
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 Stahlbau** 87
Karsten Kathage, Christoph Ortmann
 - 3 **Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-2:2020** 203
Markus Knobloch, Sara Uszball, Lukas Schaper, Martin Mensinger
 - 4 **Brandschutztechnische Bemessung von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton** 279
Peter Schaumann, Maximilian Mund, Inka Pehrs
 - 5 **Einwirkungen im Brandfall nach Eurocode 1** 345
Jochen Zehfuß
 - 6 **Reaktive Brandschutzsysteme** 367
Sascha Hothan, Dustin Häßler
 - 7 **Praxisbeispiele zu erfolgreichen Brandschutzlösungen** 401
Jochen Zehfuß, Jörg Sothmann, Georg Spennes, Jens Upmeyer, Michael Winkler, Olga Molochnikova
 - 8 **Bewertung und Instandsetzung von Altstahlkonstruktionen** 427
Richard Stroetmann, Lars Sieber, Andreas Taras, Thomas Riedel
unter Mitarbeit von Jürgen Anders, Gerd Kuscher
 - 9 **Nachweis von Einzel- und mehrteiligen Stäben aus gewalzten gleichschenkligen Winkelprofilen** 527
André Beyer, Marios-Zois Bezas, Jean-Pierre Jaspert, Ioannis Vayas
 - 10 **Aktuelle Modelle und Methoden zur Windlastermittlung** 577
Rüdiger Höffer, Klaus Thiele, Francesca Lupi, Ulf Winkelmann, Wolfgang Hubert, Cornelia Kalender, Roland Wüchner,
Cong Chen
 - 11 **Türme und Maste** 641
Frank Kemper, Markus Feldmann, Mirko Friehe, Klaus Thiele, Dieter Ungermann, Alena Patschin, Bettina Brune
- Stichwortverzeichnis 709

Inhaltsverzeichnis

Vorwort III

Autor:innenverzeichnis XXI

1 Stahlbaunormen

DIN EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau 1

Ulrike Kuhlmann, Fabian Jörg

Anmerkung zum Abdruck von DIN EN 1993-1-1	5	2.2	Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	17
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau	5	2.3	Basisvariable	18
Nationales Vorwort	5	2.3.1	Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	18
Hintergrund des Eurocode-Programms	5	2.3.2	Werkstoff- und Produkteigenschaften	18
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes	6	2.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	18
Nationale Fassungen der Eurocodes	6	2.4.1	Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften	18
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAZ)	7	2.4.2	Bemessungswerte der geometrischen Größen	18
Besondere Hinweise zu EN 1993-1	7	2.4.3	Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit	18
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1	7	2.4.4	Nachweis der Lagesicherheit (EQU)	19
1 Allgemeines	8	2.5	Bemessung mit Hilfe von Versuchen	19
1.1 Anwendungsbereich	8	3	Werkstoffe	19
1.1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3	8	3.1	Allgemeines	19
1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3 Teil 1-1	9	3.2	Baustahl	20
1.2 Normative Verweisungen	10	3.2.1	Werkstoffeigenschaften	20
1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen	10	3.2.2	Anforderungen an die Duktilität	22
1.2.2 Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustählen	10	3.2.3	Bruchzähigkeit	22
1.3 Annahmen	10	3.2.4	Eigenschaften in Dickenrichtung	22
1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	10	3.2.5	Toleranzen	23
1.5 Begriffe	10	3.2.6	Bemessungswerte der Materialkonstanten	23
1.5.1 Tragwerk	10	3.3	Verbindungsmittel	23
1.5.2 Teiltragwerke	10	3.3.1	Schrauben, Bolzen, Nieten	23
1.5.3 Art des Tragwerks	10	3.3.2	Schweißwerkstoffe	23
1.5.4 Tragwerksberechnung	11	3.4	Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau	23
1.5.5 Systemlänge	11	4	Dauerhaftigkeit	23
1.5.6 Knicklänge	11	5	Tragwerksberechnung	24
1.5.7 mittragende Breite	11	5.1	Statische Systeme	24
1.5.8 Kapazitätsbemessung	11	5.1.1	Grundlegende Annahmen	24
1.5.9 Bauteil mit konstantem Querschnitt	11	5.1.2	Berechnungsmodelle für Anschlüsse	25
1.6 Formelzeichen	11	5.1.3	Bauwerks-Boden-Interaktion	25
1.7 Definition der Bauteilachsen	15	5.2	Untersuchung von Gesamttragwerken	25
2 Grundlagen für die Tragwerksplanung	16	5.2.1	Einflüsse der Tragwerksverformung	25
2.1 Anforderungen	16	5.2.2	Stabilität von Tragwerken	27
2.1.1 Grundlegende Anforderungen	16	5.3	Imperfektionen	29
2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit	17	5.3.1	Grundlagen	29
2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit	17	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
 - 6.2.1 Allgemeines 41
 - 6.2.2 Querschnittswerte 43
 - 6.2.3 Zugbeanspruchung 44
 - 6.2.4 Druckbeanspruchung 45
 - 6.2.5 Biegebeanspruchung 45
 - 6.2.6 Querkraftbeanspruchung 45
 - 6.2.7 Torsionsbeanspruchung 47
 - 6.2.8 Beanspruchung aus Biegung und Querkraft 48
 - 6.2.9 Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft 48
 - 6.2.10 Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft 50
 - 6.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile 51
 - 6.3.1 Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck 51
 - 6.3.2 Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse 54
 - 6.3.3 Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile 59
 - 6.3.4 Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile 61
 - 6.3.5 Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken 63
 - 6.4 Mehrteilige Bauteile 64
 - 6.4.1 Allgemeines 64
 - 6.4.2 Gitterstützen 67
 - 6.4.3 Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen) 67
 - 6.4.4 Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung 68
- 7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 69
 - 7.1 Allgemeines 69
 - 7.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den Hochbau 69
 - 7.2.1 Vertikale Durchbiegung 69
 - 7.2.2 Horizontale Verformungen 69
 - 7.2.3 Dynamische Einflüsse 69
- Anhang A (informativ) 70
 - Verfahren 1: Interaktionsbeiwerte k_{ij} für die Interaktionsformel in 6.3.3(4) 70
- Anhang B (informativ) 72
 - Verfahren 2: Interaktionsbeiwerte k_{ij} für die Interaktionsformel in 6.3.3(4) 72
- Anhang AB (informativ) 73
 - Zusätzliche Bemessungsregeln 73
 - AB.1 Statische Berechnung unter Berücksichtigung von Werkstoff-Nichtlinearitäten 73
 - AB.2 Vereinfachte Belastungsanordnung für durchlaufende Decken 73
- Anhang BB (informativ) 73
 - Knicken von Bauteilen in Tragwerken des Hochbaus 73
 - BB.1 Biegeknicken von Bauteilen von Fachwerken oder Verbänden 73
 - BB.1.1 Allgemeines 73
 - BB.1.2 Gitterstäbe aus Winkelprofilen 74
 - BB.1.3 Bauteile mit Hohlprofilen 75
 - BB.2 Kontinuierliche seitliche Abstützungen 75
 - BB.2.1 Kontinuierliche seitliche Stützung 75
 - BB.2.2 Kontinuierliche Drehbehinderung 75
 - BB.3 Größtabstände bei Abstützmaßnahmen für Bauteile mit Fließgelenken gegen Knicken aus der Ebene 77
 - BB.3.1 Gleichförmige Bauteile aus Walzprofilen oder vergleichbaren geschweißten I-Profilen 77
 - BB.3.2 Voutenförmige Bauteile, die aus Walzprofilen oder vergleichbaren, geschweißten I-Profilen bestehen 79
 - BB.3.3 Modifikationsfaktor für den Momentenverlauf 80
- Anhang C (normativ) 82
 - Auswahl der Ausführungsklasse 82
 - C.1 Allgemeines 82
 - C.1.1 Grundanforderungen 82
 - C.1.2 Ausführungsklasse 82
 - C.2 Auswahlverfahren 83
 - C.2.1 Maßgebende Faktoren 83
 - C.2.2 Auswahl 83
- Literatur zu den Kommentaren 85

