

2022



STAHLBAU KALENDER



Türme und Maste
Brandschutz

2022

STAHLBAU KALENDER

Türme und Maste
Brandschutz

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

24. Jahrgang

Hinweis des Verlages

Die Recherche zum Stahlbau-Kalender ab
Jahrgang 1999 steht im Internet zur Verfügung
unter www.ernst-und-sohn.de

Titelfoto: Killesbergturm, Stuttgart

Fotografin: Lena Stempniewski, Universität Stuttgart

Beteiligte/Ausführende: schlaich bergemann partner, Stuttgart (Planung und Bauüberwachung);

Roleff GmbH & Co. KG, Esslingen (Stahlbau, Fertigung und Montage)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

© 2022 Ernst & Sohn GmbH, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Umschlaggestaltung: Sonja Frank, Berlin

Herstellung: HillerMedien, Berlin

Satz: Alexa Glanzner GmbH, Viernheim

Druck und Bindung: CPI Germany

Printed in the Federal Republic of Germany.

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

ISSN 1438-1192

Print ISBN: 978-3-433-03361-6

ePDF ISBN: 978-3-433-61110-4

ePub ISBN: 978-3-433-61112-8

oBook ISBN: 978-3-433-61111-1

Vorwort

Türme und Maste sind filigrane Ingenieurtragwerke, die sehr sensibel auf klimatische Einwirkungen wie Wind reagieren. Gleichzeitig haben sich bestimmte typische Konstruktionsformen wie Fachwerke aus Winkelprofilen für diese Tragwerke bewährt. In dem ersten Schwerpunkt des Stahlbau-Kalenders 2022 werden in den zugehörigen Beiträgen nicht nur die Grundlagen, sondern auch die neuen Entwicklungen im Hinblick auf die neue Eurocode-Generation dargestellt. Die neuen Eurocode-Regelungen sind auch Hauptgegenstand der zum zweiten Themenschwerpunkt Brandschutz gehörenden Beiträge. Gleichzeitig geht es darum, wie heute in der Praxis für Stahl- und Verbundtragwerke konkrete Lösungen zum **Brandschutz** gefunden werden.

Mit dem Abdruck der Grundnorm **DIN EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau** mit Nationalem Anhang sowie ergänzenden, an den jeweiligen Stellen aktualisierten Kommentaren von Ulrike Kuhlmann und Fabian Jörg, Universität Stuttgart wird den Anwender:innen eine verlässliche Basis für ihre tägliche Arbeit gegeben. Diese regelmäßige Überarbeitung ermöglicht es, auf aktuell entstandene Fragen oder Klärungsbedarf bzw. neue Erkenntnisse durch die zurzeit laufende Überarbeitung der Norm für die zweite Generation der Eurocodes einzugehen.

Karsten Kathage und Christoph Ortmann, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT), Berlin erläutern in ihrem Beitrag **Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Normen und Bescheide im Stahlbau** die zur Zeit der Beitragsbearbeitung noch aktuelle Version MVV TB 2020/22 im Hinblick auf den Stahlbau. Die überarbeitete Version MVV TB 2021/1 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen wurde im Januar 2022 veröffentlicht. Zusätzlich werden die aktuellen Normen und Richtlinien für den Stahlbau aufgelistet und eine Zusammenstellung der für den Stahl- und Verbundbau relevanten Bescheide des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBT (Stand: September 2021) gegeben.

Über **Neue Entwicklungen in prEN 1993-1-2:2020** berichten Markus Knobloch, Sara Uszball, Lukas Schaper, Ruhr-Universität Bochum und Martin Mensinger, Technische Universität München. Vor dem Hintergrund der Entwicklung der zweiten Generation der Eurocodes wurde eine Entwurfsfassung von prEN1993-1-2 „Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall“ ausgearbeitet, die aktuell zur finalen Abstimmung in Europa vorbereitet wird. In diesem Beitrag werden die Weiterentwicklungen von prEN1993-1-2 gegenüber der derzeitigen Norm erläutert und die Anwender:innen frühzeitig mit den wesentlichen strukturellen und technischen Änderungen vertraut gemacht. Die Autor:innen waren unmittelbar an der Ausarbeitung des neuen Normentextes beteiligt, was eine kompetente Vermittlung der Intentionen und Hinter-

gründe der Änderungen im neuen Normentext ermöglicht. Der englische Originaltext wurde auszugsweise von den Verfasser:innen des Beitrags ins Deutsche übersetzt und ist den Erläuterungen vorangestellt.

Im Beitrag **Brandschutztechnische Bemessung von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton** geben Peter Schaumann, Maximilian Mund, Leibniz Universität Hannover und Inka Pehrs, Hagen Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH, Hannover einen aktuellen Überblick über die heute geltenden normativen Regelungen zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlverbundtragwerken. Gravierende Neuerungen in den zurzeit in der Bearbeitung befindlichen neuen Eurocodes werden aufgezeigt. Zunächst wird der aktuelle bauaufsichtliche Rahmen für Regelbauten beschrieben. Es folgt die Erläuterung der thermischen und mechanischen Einwirkungen sowie der temperaturabhängigen Materialkennwerte von Beton, Bau- und Bewehrungsstahl. Des Weiteren werden die tabellarischen und vereinfachten Bemessungsverfahren nach DIN EN 1994-1-2 vorgestellt. Der Ermittlung der Bauteilwiderstände und den entsprechend den erhöhten Bauteiltemperaturen veränderten Materialeigenschaften kommt dabei besondere Bedeutung zu. Aufgrund der zunehmenden praktischen Bedeutung wird ein gesonderter Abschnitt den computergestützten Bemessungsverfahren gewidmet. Zuletzt werden einige Beispiele detailliert ausgearbeitet.

Im Beitrag **Einwirkungen im Brandfall nach Eurocode 1** von Jochen Zehfuß, Technische Universität Braunschweig werden die Einwirkungen im Brandfall nach Eurocode 1 vorgestellt. Der Brandfall als außergewöhnliche Bemessungssituation ist durch thermische Einwirkungen im Hochtemperaturbereich gekennzeichnet, die eine Auswirkung hinsichtlich thermischer Dehnungen und Zwangskräfte sowie eine temperaturbedingte Reduzierung der Festigkeiten und Steifigkeiten der Baustoffe zur Folge hat. Die thermischen Einwirkungen hängen wesentlich vom Bemessungsbrand ab. Eurocode 1 ermöglicht neben der klassischen Vorgehensweise des Ansatzes mit nominellen Temperaturzeitkurven wie der Einheits-Temperaturzeitkurve auch eine leistungsorientierte Festlegung der Brandeinwirkungen mittels Naturbrandszenarien. Die Anwendung von vereinfachten und erweiterten Naturbrandmodellen, deren Anwendungsbereich und Randbedingungen werden beschrieben und die Anwendung exemplarisch für das Brandszenario eines vollentwickelten Raumbrandes sowie eines lokalen Brandes in Beispielen gezeigt. Im Beitrag werden die absehbaren Neuerungen des in Überarbeitung befindlichen Eurocodes 1 angesprochen und im Beispiel dargestellt.

