

2013

BetonKalender

Lebensdauer und Instandsetzung
Brandschutz

2013

BetonKalender

Lebensdauer und Instandsetzung Brandschutz

Herausgegeben von

Prof. Dipl.-Ing. DDr. Konrad Bergmeister
Wien

Dr.-Ing. Frank Fingerloos
Berlin

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Johann-Dietrich Wörner
Darmstadt

102. Jahrgang

Hinweis des Verlages

Die Recherche zum Beton-Kalender ab Jahrgang 1980 steht im Internet zur Verfügung unter www.ernst-und-sohn.de

Titelfoto: Hackesches Quartier, Berlin
Fotograf: Nicolas Janberg, www.structurae.de

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.

© 2013 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,
Rotherstr. 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 photoprint, 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: Hans Baltzer, Berlin
Herstellung: HillerMedien, Berlin
Satz: Hagedorn Kommunikation GmbH, Viernheim
Druck und Bindung: Ebner & Spiegel, Ulm

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

ISBN 978-3-433-03000-4
Electronic version available. O-book ISBN 978-3-433-60259-1

ISSN 0170-4958

Vorwort

Der Beton-Kalender 2013 mit den Themenschwerpunkten „Lebensdauer und Instandsetzung“ und „Brandschutz“ zielt auf aktuelle Fragestellungen einer ganzheitlichen Betrachtung von Hochbau- und Ingenieurbauwerken ab. Bauwerke müssen sicher und über eine geplante Nutzungsdauer ein akzeptierbares Sicherheitsniveau aufweisen. Dabei muss die Gebrauchstauglichkeit und Funktionalität gewährleistet und unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit der Aufwand für die Instandhaltung angemessen sein.

Der Beton-Kalender 2013 stellt nicht nur eine erstklassige Wissensquelle zu spezifischen Themen dar, sondern bietet das aktuelle grundlegende Wissen zum lebensdauerorientierten Konstruieren, zum Nachrechnen von bestehenden Brücken, zur konstruktiven Instandsetzung, zum Brandschutz, zur Sicherheit im Tunnelbau, zum ultrahochfesten Beton sowie zum Holz-Beton-Verbund in übersichtlicher Form.

Wörner und *Bergmeister* beschreiben grundlegende Elemente der Sicherheit eines Bauwerkes und die damit zusammenhängende Akzeptanz eines verbleibenden Risikos basierend auf Wahrscheinlichkeitstheoretischen Annahmen. Beispielhaft werden die Sicherheitskonzepte geklebter Glasfassaden angeführt. Nachdem in vielen europäischen Ländern, so auch in Deutschland ab Juli 2012, die Tragwerksplanung auf den Eurocodes mit den Nationalen Anhängen aufbaut, haben die Autoren die Ansätze für praxisgerechte Regelwerke diskutiert und den bestehenden Vorschlag von *Cornelius* (2012) für mittlere Sicherheitsbeiwerte bei den Einwirkungen auch für die Widerstandsseite erweitert.

Ahrens, *Strauss*, *Bergmeister*, *Mark* und *Stangenberg* behandeln das Thema von Entwurf, Konstruktion und Nachrechnung unter lebensdauerorientierten Gesichtspunkten sehr umfassend. Neben den Grundlagen und den mathematischen Beschreibungen der Lebensdauer sowie der Restnutzungsdauer werden die Aspekte für langzeitige Deteriorationssimulationen, für die Überwachung und das

Monitoring, für Prognosen künftiger Zuverlässigkeiten und der damit verbundenen Unschärfen und Streuungen vermittelt. Ergänzt wird dieser Beitrag mit beispielhaften Anwendungen wahrscheinlichkeitstheoretischer Konzepte.

Gehlen und *von Greve-Dierfeld* geben Empfehlungen für eine modifizierte deskriptive Bemessung der Lebensdauer von Stahlbetonbauteilen über die, für gewöhnlich, konstruktive Sicherstellung der Dauerhaftigkeit hinaus. Sie gehen damit den Schritt von einer – im wahrsten Sinne des Wortes – natürlich gewachsenen Regelungspraxis zum Wahrscheinlichkeitstheoretisch basierten Nachweiskonzept. Aufgrund des aktuellen Wissensstandes ist eine probabilistische Zustandsprognose und damit eine Dauerhaftigkeitsbemessung in wesentlichen Teilbereichen auf probabilistischer Basis möglich. Bei einer angenommenen Lebensdauer von 50 Jahren wurden die derzeitigen deskriptiven Konstruktionsregeln in DIN EN 206-1 und DIN EN 1992-1-1 überarbeitet. Auf dieser Grundlage haben die Autoren modifizierte deskriptive Regeln entwickelt, welche im Wesentlichen auf der Klassifizierung des Materialwiderstandes basieren. Dadurch können bei gegebener Exposition der Materialwiderstand und die Geometrie aufeinander abgestimmt werden.

Der Beitrag über die Nachrechnung von bestehenden Straßenbrücken aus Beton von *Marzahn*, *Maurer*, *Zilch*, *Dunkelberg* und *Kolodziejczyk* wurde auf der Grundlage der sog. Nachrechnungsrichtlinie der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST (2011) erstellt. Darin werden vier Stufen von der Standardberechnung (Stufe 1) über den Einschluss von Sonderregelungen (Stufe 2) und die für die Praxis wichtige messwertgestützte Berechnung (Stufe 3) bis hin zur Einbeziehung von wissenschaftlichen Methoden bei komplizierten Fällen (Stufe 4) unterschieden.

Küchler fasst im Beitrag über die Instandsetzung von Betontragwerken den heutigen Stand des Wissens unter Einbindung von vielen praktischen Erfahrungen zusammen, wobei die weiteren Autoren

Beton-Kalender 2013: Lebensdauer und Instandsetzung – Brandschutz.

Herausgegeben von Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos und Johann-Dietrich Wörner

© 2013 Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published 2013 by Ernst & Sohn GmbH & Co. KG.

Daus, Duda, Freitag, Graubner, Ritter, Schneider, Schnell, Tue und Zichner zugearbeitet haben. Im Rahmen der Erhaltungsplanung sind die Bauwerksaufnahme, das Monitoring und die Analyseverfahren von besonderer Bedeutung, weshalb neben einer ausführlichen Analyse möglicher Schadensursachen an Hoch- und Ingenieurbauten die Bewertungsmethoden und die unterschiedlichen Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen vorgestellt werden. Dabei werden die Vorgaben der Rili-SIB, der ZTV-ING und der DIN EN 1504 sowie die Anwendung am Bauwerk erläutert. Besonderes Augenmerk haben die Autoren auf die Instandsetzungsprinzipien und deren Anwendungsbereiche sowie den Umgang mit den unterschiedlichen Normenwerken gelegt. Abschließend werden neue Werkstoffe und Konstruktionsprinzipien ausführlich erläutert und die Verwendung von ultrahochfesten Betonen im Rahmen von Verstärkungsmaßnahmen, der Einsatz externer Vorspannung sowie die Spanngliederankerung mit ultrahochfestem Feinmörtel aufgezeigt.