2	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Normen und Bescheide im Stahlbau	87			
	Karsten Kathage, Christoph Ortmann				
1	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)	89	3.1.1	Verzeichnis Sachgebiet Verbundbau	144
			3.1.2	Verzeichnis Sachgebiet Metallbau – Werkstoffe	146
2	Normen und Richtlinien für den Stahlbau	138	3.1.3	Verzeichnis Sachgebiet Metallbau und Metallbauarten	149
3	Bescheide des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt (Stand: November 2021)	144	3.1.4	Verzeichnis Sachgebiet Gerüste	179
			3.2	Europäische Technische Bewertungen	191
3.1	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen/ allgemeine Bauartgenehmigungen	144			
3	Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-2:2020	203			
	Markus Knobloch, Sara Uszball, Lukas Schaper, Martin Mensinger				
1	Einleitung	205	4.3.4	Kombinierte Druck- und Biegebeanspruchung bei Bauteilen mit Querschnitten der Klasse 4	229
1.1	Zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlkonstruktionen	205	4.4	Aktuelle Forschungen	231
1.2	Entstehung der neuen Normengeneration	207	4.4.1	Stahlbauteile unter Druck und Biegung	231
1.3	Überblick über die Änderungen	209	4.4.1.1	Grundlage der Untersuchungen	231
2	Werkstoffeigenschaften	210	4.4.1.2	Anpassung der Abminderungsfaktoren für Biegeknicken und Biegedrillknicken	231
2.1	Neuer Normtext	210	4.4.1.3	Anpassung der Interaktionsfaktoren	233
2.2	Hintergrund der Änderung	212	4.4.1.4	Statistische Auswertung	235
2.2.1	Allgemeines	212	4.4.1.5	Fazit	235
2.2.2	Erweiterung der Anwendungsgrenzen	212	4.4.2	Biegedrillknicken als Knicken des Druckgurts	235
3	Emissivität feuerverzinkter Stahlbauteile	215	4.4.2.1	Einleitung	235
3.1	Neuer Normtext	215	4.4.2.2	Methodik	236
3.2	Hintergrund der Überarbeitung	215	4.4.2.3	Überarbeitung des Verfahrens	237
3.2.1	Allgemeines	215	4.4.2.4	Statistische Auswertung	238
3.2.2	Emissivität	215	4.4.2.5	Fazit	239
3.2.3	Feuerverzinkung	216	5	Erweiterte Bemessungsverfahren	239
3.2.4	Emissivität feuerverzinkter Stahlkonstruktionen	216	5.1	Neuer Normtext	239
3.2.5	Versuche an der TUM	216	5.2	Brandbemessung mit erweiterten Bemessungsverfahren	240
3.2.5.1	Kleinbrandversuche	216	6	Anhang C Nichtrostender Stahl	242
3.2.5.2	Großbrandversuche	217	6.1	Neuer Normtext	242
3.2.6	Zweistufiges Emissionsgrad-Konzept	218	6.2	Allgemeines	251
3.2.7	Nachweisführung feuerverzinkter Stahlbauteile im Brandfall	218	6.3	Thermische Werkstoffeigenschaften	252
4	Vereinfachte Bemessungsverfahren	219	6.3.1	Wärmeleitfähigkeit von nichtrostendem Stahl	252
4.1	Neuer Normtext	219	6.3.2	Spezifische Wärmekapazität von nichtrostendem Stahl	253
4.2	Allgemeines zur vereinfachten Brandbemessung von stabilitätsgefährdeten Bauteilen	226	6.4	Mechanische Werkstoffeigenschaften	254
4.3	Vereinfachte Bemessung von Klasse-4-Querschnitten	227	6.4.1	Spannungs-Dehnungs-Beziehung von nichtrostendem Stahl bei erhöhten Temperaturen	254
4.3.1	Allgemeines	227	6.4.2	Thermische Dehnung von nichtrostendem Stahl	255
4.3.2	Wirksame Querschnittswerte	228	6.5	Vereinfachtes Bemessungsverfahren	256
4.3.3	Imperfektionsbeiwert für Stützen und Träger mit Querschnitten der Klasse 4	228	6.5.1	Allgemeines	256
			6.5.2	Querschnittsklassifizierung	256