In ihrem Beitrag zu **Reaktiven Brandschutzsystemen** erläutern Sascha Hothan und Dustin Häßler, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin neueste Erkenntnisse zu reaktiven Brandschutz-

systemen (RBS). Ihre Wirkungsweise basiert auf der Bildung einer thermischen Schutzschicht infolge Reaktion der Bestandteile mittels thermischer Aktivierung durch den Brand selbst. Die so entstehende, schaumartige Schutzschicht verlangsamt die Erwärmung der beschichteten Konstruktion. Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf die Verwendung von RBS auf Stahlkonstruktionen. Neben einer umfassenden Darstellung der aktuellen nationalen und europäischen Regelungen zu RBS werden technologische Besonderheiten und deren Einfluss auf den Regelungsinhalt im Beitrag thematisiert. Dabei werden neben sich abzeichnenden Neuerungen auch die entsprechenden wissenschaftlich-technologischen Grundlagen dargelegt. Eine allgemeine Darstellung von Exposition und Schädigungsmechanismen sowie die Behandlung der Nachweise für die Dauerhaftigkeit soll sachlich informieren und Problemlösungen aufzeigen. Dabei wird insbesondere die Frage nach Nutzungsdauern weit jenseits von 10 Jahren aufgegriffen.

Mit dem Thema **Praxisbeispiele zu erfolgreichen Brandschutzlösungen** beschäftigten sich Jochen Zehfuß, Technische Universität Braunschweig, Jörg Sothmann, Michael Winkler, hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH, Hamburg, Georg Spennes, BFT Cognos GmbH, Aachen, Jens Upmeyer, Hagen Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH, Kleve und Olga Molochnikova, Ingenieure für Brandschutz GmbH, Hamburg. Anhand von 3 Praxisbeispielen werden erfolgreiche Brandschutzlösungen vorgestellt. In einem ersten Beispiel wird der Nachweis für die Konstruktion einer 100-jährigen Stahlkonstruktion eines ehemaligen Gewerbegebäudes gezeigt, das nun als Theater genutzt wird. In einem zweiten Beispiel wird dargestellt, dass das stählerne Tragwerk einer offenen Parkgarage ohne Brandschutzmaßnahmen ausgeführt werden kann, sofern der Nachweis unter Berücksichtigung der thermischen Einwirkung auf der Grundlage von Naturbrandszenarien erfolgt. Im dritten Beispiel wird ein Brandschutznachweis für ein Raumzellengebäude aus Containern ohne Brandschutzbekleidung von außen gezeigt.

Im Beitrag **Bewertung und Instandsetzung von Altstahlkonstruktionen** behandeln Richard Stroetmann, Technische Universität Dresden, Lars Sieber, Thomas Riedel, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW) und Andreas Taras, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH) unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Jürgen Anders, Institut für Schweißtechnik und Ingenieurbüro Dr. Möll GmbH, Darmstadt und Prof. Dr.-Ing. Gerd Kuscher, Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Hannover die Grundlagen zu Altstahlkonstruktionen, die für deren Bewertung, Modernisierung und Instandsetzung von Interesse sind. Nach einer Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der Herstellungsverfahren und der frühen Normung für Baustähle wird auf die metallurgischen Besonderheiten aus der Herstellung, die chemische Zusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften alter Baustähle

eingegangen. Eine häufig bei Altstahlkonstruktionen anzutreffende Verbindungstechnik stellen Nietverbindungen dar, die hier vorgestellt werden. Ein wichtiger Aspekt ist die Bewertung der Sprödbrechneigung genieteter Stahlkonstruktionen aus Flusstahl. Bei der Beurteilung der Sicherheit bestehender Konstruktionen und der Entscheidung über notwendige Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen ist der Nachweis ausreichender Werkstoffzähigkeit von wesentlicher Bedeutung. Schließlich rundet ein Abschnitt zur Ermüdungsfestigkeit und Restlebensdauer genieteter Altstahlkonstruktionen den Beitrag ab. Neu ist dabei ein Abschnitt, in dem die Ermittlung von Inspektionsintervallen auf Basis von Risswachstumsberechnungen behandelt wird.

Winkelprofile gehören zu den beliebtesten Profiltypen im Bausektor, besonders im Mast- und Turmbau. Über den **Nachweis von Einzel- und mehrteiligen Stäben aus gewalzten gleichschenkligen Winkelprofilen** berichten André Beyer, CTICM, Frankreich, Marios-Zois Bezas, und Jean-Pierre Jaspard, Université de Liège, Belgien sowie Ioannis Vayas, National Technical University of Athens, Griechenland. Im Beitrag werden auf der Grundlage der Ergebnisse des europäischen Forschungsprojekts ANGELHY Bemessungskonzepte erläutert, die den Nachweis von Einzel- und mehrteiligen Stäben aus gewalzten gleichschenkligen Winkelprofilen der Querschnittsklassen 1 bis 4 für einzelne und kombinierte Schnittgrößen erlauben. Bei mehrteiligen Querschnitten erlauben sie eine einfache Erfassung der Abstände zwischen Verbindungen und geben die Möglichkeit Konfigurationen zu behandeln, die aktuell nicht im Eurocode erfasst sind. Diese Regeln sind sowohl für den allgemeinen Gebrauch als auch speziell für Türme und Maste anwendbar und wurden somit für einen Anhang F in der neuen prEN 1993-3 vorgeschlagen. In diesem Beitrag werden die Regeln vorgestellt und ihre Herleitung und Validierung erläutert. Hervorzuheben ist, dass die Nachweise auch sehr konkret an typischen Anwendungsbeispielen gezeigt werden.

Mit dem Thema **Aktuelle Modelle und Methoden zur Windlastermittlung** haben sich Rüdiger Höffer, Ruhr-Universität Bochum, Klaus Thiele, Technische Universität Braunschweig, Francesca Lupi, Ulf Winkelmann, Ruhr-Universität Bochum, Wolfgang Hubert, Niemann Ingenieure GbR, Bochum, Cornelia Kalender, Ruhr-Universität Bochum, Roland Wüchner und Cong Chen, Technische Universität Braunschweig beschäftigt. Zur quantitativen Beschreibung der Windwirkung sind Modelle der Bauwerksaerodynamik erforderlich, deren Qualität direkt das Ergebnis beeinflusst. In jedem Fall ist es von großer Bedeutung, die Voraussetzungen und Geltungsgrenzen der verwendeten Modelle zu kennen. Turbulenzinduzierte Schwingungen und aeroelastische Instabilitäten von Bauwerken sind ebenso ein Schwerpunktthema des Beitrags wie wirbelerregte Schwingungen bei Türmen und Masten. Hinweise werden auch zur Minderung der Schwingungen von Brückenüberbauten im Bauzustand gegeben, einem

in jüngster Zeit intensiv diskutierten Problem. Für diese und andere Themen des Windingenieurwesens werden Modelle dargestellt und erläutert. Dabei wird auch die aktuelle Weiterführung der europäischen Normung berücksichtigt.