Zilch, Niedermeier und Finckh behandeln die geklebten Verstärkungen mit Kohlenstofffaserlamellen und Stahllaschen. Dabei werden die Regelungen der neuen einschlägigen DAfStb-Richtlinie mit ihren Hintergründen dargestellt, erläutert und anhand von Bemessungsbeispielen verdeutlicht.

Hosser, Richter und Kampmeier haben für den konstruktiven Brandschutz basierend auf den Eurocodes wichtige Teile daraus zusammengestellt. Dabei werden neue Möglichkeiten der Simulation natürlicher Brandverläufe behandelt, welche sich zum Teil deutlich vom Normbrand nach der Einheits-Temperaturzeitkurve ETK unterscheiden. Damit wird die Auslegung des konstruktiven Brandschutzes zu einer „echten“ Ingenieuraufgabe, wie die Autoren folgern. Deshalb werden die Naturbrandmodelle gemäß Eurocode 1-1-2 an dieser Stelle detailliert behandelt.

Bergmeister beschreibt die Sicherheit und den Brandschutz im Tunnelbau. Aufbauend auf den Erfahrungen mit großen Tunnelprojekten hat der Autor die Sicherheitsmaßnahmen in 5 Gruppen eingeteilt: ereignisverhindernde, ereignismindernde, solche zur Erleichterung der Selbstrettung, zur Erleichterung der Fremddrettung und zur Erleichterung der Schadensbekämpfung und -behebung. Die Auswirkungen von Brandereignissen auf Baustoffe sowie auf Tunnelschalen aus Beton werden ebenso behandelt wie Brandbekämpfungsanlagen.

Fehling, Schmidt, Walraven, Leutbecher und Fröhlich haben den aktuellen Wissensstand über ultra-

hochfesten Beton UHPC (ab 150 N/mm²) zusammengestellt. Dabei wurden die Grundlagen zur Herstellung ultrahochfester Betone und neue Forschungsergebnisse zur Optimierung der Gefügedichte und zur Verarbeitung eingearbeitet. Wichtig sind auch die Prüfmethoden von Frisch- und Festbeton sowie die Normenhinweise. Ausgeführte Beispiele zum Brücken- und Hochbau runden den Beitrag ab.

Holschemacher, Selle, Schmidt und Kieslich haben das Thema Holz-Beton-Verbund aufgearbeitet. Diese Bauart wird vielfach zur Ertüchtigung im Hochbau angewandt und hat damit eine spezielle Aktualität auch für das Bauen im Bestand. Im Beitrag werden das Tragverhalten, die Versagensmechanismen und die funktionalen Anforderungen an den Beton, das Holz und die Verbindungsmittel dargestellt. Die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit in Bezug auf Verformungen und Schwingungen werden behandelt und einige Ausführungsbeispiele angeführt.

Im Kapitel Normen und Regelwerke von *Fingerloos* findet man wertvolle Hinweise aus den Richtlinien und Normen. Zunächst werden Erläuterungen und Hinweise zur A1-Änderung des Nationalen Anhangs DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2) von 2012 gegeben. Für die „Heißbemessung“ im Brandfall wird sicherlich auch weiterhin von den Tragwerksplanern der Nachweis der Feuerwiderstandsklassen nach Konstruktionsregeln in Tabellen (Stufe 1) bevorzugt. Vor diesem Hintergrund wird eine zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Bemessungstabellen aus DIN EN 1992-1-2 und aus DIN 4102-4 (sinngemäß und redaktionell auf den Eurocode 2 angepasst) mit Beispielen zur Verfügung gestellt.

Der Beton-Kalender 2013 ist ein umfassendes Nachschlagewerk zu den eingangs genannten Schwerpunktthemen mit hohem Aktualitätsgrad und Fachniveau. Im Bewusstsein dessen, dass die Zeit immer gleich langsam vergeht, jedoch das Studium und Nachschlagen zunehmend als Schnell-Lesen absolviert werden müssen, versuchen die Herausgeber und Autoren mit dem Beton-Kalender praktisches, anwendungsorientiertes und grundlegendes Wissen in gebündelter Form zu bieten.

Prof. Dipl.-Ing. DDr. *Konrad Bergmeister*, Wien

Dr.-Ing. *Frank Fingerloos*, Berlin

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. *Johann-Dietrich Wörner*, Darmstadt

September 2012

Inhaltsübersicht

1

	Inhaltsverzeichnis	VII
	Anschriften	XVII
	Beiträge früherer Jahrgänge	XIX
I	Sicherheit, Risikoakzeptanz, Nutzungs-, Lebensdauer und das richtige Maß	1
	Johann-Dietrich Wörner, Konrad Bergmeister	
II	Lebensdauerorientierter Entwurf, Konstruktion, Nachrechnung	17
	Mark Alexander Ahrens, Alfred Strauss, Konrad Bergmeister, Peter Mark, Friedhelm Stangenberg	
III	Lebensdauer von Stahlbetonbauteilen – Empfehlungen für eine modifizierte deskriptive Bemessung	223
	Christoph Gehlen, Stefanie von Greve-Dierfeld	
IV	Die Nachrechnung von bestehenden Straßenbrücken aus Beton	271
	Gero Marzahn, Reinhard Maurer, Konrad Zilch, Daniel Dunkelberg, Agnieszka Kolodziejczyk	
V	Instandsetzung von Betontragwerken	345
	Michael Küchler	
VI	Geklebte Verstärkung mit CFK-Lamellen und Stahllaschen	469
	Konrad Zilch, Roland Niedermeier, Wolfgang Finckh	

Inhaltsübersicht

2

	Inhaltsverzeichnis	V
	Anschriften	XIII
VII	Konstruktiver Brandschutz nach den Eurocodes	1
	Dietmar Hosser, Ekkehard Richter, Björn Kampmeier	
VIII	Sicherheit und Brandschutz im Tunnelbau	63
	Konrad Bergmeister	
IX	Ultrahochfester Beton UHPC	117
	Ekkehard Fehling, Michael Schmidt, Joost Walraven, Torsten Leutbecher, Susanne Fröhlich	
X	Holz-Beton-Verbund	241
	Klaus Holschemacher, Ricky Selle, Jörg Schmidt, Hubertus Kieslich	
XI	Normen und Regelwerke	289
	Frank Fingerloos	
	Stichwortverzeichnis	445

