treffsicherheit und Anpassung für Anschlussdetail 1a und 1b 218	6.2.5	Traglastvergleich mit EN 1993-1-1 233
4.6	Treffsicherheit und Anpassung für Detail 2a 220	6.3	Anwendungsbeispiel 2 – Trägergurtanschluss (Detail 2a) 234
4.7	Treffsicherheit und Anpassung für Detail 2*a 221	6.3.1	Abmessungen und erforderliche Parameter 234
4.8	Treffsicherheit und Anpassung für Detail 3a 222	6.3.2	Drehfedersteifigkeit $c_{\phi,2,in}$ in der Anschlussebene 234
4.9	Erweiterung auf Anschlüsse mit zusätzlichem Zugstabanschluss 222	6.3.3	Drehfedersteifigkeit $c_{\phi,2,out}$ aus der Anschlussebene 234
4.10	Zusammenfassung der notwendigen Anpassungsfaktoren f_{Di} für das Bemessungsmodell 224	6.3.4	Basisdaten und Ergebnis der 1D-Traglastberechnung nach Theorie II. Ordnung 234
5	Erweiterung des Bemessungsmodells auf beidseitig geschweißte Anschlüsse von Winkelprofilen 224	6.3.5	Traglastvergleich mit EN 1993-1-1, Anhang BB mit modifizierter Schlankheit 235
5.1	Abgedeckte Ausführungsformen 224	6.3.6	Drucktragfähigkeit bei Anschluss des Winkels im Viertelpunkt des I-Trägers 235
		7	Auswirkung des neuen Bemessungsmodells auf die Ingenieurpraxis 235
			Literatur 237

4	Anwendung numerischer Methoden bei der Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Die neue prEN 1993-1-14:2023	239
	Markus Knobloch, Faranak Faghihi, Mehmed Numanović, Anna-Lena Bours	
1	Einleitung	243
2	Grundlagen für die Tragwerksplanung und Modellierung	244
2.1	Allgemeines	244
2.2	Normentext aus prEN 1993-1-14, 4(5)–(13)	244
2.3	Bemessungsverfahren	245
3	Modellierung	247
3.1	Allgemeines	247
3.2	Geometrische Modelle	247
3.2.1	Geometrische Modellierung und Diskretisierung	247
3.2.1.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.1.1(1)–(4)	247
3.2.1.2	Allgemeine Regeln	247
3.2.1.3	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.1.1(7)–(9)	248
3.2.1.4	Weitere Überlegungen	248
3.2.2	Modellierung der Elemente	249
3.2.2.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.1.2(3)–(4), 5.1.3(3), 5.1.4(1)–(2), 5.1.5(3)	249
3.2.2.2	Modelle mit Balken-, Platten-, Schalen- und Volumenelementen	249
3.3	Auflager- und Lastmodelle	251
3.3.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.2.1(1), (2), (4), (7), 5.2.2(1), (2)	251
3.3.2	Modellierung der Auflager und Lasten	252
3.4	Werkstoffmodelle	253
3.4.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.3.1(1), (2), (8), (9), (13)	253
3.4.2	Allgemeines	253
3.4.3	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.3.2(1-2)	254
3.4.4	Werkstoffmodelle für warmgewalzte Stähle	255
3.4.5	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.3.3(1), (2), 5.3.4(1), (2)	256
3.4.6	Werkstoffmodelle für kaltgeformten Stahl, hochfesten Stahl und nichtrostende Stähle	257
3.5	Imperfektionen	258
3.5.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.4.1(1)–(3), (8)	258
3.5.2	Allgemeines	258
3.5.3	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.4.2(1)	258
3.5.4	Geometrische Imperfektionen	259
3.5.5	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.4.3(3)–(5), (7)	260
3.5.6	Eigenspannungen	261
3.5.7	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.4.4(1), (5)–(7)	262
3.5.8	Geometrische Ersatzimperfektionen	263
3.5.9	Normentext aus prEN 1993-1-14, 5.5(1)–(3), (6)	264