Türme und Maste sind funktionale, schlanke Ingenieurtragwerke und wichtiger Teil unserer modernen Infrastruktur. Frank Kemper, Markus Feldmann, Mirko Friehe, alle Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH), Klaus Thiele, Technische Universität Braunschweig und Dieter Unger mann, Alena Patschin und Bettina Brune, alle Technische Universität Dortmund beleuchten in diesem Beitrag einige Besonderheiten, die für die Planung von Turm- und Mastbauwerken relevant sind, wie Lastansätze (Lasteinwirkungen aus Wind und Eis, Betriebslasten und windbedingte Schwingungseffekte), Bemessungsmodelle und Nachweiskriterien. Hierbei werden gezielt auch strittige Regelungen aufgegriffen und, soweit möglich, hierzu Stellung genommen, indem aktuelle Forschungsarbeiten des Institutes für Stahlbau sowie des Centers for Wind and Earthquake Engineering (CWE) der RWTH Aachen herangezogen werden. Auf die europäischen Regeln für Türme, Maste und Schornsteine (Eurocode 3-3-1 bzw. 3-3-2) wird an den passenden Stellen Bezug genommen. Für die verschiedenen Einsatzgebiete von Masten, wie zum Beispiel für Windkraftanlagen oder

für Freileitungen, gibt es zum Teil parallele Normungsregelungen und spezielle technische Anforderungen aus der Nutzung. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick auf die kommende Normengeneration prEN 1993-3 und deren Änderungen gegenüber den gültigen Regelungen.

Ich darf mich im Namen des Verlags Ernst & Sohn bei allen Autoren ganz herzlich für ihre qualitativ hochwertige Arbeit bedanken. Den Mitarbeitern des Verlags und im Institut danke ich besonders für ihren großen Einsatz, der trotz aller Schwierigkeiten ein pünktliches Erscheinen des Kalenders möglich macht. Damit bietet der Kalender wieder einen hervorragenden Überblick zu den Schwerpunktthemen Türme und Maste und Brandschutz.

Am **Freitag, 24. Juni 2022** wird der diesjährige Stahlbau-Kalender-Tag in Stuttgart stattfinden, zu dem wir alle Interessierten herzlich einladen. Auch wenn sich gezeigt hat, dass eine Online-Veranstaltung möglich und gut ist, hoffen wir doch sehr, in diesem Jahr wieder in Präsenz tagen zu können. In jedem Fall werden die Autoren dieser Ausgabe zu ihren Themen live vortragen und für Diskussionen zur Verfügung stehen.

Stuttgart, Februar 2022
Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

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 Jaspart, 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	7.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den Hochbau	69
5.3.4	Bauteilimperfectionen	34	7.2.1	Vertikale Durchbiegung	69
5.4	Berechnungsmethoden	35	7.2.2	Horizontale Verformungen	69
5.4.1	Allgemeines	35	7.2.3	Dynamische Einflüsse	69
5.4.2	Elastische Tragwerksberechnung	35	Anhang A (informativ)		70
5.4.3	Plastische Tragwerksberechnung	36	Verfahren 1: Interaktionsbeiwerte k_{ij} für die Interaktionsformel in 6.3.3(4)		70
5.5	Klassifizierung von Querschnitten	36	Anhang B (informativ)		72
5.5.1	Grundlagen	36	Verfahren 2: Interaktionsbeiwerte k_{ij} für die Interaktionsformel in 6.3.3(4)		72
5.5.2	Klassifizierung	36	Anhang AB (informativ)		73
5.6	Anforderungen an Querschnittsformen und Aussteifungen am Ort der Fließgelenkbildung	37	Zusätzliche Bemessungsregeln		73
6	Grenzzustände der Tragfähigkeit	41	AB.1	Statische Berechnung unter Berücksichtigung von Werkstoff-Nichtlinearitäten	73
6.1	Allgemeines	41	AB.2	Vereinfachte Belastungsanordnung für durchlaufende Decken	73
6.2	Beanspruchbarkeit von Querschnitten	41	Anhang BB (informativ)		73
6.2.1	Allgemeines	41	Knicken von Bauteilen in Tragwerken des Hochbaus		73
6.2.2	Querschnittswerte	43	BB.1	Biegeknicken von Bauteilen von Fachwerken oder Verbänden	73
6.2.3	Zugbeanspruchung	44	BB.1.1	Allgemeines	73
6.2.4	Druckbeanspruchung	45	BB.1.2	Gitterstäbe aus Winkelprofilen	74
6.2.5	Biegebeanspruchung	45	BB.1.3	Bauteile mit Hohlprofilen	75
6.2.6	Querkraftbeanspruchung	45	BB.2	Kontinuierliche seitliche Abstützungen	75
6.2.7	Torsionsbeanspruchung	47	BB.2.1	Kontinuierliche seitliche Stützung	75
6.2.8	Beanspruchung aus Biegung und Querkraft	48	BB.2.2	Kontinuierliche Drehbehinderung	75
6.2.9	Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft	48	BB.3	Größtabstände bei Abstützmaßnahmen für Bauteile mit Fließgelenken gegen Knicken aus der Ebene	77
6.2.10	Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft	50	BB.3.1	Gleichförmige Bauteile aus Walzprofilen oder vergleichbaren geschweißten I-Profilen	77
6.3	Stabilitätsnachweise für Bauteile	51	BB.3.2	Voutenförmige Bauteile, die aus Walzprofilen oder vergleichbaren, geschweißten I-Profilen bestehen	79
6.3.1	Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck	51	BB.3.3	Modifikationsfaktor für den Momentenverlauf	80
6.3.2	Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse	54	Anhang C (normativ)		82
6.3.3	Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile	59	Auswahl der Ausführungsklasse		82
6.3.4	Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile	61	C.1	Allgemeines	82
6.3.5	Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken	63	C.1.1	Grundanforderungen	82
6.4	Mehrteilige Bauteile	64	C.1.2	Ausführungsklasse	82
6.4.1	Allgemeines	64	C.2	Auswahlverfahren	83
6.4.2	Gitterstützen	67	C.2.1	Maßgebende Faktoren	83
6.4.3	Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen)	67	C.2.2	Auswahl	83
6.4.4	Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung	68	Literatur zu den Kommentaren		85
7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	69			
7.1	Allgemeines	69			