Inhaltsverzeichnis

1

I	Sicherheit, Risikoakzeptanz, Nutzungs-, Lebensdauer und das richtige Maß . . . 1		
	Johann-Dietrich Wörner, Konrad Bergmeister		
1	Begriffsbestimmungen und Einführung 3	2.2	Nachweiskonzepte im Ingenieurbau 10
1.1	Nutzungsdauer, Lebensdauer 3	2.3	Sicherheitskonzept für geklebte Glasfassaden 11
1.2	Sicherheit – Risiko 5	3	Vereinfachung und Transparenz der Sicherheitsnachweise 12
1.3	Verbleibendes Risiko, F-N-Diagramme 6	3.1	Sicherheit und gesellschaftliche Relevanz 12
1.4	Lebensqualitätsparameter 8	3.2	Das richtige Maß 14
2	Zuverlässigkeit und Sicherheitskonzepte im Konstruktiven Ingenieurbau 10	4	Literatur 15
2.1	Zuverlässigkeitsmethoden 10		
II	Lebensdauerorientierter Entwurf, Konstruktion, Nachrechnung 17		
	Mark Alexander Ahrens, Alfred Strauss, Konrad Bergmeister, Peter Mark, Friedhelm Stangenberg		
1	Ziele/Aufgaben/Einleitung 19	4.4	Bezüge zu Nachhaltigkeit und Gewährleistung 36
2	Lebensdauer von Ingenieurbauwerken 20	4.5	Optimierungsaspekte der Nutzungsdauer von Tragwerken 36
2.1	Allgemeines 20	4.5.1	Numerisches Optimierungskonzept 36
3	Anforderungen der modernen Normengeneration an Betonbauwerke 24	4.5.2	Optimierungsaufgabe 37
3.1	Begriffsdefinitionen 24	4.5.3	Lösungen mit dem Antwortflächenverfahren 38
3.2	Einführung der Eurocodes auch als nationale Normen 25	4.5.4	Grundsätzliche Überlegungen 38
3.3	Fazit 28	4.5.5	Zusammenfassung des Konzepts 38
4	Lebensdauerorientierter Entwurf und Abschätzung von Restnutzungsdauern 29	4.5.6	Grundsätzliches zur Extrapolation 39
4.1	Einführung 29	5	Grundlagen numerischer Simulation 39
4.2	Auslegungskonzepte 32	5.1	Modellierung von Stahlbetonstrukturen 39
4.3	Restnutzungsdauer bei bestehenden Bauten 34	5.1.1	Allgemeines 39
4.3.1	Erfassung der Alterungsgeschichte bis dato 34	5.1.2	Elemente der nichtlinearen Analyse vs. realitätsnahes Strukturverhalten 40
4.3.2	Prognose und Steuerung der Restnutzungsdauer 34	5.1.3	Grundlegende Prinzipien der nichtlinearen Berechnungen 41
		5.1.4	Nichtlineare Betrachtungen vs. Lebensdauerbewertungen 42
		5.2	Geometriemodellierung 42

Beton-Kalender 2013: Lebensdauer und Instandsetzung – Brandschutz.

Herausgegeben von Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos und Johann-Dietrich Wörner

© 2013 Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published 2013 by Ernst & Sohn GmbH & Co. KG.

5.3	Materialmodellierung	43	6.1.5	Probabilistische Verfahren der Zuverlässigkeitsbewertung	104
5.3.1	Zeitunabhängiges Materialverhalten	44	6.1.5.1	Versagenswahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeitsindex	104
5.3.1.1	Phänomenologie von Beton	45	6.1.5.2	Teilsicherheitsbeiwerte	105
5.3.1.2	Drucktragverhalten	46	6.1.5.3	Stufen der probabilistischen Nachweisverfahren	106
5.3.1.3	Zugtragverhalten	48	6.1.5.4	Semiprobabilistisches Sicherheitskonzept	106
5.3.1.4	Betonstahl und Verbund	49	6.1.5.5	Normenspezifische Festlegungen nach EN 1990	107
5.3.2	Zeitabhängiges Materialverhalten	50	6.1.5.6	Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	107
5.3.2.1	Kriechen, Schwinden und Relaxation	51	6.1.5.7	Einwirkungskombination – Repräsentative Werte	109
5.3.2.2	Empirische Kriechmodelle	54	6.1.6	Tragfähigkeitsbewertung bestehender Strukturen	109
5.3.2.3	Modelle auf Basis der Theorie linearer Viskosität	54	6.1.6.1	Allgemeines	110
5.3.2.4	Nichtlineares Kriechmodell auf Basis der viskoelastischen elastoplastischen Kontinuums-schädigungstheorie	55	6.1.6.2	Bewertung	110
5.3.2.5	Schwind- und Kriechprognosen auf Basis des B3-Modells nach <i>Bažant</i>	56	6.1.6.3	Stufen der Tragfähigkeitsbewertung nach der Nachrechnungsrichtlinie BMVBS:2011-05	111
5.4	Schädigungsmodellierung	59	6.1.6.4	Stufen der Tragfähigkeitsbewertung nach ONR 24008	112
5.4.1	Ermüdung von Beton- und Spannstahl	59	6.2	Wirklichkeitsnahe Anpassung semiprobabilistischer Teilsicherheitsfaktoren	114
5.4.2	Ermüdung von Beton	65	6.2.1	Allgemeines	114
5.4.2.1	Direkter Nachweis	65	6.2.2	Anpassungsvorgang	115
5.4.2.2	Nachweis der Schädigungsentwicklung	66	6.3	Inspektions- und Monitoringstrategien	119
5.4.2.3	Einstufige Ermüdungsbeanspruchung – Energetischer Ansatz	67	6.3.1	Allgemeines	119
5.4.3	Ermüdungsnachweise nach EN 1992	68	6.3.2	Begriffsdefinitionen im Zusammenhang mit der Brückenerhaltung	119
5.4.3.1	Mehrstufige Ermüdungsbeanspruchung	69	6.3.3	Rechtliche Grundlagen in Österreich	120
5.4.4	Stahlkorrosion	70	6.3.3.1	Normen	120
5.5	Stochastische Modellierung	72	6.3.3.2	Richtlinien	120
5.5.1	Sampling-Techniken	73	6.3.4	Rechtliche Grundlagen in Deutschland	120
5.5.1.1	Korrelationen	77	6.3.4.1	Normen	120
5.5.1.2	Fallstudie Beton	78	6.3.4.2	Richtlinien	121
5.5.2	Berücksichtigung von Inspektionsergebnissen mittels bedingter räumlicher Zufallsfelder	79	6.3.5	Bauwerksüberwachung	121
5.6	Strukturelle Performance und Performance-Indikatoren	82	6.3.5.1	Allgemeines	121
5.6.1	Allgemeines	82	6.3.5.2	Laufende Überwachung	121
5.6.2	Einzelbauteile	83	6.3.5.3	Kontrolle	121
5.6.3	Tragwerkstrukturen	86	6.3.5.4	Prüfung	122
5.6.3.1	Tragsicherheit	86	6.3.5.5	Bewertungssystem des Zustands einer Struktur	123
5.6.3.2	Gebrauchstauglichkeit	91	6.3.5.6	Monitoring	123
5.6.3.3	Robustheit, Redundanz – progressiver Kollaps	93	6.3.5.7	Zusammenfassung und Archivierung	128
5.6.3.4	Ausfallsicherheit – Resiliency	98	6.3.6	Zuverlässigkeitsbewertung auf Basis der Bauwerksüberwachung	129
6	Ingenieurwissenschaftliche und baupraktische Methoden	99	6.3.6.1	Allgemeines	129
6.1	Stufen des Sicherheitskonzeptes	99	6.3.6.2	Modellsicherheiten aus der Bauwerksprüfung	129
6.1.1	Allgemeines	99	6.3.6.3	Normierte Grenzzustandsfunktionen	129
6.1.2	Grundgesamtheit vs. Stichprobe	100			
6.1.3	Verteilungsdichtefunktionen	100			
6.1.4	Parameterschätzung	100			
6.1.4.1	Stichproben und Punktschätzung	100			