3.5.10	Imperfektionskombinationen	264
4	Berechnung	265
4.1	Allgemeines	265
4.2	Lösungseinstellungen	265
4.3	Normentext aus prEN 1993-1-14, 6.1.1(1), (3)–(5), (7)	266
4.4	Tragwerksberechnung	267
4.5	Normentext aus prEN 1993-1-14, 6.1.2(1)	268
4.6	Berechnungsverfahren	268
5	Validierung und Verifizierung	269
5.1	Allgemeines	269
5.2	Normentext aus prEN 1993-1-14, 7.1(1)–(7)	270
5.3	Weitere Überlegungen	271
5.4	Normentext aus prEN 1993-1-14, 7.2(1)–(4)	272
5.5	Verifizierung	272
5.6	Normentext aus prEN 1993-1-14, 7.3(1), (2), (9), (10)	273
5.7	Validierung	274
6	Bemessungsmethodik	275
6.1	Allgemeines	275
6.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit	275
6.2.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.1(1), (2)	275
6.2.2	Allgemeines	275
6.2.3	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.2(1), (2)	276
6.2.4	Elastischer Grenzzustand – Spannungsnachweis	276
6.2.5	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.3(1)–(5), (8)	276
6.2.6	Nachweis der Beanspruchbarkeit nach Plastizitätstheorie	276
6.2.7	Stabilitätsnachweis	277
6.2.7.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.4.1(1), (2)	277
6.2.7.2	Bemessungsverfahren	277
6.2.7.3	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.4.2(1)–(7), (9)	277
6.2.7.4	Bemessung durch LA- oder MNA- und LBA-Berechnung	278
6.2.7.5	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.4.3(1)–(5)	279
6.2.7.6	Bemessung durch GNIA-Berechnung in Kombination mit LBA-Berechnung	279

6.2.7.7	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.4.4(1), (2) 280	8.5	Normentext aus prEN 1993-1-14, B4(1)–(6) 289
6.2.7.8	Bemessung durch GNIA-Berechnung in Kombination mit Querschnittsnachweis 280	8.6	Berücksichtigung von Spannungskonzentrationen bei der Bemessung 290
6.2.7.9	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.4.5(1)–(10), (12), (14) 280	9	Grenzwerte für maximale Dehnungen für Balkenelemente 291
6.2.7.10	Bemessung durch GMNIA-Berechnung 281	9.1	Allgemeines 291
6.2.8	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.5 (1)–(4) 281	9.2	Hintergrund 291
6.2.9	Verfahren zur Auswertung der materiell nichtlinearen Berechnung 282	9.3	Motivation 291
6.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 282	9.4	Anwendung 291
6.3.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.3 (1)–(7) 282	9.5	Normentext aus prEN 1993-1-14, C3(1)–(4) 292
6.3.2	Weitere Informationen 283	10	Dokumentation 294
7	Modellfaktor γ_{FE} 283	10.1	Normentext aus prEN 1993-1-14, 9(1), (2) 294
7.1	Hintergrund und Anwendung 283	11	Berechnungsbeispiele 294
7.2	Berechnung 283	11.1	Einleitung 294
7.3	Normentext aus prEN 1993-1-14, A.3(1)–(5), (7) 284	11.2	Schubbeulen von Blechträgern 294
7.4	Normentext aus prEN 1993-1-14, 7.3 (3)–(8) 285	11.2.1	Allgemeines 294
7.5	Nachweise der Beanspruchbarkeit mit dem Modellfaktor 285	11.2.2	Experimentelle Versuche 294
7.6	Normentext aus prEN 1993-1-14, 8.1.3(7), 8.1.4.5(13), 8.1.5(5) 286	11.2.3	Entwicklung des numerischen Modells 295
8	Spannungskonzentrationen 286	11.2.4	Last- und Auflagerbedingungen 296
8.1	Hintergrund und Anwendung 286	11.2.5	Werkstoffmodell 297
8.2	Ursachen von Spannungskonzentrationen Hinweise zur Modellierung 286	11.2.6	Imperfektionen 297