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 Normentext 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 Normentext 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 Normentext 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 Normentext 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 Normentext 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 Momenten Tragfähigkeit 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 Wärmefreisetzungsrates 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 Raumzellegebäude 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	427		
	Richard Stroetmann, Lars Sieber, Andreas Taras, Thomas Riedel unter Mitarbeit von Jürgen Anders, Gerd Kuscher			
1	Allgemeines	431	5	Bewertung der Spröbruchneigung genieteter Stahlkonstruktionen aus Flusstahl
2	Verfahren zur Stahlherstellung und Entwicklung der Normung	434	5.1	Einführung
2.1	Roheisenerzeugung und Verwendung von Koks	434	5.2	Spröbruchsicherheit von Bauteilen
2.2	Industrielle Stahlerzeugung mit dem Puddelverfahren	437	5.2.1	Wahl der Stahlgütegruppe nach der DAST-Richtlinie 009 von 1973
2.3	Flusstahlerzeugung nach dem Bessemer-Verfahren	438	5.2.2	Spröbruchsicherheit nach EN 1993-1-10
2.4	Flusstahlerzeugung nach dem Thomas-Verfahren	439	5.2.3	Bewertung der Spröbruchneigung von Bauteilen in Stahlgitter-Freileitungsmasten
2.5	Siemens-Martin-Verfahren	439	5.3	Bruchmechanische Sicherheitsanalyse
2.6	Linz-Donawitz-Verfahren	441	5.3.1	Grundlagen bruchmechanischer Nachweiskonzepte
2.7	Verfahrensanteile der Stahlproduktion	441	5.3.2	Spannungsintensitätsfaktoren für Lochstäbe
2.7.1	Weltstahlproduktion	441	5.3.3	Plastische Grenzlasten von Bauteilen mit Querschnittsschwächungen durch Risse
2.7.2	Deutschland vor dem 2. Weltkrieg	441	5.3.4	Annahme eines rissartigen Fehlers in alten Stahlkonstruktionen
2.7.3	Das geteilte Deutschland nach dem 2. Weltkrieg	442	5.4	Bruchzähigkeit alter Baustähle
2.8	Entwicklung der Normung für Baustähle in Deutschland	443	5.4.1	Bruchmechanische Zähigkeit – Referenztemperatur nach dem Master-Curve-Konzept
3	Werkstoffeigenschaften alter Baustähle	444	5.4.2	Vergleich mit Werkstoffdaten früherer Untersuchungen
3.1	Metallurgische Besonderheiten aus dem Herstellungsverfahren	444	5.4.3	Zusammenhang zwischen Werkstoffzähigkeit und Stahlgüte
3.2	Chemische Zusammensetzung	445	5.4.4	Korrelationen der Werkstoffzähigkeit
3.3	Mechanisch-technologische Kennwerte	447	5.5	Anwendungsbeispiele
4	Verbindungstechnik	451	5.5.1	Allgemeines
4.1	Nietverbindungen	451	5.5.2	Anschlüsse in einem Stahlgittermast
4.1.1	Allgemeines	451	5.5.3	Geschweißter Anschluss des Zuggurts eines Fachwerkträgers
4.1.2	Normen und Stahlsorten für Niete	452	6	Ermüdungsfestigkeit und Restlebensdauer genieteter Bauteile
4.1.3	Abmessungen genormter Niete	454	6.1	Allgemeines und Inhalt des Abschnitts
4.1.4	Nachweis von Nietverbindungen	457	6.2	Gleitwiderstand genieteter Verbindungen
4.1.5	Herstellen der Nietverbindungen	457	6.3	Ermüdungsfestigkeit genieteter Bauteile
4.1.6	Arbeits- und Verfahrensprüfungen an ein- und mehrschnittigen Verbindungen	459	6.3.1	Einflussfaktoren
4.1.7	Inspektion und Abnahme von Nietverbindungen	461	6.3.2	Versuchsergebnisse und statistische Auswertung
4.1.8	Alternativen zur Niettechnik	462	6.3.3	Statistische Auswertung
4.2	Schweißen alter Baustähle	463	6.3.4	Kerbfallkatalog
4.2.1	Schweißbarkeit	463	6.4	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Restlebensdauer auf Basis des Kerbfallkatalogs
4.2.2	Schweißbeignung	464	6.4.1	Grundlegendes
4.2.3	Schweißen von Kehlnähten	465		
4.2.4	Schweißen von Stumpfnähten	466		
4.2.5	Empfohlene Werkstoffanalysen zur Bewertung der Schweißbeignung	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 Jaspart, Ioannis Vayas				
1	Einleitung	531	5	Stabilitätsnachweis für Stäbe aus Einzelwinkelprofilen	544
2	Formelzeichen – Querschnitseigenschaften	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		Fehler und Unsicherheiten der eingesetzten Modelle	625
4.2.5	Beanspruchungen durch wirbelerregte Querschwingungen	609	6.2	Aktuelle Situation der CFD im Windingenieurwesen	626
4.2.6	Ermittlung der Spannungsschwingspiele N	609	6.3	Überlegungen zur Qualitätssicherung von CFD Berechnungen	627
4.3	Beispiele und Bewertung	609	6.4	CFD-Anwendung Beispiel I: Westturm Schloss Friedenstein	628
4.4	Anwendung für Türme in Gruppenanordnung	613	6.5	Details der numerischen Simulation	628
5	Minderung der Schwingungen von Brückenüberbauten im Bauzustand	615	6.5.1	Validierung der Oberflächendruckbeiwerte	630
5.1	Stahlverbundbrücken im Taktschiebeverfahren	615	6.5.2	CFD-Anwendung Beispiel II: Brücke Rheinquerung	632
5.2	Hochmoselbrücke bei Ürzig	616	6.6	Fazit und Ausblick	635
5.3	Aftetalbrücke bei Bad Wünnenberg	619	6.7	Danksagungen	635
5.4	Modifikation des Vorbauschnabels zur Unterdrückung der Anregung	622	7	Literatur	635
			8	Referenzen	635
			8.1		

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

Autor:innenverzeichnis

Bezas, Marios-Zois, M.Sc.

2010–2015 Diplom in Bauingenieurwesen an der AUTH (Aristotle University of Thessaloniki), 2016–2017 M.Sc. in Erdbebeningenieurwesen und seismischer Auslegung von Bauwerken an der AUTH, seit 2017 Doktorand und wissenschaftlicher Mitarbeiter an der NTUA und Université de Liège.

Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Iroon Polytechniou Str. 9, 15780 Athen, Griechenland
 Université de Liège, Département ArGenCo, Quartier Polytech 1, Allée de la Découverte 9 B52/3, 4000 Lüttich/Belgien

Beyer, André, Dr.

2005–2011 Bauingenieurstudium TU Dresden und ESTP Paris, 2012 Schweißfachingenieur SLV Halle, 2017 externe Promotion Université de Lorraine, seit 2011 CTICM – derzeit Projektdirektor Forschung und Entwicklung, seit 2019 externer Dozent für Stahlbau an der Université de Lorraine.

CTICM, L'orme des merisiers, 91193 Saint-Aubin/Frankreich

Brune, Bettina, apl. Prof. Dr.-Ing. habil.

Bauingenieurstudium Universität Dortmund, 1990–2001 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der TU Dortmund, 1994 Promotion und 2001 Habilitation am Lehrstuhl für Stahlbau der TU Dortmund, seit 2001 TU Dortmund Lehrstuhl Stahlbau, seit 2001 (freiberuflich) PSP Aachen/Dortmund, seit 2012 Ingenieurgemeinschaft für Stahlforschung GbR.

Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl Stahlbau, August-Schmidt-Str. 6, 44227 Dortmund

Chen, Cong, Dr.-Ing

Bachelorstudium Bauingenieurwesen Tianjin Universität (China), Masterstudium Bauingenieurwesen Tongji Universität (China), 2015–2021 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Stahlbau der TU-Braunschweig, 2017–2021 Teilnehmer „International Doctorate Program with Università degli Studi di Firenze“, 2021 Promotion am Institut für Stahlbau TU-Braunschweig, seit 2021 Postdoc am Institut für Stahlbau der TU Braunschweig.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Stahlbau, Beethovenstr. 51, 38106 Braunschweig

Feldmann, Markus, Prof. Dr.-Ing.