6.5.3	Beanspruchbarkeit von Bauteilen aus nichtrostendem Stahl nach vereinfachtem Bemessungsverfahren für den Brandfall 258	7.4	Geschweißte Hohlprofile 264
6.5.3.1	Biegeknicken 258	8	Anhang E Träger mit großen Stegöffnungen 267
6.5.3.2	Biegedrillknicken 260	8.1	Neuer Normentext 267
6.5.3.3	Kombinierte Druck- und Biegebeanspruchung 260	8.2	Träger mit großen Stegöffnungen 270
7	Anhang D Verbindungen 262	8.2.1	Allgemeines 270
7.1	Neuer Normentext 262	8.2.2	Definitionen nach prEN 1993-1-13 270
7.2	Allgemeines 263	8.3	Thermisches Verhalten 270
7.3	Temperaturen von Verbindungen im Brandfall 263	8.4	Mechanisches Verhalten 271
		9	Zusammenfassung und Ausblick 272
		10	Literatur 272

4 Brandschutztechnische Bemessung von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton 279
 Peter Schaumann, Maximilian Mund, Inka Pehrs

1	Einleitung 281	6.2	Bemessungstools für die Anwendung vereinfachter Bemessungsverfahren 305
2	Brandschutztechnische Anforderungen 282	6.3	Allgemeine Berechnungsverfahren 305
2.1	Allgemeines 282	6.4	Software-Validierung nach DIN EN 1991-1-2/NA, Anhang CC 308
2.2	Regelbau 283	6.4.1	Allgemeines 308
2.3	Sonderbau 283	6.4.2	SAFIR 309
3	Einwirkungen 285	6.4.3	Zusammenfassung 312
3.1	Allgemeines 285	7	Zusammenfassung und Ausblick 312
3.2	Thermische Einwirkungen 285	8	Literatur 313
3.2.1	Wärmetransportmechanismen 285	8.1	Normen und Richtlinien 313
3.2.2	Nominelle Temperaturzeitkurven 287	8.2	Veröffentlichungen 314
3.2.3	Naturbrandszenarien 287	8.3	Software 315
3.3	Mechanische Einwirkungen 288	9	Beispielrechnung 1: Bemessung einer Verbunddecke nach DIN EN 1994-1-2 316
4	Materialeigenschaften unter erhöhten Temperaturen 289	9.1	Aufgabenstellung 316
4.1	Allgemeines 289	9.2	Einwirkungen im Brandfall 316
4.2	Thermische Materialkennwerte 290	9.3	Überprüfung der Anwendungsgrenzen 317
4.2.1	Wärmeleitfähigkeit 290	9.4	Kriterium des Raumabschlusses „E“ 317
4.2.2	Wärmekapazität 291	9.5	Wärmedämmkriterium „I“ 317
4.2.3	Thermische Dehnung 291	9.6	Tragfähigkeitskriterium „R“ – Momententragfähigkeit 318
4.2.4	Thermische Materialeigenschaften von Brandschutzmaterialien 292	9.6.1	Allgemeines 318
4.3	Mechanische Materialkennwerte 293	9.6.2	Temperaturen im Querschnitt 319
4.3.1	Allgemeines 293	9.6.3	Ermittlung der plastische Momententragfähigkeit $M_{fi,Rd}^+$ 321
4.3.2	Bau- und Betonstahl 293	9.7	Tragfähigkeitskriterium „R“ – Längsschubtragfähigkeit 322
4.3.3	Beton 294	9.8	Ergebnis 324
4.4	Aufbereitung in der Numerik 294	10	Beispielrechnung 2: Bemessung eines Verbundträgers nach DIN EN 1994-1-2 324
5	Bemessung nach DIN EN 1994-1-2 296	10.1	Aufgabenstellung 324
5.1	Allgemeines 296	10.2	Nachweis nach EC4-1-2 – Bemessungstabellen 325
5.2	Bemessungstabellen 296	10.3	Nachweis mittels vereinfachter Bemessungsverfahren 327
5.3	Vereinfachte Bemessungsverfahren 297	10.3.1	Allgemeines 327
5.3.1	Allgemeines 297		
5.3.2	Verbunddecken 297		
5.3.3	Verbundträger 299		
5.3.4	Verbundstützen 301		
6	Computergestützte Bemessung von Verbundtragwerken 304		
6.1	Allgemeines 304		