8.3	Normentext aus prEN 1993-1-14, B3(1)–(3), 8.1.2(3)–(6) 287	11.2.7	Berechnungsverfahren 297
8.4	Trennung von Spannungskonzentration und numerischen Singularitäten 288	11.2.8	Validierung des numerischen Modells anhand von experimentellen Versuchen 297
		11.3	Zweifeldträger unter Biegung, Drucknormalkraft und Torsion 299
5	Erweiterte Konzepte der Betriebsfestigkeit 307 Markus Knobloch, Stefanie Röscher, Simon Steinhoff, Marc Seidel, Marion Rauch	11.3.1	Experimentelle Untersuchungen 299
1	Einleitung 311	11.3.2	Numerisches Modell 301
2	Betriebsfestigkeit 311	11.3.3	Validierung 302
2.1	Ermüdung metallischer Werkstoffe 311	12	Zusammenfassung und Ausblick 303
2.2	Struktur- und bruchmechanische Werkstoffkennwerte 313		Literatur 304
2.3	Kerbwirkung 314	2.6	Wöhlerlinie zur Beschreibung des Ermüdungswiderstands 317
2.4	Betriebsbeanspruchung 314	2.7	Konzepte der Betriebsfestigkeitsberechnung 319
2.5	Einflüsse auf die Betriebsfestigkeit 315	3	Spannungsbasierte Nachweiskonzepte zur Lebensdauerprognose 320
2.5.1	Werkstoff 316	3.1	Überblick 320
2.5.2	Mittelspannung und Eigenspannungen 316	3.2	Kerbspannungskonzept 322
2.5.3	Bauteileinfluss und Größeneffekt 317	3.2.1	Grundgedanke des Kerbspannungskonzepts 322
2.5.4	Weitere Einflüsse auf die Betriebsfestigkeit 317	3.2.2	Nachweisformat und Berechnungsablauf 322
		3.2.3	Anwendungsgrenzen und Hinweise 325

XIV Inhaltsverzeichnis

4	Erweiterte Konzepte für die Lebensdauerprognose geschweißter und ungeschweißter Bauteile 326	5.1	Zusammengesetzte Beanspruchungen 351
4.1	Allgemeines 326	5.2	Schädigungsbewertung über Interaktionsbedingungen 353
4.2	Kerbdehnungskonzept 328	5.3	Schädigungsbewertung über kritische Ebenen für nichtproportionale Beanspruchungen 354
4.2.1	Grundgedanke des Kerbdehnungskonzepts 328	6	Anwendungsbeispiele 355
4.2.2	Nachweisformat und Berechnungsablauf 328	6.1	Lebensdauerberechnung mit dem Kerbspannungskonzept für einen Kreuzstoß 355
4.2.3	Anwendungsmöglichkeiten und Erweiterungen 333	6.1.1	Einleitung 355
4.2.3.1	Abschätzmethoden für zyklisches Werkstoffverhalten 333	6.1.2	Geometrie 356
4.2.3.2	Größeneinfluss 336	6.1.3	FE-Modell 356
4.2.3.3	Rauheit 336	6.1.4	Kerbformzahlen 357
4.2.3.4	Schädigungsparameter 337	6.1.5	Beanspruchung 357
4.2.3.5	Eigenspannungen 339	6.1.6	Ermüdungsnachweis 357
4.2.4	Anwendung für geschweißte Bauteile bzw. Strukturen 339	6.2	Berechnung der Anrisslebensdauer mit dem Kerbdehnungskonzept für einen ausgeklinkten Träger 358
4.2.5	Versagenskriterium 339	6.2.1	Einleitung 358
4.2.6	Einführungsbeispiel 340	6.2.2	Eingangswerte, Geometrie und Überblick über die Ermüdungsversuche 358
4.3	Rissfortschrittskonzept 341	6.2.3	Berechnung der Anrisslebensdauer 359
4.3.1	Grundgedanke des Rissfortschrittskonzepts 341	6.3	Lebensdauerberechnung mit dem Zwei-Phasen-Modell für eine Anschweißbuchse 361
4.3.2	Nachweisformat und Berechnungsablauf 342	6.3.1	Einleitung 361
4.3.3	Anwendungsmöglichkeiten und Erweiterungen 345	6.3.2	Eingangswerte und Geometrie 362
4.3.3.1	Rissfortschrittsgesetze 345	6.3.3	FE-Modell und Idealisierung der Schweißnahtgeometrie 363
4.3.3.2	Rissschließeffekt und Bauteilgröße 346	6.3.4	Bestimmung der Anrisslebensdauer 364
4.3.3.3	Eigenspannungen 346	6.3.5	Berechnung der Rissfortschrittsdauer 366