1986–1991 Bauingenieurstudium RWTH Aachen, 1991–1992 Tragwerksplaner in der Industrie, 1992–1994 Promotion Lehrstuhl für Stahlbau, RWTH Aachen, 1992–1998 wiss. Mitarbeiter, Lehrstuhl für Stahlbau, RWTH Aachen, zuletzt als Oberingenieur, seit 1999 Geschäftsführender Gesellschafter Ingenieurbüro F+W GmbH, Aachen und Stuttgart, 2001–2004 Inhaber des Lehrstuhls für Stahlbau der TU Kaiserslautern, seit 2005 Inhaber des Lehrstuhls für Stahlbau und Leichtmetallbau der RWTH Aachen, Leiter des Instituts für Stahlbau der RWTH Aachen.

RWTH Aachen, Institut für Stahlbau, Mies-van-der-Rohe-Str. 1, 52074 Aachen

Friehe, Mirko, Dipl.-Ing.

Bauingenieurstudium RWTH-Aachen, 2008–2013 Ingenieurbüro Feldmann + Weynand GmbH, 2013–2016 Projektleiter Ingenieurbüro Kempen Krause GmbH, seit 2016 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der RWTH-Aachen.

RWTH Aachen University, Institut für Stahlbau und Lehrstuhl für Stahlbau und Leichtmetallbau, Mies-van-der-Rohe-Str. 1, 52074 Aachen

Häßler, Dustin, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus sowie der Technischen Universität Prag und der Universität von Minho, seit 2011 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der BAM, 2016 Promotion am Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover, seit 2019 stellvertretender Leiter des Fachbereichs 7.3 Brandingenieurwesen an der BAM, seit 2012 Sachverständiger für Schäden im konstruktiven Ingenieurbau (EIPOS), seit 2017 Fachplaner für vorbeugenden Brandschutz (EIPOS)

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Stellv. Leiter des Fachbereichs 7.3 Brandingenieurwesen, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

Höffer, Rüdiger, Prof. Dr.-Ing.

Diplombauingenieurstudium und 1996 Promotion an der Ruhr-Universität Bochum, 1995–1997 Stipendiat im europäischen Forschungsrahmenprogramm am Danish Maritime Inst., Kopenhagen, und an der Univ. Florenz, 1997–2003 lfd. Tragwerksplaner in der Ing.-gesellschaft für Bautechnik in Düsseldorf, seit 2009 Gesellschafter ebenda, seit 2003 Professur für Windingenieurwesen an der RUB, seit 2009 Prüflingenieur für Baustatik, seit 2011 Mitglied im europäischen Normen-

ausschuss zum EC1 und im nationalen Spiegelausschuss.

Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften,
AG Windingenieurwesen und Strömungsmechanik,
Universitätsstr. 150, 44801 Bochum

Hothan, Sascha, Dr.-Ing.

Studium des Bauingenieurwesens an der Leibniz Universität Hannover (LUH) und anschließende Promotion am Institut für Stahlbau der LUH, nach Tätigkeiten in einem Ingenieurbüro für Brandschutzfachplanung und für das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) seit 2008 Arbeitsgruppenleiter an der BAM, seit 2013 Leiter des Fachbereichs 7.3 Brandingenieurwesen der BAM, Mitarbeiter in Sachverständigenausschüssen des DIBt sowie in nationalen und internationalen Normungsgremien.

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Leiter des Fachbereichs 7.3 Brandingenieurwesen, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

Hubert, Wolfgang, Dipl.-Ing.

Bauingenieurstudium an der Ruhr-Universität Bochum, 1999–2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ruhr-Universität Bochum, seit 2008 Angestellter im Ingenieurbüro Niemann & Partner GbR (seit 2021 Niemann Ingenieure GbR), Gutachtentätigkeit in den Bereichen Windingenieurwesen und Baudynamik u. a. zu zahlreichen Brückenbauwerken.

Niemann Ingenieure GbR, Technologiezentrum Ruhr, Universitätsstr. 142, 44799 Bochum

Jaspert, Jean-Pierre, Prof. Dr.-Ing und Aggregation für die Hochschulbildung

1985 Diplom des Bauingenieurwesens, 1991 Promotion und Aggregation für die Hochschulbildung, 1997 verliehen von der Université de Liège, seit 1995 Université de Liège, Direktor des Labors für Materialwissenschaften und Strukturen Université de Liège, Honorarforschungsdirektor des Belgischen Forschungsfonds (Fonds National de la Recherche Scientifique – FNRS), aktiv in Forschung, Hochschulausbildung, europäische Normung und Assistenz der Industrie.

Université de Liège, Abteilung ArGenCo, Quartier Polytech 1, Allée de la Découverte 9 B52/3, 4000 Lüttich/Belgien

Jörg, Fabian, M.Sc.

Bauingenieurstudium Universität Stuttgart 2011–2016, seit 2016 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für

Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart, Fachgebiet Stabilität im Stahlbau.

Institut für Konstruktion und Entwurf,
Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart

Kalender, Cornelia, Dr.-Ing.

Diplomstudiengang Umwelttechnik und Ressourcenmanagement Ruhr-Universität Bochum (RUB), seit 2008 wissenschaftliche Mitarbeiterin in Forschung und Lehre an der RUB, 2015 Promotion in der Arbeitsgruppe Windingenieurwesen und Strömungsmechanik der RUB, seit 2021 Geschäftsführerin Ingenieurbüro KalWin Engineering.

Ruhr-Universität Bochum, Windingenieurwesen und Strömungsmechanik, Universitätsstr. 150, 44081 Bochum
KalWin Engineering, Bergerstr. 10, 58452 Witten

Kathage, Karsten, Dr.-Ing.

Studium des Bauingenieurwesens an der Ruhr-Universität Bochum und Promotion mit einem „Beitrag zur plastischen Bemessung durchlaufender Verbundträger mit Verbundanschlüssen“, seit 1995 tätig beim DIBt, ab 2005 Leitung des Referats „Metallbau, Verbundbau, Sonderbauten, Lager und Glaskonstruktionen“, seit 2011 Vizepräsident des DIBt und zudem Leiter der Präsidialabteilung. Mitglied in nationalen und europäischen Fachgremien und im Geschäftsführenden Ausschuss (Executive Board) der Europäischen Organisation für Technische Bewertung (EOTA).

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin

Kemper, Frank, Prof. Dr.-Ing.

1998–2004 Bauingenieurstudium RWTH Aachen, 2004–2009 Projekt-Ingenieur und Projektleiter in der Industrie, 2009–2016 wissenschaftlicher Mitarbeiter und 2013 Promotion Institut für Stahlbau, RWTH Aachen. Seit 2016 Professor für konstruktiver Ingenieurbau, TH Lübeck sowie Lehrbeauftragter und Geschäftsführer des Centers for Wind and Earthquake Engineering, RWTH Aachen.

RWTH Aachen, Center for Wind and Earthquake Engineering, Mies-van-der-Rohe-Str. 1, 52070 Aachen

Knobloch, Markus, Univ. Prof. Dr. sc. techn.