10.3.2	Bestimmung von $M_{pl,Rd}^+$ für den Brandfall 328	11.4.2	Ermittlung der effektiven Biegesteifigkeit im Brandfall 337
10.3.3	Nachweis der Querkrafttragfähigkeit 333	11.5	Ermittlung des Bemessungswertes der Knicklast im Brandfall 338
11	Beispielrechnung 3: Bemessung einer betongefüllten Stahlhohlprofilstütze nach DIN EN 1994-1-2, Anhang F* 334	11.6	Nachweis 338
11.1	Aufgabenstellung 334	12	Beispielrechnung 4: Bemessung eines Flachdeckenträgers nach DIN EN 1994-1-2, Anhang H* 338
11.2	Überprüfung der Anwendungsgrenzen 335	12.1	Aufgabenstellung 338
11.3	Ermittlung der äquivalenten Temperaturen der Querschnittsteile 335	12.2	Überprüfung der Anwendungsgrenzen 339
11.4	Axiale Bemessungslast bei erhöhten Temperaturen 336	12.3	Ermittlung der äquivalenten Temperaturen der Querschnittsteile 340
11.4.1	Ermittlung des Bemessungswertes des plastischen Widerstands 336	12.4	Plastische Momententragfähigkeit im Feld 341
		12.5	Nachweis 344
5	Einwirkungen im Brandfall nach Eurocode 1 345		
	Jochen Zehfuß		
1	Einführung 347	4.4	Bestimmung der Brandeinwirkungen lokaler Brände 356
2	Einwirkungen im Lastfall Brand 347	4.4.1	Allgemeines 356
2.1	Allgemeine Grundlagen 347	4.4.2	Berechnung der Brandeinwirkungen für Bauteile außerhalb des Brandherds 356
2.2	Thermische Einwirkungen durch Wärmeübergang 348	4.5	Erweiterte Brandmodelle 358
2.3	Mechanische Einwirkungen 349	4.6	Anwendung von Naturbrandmodellen 359
3	Bemessungsbrände 350	4.6.1	Allgemeines 359
3.1	Allgemeines 350	4.6.2	Bestimmung der Wärmefreisetzungsrate 359
3.2	Nominelle Temperaturzeitkurven 353	4.6.3	Ermittlung der Bemessungswerte 360
3.3	Naturbrandmodelle 353	5	Anwendungsbeispiele 363
4	Leistungsorientierte Festlegung der Brandeinwirkungen 353	5.1	Beispiel 1: Vollentwickelter Raumbrand 363
4.1	Vorbemerkung 353	5.2	Beispiel 2: Lokaler Brand mit Stütze außerhalb des Plumes 364
4.2	Vereinfachtes Naturbrandmodell für vollentwickelte Raumbrände 354	6	Literatur 366
4.3	Brandeinwirkungen auf außenliegende Bauteile 355		
6	Reaktive Brandschutzsysteme 367		
	Sascha Hothan, Dustin Häßler		
1	Einleitung 369	4	Regelungen 376
2	Technologische Grundlagen 369	4.1	Nationale und europäische Zulassungen 376
2.1	Grundlagen und Wirkungsweise 369	4.2	Anwendung auf Grundlage bauaufsichtlicher Regelungen und Zulassungen 377
2.2	Typen und Chemie 370	4.2.1	Biegebeanspruchte Bauteile mit offenem oder geschlossenem Profil 378
2.3	Applikation 370	4.2.2	Druckbeanspruchte Bauteile mit offenem oder geschlossenem Profil 379
3	Einflussgrößen auf die Leistungsfähigkeit 371	4.2.3	Zugbeanspruchte Bauteile mit offenem oder rechteckigem geschlossenem Profil 379
3.1	Bauteilgeometrie 371	4.2.4	Zugbeanspruchte Bauteile mit Vollprofil oder kreisrundem geschlossenem Profil 380
3.2	Mechanische Beanspruchung 373	4.2.5	Bauteile mit kombinierter mechanischer Beanspruchung 382
3.3	Mehrdimensionale Beanspruchung 373		
3.4	Einbaulage 375		
3.5	Trockenschichtdicke 375		
3.6	Einwirkende Temperatur-Zeit-Kurve 375		

5	Novellierungen im Normenwerk	382	6.3	Sanierung und Ausbesserung	389
5.1	Allgemeines zur Normenreihe EN 13381 und zur Gremienzuständigkeit	382	6.4	Zustandsermittlung und Ertüchtigungsmaßnahmen	389
5.2	Träger und Stützen aus Stahl – EN 13381-8	382	7	Aus der Forschung	390
5.3	Zugglieder aus Stahlvollprofilen – EN 13381-10 und neuer Normenteil zu EN 13381	383	7.1	Allgemeines	390
5.4	Bauteile aus Aluminium	384	7.2	Abgeschlossene Forschung	390
5.5	Produktnorm	384	7.2.1	Verwendung auf Zugstabsystemen und Anschlusskonstruktionen	390
6	Dauerhaftigkeit	385	7.2.2	Einfluss unterschiedlicher Temperatur-Zeit-Kurven	391
6.1	Exposition und Schädigungsmechanismen	385	7.2.3	Einfluss der Oberflächenkrümmung	393
6.2	Nachweise der Dauerhaftigkeit	385	7.2.4	Alterungs- und Witterungsbeständigkeit	393
6.2.1	Allgemeines	385	7.3	Laufende Forschung	394
6.2.2	Europäisches Verfahren nach EAD	386	7.3.1	Prüfnorm für Stahlzugglieder	394
6.2.3	Verfahren nach nationalen Zulassungsgrundsätzen des DIBt	388	7.3.2	Dauerhaftigkeit und Feuerwiderstand	395
6.2.4	Vergleich und Bewertung	388	7.3.3	In-situ-Prüfverfahren	396
			7.4	Ausblick	397
			8	Literatur	398
7	Praxisbeispiele zu erfolgreichen Brandschutzlösungen	401			
	Jochen Zehfuß, Jörg Sothmann, Georg Spennes, Jens Upmeyer, Michael Winkler, Olga Molochnikova				
1	Überblick	403	3.4	Thermische Einwirkungen im Brandfall	411
2	Theater Wiesendamm in Hamburg – Brandschutznachweis für eine 100-jährige Stahlkonstruktion	403	3.5	Nachweis des Feuerwiderstands	414
2.1	Projektbeschreibung	403	3.6	Ausführung	415
2.2	Beschreibung der besonderen brandschutztechnischen Fragestellung	404	3.7	Zusammenfassung	416
2.3	Brandszenarien	405	4	Brandschutznachweis für Raumzellengebäude in Stahlkonstruktion	416
2.3.1	Brandszenario der Stützengruppe G2 – Foyer	405	4.1	Projektbeschreibung	416
2.3.2	Brandszenario der Stützengruppe G3 – notwendiger Flur	405	4.2	Beschreibung der besonderen brandschutztechnischen Fragestellung	417
2.4	Thermische Einwirkungen im Brandfall	405	4.2.1	Allgemeines	417
2.4.1	Stützengruppe G2 – Foyer	405	4.2.2	Nutzung/Nutzerzahl	417
2.4.2	Stützengruppe G3 – notwendiger Flur	407	4.2.3	Bauordnungsrechtliche Einordnung	418
2.5	Nachweis des Feuerwiderstands	407	4.2.4	Schutzziel	419
2.5.1	Allgemeines	407	4.2.5	Angewandte Berechnungsverfahren und Simulationen	419
2.5.2	Versuchsdurchführung	407	4.2.6	Schutzzielorientierter Nachweis für Tragwerk und Raumabschluss	419
2.5.3	Versuchsauswertung (erhöhte Temperaturen)	408	4.2.7	Konstruktionsmerkmale	419
2.6	Ausführung (Stahlbau)	408	4.3	Baurechtlicher Abgleich / Erleichterungen	419
2.7	Zusammenfassung	409	4.4	Nachweis des Feuerwiderstands	421
3	Neubau eines Parkhauses in Stahl- und Stahlverbundbauweise	409	4.4.1	Allgemeines	421
3.1	Projektbeschreibung	409	4.4.2	Thermische Bauteilanalyse	421
3.2	Beschreibung der besonderen brandschutztechnischen Fragestellung	410	4.4.3	Mechanische Bauteilanalyse	424
3.3	Brandszenarien	410	4.5	Raumabschluss	424
			4.6	Zusammenfassung	424
			5	Literatur	424