4.3.3.4	Numerische Ermittlung der Spannungsintensität 346	6.3.6	Vergleich der Berechnung mit Versuchsergebnissen 368
4.3.3.5	Numerische Rissfortschrittsberechnungen mittels X-FEM 347	6.3.7	Ableitung einer charakteristischen Ermüdungswiderstandskurve (Bemessungswöhlerlinie) 368
4.3.4	Versagenskriterium 348	7	Zusammenfassung und Ausblick 369
4.3.5	Einführungsbeispiel 348		Literatur 370
4.4	Gesamtlebensdauerprognose mit dem Zwei-Phasen-Modell 350		
5	Mehraxiale Spannungszustände 351		
6	Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-11:2024 375		
	Heinz Friedrich, Thomas Misiek, José J. Oliveira Pedro, Daniel C. Ruff		
1	Einleitung 377	2.6	Dauerhaftigkeit 397
1.1	Zu diesem Beitrag 377	2.7	Tragwerksberechnung 398
1.2	Neue Normengeneration 377	2.8	Grenzzustände der Tragfähigkeit 400
1.3	Zusammenfassung der Änderungen 378	2.9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 414
1.4	Anmerkungen zum Abdruck von prEN 1993-1-11 378	2.10	Ermüdung 415
2	Vorstellung und Kommentierung von prEN 1993-1-11:2024 379	2.11	Versuche 420
2.1	Anwendungsbereich 381	3	Vorstellung und Kommentierung der Anhänge von prEN 1993-1-11:2024 421
2.2	Normative Verweise 382	3.1	Anhang A 421
2.3	Begriffe, Definitionen und Formelzeichen 382	3.2	Anhang B 436
2.4	Grundlagen der Tragwerksplanung 387	3.3	Anhang C 442
2.5	Werkstoffe 393		Literatur 447

7	Neue Entwicklungen in prEN 1993-2:2023	451		
	Ulrike Kuhlmann, Lisa-Marie Gözl, José J. Oliveira Pedro, Wolfram Schleicher, Michael Schmidmeier, Ralf Schubart, Ulrike Spiegelhalter			
1	Einleitung	453	7.2	Neuer informativer Anhang F
1.1	Bemessungsregeln bei Stahlbrücken	453	7.3	Ermüdungswiderstand
1.2	Überblick zu der Entwicklung und den Änderungen in prEN 1993-2	453	7.4	Schweißnahtnachbehandlung
1.2.1	Entwicklungsprozess	453	8	Anhang A – Bemessung von Hängern bei Stabbogenbrücken
1.2.2	Übersicht über die Änderungen	454	8.1	Anwendungsbereich
1.3	Gegenstand und Verständnis des Beitrags	456	8.2	Material und Querschnitte für Zugglieder
2	Grundlagen für die Tragwerksplanung	456	8.3	Bemessungsempfehlungen für Hängeranschlüsse
2.1	Grundlegende Anforderungen	456	8.4	Bemessungsregeln für Rundstahlhänger
2.2	Tragwerkszuverlässigkeit und Robustheit	456	8.5	Bemessungsregeln für Flachstahlhänger
2.3	Nutzungsdauer bei Brücken	457	8.6	Bemessungsregeln für Seilhänger
2.4	Dauerhaftigkeit, Basisvariablen und Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	457	8.7	Weitergehende Empfehlungen zur Bewertung schwingungsanfälliger Konstruktionen
2.5	Teilsicherheitsbeiwerte für die Ermüdungsnachweise und Versuchsgestützte Bemessung	458	9	Anhang B – Ergänzende Regeln für die Bemessung von im Grundriss gekrümmten Hauptträgern mit steifer Lagerung des Druckflansches
3	Tragwerksberechnung	458	10	Anhang C – Empfehlungen für die bauliche Durchbildung von Stahlfahrbahnen
4	Teilsicherheitsbeiwerte und Querschnittsbeanspruchbarkeit	460	10.1	Allgemeines
4.1	Teilsicherheitsbeiwerte und Allgemeines	460	10.2	Straßenbrücken – Allgemeines
4.2	Zug-, Druck- und Biegebeanspruchung	461	10.3	Straßenbrücken – Fahrbahnblech
4.3	Querkraftbeanspruchung, Torsion und weitere Beanspruchungen	462	10.4	Straßenbrücken – Fahrbahn-längssteifen