6.3.7	Zuverlässigkeitsbewertung auf Basis von Monitoring-informationen	131	6.5.3.3	Direkte Bestimmung der Bemessungswerte	160
6.3.7.1	Allgemeines	131	6.5.4	Bemessungsmodellkalibrierung nach EN 1990 Anhang D	161
6.3.7.2	Zuverlässigkeitsmethode für die Bewertung von Sensor-informationen	132	6.5.4.1	Standardisiertes Verfahren	161
6.3.7.3	Fallstudie: Zuverlässigkeitsbewertung mittels Monitoringdaten	133	6.5.4.2	Berücksichtigung von Vorinformationen	166
6.3.7.4	Monitoring basierte Bewertung der Beanspruchung in Bezug auf die Stahlstreckgrenze	133	6.6	Kostenmodelle für die Lebenszyklusbewertung	166
6.3.7.5	Monitoring-basierte Bewertung der Ermüdungsbeanspruchung	133	6.6.1	Zustandserfassung mittels Bayesian Network	167
6.3.7.6	Zusammenfassung	134	6.6.2	Zustandserfassung mittels Fehlerbaum	168
6.3.7.7	Kostenmodell für Monitoring-systeme	134	6.6.3	Ökonomisches Risiko	169
6.4	Modellanpassungen und Prognosemodelle	134	6.6.4	Zustandsbeschreibung	169
6.4.1	Inverse Analysetechniken	134	6.6.4.1	Normenvorschriften	169
6.4.1.1	FEM Updating – Allgemeines	135	6.6.4.2	Zustandsindikator S nach RVS	170
6.4.1.2	Verfahren der Modellbewertung/Modellanpassung	136	6.7	Lebenszykluskosten – Grundlagen nach ÖBBV-Richtlinie	172
6.4.2	Markov-Prognosemodelle	144	6.7.1	Kosten	172
6.4.2.1	Allgemeines	144	6.7.2	Ablösung	174
6.4.2.2	Monitoring-basierter Markov-Entscheidungsprozess	144	6.7.3	Abzinsung	174
6.4.2.3	Fallstudie	145	6.7.4	Abzinsungsfaktor $1/q^m$	174
6.4.2.4	Markov-Ketten	147	6.7.5	Aufzinsungsfaktor q^m	174
6.4.2.5	Theorie zur Instandhaltungsoptimierung mithilfe des allgemeinen POMDP in Verbindung mit Entscheidungsprozessen	147	6.7.6	Baukosten	174
6.4.2.6	Anwendungsbeispiel	148	6.7.7	Barwert und Endwert	175
6.4.2.7	Berechnung der optimalen Kosten für die Instandhaltung	150	6.7.8	Zinsfaktor der Kapitalisierung q	175
6.4.3	Gamma-Prognosemodelle	150	6.7.9	Zinssatz z	175
6.4.3.1	Allgemeines	150	7	Fallstudien	175
6.4.3.2	Gamma-Prozesse zur Beschreibung der Degradationseigenschaften	152	7.1	Häufige Schäden an Brücken	175
6.4.3.3	Eigenschaften stochastischer Prozesse	152	7.2	Hünxer Brücke	176
6.4.3.4	Modellierung von Gamma-Prozessen	152	7.2.1	Modellbildung	177
6.4.3.5	Gamma-Prozesse für Verschlechterungsvorgänge	153	7.2.1.1	Vorstellung des Referenzbauwerks Hünxer Brücke	177
6.4.3.6	Fallstudie	154	7.2.1.2	Finite-Elemente-Modellierung des Tragwerks	179
6.4.3.7	Wahl des Inspektionsverfahrens	154	7.2.1.3	Modellierung der Belastungen	180
6.5	Versuchsbasierte Modellanpassung und Bemessung	156	7.2.1.4	Ermittlung von Materialkennwerten aus Bauwerksdokumentation und Bohrkernuntersuchungen	180
6.5.1	Versuchsplanung	156	7.2.1.5	Stochastische Aufbereitung der Materialinformation	182
6.5.2	Ausreißertests	157	7.2.2	Sensitivität der Nutzungsdauer hinsichtlich einzelner Einflussgrößen	183
6.5.2.1	David-Hartley-Pearson-Test	157	7.2.3	Optimierung eines Tragwerksentwurfs im Hinblick auf eine maximale Nutzungsdauer	188
6.5.2.2	Grubbs-Test	158	7.2.4	Überprüfung der Ergebnisse durch deterministische Simulationen	191
6.5.3	Modellbemessungswerte	158	7.3	Neumarktbrücke	191
6.5.3.1	Allgemeines	158	7.3.1	Übersicht	191
6.5.3.2	Bemessungswerte auf Basis charakteristischer Werte nach EN 1990	158	7.3.2	Einleitung	192
			7.3.3	Technische Grundlagen	192
			7.3.4	Inspektion	192
			7.3.5	Zuverlässigkeitsanalyse	194
			7.3.5.1	Allgemeines	194

7.3.5.2	Chloridionenkonzentration an der Oberfläche der V-Balken	195	7.3.5.6	Probabilistische Zuverlässigkeitsbewertung	199
7.3.5.3	Cellular-Automata-Technik	196	8	Ausblick	205
7.3.5.4	Chloridionenkonzentration in der Tiefe des Bewehrungsstahls	197	9	Literatur	207
7.3.5.5	Nichtlineare Finite-Elemente-Analyse	198			
III	Lebensdauer von Stahlbetonbauteilen – Empfehlungen für eine modifizierte deskriptive Bemessung	223			
	Christoph Gehlen, Stefanie von Greve-Dierfeld				
1	Einführung	225	4.2	Analyse	243
1.1	Motivation	225	4.2.1	Allgemeines	243
1.2	Normative Entwicklung	225	4.2.2	Erzielbare Zuverlässigkeiten – Bemessung (a priori)	243
1.3	Forschungsentwicklung	226	4.2.3	An 20 Bauwerken erzielte Zuverlässigkeiten – Bauteilzuverlässigkeiten (a posteriori)	245
2	Modellierung von korrosionsauslösenden Mechanismen	227	4.3	Zuverlässigkeiten a priori – a posteriori	249
2.1	Allgemeines	227	4.3.1	Zuverlässigkeiten in den Expositionsklassen XC2–XC4	249
2.2	Carbonatisierungsinduzierte Bewehrungskorrosion	227	4.3.2	Zuverlässigkeiten in den Expositionsklassen XD1–XD3 und XS1–XS3	249
2.3	Chloridinduzierte Bewehrungskorrosion	229	4.4	Zusammenfassung	250
3	Zustandsprognosen	230	4.5	Folgerungen für ein modifiziertes deskriptives Bemessungskonzept	251
3.1	Zustandsprognose (a priori)	230	5	Entwicklung eines modifizierten deskriptiven Bemessungskonzeptes	251
3.1.1	Grundlagen	230	5.1	Das Konzept	251
3.1.2	Zuverlässigkeit gegenüber korrosionsauslösenden Mechanismen	231	5.2	Klassifizierung des Materialwiderstandes	252
3.2	Verbesserung der Zustandsprognosen mittels Bauwerksuntersuchungen (a posteriori)	231	5.2.1	Dauerhaftigkeits-Widerstandsklassen	252
3.2.1	Grundlagen	231	5.2.2	Klassifizierung in Carbonatisierungs-Widerstandsklassen	253
3.2.2	Verbesserung der Zustandsprognosen bei carbonatisierungs- bzw. chloridinduzierter Korrosion	232	5.2.3	Klassifizierung in Chlorid-Widerstandsklassen	257
3.3	Flächenbetrachtung – räumliche Variabilität	233	5.2.4	Ausblick	261
3.4	Anwendungsbeispiel	233	5.3	Anforderungen an die Betondeckung	262
3.4.1	Bauwerksbeschreibung	233	5.3.1	Vorgehensweise	262
3.4.2	Zustandsprognose	234	5.3.2	Bemessungskriterien für ein modifiziertes deskriptives Bemessungskonzept	263
3.4.3	Durchgeführte Untersuchungen	235	5.3.3	Anforderungen an die Betondeckung – Carbonatisierung	264
3.4.4	Verbesserung der Zustandsprognose – räumliche Variabilität	237	5.4	Diskussion der Ergebnisse und Ausblick	266
3.5	Folgerungen für die Analyse deskriptiver Regeln	238	6	Zusammenfassung	267
4	Analyse deskriptiver Regeln	238	7	Literatur	267
4.1	Zusammenstellung deskriptiver Regeln	238			
4.1.1	Dauerhaftigkeitsrelevante Konstruktionsregeln	238			
4.1.2	Wahl der Länder	239			
4.1.3	Konstruktionsregeln	239			