8 Bewertung und Instandsetzung von Altstahlkonstruktionen 427Richard Stroetmann, Lars Sieber, Andreas Taras, Thomas Riedel
unter Mitarbeit von Jürgen Anders, Gerd Kuscher

- | | | | | | |
|-------|---|-----|-------|--|-----|
| 1 | Allgemeines | 431 | 5 | Bewertung der Sprödbruchneigung genieteter Stahlkonstruktionen aus Flusstahl | 473 |
| 2 | Verfahren zur Stahlherstellung und Entwicklung der Normung | 434 | 5.1 | Einführung | 473 |
| 2.1 | Roheisenerzeugung und Verwendung von Koks | 434 | 5.2 | Sprödbruchsicherheit von Bauteilen | 474 |
| 2.2 | Industrielle Stahlerzeugung mit dem Puddelverfahren | 437 | 5.2.1 | Wahl der Stahlgütegruppe nach der DAST-Richtlinie 009 von 1973 | 474 |
| 2.3 | Flusstahlerzeugung nach dem Bessemer-Verfahren | 438 | 5.2.2 | Sprödbruchsicherheit nach EN 1993-1-10 | 474 |
| 2.4 | Flusstahlerzeugung nach dem Thomas-Verfahren | 439 | 5.2.3 | Bewertung der Sprödbruchneigung von Bauteilen in Stahlgitter-Freileitungsmasten | 475 |
| 2.5 | Siemens-Martin-Verfahren | 439 | 5.3 | Bruchmechanische Sicherheitsanalyse | 476 |
| 2.6 | Linz-Donawitz-Verfahren | 441 | 5.3.1 | Grundlagen bruchmechanischer Nachweiskonzepte | 476 |
| 2.7 | Verfahrensanteile der Stahlproduktion | 441 | 5.3.2 | Spannungsintensitätsfaktoren für Lochstäbe | 477 |
| 2.7.1 | Weltstahlproduktion | 441 | 5.3.3 | Plastische Grenzlasten von Bauteilen mit Querschnittsschwächungen durch Risse | 480 |
| 2.7.2 | Deutschland vor dem 2. Weltkrieg | 441 | 5.3.4 | Annahme eines rissartigen Fehlers in alten Stahlkonstruktionen | 480 |
| 2.7.3 | Das geteilte Deutschland nach dem 2. Weltkrieg | 442 | 5.4 | Bruchzähigkeit alter Baustähle | 481 |
| 2.8 | Entwicklung der Normung für Baustähle in Deutschland | 443 | 5.4.1 | Bruchmechanische Zähigkeit – Referenztemperatur nach dem Master-Curve-Konzept | 482 |
| 3 | Werkstoffeigenschaften alter Baustähle | 444 | 5.4.2 | Vergleich mit Werkstoffdaten früherer Untersuchungen | 483 |
| 3.1 | Metallurgische Besonderheiten aus dem Herstellungsverfahren | 444 | 5.4.3 | Zusammenhang zwischen Werkstoffzähigkeit und Stahlgüte | 483 |
| 3.2 | Chemische Zusammensetzung | 445 | 5.4.4 | Korrelationen der Werkstoffzähigkeit | 484 |
| 3.3 | Mechanisch-technologische Kennwerte | 447 | 5.5 | Anwendungsbeispiele | 486 |
| 4 | Verbindungstechnik | 451 | 5.5.1 | Allgemeines | 486 |
| 4.1 | Nietverbindungen | 451 | 5.5.2 | Anschlüsse in einem Stahlgittermast | 486 |
| 4.1.1 | Allgemeines | 451 | 5.5.3 | Geschweißter Anschluss des Zuggurts eines Fachwerkträgers | 487 |
| 4.1.2 | Normen und Stahlsorten für Niete | 452 | 6 | Ermüdungsfestigkeit und Restlebensdauer genieteter Bauteile | 491 |
| 4.1.3 | Abmessungen genormter Niete | 454 | 6.1 | Allgemeines und Inhalt des Abschnitts | 491 |
| 4.1.4 | Nachweis von Nietverbindungen | 457 | 6.2 | Gleitwiderstand genieteter Verbindungen | 492 |
| 4.1.5 | Herstellen der Nietverbindungen | 457 | 6.3 | Ermüdungsfestigkeit genieteter Bauteile | 494 |
| 4.1.6 | Arbeits- und Verfahrensprüfungen an ein- und mehrschnittigen Verbindungen | 459 | 6.3.1 | Einflussfaktoren | 494 |
| 4.1.7 | Inspektion und Abnahme von Nietverbindungen | 461 | 6.3.2 | Versuchsergebnisse und statistische Auswertung | 496 |
| 4.1.8 | Alternativen zur Niettechnik | 462 | 6.3.3 | Statistische Auswertung | 498 |
| 4.2 | Schweißen alter Baustähle | 463 | 6.3.4 | Kerbfallkatalog | 499 |
| 4.2.1 | Schweißbarkeit | 463 | 6.4 | Vorgehensweise bei der Ermittlung der Restlebensdauer auf Basis des Kerbfallkatalogs | 501 |
| 4.2.2 | Schweißneigung | 464 | 6.4.1 | Grundlegendes | 501 |
| 4.2.3 | Schweißen von Kehlnähten | 465 | | | |
| 4.2.4 | Schweißen von Stumpfnähten | 466 | | | |
| 4.2.5 | Empfohlene Werkstoffanalysen zur Bewertung der Schweißneigung | 469 | | | |
| 4.2.6 | Empfehlungen zur Vorbereitung und Ausführung der Schweißarbeiten | 470 | | | |
| 4.2.7 | Anwendungsbeispiele | 471 | | | |