5	Stabilitätsnachweise für Bauteile	464	10.5	Straßenbrücken – Querträger
5.1	Biegedrillknicknachweise nach EN 1993-1-1:2022, Abs. 8.3.2	464	10.6	Eisenbahnbrücken – Allgemeines
5.2	Vereinfachtes Verfahren für seitliches Ausknicken und Biegedrillknicken von Bauteilen nach Abs. 8.3.5	466	10.7	Eisenbahnbrücken – Blechdicke und Maße
6	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	468	10.8	Eisenbahnbrücken – Ausbildung der Durchdringung Längssteife/ Querträger
6.1	Allgemeine Regeln und Spannungsbegrenzung	468	10.9	Eisenbahnbrücken – Schweißnahtvorbereitung und Prüfungen
6.2	Weitere Anforderungen	470	10.10	Eisenbahnbrücken – Berechnungen
7	Ermüdung	471	10.11	Toleranzen für Halbzeuge und für die Fertigung
7.1	Ermüdungsnachweis	471	11	Zusammenfassung und Ausblick
				Literatur

8	Ermittlung der Beanspruchungen in Stahlbrücken beim Heißeinbau des Fahrbahnbelags	523		
	Gerhard Hanswille, Ingbert Mangerig			
1	Einleitung	525	5.2	System 1 – Deckblech der Stahlfahrbahn 551
2	Systeme für Fahrbahndecken und Einbaubreiten der Fertiger	525	5.3	System 2 – Längsrippen 553
3	Messungen an Bauwerken und Schlussfolgerungen für eine rechnerische Erfassung der Beanspruchungen aus dem Aus- und Einbau des Belags	527	5.4	System 3 – Querträger 554
4	Numerische Simulation der Temperaturfelder aus klimatischen Temperatureinwirkungen in Kombination mit den Temperaturfeldern aus dem Heißeinbau des Belags	530	5.5	System 4 – Haupttragwerk 556
4.1	Allgemeines	530	6	Besondere Aspekte bei der Ermittlung der Beanspruchungen aus klimatischen Temperatureinwirkungen in Kombination mit dem Ausbau des Asphaltbelags 560
4.2	Grundlagen der Temperaturfeldberechnung bei klimatischen Temperatureinwirkungen und beim Heißeinbau des Belags	532	6.1	Allgemeines 560
4.3	Parameteruntersuchungen zu den klimatischen Temperatureinwirkungen	536	6.2	Haupttragwerkswirkung 560
4.3.1	Allgemeines	536	6.3	Querrahmen 562
4.3.2	Temperaturverläufe in den Längsrippen von orthotropen Fahrbahnplatten infolge klimatischer Einwirkungen	536	7	Einwirkungen aus Arbeitsbetrieb beim Ein- und Ausbau des Asphalts 562
4.3.3	Parameteruntersuchungen für die Deckbleche von Stahlbrücken	539	8	Einwirkungskombinationen in der vorübergehenden Bemessungssituation des Ein- und Ausbaus des Belags 563
4.4	Temperatureinwirkungen aus dem Heißeinbau des Belags	541	9	Teilsicherheitsbeiwerte für die Auswirkungen aus dem Heißeinbau des Belags 567
4.4.1	Allgemeines	541	10	Berechnungsbeispiel 567
4.4.2	Trapezsteifen von orthotropen Fahrbahnplatten	543	10.1	Allgemeines 567
4.4.3	Temperaturfelder aus dem Asphaltieren und aus klimatischen Temperatureinwirkungen in den Deckblechen	545	10.2	Globale Beanspruchungen aus dem Heißeinbau des Asphalts 568
4.4.4	Baupraktische Berechnung der Deckblechtemperaturen aus dem Heißeinbau des Belags	548	10.3	Lokale Beanspruchungen in der orthotropen Fahrbahnplatte aus dem Heißeinbau des Asphalts 569
5	Vereinfachte Temperaturfelder und Modelle zur Berechnung der Beanspruchungen beim Heißeinbau des Asphaltbelags bei Stahlbrücken	549	10.4	Spannungen im Deckblech aus dem Heißeinbau des Belags infolge lokaler und globaler Beanspruchungen 570
5.1	Allgemeines	549	10.5	Klimatische Temperatureinwirkungen 571