IV	Die Nachrechnung von bestehenden Straßenbrücken aus Beton	271		
	Gero Marzahn, Reinhard Maurer, Konrad Zilch, Daniel Dunkelberg, Agnieszka Kolodziejczyk			
1	Einleitung	273	6	Nachrechnung der Überbauten von Betonbrücken
1.1	Grundlagen	273	6.1	Schnittgrößenermittlung
1.2	Allgemeiner Aufbau der Richtlinie	274	6.1.1	Grundlagen
1.3	Konzept der Nachrechnungsrichtlinie	274	6.1.2	Schnittgrößenermittlung für die Nachweise im GZG
2	Bestandserfassung	276	6.1.3	Schnittgrößenermittlung für die Nachweise im GZT
2.1	Allgemeines	276	6.2	Angepasste Teilsicherheitsbeiwerte
2.2	Umfang	276	6.2.1	Allgemeines
3	Durchführung der Nachrechnung von bestehenden Straßenbrücken	277	6.2.2	Hintergründe zum Sicherheitskonzept des DIN-Fachberichts 102 für Neubauten
3.1	Ablauf der Nachrechnung	277	6.2.3	Möglichkeiten zur Anpassung des Sicherheitskonzepts für die Nachrechnung bestehender Brückenbauwerke
3.2	Auswertung der Ergebnisse und Dokumentation	277	6.2.4	Angepasste Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungsseite
4	Einwirkungen	278	6.2.5	Angepasste Teilsicherheitsbeiwerte für die Widerstandsseite
4.1	Allgemeines	278	6.3	Rechnerische Nachweise der Tragfähigkeit
4.2	Ziellastniveaus für vertikale Verkehrseinwirkungen	278	6.3.1	Allgemeines
4.3	Horizontale Verkehrseinwirkungen	280	6.3.2	Biegung mit Längskraft
4.4	Verkehrseinwirkung zur Nachweissführung gegen Ermüdung	280	6.3.3	Querkraft
5	Werkstoffkennwerte für die Nachrechnung von Betonbrücken	282	6.3.4	Torsion
5.1	Allgemeines	282	6.4	Rechnerische Nachweise der Gebrauchstauglichkeit
5.2	Rechenwerte der Werkstoffkennwerte	284	6.5	Qualitative Bewertung der Gebrauchstauglichkeit
5.2.1	Grundlagen	284	6.6	Nachweis gegen Ermüdung
5.2.2	Rechenwerte für historische Betone	284	6.7	Ankündigungsverhalten
5.2.3	Rechenwerte für historische Betonstähle	287	6.7.1	Allgemeines
5.2.4	Rechenwerte für historische Spannstähle	289	6.7.2	Ankündigungsverhalten von Bauwerken mit spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spann Stahl
5.3	Werkstoffuntersuchungen	291	7	Nachrechnung der Unterbauten
5.3.1	Grundlagen	291	7.1	Einwirkungen
5.3.2	Beton	292	7.2	Rechnerische Nachweise
5.3.3	Betonstahl	292	8	Zusammenfassung und Ausblick
5.3.4	Spannstahl	292	9	Literatur
5.4	Werkstoffkennwerte für den Nachweis gegen Ermüdung	293		
5.4.1	Allgemeines	293		
5.4.2	Betonstahl	293		
5.4.3	Spannstahl	298		
5.4.4	Zusammenfassung	305		

V	Instandsetzung von Betontragwerken	345
	Michael Küchler	
1	Einleitung	347
2	Volkswirtschaftliche Bedeutung	350
2.1	Altersstruktur von Hoch- und Ingenieurbauwerken	350
2.2	Erfassung, Kategorisierung und Bewertung von Schäden	351
2.3	Darstellung der Ergebnisse, Schadenskataloge, Schadens- kataster	352
2.4	Dokumentation des Bauwerks- bestandes, Hausakte des BMVBS ..	353
2.5	Bauwerksprüfungen und Zustandsnoten bei Brücken- bauwerken nach DIN 1076	353
2.6	Bauwerksmanagementsysteme in Deutschland	354
3	Technische Baubestimmungen	355
3.1	Stand der Harmonisierung DIN EN 1504	355
3.2	Konformität durch CE-Kenn- zeichnung und Übereinstimmungs- nachweis	356
3.3	Regelwerke für den Schutz und die Instandsetzung von Beton- bauwerken	358
3.4	Regelwerke für das Verstärken von Betonbauteilen	358
4	Strategien der Bauwerkserhaltung ..	358
4.1	Planungsgrundlagen der Bauwerks- erhaltung	358
4.2	Zielsetzungen der Bauwerks- erhaltung	362
4.3	Strategievarianten der Instandhaltung	363
4.4	Alterung von Werkstoffen und Tragwerken	366
4.5	Lebenszyklus und Lebensdauer- analyse von Bauwerken	369
4.6	Betrachtungen zur Bauwerks- sicherheit	371
4.6.1	Ausfallwahrscheinlichkeit	371
4.6.2	Risikoanalyse	372
4.6.3	Sicherheitskonzept	373
5	Wartungs- und Instandhaltungs- planung	373
5.1	Maßnahmen aus der Bauwerks- und Bauschadensanalyse	373
5.2	Bauwerksmanagementsysteme und Nachhaltigkeit	374
5.3	Monitoring an Bauwerken	374
5.4	Aufstellen bauwerksspezifischer Wartungs- und Instandhaltungspläne	375
6	Schadensursachen	376
6.1	Schäden an Hoch- und Ingenieurbauwerken	376
6.1.1	Ausgangslage	376
6.1.2	Zeitabhängige Veränderungen der Werkstoffeigenschaften	377
6.1.3	Witterungs- und Temperatureinflüsse	380
6.1.4	Mangelhafte Nachbehandlung	381
6.1.5	Innere Zwangsbeanspruchungen ..	382
6.1.6	Äußere (Zwangs-) Beanspruchungen	383
6.1.7	Fugen in Betonkonstruktionen	384
6.1.8	Planungs- und Ausführungsfehler ..	386
6.1.9	Mangelnde Wartung und Instand- setzung	386
6.1.10	Konstruktionsbedingte Defizite ..	387
6.1.11	Nutzungsänderung und Umnutzung	388
6.2	Schäden an Verkehrs- und Infrastrukturbauwerken	388
6.2.1	Schadensbilder und deren Ursachen	388
6.2.2	Entwicklung der Verkehrsstärke ..	390
6.2.3	Entwicklung der Güterverkehrs- leistung, Schwerverkehr, Überladung	391
6.2.4	Modulare Güterverkehrskonzepte (GIGA-Liner)	392
6.3	Physikalische Einwirkungen auf Betonkonstruktionen	393
6.3.1	Gefügeschäden des Frischbetons ..	393
6.3.2	Gefügeschäden durch mechanische Beanspruchungen ..	394
6.3.3	Gefügeschäden durch Abwitterung, Frost- und Frost-Tausalz- Einwirkungen	397
6.3.4	Gefügeschäden durch Brandeinwirkung	399
6.4	Chemische Einwirkungen auf Betonoberflächen	401
6.4.1	Schädliche Bestandteile im Frischbeton	401
6.4.2	Schäden durch lösende Angriffe ..	402
6.4.3	Schäden durch treibende Angriffe ..	403
6.5	Schädigende Einflüsse auf Beton- und Spannstahl	407
6.5.1	Ausgangslage	407
6.5.2	Karbonatisierung	408
6.5.3	Chloride	409
6.5.4	Spannungsrisikokorrosion und Wasserstoffversprödung	410
6.6	Wirkungsketten verschiedener Schadenseinflüsse	411