6.4.2	Schadensäquivalentes Schadensspiel $\Delta\sigma_E$ – Anwendungsfall Eisenbahnbrücken	502	7.3.2.1	Korrelation und Verteilung der Paris-Parameter	510
6.4.3	Nachweisformat und Berechnungsschritte	505	7.3.2.2	Abhängigkeit bruchmechanischer Materialkennwerte vom Verhältnis $R = K_{\min}/K_{\max}$	512
7	Ermittlung von Inspektionsintervallen auf Basis von Risswachstumsberechnungen	506	7.4	Zyklische Beanspruchung von Eisenbahnbrücken	513
7.1	Einführung	506	7.5	Risswachstum in Nietverbindungen	514
7.2	Risswachstum unter zyklischen Beanspruchungen	507	7.5.1	Einflussfaktor Verkehrslast	515
7.3	Bruchmechanische Materialparameter von Altstahl	508	7.5.2	Einfluss der bruchmechanischen Materialparameter	515
7.3.1	Literaturwerte	508	7.5.3	Einflussfaktor Konstruktionsdetail	516
7.3.2	Neuere, experimentell bestimmte Rissfortschrittskennwerte für Flusstahl	509	7.6	Anwendung	517
			7.6.1	Anwendungsbeispiel	517
			7.6.2	Betriebszeitintervallnachweis nach DB-Richtlinie 805.202	520
			8	Literatur	520
9	Nachweis von Einzel- und mehrteiligen Stäben aus gewalzten gleichschenkligen Winkelprofilen	527			
	André Beyer, Marios-Zois Bezas, Jean-Pierre Jaspard, Ioannis Vayas				
1	Einleitung	531	5	Stabilitätsnachweis für Stäbe aus Einzelwinkelprofilen	544
2	Formelzeichen – Querschnittseigenschaften	535	5.1	Allgemeines	544
3	Klassifizierung von Querschnitten	537	5.2	Planmäßig zentrischer Druck	544
3.1	Bemessungsvorschlag	537	5.2.1	Beanspruchbarkeit gegenüber Biegeknicken	544
3.2	Herleitung und Validierung der c/t -Grenzwerte für die Querschnittsklassen	537	5.2.2	Herleitung und Validierung des Bemessungsvorschlags	545
3.2.1	Allgemeines	537	5.2.2.1	Experimentelle Validierung – Labortests der Tsinghua University	545
3.2.2	Klassifizierung unter Drucknormalkraft	537	5.2.2.2	Experimentelle Validierung – Labortests der Université de Liège	546
3.2.3	Klassifizierung unter Biegung M_u um die starke Achse	538	5.2.2.3	Numerische Validierung	546
3.2.4	Klassifizierung auf Biegung M_v um die schwache Achse	539	5.3	Biegedrillknicken unter Momentenbelastung	547
3.2.4.1	Schenkelspitze unter Druck	540	5.3.1	Beanspruchbarkeit gegenüber Biegedrillknicken	547
3.2.4.2	Schenkelspitze unter Zug	540	5.3.2	Herleitung und Validierung des Bemessungsvorschlags	548
4	Beanspruchbarkeit der Querschnitte	541	5.4	Auf Biegung und Druck beanspruchte Stäbe	549
4.1	Allgemeines	541	5.4.1	Allgemeines	549
4.2	Druckbeanspruchung	541	5.4.2	Nachweisbeziehungen	549
4.2.1	Bemessungsvorschlag für die Druckbeanspruchbarkeit	541	5.4.3	Herleitung und Validierung des Bemessungsvorschlags	550
4.2.2	Herleitung und Validierung des Bemessungsvorschlags	541	5.4.3.1	Experimentelle Validierung – Labortests der NTUA	550
4.3	Biegung um die starke Achse	542	5.4.3.2	Experimentelle Validierung – Labortests der TU Braunschweig	551
4.3.1	Beanspruchbarkeit auf Biegung um die starke Achse	542	5.4.3.3	Experimentelle Validierung – Labortests der TU Graz	551
4.3.2	Herleitung und Validierung des Bemessungsvorschlags	542	5.4.3.4	Numerische Validierung	552
4.4	Biegung um die schwache Achse	543	6	Stabilitätsnachweis von mehrteiligen Stäben mit geringer Spreizung	553
4.4.1	Beanspruchbarkeit auf Biegung um die schwache Achse	543	6.1	Allgemeines	553
4.4.2	Herleitung und Validierung des Bemessungsvorschlags	543	6.2	Biegeknicken von mehrteiligen Stäben mit geringer Spreizung	554