Bauingenieurstudium an der TU Darmstadt, 2007 Promotion an der ETH Zürich, 2008–2010 Projektleiter für Stahl- und Verbundbau bei der Tuchs Schmid AG, Frauenfeld; 2010–2014 Professor für Stahl- und Verbundbau an der Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz; 2014 Habilitation an der ETH Zürich, seit 2014 Profes-

sor für Stahl-, Leicht- und Verbundbau an der Ruhr-Universität Bochum.

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Stahl-, Leicht- und Verbundbau, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum

Kuhlmann, Ulrike, Prof. Dr.-Ing.

Professorin für Stahlbau, Holzbau und Verbundbau, Leiterin des Instituts für Konstruktion und Entwurf an der Universität Stuttgart nach 7 Jahren Tätigkeit in der Industrie. Seit 1998 Partnerin in der Bürogemeinschaft Kuhlmann-Gerold-Eisele-Zipperlein in Ostfildern, Nellingen. Seit 1999 Herausgeberin des Stahlbau-Kalenders. Als Mitglied in zahlreichen Ausschüssen und Gremien aktiv in der deutschen und europäischen Normungsarbeit, Vorsitzende von TC 250/SC 3 „Design of Steel Structures“. Forschungsthemen u. a. Stabilität, Ermüdung und alle Arten von Verbindungen und Anschlüssen.

Institut für Konstruktion und Entwurf,
Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart

Lupi, Francesca, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium an der Universität Florenz (Italien), 2013 Promotion im Rahmen eines internationalen Graduiertenkollegs (Universität Florenz und Technische Universität Braunschweig), 2016–2017 Stipendiatin der Alexander von Humboldt Stiftung an der Ruhr-Universität Bochum (RUB), seit 2019 Projektleiterin eines DFG-Forschungsprojekts über wirbelerregte Schwingungen an der RUB, seit 2021 Gesellschafterin bei der Niemann Ingenieure GbR, Bochum.

Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Windingenieurwesen und Strömungsmechanik, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum

Niemann Ingenieure GbR, Technologiezentrum,
Universitätsstr. 142, 44799 Bochum

Mensinger, Martin, Univ. Prof. Dr.-Ing.

Dipl.-Wirt.-Ing.

Bauingenieurstudium an der TU Karlsruhe; 1994–1996 Tragwerksplaner bei der Philipp Holzmann AG, Neu-Isenburg; 1999 Promotion an der TU Kaiserslautern; 1996–2001 Tragwerksplaner beim Ingenieurbüro Voss & Kamb, Kaiserslautern; 2001–2006 Mitgl. d. GF bei H. Wetter AG, Stetten; 2003–2006 Dozent an der HTA Luzern; seit 2006 Professor am Lehrstuhl für Metallbau an der TU München; seit 2007 Inh. der M. Mensinger GmbH, Dintikon; seit 2014 Partner der Mensinger Stadler Ingenieurpartnerschaft, München, Prien, Kaiserslautern; Prüfingenieur für Standsicherheit (Metallbau), Prüfsachverständiger im Bereich

der Eisenbahnen des Bundes (Fachrichtung Metallbau und Verbundbau).

TU München, Lehrstuhl für Metallbau,
Theresienstr. 90, 80333 München

Molochnikova, Olga, M.Sc.

Bauingenieurstudium Leibniz Universität Hannover, seit 2011 Mitarbeiterin im Ingenieurbüro hhpberlin.

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH, Kurze Mühren 20, 20095 Hamburg

Mund, Maximilian, M.Sc.

2012–2018 Bauingenieurstudium Leibniz Universität Hannover, seit 2018 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Leibniz Universität Hannover am Institut für Stahlbau.

Leibniz Universität Hannover, Institut für Stahlbau,
Appelstr. 9A, 30167 Hannover

Ortmann, Christoph, Dipl. Ing.

1993–1995 Berufsausbildung zum Zimmerer, 1995–2003 Bauingenieurstudium Universität Rostock, 2003 Mitarbeiter im Bauplanungsbüro, seit 2003 Technischer Referent im DIBt.

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt),
Kolonnenstraße 30 B, 10829 Berlin

Patschin, Alena, Dipl.-Ing.

Bauingenieurstudium TU Dortmund, 2010–2019 wissenschaftliche Mitarbeiterin TU Dortmund, seit 2020 Mitarbeiterin bei PSP Professor Sedlacek & Partner in Dortmund.

PSP Professor Sedlacek & Partner,
Stockumer Str. 475, 44227 Dortmund

Pehrs, Inka, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium und Promotion an der Leibniz Universität Hannover 2018, seit 2017 Büroleitung Standort Hannover und fachliche Leitung „Ingenieurmethoden im Brandschutz“ bei Hagen Ingenieurgesellschaft für Brandschutz.

Hagen Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH,
Lange Laube 19, 30159 Hannover

Riedel, Thomas, Dipl.-Ing.(FH)

Bauingenieurstudium HTW Dresden, 1997–2004 Planungingenieur/Projektleiter Konstruktiver Ingenieurbau bei der DB Netz AG, seit 2004 Fachverantwortlicher Brückenbelastbarkeit DB Netz AG Region Süd-

ost, 2018–2020 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HTW Dresden.

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden,
Labor Konstruktiver Ingenieurbau, Friedrich-List-
Platz 1, 01069 Dresden

Schaper, Lukas, Dipl.-Ing.

2004–2010 Bauingenieurstudium an der Ruhr-Univer-
sität Bochum, 2010–2014 Dipl.-Ing. bei der Ingenieur-
sozietät Schürmann, Kindmann und Partner GbR,
Dortmund; seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am
Lehrstuhl für Stahl-, Leicht- und Verbundbau der
Ruhr-Universität Bochum.

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Stahl-,
Leicht- und Verbundbau, Universitätsstr. 150,
44801 Bochum

Schaumann, Peter, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium und Promotion an der Ruhr Uni-
versität Bochum, seit 1996 Universitätsprofessur und
Leiter des Instituts für Stahlbau der Leibniz Universität
Hannover, , seit 2009 Geschäftsführender Gesellschaf-
ter der SKI Ingenieurgesellschaft in Hannover, seit 2010
Standortleiter Hannover des Fraunhofer Instituts für
Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), 2014
geschäftsführender Leiter des Testzentrums Tragstruk-
turen Hannover (TTH),

Leibniz Universität Hannover, Institut für Stahlbau,
Appelstr. 9A, 30167 Hannover

Sieber, Lars, Dr.-Ing. (SFI)

1995–2000 Bauingenieurstudium an der TU Dresden,
2001–2007 Tragwerksplaner bei der GMG Ingenieur-
gesellschaft mbH Dresden, 2007–2017 wissenschaftlicher
Mitarbeiter an der TU Dresden, 2017 Promotion
am Institut für Stahl- und Holzbau der TU Dresden,
seit 2017 Leitender F&E-Ingenieur im Konstruktiven
Ingenieurbau an der HTW Dresden.

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden,
Labor Konstruktiver Ingenieurbau, Friedrich-List-
Platz 1, 01069 Dresden

Sothmann, Jörg, Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium Leibniz Universität Hannover,
2008–2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut
für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover, 2013
Promotion am Institut für Stahlbau der Leibniz Uni-
versität Hannover, seit 2013 Mitarbeiter im Ingenieur-
büro hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH, seit
2019 öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständi-
ger für das Sachgebiet „Vorbeugender Brandschutz“.