7	Bauwerks- und Bauschadensanalyse	412	7.2.3.8	Ausblick zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit	426
7.1	Analysemethoden am Bauwerk	412	7.2.4	Handlungsanweisung spannungs-rissegefährdeter Spannstähle	426
7.1.1	Ausgangslage	412	7.3	Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauwerken	429
7.1.2	Einfache Mess- und Aufnahmeverfahren	412	7.3.1	Ausgangslage	429
7.1.2.1	Beurteilung nach Augenschein	412	7.3.2	RI-EBW-PRÜF	429
7.1.2.2	Manuelle Oberflächenprüfung	412	7.3.3	Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse	429
7.1.2.3	Prüfung des Wassergehalts von Beton nach der Calciumcarbid-Methode	412	7.3.4	RI-WI-BRÜ	430
7.1.2.4	Wassereindringprüfung an Bauteiloberflächen	413	7.3.5	RPE-ING	430
7.1.2.5	Messung von Rissbreiten und Rissbewegungen	413	7.3.6	RI-ERH-KOR	431
7.1.2.6	Messung der Karbonatisierungstiefe	414	8	Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen	431
7.1.3	Mess- und Aufnahmeverfahren mit einfachem Geräteeinsatz	414	8.1	Eigenschaften und Besonderheiten der Betonrandzone	431
7.1.3.1	Messung der Bauteilfeuchte	414	8.1.1	Ausgangslage	431
7.1.3.2	Rückprallhammer nach <i>Schmidt</i>	414	8.1.2	Einflussfaktoren auf die Entstehung der Betonrandzone	431
7.1.3.3	Prüfung der Haftzugfestigkeit	415	8.1.3	Einflussfaktoren auf die Eigenschaften der Betonrandzone	432
7.1.3.4	Bestimmung des Chloridgehalts	415	8.1.4	Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Betonrandzone	432
7.1.3.5	Bewehrungsart	416	8.2	Planung von Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen	433
7.1.4	Mess- und Aufnahmeverfahren mit aufwendigem Geräteeinsatz	416	8.3	Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen nach Rili-SIB-2001 des DAfStb	433
7.1.4.1	Ultraschall	416	8.4	Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen nach ZTV-ING	434
7.1.4.2	Radarortung	416	8.5	Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen nach DIN EN 1504	434
7.1.4.3	Impact-Echo	417	8.5.1	Ausgangslage	434
7.1.4.4	Endoskopie	417	8.5.2	Instandsetzungsprinzipien bei Schäden am Beton	435
7.2	Analytische Untersuchungen	418	8.5.2.1	Instandsetzungsprinzip 1 (PI): Schutz gegen das Eindringen von Stoffen	436
7.2.1	Besonderheiten bei der Strukturanalyse bestehender Massivbauwerke	418	8.5.2.2	Instandsetzungsprinzip 2 (MC): Regulierung des Wasserhaushaltes des Betons	437
7.2.1.1	Ausgangslage	418	8.5.2.3	Instandsetzungsprinzip 3 (CR): Betonersatz	437
7.2.1.2	Charakteristische Festigkeiten von Baustoffen	418	8.5.2.4	Instandsetzungsprinzip 4 (SS): Verstärkung des Betontragwerks	438
7.2.1.3	Bestimmung der charakteristischen Betondruckfestigkeiten in Bestandsbauwerken	418	8.5.2.5	Instandsetzungsprinzip 5 (PR): Erhöhung des physikalischen Widerstandes	439
7.2.1.4	Vorgehen zur Bestimmung der charakteristischen Betonstahlfestigkeiten in Bestandsbauwerken	420	8.5.2.6	Instandsetzungsprinzip 6 (RC): Erhöhung des Chemikalienwiderstandes	439
7.2.2	Nachweis der Standsicherheit beim Bauen im Bestand (ARGEBAU)	421	8.5.3	Instandsetzungsprinzipien bei Schäden an Beton- und Spannstahl	440
7.2.2.1	Ausgangslage	421	8.5.3.1	Instandsetzungsprinzip 7 (RP): Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität	440
7.2.2.2	Hinweise der Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (ARGEBAU)	421			
7.2.2.3	Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten	422			
7.2.3	Richtlinie zur Nachrechnung bestehender Straßenbrücken	423			
7.2.3.1	Ausgangslage	423			
7.2.3.2	Grundlagen der Nachrechnung	423			
7.2.3.3	Schnittgrößenermittlung	424			
7.2.3.4	Sicherheitskonzept	424			
7.2.3.5	Bemessung im GZT	424			
7.2.3.6	Nachweise im GZG	425			
7.2.3.7	Qualitative Bewertung der Gebrauchstauglichkeit	426			