6.2.1	Ermittlung der Beanspruchbarkeit für Rücken an Rücken gestellte Doppelwinkel	554	7.3.3.3	Nachweis des Segments	569
6.2.2	Ermittlung der Beanspruchbarkeit bei übereck gestellten Doppelwinkeln	554	7.4	Anwendungsbeispiel 2	570
6.2.3	Beanspruchbarkeit der Verbindungen	555	7.4.1	Allgemeine Angaben	570
6.3	Validierung des Bemessungsvorschlags	555	7.4.2	Nachweis nach EN 1993-3-1	570
6.3.1	Numerisches Modell	555	7.4.2.1	Nachweis des Diagonalstabs	570
6.3.2	Rücken an Rücken gestellte Doppelwinkel	556	7.4.2.2	Nachweis des Stiels	571
6.3.3	Übereck gestellte Doppelwinkel	558	7.4.3	Nachweis nach prEN 1993-3, Anhang F	571
7	Anwendungsbeispiele des Turmbaus – Nachweise für Einzelstäbe	562	7.4.3.1	Nachweis des Diagonalstabs	571
7.1	Vorgang nach prEN 1993-3 und andere Normen	562	7.4.3.2	Nachweis des Stiels	571
7.2	Vorgehen nach prEN 1993-3, Anhang F	563	7.5	Anwendungsbeispiel 3	571
7.3	Anwendungsbeispiel 1	564	7.5.1	Allgemeine Angaben	571
7.3.1	Allgemeine Angaben	564	7.5.2	Nachweis nach EN 1993-3-1	571
7.3.2	Nachweis nach EN 1993-3-1	565	7.5.2.1	Nachweis des Diagonalstabs	571
7.3.2.1	Allgemeines	565	7.5.2.2	Nachweis des Stiels	572
7.3.2.2	Nachweis des Diagonalstabs	566	7.5.3	Nachweis nach prEN 1993-3, Anhang F	572
7.3.2.3	Nachweis des Stiels	566	7.5.3.1	Nachweis des Diagonalstabs	572
7.3.3	Nachweis nach prEN 1993-3, Anhang F	567	7.5.3.2	Nachweis des Stiels	572
7.3.3.1	Nachweis des Diagonalstabs L90×90×9	567	7.6	Zusammenfassung der Anwendungsbeispiele	572
7.3.3.2	Nachweis des Stiels L160×160×15	568	8	Anwendungsbeispiele des Turmbaus – Nachweise für mehrteilige Stäbe mit geringer Spreizung	573
10	Aktuelle Modelle und Methoden zur Windlastermittlung	577	8.1	Allgemeine Angaben	573
	Rüdiger Höffer, Klaus Thiele, Francesca Lupi, Ulf Winkelmann, Wolfgang Hubert, Cornelia Kalender, Roland Wüchner, Cong Chen		8.2	Nachweis der Diagonalen	573
1	Einleitung	579	9	Literatur	575
2	Windmodelle und lokale Windfelder	580			
2.1	Modellierungsgrößen der atmosphärischen Grenzschichtströmung	580			
2.1.1	Basiswindgeschwindigkeit	580			
2.1.2	Wind- und Turbulenzprofile sowie Spitzendruck	580			
2.1.3	Modellfortschreibung im Entwurf der zur Verabschiedung anstehenden Vornorm prEN 1991-1-4:2020	582			
2.2	Windfeldverhältnisse am Bauwerksstandort	583			
2.2.1	Regionale charakteristische Windgeschwindigkeiten	583			
2.2.2	Einfluss von Bodenrauigkeit und Topografie auf die standortspezifischen Windprofile am Beispiel eines exponierten Bauwerks in stark strukturiertem Gelände	585			
2.2.2.1	Charakteristische Windgeschwindigkeiten am Bauwerksstandort	585			
2.2.2.2	Standortspezifischer Einfluss der Bodenrauigkeit auf die Böenwindgeschwindigkeiten	585			
2.2.2.3	Untersuchungen zur Orografie	586			
2.3	Bemessungswindstärke für die Bauphase	589			
3	Turbulenzinduzierte Schwingungen und aeroelastische Instabilitäten von Bauwerken	590			
3.1	Anregungstypen	590			
3.2	Bauwerksschwingungen durch die Windböigkeit	591			
3.3	Aeroelastische Instabilitäten	591			
3.3.1	Aerodynamische Dämpfung	591			
3.3.2	Galloping	592			
3.3.3	Interaktion Galloping und wirbelerregte Schwingung	595			
3.3.3.1	Phänomene	595			
3.3.3.2	Wake-Oscillator-Modell	596			
3.3.4	Regen-Wind-induzierte Schwingungen	598			
3.3.5	Divergenz	599			
3.3.6	Flattern	599			
4	Wirbelerregte Schwingungen bei Türmen und Masten	601			
4.1	Prozess der Wirbelablösung	601			
4.2	Berechnung der wirbelerregten Querschwingungsamplitude	602			
4.2.1	Verfahren 1 – Resonanzverfahren	603			