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH, Kurze
Mühren 20, 20095 Hamburg

Spennes, Georg, Dipl.-Ing.

1977–1982 Bauingenieurstudium an der Fachhoch-
schule Aachen, Schwerpunkt Konstruktiver Ingenieur-
bau, 1982 Ingenieur im Prüfstatikbüro Flett und Breuer,
1994 Ingenieur bei der BFT Planung GmbH und seit
1998 Geschäftsführender Gesellschafter in diesem Un-
ternehmen, seit 1996 Sachverständiger und Fachplaner
für den baulichen Brandschutz und Sachverständiger
für Schall und Wärmeschutz, seit 2000 Geschäftsfüh-
render Gesellschafter bei BFT Cognos GmbH und Do-
zent für Brandschutz an der FH Aachen, seit 2004
Dozent für Brandschutz an der TH Köln, seit 2009
Mitglied in den Normenausschüssen DIN 18230-1,
DIN 18230-4, DIN 18009, seit 2013 Mitglied im Ar-
beitsausschuss „Brandschutzleitfaden des Bundes“,
2017 Stellvertretender Vorstand der Stiftung Smart
Building, seit 2018 Lehrbeauftragter für Brandschutz
an der RWTH Aachen, seit 2019 Qualifizierter Trag-
werksplaner, seit 2020 Vorstandsvorsitzender der Stif-
tung Smart Building und seit 2021 Vertreter des Prü-
fungsausschusses Brandschutz der Architektenkammer
und Prüflingenieur für Brandschutz.

BFT Cognos GmbH, Im Susterfeld 1, 52072 Aachen

Stroetmann, Richard, Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Bauingenieurstudium in Aachen, Darmstadt, Kais-
erslautern, 1987–1994 Tragwerksplaner und Projekt-
leiter in den Ingenieurbüros Gillessen und Partner Aa-
chen und Voss & Kamb und Partner Kaiserslautern,
1994–1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU
Darmstadt, 1999 Promotion, Wechsel zu KREBS+KIE-
FER Ingenieure GmbH, 1999–2001 Projektleiter, seit
2001 Geschäftsführer und Gesellschafter, 2005 Ruf
zum Professor für Stahlbau, seit 2006 Direktor des In-
stituts für Stahl- und Holzbau und seit 2016 Prodekan
der Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden, 2011
Anerkennung als Prüflingenieur für Standsicherheit,
Mitglied und Mitarbeit in nationalen und internatio-
nalen Ausschüssen, u.a. VBI, VPI, DAST, DSTV, DIBt,
NABau, DIN, CEN, IIW, IABSE, CEDICT, ECCS,
HPSSRC

Technische Universität Dresden, Fakultät
Bauingenieurwesen, Institut für Stahl- und Holzbau,
Professur für Stahlbau, 01062 Dresden

Taras, Andreas, Prof. Dr.

Bauingenieurstudium in Wien und Graz, wissenschaft-
licher Mitarbeiter am Institut für Stahl- und Rohbau
der TU Graz, 2011 Promotion, seit 2006 auch berate-
nder Ingenieur und Experte für Stahl- und Verbundkon-
struktionen, 2011 Berufung zum Assistenzprofessor,
2016 Ruf zum Professor für Stahlbau an die Universität
der Bundeswehr in München, seit Oktober 2019 or-
dentlicher Professor für Stahlbau und Composite
Structures an der ETH Zürich, Mitglied in verschiede-
nen Normungsgremien und Verbänden auf nationaler

- Einwirkungen 91
- Gelenktragwerk 11
- Normen, europäische 207
- Planung
 - Anforderungen 16 f.
 - Grundlagen 16–19, 91
- Schalentragwerk *siehe dort*
- Stabilität 27–29
 - Nachweis 61
 - (mit) steifen Anschlüssen 11
 - Teiltragwerk, Definition 10
- Verbundtragwerk *siehe dort*
- (mit) verformbaren Anschlüssen 11
- Tragwerksberechnung 24–41
 - Definition 11
 - elastische 26, 30, 35 f.
 - plastische 26, 36, 63
 - Stahlbauten 24–41
 - (nach) Theorie I. Ordnung 25 f., 28
 - (nach) Theorie II. Ordnung 25, 28
- Traveling fires 307
- Trennwand, Brandschutzanforderungen 106 f.
- Treppe, Brandschutzanforderungen 109
- Treppenraum, notwendiger
 - Brandschutzanforderungen 109 f.
- Tropftülle, neu eingeschweißte 472
- Tür
 - Fahrschachttür, Brandschutzanforderungen 147
- Turbulenzintensität 609
 - Stabilität der Atmosphäre 610
- Turbulenzprofile 580–582
- Turm *siehe auch* Mast 641–707
 - Anforderungen nach MVV TB Teil A 92
 - Betriebslast 690 f.
 - Definition 643 f.
 - Einsatzgebiete 643–648
 - Eislast 691 f.
 - Gitterturm *siehe dort*
 - Glockenturm 93
 - (in) Gruppenanordnung
 - Schwingungen, wirbelerregte 613–615
 - Lasteinwirkungen 672–693
 - Regelwerke 644
 - Relevanz 643–648
 - Rohrturm *siehe dort*
 - Schwingungen
 - böenerregte 685
 - Ermüdungsnachweis 686
 - Querschwingungen, wirbelerregte 685 f.
 - Beschreibung 685 f.
 - winderregte
 - Ermüdungsnachweis 686 f.
 - Reduktion 687 f.
 - wirbelerregte 601–615
 - Ermüdungsnachweis 687
 - Schwingungsanfälligkeit 685
 - Sicherheitsindex 698
 - Sicherheitskonzept 693–699
 - technische Baubestimmungen nach MVV TB Teil A 92
 - Teilsicherheitsbeiwerte 693 f.
 - Vereisung *siehe dort*
 - vollständig probabilistische Bemessung 694 f.
 - (für) Windenergieanlagen *siehe auch dort* 649
 - Windlast 672–676
 - aerodynamische Beiwerte 679–685
 - Böengeschwindigkeit 672
 - extreme Windgeschwindigkeit 672–674
 - Extremwertverteilung 674
 - Querschwingamplitude, Berechnung 686
 - Umgebungsrauigkeit, Einfluss 674–676
 - Zuverlässigkeit 695–699
- U**
- Umweltschutz 113 f.
- Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes (URANS) 624
- V**
- Van-der-Pol-Oszillator 601
- Verbindungen
 - A/V-Verhältnis der angeschlossenen Bauteile 264
 - Hohlprofilverbindung *siehe dort*
 - Nietverbindung *siehe dort*
 - prEN 1993-1-2:2020 262–267
 - Schraubverbindung, Geometriedefinition 479
 - Schweißverbindung *siehe dort und* Schweißnaht
 - Temperaturen im Brandfall 263 f.
- Verbindungsmittel 127 f.
- Verbindungstechnik 431, 451–473
- Verbundbau
 - abZ/aBG 144 f.
 - Anforderungen nach MVV TB Teil A 92 f.
 - technische Baubestimmungen nach MVV TB Teil A 92 f.
- Verbundbauteile, brandschutztechnische Bemessung 296
- Verbundbrücke, Stahlverbundbrücke 597
- Verbunddecke
 - Brandfall, Einwirkungen 316 f.
 - brandschutztechnische Bemessung 297–299, 316–324
 - Abschattungseffekte 318
 - Anwendungsgrenzen 317
 - (bei) hinterschnittenen Profilen 317
 - Konfigurationsfaktor 318
 - Längsschubtragfähigkeit 322–324
 - Momentenragfähigkeit 318–322
 - Raumabschlusskriterium 317
- Rippengeometriefaktor 317
- Sichtfaktor 318
- Wärmedämmkriterium 317 f.
- Membrantragwirkung 299
- Verbundstütze
 - brandschutztechnische Bemessung 301–304
 - (mit) Ersatzstabverfahren 301
 - Grenznormalkraft 302
 - Knickspannungslinien 301
 - Verbundträger mit großen Stegöffnungen 301
 - brandschutztechnische Bemessung 299–301
 - kammerbetonierter 300, 302
 - brandschutztechnische Bemessung 324–334
 - Bemessungstabellen 325–327
 - Momentenragfähigkeit 327, 331–333
 - Querkraftragfähigkeit 333 f.
 - vereinfachte Verfahren 327–333
 - Zulagebewehrung 327
 - Längsschubtragfähigkeit 300
 - Momentenragfähigkeit, plastische 300
 - Querkraftragfähigkeit 300
- Verbundtragwerk
 - Anforderungen nach MVV TB Teil A 93
 - brandschutztechnische Bemessung 279–344
 - computergestützte 304–312
 - allgemeine Berechnungsverfahren 306–308
 - Software-Validierung 308–312
 - vereinfachtes Verfahren, Bemessungstools 305
 - technische Baubestimmungen nach MVV TB Teil A 93
- Verdrehungsbehinderung 63
 - Größtabstand 79 f.
 - kontinuierliche 75 f.
- Vereisung
 - Bewertung 678 f.
 - Eiszapfen 676 f.
 - Freileitung 676
 - Klareis 676 f.
 - klimatische Randbedingungen 677 f.
 - Raueis 676 f.
 - Szenarien 676 f.
- Verkehrsinfrastruktur 644
- Verschiebungsbehinderung 63
- Versprödung 467
- Vierfuß-Rohrmast, Gründung 665–667, 669
- Vollbrandmodell 358
- Vollwand-Biegeträger 452
- Vorhangfassade 121
- Vorkrümmung, Bemessungswerte 30
- Vorschlaghammer 458
- Voutenfaktor 81