8.5.3.2	Instandsetzungsprinzip 8 (IR): Erhöhung des elektrischen Widerstandes	441	8.5.4.17	Rekalisierung von karbonatisiertem Beton durch Diffusion	449
8.5.3.3	Instandsetzungsprinzip 9 (CC): Kontrolle kathodischer Bereiche	441	8.5.4.18	Anstrich der Bewehrung durch aktiv pigmentierte Beschichtungen	449
8.5.3.4	Instandsetzungsprinzip 10 (CP): Kathodischer Schutz	441	8.5.4.19	Anstrich der Bewehrung mit Beschichtungen nach dem Barriere- Prinzip	449
8.5.3.5	Instandsetzungsprinzip 11 (CA): Kontrolle anodischer Bereich	441	8.5.4.20	Anwendung von Korrosions- inhibitoren	450
8.5.4	Beschreibung der Verfahren nach DIN EN 1504	442	8.6	Verstärkung von Beton- konstruktionen	450
8.5.4.1	Hydrophobierung	442	8.6.1	Ausgangslage	450
8.5.4.2	Imprägnierung	443	8.6.2	Arten von Klebbewehrung	450
8.5.4.3	Beschichtung	443	8.6.3	Rahmen- und Anwendungs- bedingungen	452
8.5.4.4	Örtliche Abdeckung von Rissen (Bandagen)	444	8.6.4	Biegeverstärkung mit oberflächlich geklebter Bewehrung	453
8.5.4.5	Füllen und Injizieren von Rissen, Hohlräumen oder Fehlstellen	444	8.6.5	In Schlitze geklebte Bewehrung	454
8.5.4.6	Umwandlung von Rissen in Dehnfugen	446	8.6.6	Querkrafttragfähigkeit	454
8.5.4.7	Montage von Vorsatzplatten	446	8.6.7	Stützenumschnürungen	455
8.5.4.8	Aufbringen von Membranen	446	9	Einsatz neuer Werkstoffe bei Instandsetzung und Verstärkung	455
8.5.4.9	Elektrochemische Behandlung	446	9.1	Entwicklung neuer Werkstoffe für die Instandsetzung von Betontragwerken	455
8.5.4.10	Mörtelaufrag von Hand	446	9.2	Wesentliche Steuerungsparameter zum optimierten Werkstoffeinsatz	456
8.5.4.11	Querschnittsergänzung durch Betonieren mit Mörtel oder Beton	447	9.3	Verankerung von Spanngliedern mit ultrahochfestem Feinmörtel	457
8.5.4.12	Beton- oder Mörtelaufrag durch Spritzverarbeitung	447	10	Zusammenfassung	461
8.5.4.13	Zufügen oder Auswechseln von eingebetteten oder außenliegenden Bewehrungsstäben	448	11	Literatur	461
8.5.4.14	Einbau von Bewehrung in Aussparungen oder gebohrte Löcher	448			
8.5.4.15	Mörtel- oder Betonauftrag	448			
8.5.4.16	Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton	448			

VI Geklebte Verstärkung mit CFK-Lamellen und Stahllaschen 469

Konrad Zilch, Roland Niedermeier, Wolfgang Finckh

1	Einleitung	471	2.6.1	Zu verstärkendes Bauteil	474
1.1	Anlass für den Beitrag	471	2.6.2	Verstärkungssysteme	474
1.2	Verstärkungen mit geklebter Bewehrung	471	2.6.3	Umgebungsbedingungen	475
2	DAFStb-Richtlinie	471	2.6.4	Brandschutz	475
2.1	Anlass zur Erstellung einer Richtlinie	471	2.7	Bezug zu anderen Regelwerken	475
2.2	Vorarbeit zur Richtlinie	472	2.8	Dokumentation und Hilfe für die Praxis	476
2.3	Richtlinienarbeit	472	3	Bemessung von Verstärkungen mit aufgeklebten CFK-Lamellen	476
2.4	Aufbau und Inhalt der Richtlinie	472	3.1	Grundlagen	476
2.4.1	Allgemeines	472	3.2	Nachweis der Biegetragfähigkeit	478
2.4.2	Bemessung und Konstruktion	473	3.3	Verbundnachweis	480
2.4.3	Produkte und Systeme	473	3.3.1	Grundlage	480
2.4.4	Ausführung	473	3.3.2	Vereinfachtes Verfahren	480
2.4.5	Planung	473	3.3.3	Genauerer Verfahren	481
2.5	Sicherheitskonzept	473	3.3.3.1	Allgemeines	481
2.6	Anwendungsgebiet	474	3.3.3.2	Ermittlung des Rissabstandes	482

3.3.3.3	Genauer Nachweis am Zwischenrisselement.	483	6	Beispiel 2: Verstärkung eines Balkens mit in Schlitzte verklebten CFK-Lamellen	512
3.3.3.4	Vereinfachter Nachweis am Zwischenrisselement.	485	6.1	System	512
3.3.4	Endverankerungsnachweis	485	6.1.1	Allgemeines.	512
3.3.4.1	Allgemeines.	485	6.1.2	Belastung.	512
3.3.4.2	Endverankerungsnachweis an dem Momentennullpunkt nächstgelegenen Biegeriss	485	6.1.3	Baustoffe	513
3.3.4.3	Verankerungsnachweis an einem beliebigen Zwischenrisselement.	487	6.2	Schnittgrößen	514
3.3.4.4	Endverankerungsnachweis mit Bügelumschließung.	487	6.3	Ermittlung der Vordehnung	514
3.4	Querkraftnachweise	488	6.4	Nachweis der Biegetragfähigkeit	515
3.4.1	Querkrafttragfähigkeit.	488	6.5	Verbundnachweis	516
3.4.2	Querkraftverstärkung	489	6.5.1	Nachweispunkt	516
3.4.3	Endverbügelung zur Vermeidung eines Versatzbruches	491	6.5.2	Einwirkende Lamellenkraft	517
3.5	Ermüdungsnachweis	492	6.5.3	Verbundwiderstand	518
3.6	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	493	6.5.4	Verbundnachweis	518
3.7	Konstruktionsregeln	493	6.6	Querkraftnachweise	518
3.7.1	Lamellenabstände	493	6.6.1	Querkrafttragfähigkeit.	518
3.7.2	Verbügelung.	493	6.6.2	Querkraftverstärkung	519
3.7.3	Ausbildung der Stahllaschenbügel.	494	6.6.3	Nachweis gegen Versatzbruchbildung	520
4	Beispiel 1: Verstärkung einer Platte mit aufgeklebten CFK-Lamellen	494	6.7	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	521
4.1	System	494	7	Bemessung von Stützenverstärkungen durch CF-Gelege	521
4.1.1	Allgemeines.	494	7.1	Grundlagen	521
4.1.2	Belastung	494	7.2	Bemessungsrelevante Eigenschaften der CF-Gelege	524
4.1.3	Baustoffe	495	7.3	Querschnittstragfähigkeit	526
4.2	Schnittgrößen	496	7.4	Bauteiltragfähigkeit.	529
4.3	Ermittlung der Vordehnung	496	7.5	Kriechen.	532
4.4	Vereinfachter Nachweis	497	7.6	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	533
4.5	Genauer Nachweis	498	7.7	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	538
4.5.1	Allgemeines.	498	8	Beispiel 3: Stützenverstärkung	540
4.5.2	Nachweis der Biegetragfähigkeit	498	8.1	System	540
4.5.3	Ermittlung des Rissabstandes.	499	8.1.1	Allgemeines.	540
4.5.4	Genauer Nachweis am Zwischenrisselement.	499	8.1.2	Belastung.	540
4.5.5	Endverankerungsnachweis	504	8.1.3	Baustoffe	541
4.6	Nachweis der Querkrafttragfähigkeit.	506	8.2	Schnittgrößen	542
4.7	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	506	8.3	Ermittlung der Querschnittswerte	542
5	Bemessung von Verstärkungen mit in Schlitzte verklebten CFK-Lamellen	507	8.4	Randbedingungen	543
5.1	Grundlagen	507	8.5	Nachweis der Stützentragfähigkeit.	543
5.2	Nachweis der Biegetragfähigkeit	508	8.5.1	Kriechen des umschürten Betons.	543
5.3	Verbundnachweis	508	8.5.2	Eigenschaften des Geleges	544
5.4	Querkraftnachweise	510	8.5.3	Querdruckverteilung	544
5.5	Ermüdungsnachweis	511	8.5.4	Mehraxialer Spannungszustand des Betons	545
5.6	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	511	8.5.5	Berechnung der Stützentragfähigkeit	545
5.7	Konstruktionsregeln	511	8.6	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	547
			9	Zusammenfassung und Ausblick	547
			10	Literatur	548