4.2.2	Verfahren 2 – Spektralmethode	604	6	Anwendungen von numerischen Simulationen in der Baupraxis	623
4.2.3	Ausblick: Modellierung der Wirbelerregung im Eurocode der zweiten Generation	606	6.1	Grundlagen zur numerischen Modellierung und Simulation der Windströmung	623
4.2.4	Grundlegende Parameter	607	6.2	Fehler und Unsicherheiten der eingesetzten Modelle	625
4.2.5	Beanspruchungen durch wirbelerregte Querschwingungen	609	6.3	Aktuelle Situation der CFD im Windingenieurwesen	626
4.2.6	Ermittlung der Spannungsschwingspiele N	609	6.4	Überlegungen zur Qualitätssicherung von CFD Berechnungen	627
4.3	Beispiele und Bewertung	609	6.5	CFD-Anwendung Beispiel I: Westturm Schloss Friedenstein	628
4.4	Anwendung für Türme in Gruppenanordnung	613	6.5.1	Details der numerischen Simulation	628
5	Minderung der Schwingungen von Brückenüberbauten im Bauzustand	615	6.5.2	Validierung der Oberflächendruckbeiwerte	630
5.1	Stahlverbundbrücken im Taktchiebeverfahren	615	6.6	CFD-Anwendung Beispiel II: Brücke Rheinquerung	632
5.2	Hochmoselbrücke bei Ürzig	616	6.7	Fazit und Ausblick	635
5.3	Aftetalbrücke bei Bad Wünnenberg	619	7	Danksagungen	635
5.4	Modifikation des Vorbauschnabels zur Unterdrückung der Anregung	622	8	Literatur	635
			8.1	Referenzen	635

11 Türme und Maste 641

Frank Kemper, Markus Feldmann, Mirko Friehe, Klaus Thiele, Dieter Ungermann, Alena Patschin, Bettina Brune

1	Einleitung	643	3.2.4.2	Neue Rohrmaste für Freileitungen	663
2	Begriffe, Einsatzgebiete, Relevanz und Regelungsbereiche	643	3.2.4.3	Raumoptimierte Freileitungsmaste	671
2.1	Allgemeines	643	3.3	Abgespannte Maste	672
2.2	Regelwerke	644	4	Lasteinwirkungen aus Wind und Eis, Betriebslasten und windbedingte Schwingungseffekte	672
2.3	Verkehrsinfrastruktur	644	4.1	Klimatische Einwirkungsgrößen am Bauwerksstandort	672
2.4	Industrieller Bedarf	644	4.1.1	Basiswindgeschwindigkeit aus meteorologischen Daten	672
2.5	Kommunikationsinfrastruktur	644	4.1.1.1	Allgemeines	672
2.6	Energieversorgung	645	4.1.1.2	Extreme Windgeschwindigkeit	672
2.6.1	Freileitungen	645	4.1.1.3	Einfluss der Umgebungsräumigkeit	674
2.6.1.1	Allgemeines	645	4.1.2	Modellierung der Vereisung	676
2.6.1.2	Bestandteile einer Freileitung	646	4.1.2.1	Vereisungsszenarien	676
2.6.2	Windenergieanlagen	646	4.1.2.2	Klimatische Randbedingungen für Vereisung	677
3	Konstruktionsformen	648	4.1.2.3	Bewertung auf Basis der Schneelastnorm	678
3.1	Gittertürme und -maste	648	4.1.2.4	Bewertung auf Basis meteorologischer Daten	678
3.1.1	Allgemeines	648	4.2	Aerodynamische Beiwerte	679
3.1.2	Türme für Windenergieanlagen	649	4.2.1	Kraftbeiwerte für Gittermaste	679
3.1.3	Maste für Freileitungen	649	4.2.1.1	Stand der Normung	679
3.1.3.1	Bauarten von Freileitungsmasten	649	4.2.1.2	Windkanaluntersuchungen an unterschiedlichen Gittermasten	681
3.1.3.2	Stromtrassen	650	4.2.2	Kraftbeiwerte für Rohrtürme	682
3.1.3.3	Mastbilder	651	4.2.3	Kraftbeiwerte für Anbauten an Maste	683
3.1.3.4	Tragwerke von Freileitungsmasten	653	4.3	Böenerregte Schwingungen	685
3.1.3.5	Freileitungen	657	4.4	Wirbelerregte Querschwingungen	685
3.1.3.6	Verbindungselemente von Freileitungen und Freileitungsmasten	660	4.4.1	Beschreibung des Phänomens	685
3.2	Rohrtürme und -maste	661			
3.2.1	Allgemeines	661			
3.2.2	Verbindungen der Sektionen	661			
3.2.3	Türme für Windenergieanlagen	662			
3.2.4	Maste für Freileitungen	663			
3.2.4.1	Freileitungsmaste für die Energiewende	663			

4.4.2	Aktuelle Diskussion zu den Verfahren zur Berechnung der Querschwingamplitude 686	5	Sicherheitskonzept und vollständig probabilistische Sicherheitsmarge 693
4.5	Ermüdungsnachweise für windinduzierte Schwingungen 686	5.1	Vergleich der Teilsicherheitsbeiwerte in unterschiedlichen Normenwerken 693
4.5.1	Böenerregte Schwingungen 686	5.2	Vollständig probabilistische Bemessung 694
4.5.2	Wirbelerregte Schwingungen 687	5.2.1	Allgemeines 694
4.6	Maßnahmen zur Reduktion von winderregten Schwingungen 687	5.2.2	Geforderte Zuverlässigkeit 695
4.7	Lasteinwirkungen aus Betrieb 688	5.2.3	Beispiel 695
4.7.1	Betriebszustände von Windkraftanlagen 688	5.3	Typische Grenzzustände von Gittermaststrukturen 699
4.7.2	Seilzug bei Freileitungsmasten 689	5.4	Modellierung der Einwirkungsseite 700
4.8	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen nach DIN EN 50341 VDE 0210 690	5.5	Modellierung der Widerstandsseite 700
4.8.1	Allgemeines 690	6	Ausblick auf die kommende Normengeneration 701
4.8.2	Einwirkungen 690	7	Zusammenfassung 703
4.8.3	Lastfälle nach DIN EN 50341-2-4 VDE 0210-2-4 693	8	Literatur 704

Stichwortverzeichnis 709