- W**
- Wake-Oscillator-Modell 596–598
 - Wand, Brandschutzanforderungen
 - Außenwand 105 f.
 - Brandwand 107 f.
 - Fahrschachtwand 110
 - Trennwand 106 f.
 - Wandbauteile 121
 - Wärmeabzugsgeräte, Brandschutzanforderungen 111
 - Wärmeausdehnungskoeffizient 292
 - Wärmeeinsatzungsrate
 - Bestimmung 359 f.
 - (von) Fahrzeugen 410 f.
 - Wärmekapazität
 - Beton 291
 - spezifische von nichtrostendem Stahl 253
 - Stahl 291
 - Wärmeleitfähigkeit
 - Beton 290 f.
 - effektive 392
 - Stahl 290 f.
 - – nichtrostender 252
 - Wärmeschutz 117–121
 - Wärmestrahlung 215
 - Wärmetransportmechanismen 285–287
 - Wärmeübergangskoeffizient, konvektiver 353
 - Wärmeübertragung 215
 - Warmneten 458
 - Wasserrinnal 598 f.
 - Weltstahlproduktion 441 f.
 - Wendel 598 f.
 - Windenergieanlage 644, 647–649
 - Anforderungen nach MVV TB Teil A 94
 - Betriebszustände 688 f.
 - Grenzzustandsbewertung 649
 - Konstruktionsformen 662
 - – optimale 648
 - Standortbedingungen 663
 - technische Baubestimmungen nach MVV TB Teil A 94
 - Tragstruktur 662
 - Windfelder
 - (am) Bauwerksstandort 583–589
 - lokale 580–590
 - Windgeschwindigkeit, kritische 595, 607
 - Windkanal, Grenzschiichtwindkanal 600
 - Windkanalversuch 593, 597
 - (in) geführter Bewegung 608
 - Windkraftanlage *siehe* Windenergieanlage
 - Windlastermittlung 577–639
 - Bauwerksinstabilität, aeroelastische 590–601
 - lokale Windfelder 580–590
 - Methoden 577–639
 - Modelle 577–639
 - numerische Simulationen in der Baupraxis 623–635
 - Schwingungen
 - – Minderung bei Brückenüberbauten 615–623
 - – turbulenzinduzierte 590–601
 - – wirbelerregte bei Türmen und Masten 601–615
 - Windmodelle 580–590
 - Windprofile 580–582
 - Bodenrauigkeitseinfluss 585–589
 - Topografieeinfluss 585–589
 - Windrichtungseinfluss 580 f.
 - Windrose 585
 - Stärkewindrose 584
 - Windstärken
 - Bemessungswindstärke für die Bauphase 589 f.
 - – Abminderungsfaktoren 589
 - – Sicherheitsniveau, operatives 589
 - richtungsverteilte 583
 - Windzonen 583 f.
 - Winkelabspannmast 650
 - Winkelprofil
 - Bezeichnungen 536
 - Eigenschaften 531
 - Formen 531
 - gewalztes gleichschenkeliges 527–576
 - Idealisierung 536
 - Querschnitteigenschaften 536
 - Schlankheitsgrad 531
 - Wirbelablösungsfrequenz 607
 - Wirbelablösungskraft 602
 - Wirbelresonanz, kritische Windgeschwindigkeit 607
 - Wirbelstraße
 - Strouhalfrequenz 602
 - Strouhalzahl 601, 607
 - Wirbelablösung 601
 - Wirbelablösungsfrequenz 601, 607
 - wirksame Breite 42
- X**
- X-Naht, Schweißeigenspannung 490
- Z**
- ZIP-Verfahren 480
 - Zugbeanspruchung, Nachweise 44 f.
 - Zugfestigkeit von Baustahl 21
 - Zugglied
 - reaktive Brandschutzsysteme (RBS) 394 f.
 - (aus) Stahl *siehe* Stahlzugglieder
 - (aus) Stahlvollprofil, reaktive Brandschutzsysteme (RBS) 383 f.
 - Zuggurt
 - Anschluss an Fachwerkträger 487–491
 - Eigenspannung 490
 - Spannungsverlauf 489
 - Zugstabsystem, reaktive Brandschutzsysteme (RBS) 390 f.
 - Zugstoß, überlaschter
 - Gleitwiderstand 493
 - Zulassung *siehe* allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
 - Zuverlässigkeitsklasse 82
 - Zwängung, thermische 289
 - Zwei-Blech-Profil 536
 - Schenkelbreite 538
 - Spannungsverteilung 538
 - Zwei-Zonen-Brandmodell 358

WILEY END USER LICENSE AGREEMENT

Go to www.wiley.com/go/eula to access Wiley's ebook EULA.