			10.6	Bewertung der Berechnungsergebnisse für das Beispiel Stahlbrücke 572
			11	Erfahrungen mit dem Heißeinbau des Belags bei ausgeführten Bauwerken 573
			12	Zusammenfassung, Danksagung und Ausblick 577
				Literatur 577
9	Neue Entwicklungen in prEN 1993-5:2023	581		
	Cécile Prüm, Jacobs Colin, Dirk Jan Peters, Alexander Enders			
1	Einführung	585	1.4.3	Harmonisierung der Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit 586
1.1	Aktueller Stand	585	1.4.4	Schiefstellungen 586
1.2	Nächste Generation	585	1.4.5	Querschnittsklassifizierung 586
1.3	Überarbeitungsprozess	585	1.4.6	Beanspruchbarkeit von Z- und U-Bohlen auf Biegung 586
1.4	Zusammenfassung der wesentlichen Änderungen	585	1.4.7	Schubverbindungen von U-Bohlen 586
1.4.1	Neuer Aufbau	585	1.4.8	Nachweis der Füllelemente 586
1.4.2	Bruchzähigkeit der Spundwände	585		

1.4.9	Beanspruchbarkeit von H-förmigen Tragbohlen auf Biegung und Normalkraft 587	4.4	Bemessung von H-förmigen Bohlen als Tragelement 607
1.4.10	Anhang D (normativ): Referenz-Gleichungen für die Bemessung von dünnwandigen Rohrpfählen mit Klasse-3- und -4-Querschnitt unter Biegebeanspruchung 587	4.4.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 607
1.4.11	Eigenschaften von semi-kompakten Rohrpfählen nach Anhang E (normativ) 587	4.4.2	Kommentar zur Bemessung von H-förmigen Bohlen als Tragelement 614
1.4.12	Werkstoffeigenschaften für Stahlelemente von Ankern und Zugpfählen 587	4.4.2.1	Allgemeines 614
1.4.13	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Ankern und Zugpfählen 587	4.4.2.2	Beanspruchbarkeit auf Biegung und Normalkraft 614
1.4.14	Beanspruchbarkeit von Ankern und Zugpfählen 587	4.4.2.3	Biegeknecken und Biegedrillknicken von H-förmigen Tragbohlen 616
2	Bruchzähigkeit der Spundwände 587	4.4.3	Kombinierte Wirkung aus globaler Beanspruchung in Längsrichtung und lokaler Querbeanspruchung im Flansch von H-förmigen Tragbohlen 620
2.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 587	4.5	Bemessung von Füllbohlen mit FEM 620
2.2	Vereinfachter Bruchzähigkeitsnachweis 588	4.5.1	Neuer Normtext aus DIN EN 1993-5:2023 620
2.3	Erläuterungen 589	4.5.2	Allgemeines zu Füllelementen 621
3	Tragwerksmodellierung 590	4.5.3	Allgemeines zur Sicherheit der Nachweise mit numerischer Simulation 622
3.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 590	4.5.4	Nachweis der Füllelemente laut prEN 1993-5:2023 623
3.2	Hintergrund zu den Änderungen 594	4.6	Bemessung von Rohrprofilen 624
3.2.1	Tragwerksberechnung zur Bemessung von Stahlspundwänden im Grenzzustand der Tragfähigkeit 594	5	Verankerungen und Zugpfähle 634
3.2.2	Imperfektionen 594	5.1	Materialeigenschaften für Stahlelemente, die für Anker und Zugpfähle verwendet werden 634
4	Festigkeitsnachweise nach prEN 1993-5:2023 599	5.1.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 634
4.1	Querschnittsklassifizierung 599	5.1.2	Allgemeines 634
4.1.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 599	5.1.3	Duktilität 635
4.1.2	Kommentar zur Querschnittsklassifizierung 600	5.2	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Ankern und Zugpfählen 635
4.2	Beanspruchbarkeit von Z- und U-Bohlen auf Biegung nach prEN 1993-5:2023 Abs. 8.3.1 und Anhang E 601	5.2.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 635
4.2.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 601	5.2.2	Diskussion der Änderungen 636
4.2.2	Normtext zur Beanspruchbarkeit von Z- und U-Bohlen auf Biegung nach prEN 1993-5 Anhang E 603	5.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit – Anker und Zugpfähle 636
4.2.3	Kommentar zur Beanspruchbarkeit von Spundwandbohlen auf Biegung 603	5.3.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 636
4.3	Schubverbindungen von U-Bohlen 605	5.3.2	Diskussion der Änderungen 638
4.3.1	Neuer Normtext aus prEN 1993-5:2023 605	5.3.3	Kommentar zu Abschnitt 8.11 (3) 639
4.3.2	Empfohlene Werte für Abminderungsfaktoren β_B und β_D zur Berücksichtigung des Grades der Schubkraftübertragung 606	5.3.4	Kommentar zu Abschnitt 8.11.2 – Bemessungswiderstand von Zuggliedern für Rückverankerungen 639
4.3.3	Verschweißte Schubverbindungen 606	5.3.5	Unterschiede in der Definition für Streckgrenzwert und den Teilsicherheitsbeiwerten 639
4.3.4	Nachweis von verpressten Schubverbindungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 607	5.3.6	Kalibrierfaktor k_t 640
		5.3.7	Kommentar zum Absatz 8.11.2 (2) – k_b -Faktor 641
		5.3.8	Anker und Zugpfähle, die einer Nachweisprüfung unterliegen 642
			Literatur 642

XVIII Inhaltsverzeichnis

10	Tragstrukturen für Windenergieanlagen	645	
	Peter Schaumann, Manuela Böhm, Sebastian Kelma, Christopher Schierl		
1	Einleitung	647	
1.1	Bedeutung der Windenergie	647	
1.2	Normenentwicklung	648	
1.2.1	Onshore-Windenergie	648	
1.2.2	Offshore-Windenergie	650	
2	Übersicht über Varianten der Tragstruktur	650	
3	Einwirkungen	652	
3.1	Allgemeines	652	
3.2	Einwirkungen aus Wind	653	
3.2.1	Allgemeines	653	
3.2.2	Windzonen	654	
3.2.3	Windbedingungen nach DIN EN IEC 61400-1	655	
3.2.4	Wirbelregte Querschwingungen	656	
3.3	Sonstige Einwirkungen	657	
3.3.1	Imperfektionen	657	
3.3.2	Temperatur	657	
3.3.3	Erdbeben	657	
3.3.4	Eis	657	
3.4	Lastarten	658	
3.5	Lastfälle	658	
3.6	Böenreaktion	660	
4	Schnittgrößenermittlung	662	
4.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit	662	
4.2	Grenzzustand der Ermüdung	665	
4.3	Sicherheitskonzept	667	
5	Bemessung	668	
5.1	Eigenfrequenzen	668	
5.2	Schalenbeulen	669	
5.2.1	Allgemeines	669	
5.2.2	Ideale Beullast	669	
5.2.3	Reale Beullast	671	
5.2.4	Nachweis mit dem spannungsbasierten Verfahren	671	
5.2.5	Nachweis nach dem MNA/LBA Konzept	672	
5.2.6	Nachweis mit GMNIA	672	
5.2.7	Türöffnungen	673	
5.3	Ermüdungsnachweis	674	
5.3.1	Allgemeines	674	
5.3.2	Nennspannungskonzept	674	
5.3.3	Strukturspannungskonzept	676	
5.3.4	Örtliche Konzepte	677	
5.3.5	Rissfortschrittskonzept	677	
5.3.6	Schadensakkumulation	677	
5.3.7	Anwendung für Türme von Windenergieanlagen	678	
5.4	Ringflansche	680	
5.4.1	Tragfähigkeit	680	
5.4.2	Ermüdung	682	
5.4.3	Einfluss von Imperfektionen	683	
5.4.4	Einfluss von Vorspannkraft	685	
6	Fertigung und Montage	686	
7	Offshore-Windenergie	690	
7.1	Aktuelle Entwicklung	690	
7.2	Tragstrukturen für Offshore-WEA	692	
8	Forschung	697	
8.1	Allgemeines	697	
8.2	Groutverbindungen	698	
8.3	Schraubenverbindungen	698	
8.4	Schweißnähte	699	
8.5	Stabilität von Suction Buckets	701	
9	Zusammenfassung und Ausblick	701	
10	Formelzeichen	702	
	Literatur	704	

Stichwortverzeichnis 711