Inhaltsverzeichnis

2

VII	Konstruktiver Brandschutz nach den Eurocodes	1			
	Dietmar Hosser, Ekkehard Richter, Björn Kampmeier				
1	Einführung	3	4.3	Nachweisverfahren für Bauteile und Tragwerke	30
2	Brandschutzanforderungen nach Baurecht	5	4.3.1	Allgemeines	30
2.1	Grundsatzanforderungen	5	4.3.2	Tabellarische Daten	31
2.2	Gebäudeklassen	5	4.3.3	Vereinfachte Rechenverfahren	31
2.3	Einzelanforderungen	6	4.3.4	Allgemeine Rechenverfahren	31
2.3.1	Grundstück und Bebauung	6	5	Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken	31
2.3.2	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen	6	5.1	Überblick	31
2.3.3	Abschnittsbildung	7	5.2	Nachweise mittels tabellarischer Daten	32
2.3.4	Rettungswege	8	5.2.1	Überblick	32
2.4	Anforderungen an Sonderbauten	9	5.2.2	Tabellarische Bemessung von Stahlbetonstützen	33
2.5	Verwendung von Bauprodukten	10	5.2.3	Vereinfachte Berechnung der Feuerwiderstandsdauer von Stützen	34
3	Klassifizierung des Brandverhaltens	12	5.3	Nachweis mit vereinfachten Rechenverfahren	35
3.1	Brandverhalten von Baustoffen	12	5.3.1	Allgemeines	35
3.1.1	Nationales Klassifizierungssystem	12	5.3.2	Zonenmethode	35
3.1.2	Europäisches Klassifizierungssystem	13	5.3.3	Hinweis zur Stützenbemessung mit der Zonenmethode	36
3.2	Brandverhalten von Bauteilen	15	5.3.4	Brandschutztechnische Bemessung von Kragstützen	37
3.2.1	Nationales Klassifizierungssystem	15	5.4	Nachweis mit allgemeinen Rechenverfahren	39
3.2.2	Europäisches Klassifizierungssystem	15	5.4.1	Thermische Analyse	39
4	Brandschutznachweise nach den Eurocodes	18	5.4.2	Mechanische Analyse	41
4.1	Überblick	18	5.5	Hochfester Beton	44
4.2	Thermische Einwirkungen	19	5.5.1	Allgemeines	44
4.2.1	Allgemeines	19	5.5.2	Bemessung mit vereinfachten Rechenverfahren	45
4.2.2	Nominelle Temperaturzeitkurven	20	5.5.3	Bemessung mit Tabellen	45
4.2.3	Naturbandmodelle	21	6	Beispiele	46
4.2.3.1	Allgemeines	21	6.1	Statisch bestimmt gelagerter Spannbetonbinder	46
4.2.3.2	Brandlastdichten und Wärmefreisetzungsraten	21	6.2	Fertigteil-Dachbinder	46
4.2.3.3	Parametrische Temperaturzeitkurven	22	6.2.1	System und Belastung	46
4.2.3.4	Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile	23	6.2.2	Nachweis mit Tabelle	46
4.2.3.5	Brandeinwirkungen bei lokal begrenzten Bränden	23	6.2.3	Nachweis mit dem vereinfachten Rechenverfahren	46
4.2.3.6	Erweiterte Brandmodelle	24			
4.2.3.7	Sicherheitskonzept für Naturbrandnachweise	25			
4.2.4	Mechanische Einwirkungen	29			

Beton-Kalender 2013: Lebensdauer und Instandsetzung – Brandschutz.

Herausgegeben von Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos und Johann-Dietrich Wörner

© 2013 Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published 2013 by Ernst & Sohn GmbH & Co. KG.

6.2.4	Nachweis mit dem allgemeinen Rechenverfahren	48	6.5.2	Nachweis mit dem Verfahren in EC2-1-2/NA, Anhang AA	54
6.2.5	Ergebnisvergleich	48	6.6	Giebelstütze	54
6.3	Stahlbeton-Innenstütze	49	6.6.1	System und Belastung	54
6.3.1	System und Belastung	49	6.6.2	Nachweis mit dem Verfahren nach EC2-1-2/NA, Anhang AA	54
6.3.2	Nachweis nach Methode A	49	6.7	Durchlaufplatte	55
6.3.2.1	Allgemeines	49	6.7.1	System und Belastung	55
6.3.2.2	Nachweis mit Tabelle 5.2a	49	6.7.2	Tabellarische Bemessung	56
6.3.3	Nachweis mit Gleichung 5.7	51	6.7.3	Nachweis mit dem allgemeinen Rechenverfahren für ETK-Brand	57
6.3.4	Nachweis mit dem allgemeinen Rechenverfahren	51	6.7.4	Nachweis mit dem allgemeinen Rechenverfahren für einen Naturbrand	58
6.4	Stahlbeton-Rundstütze im obersten Geschoss eines Wohnhauses	52	7	Zusammenfassung	61
6.4.1	System und Belastung	52	8	Literatur	61
6.4.2	Nachweis der Feuerwiderstandsklasse	52			
6.5	Stahlbeton-Kragstütze	54			
6.5.1	System und Belastung	54			
VIII	Sicherheit und Brandschutz im Tunnelbau	63			
	Konrad Bergmeister				
1	Schutzziele und Organisation der Sicherheit	65	4	Verhalten und Bemessung von Beton und Stahl unter Brandeinwirkung	94
1.1	Wann ist ein Tunnel sicher?	65	4.1	Betonschäden durch Brandeinwirkung	94
1.2	Wie kann die Sicherheit von Tunneln beurteilt werden?	67	4.2	Verhalten von Beton und Stahl unter hohen Temperatureinwirkungen	96
1.3	Richtlinien für Sicherheitsstandards	70	4.2.1	Beton	96
1.4	Häufige Unfallursachen in Tunneln	72	4.2.2	Betonstahl	99
1.5	Sicherheitsziele	72	4.3	Versagensmechanismen unter Brandeinwirkung	101
2	Sicherheitsmaßnahmen	74	4.4	Strukturanalyse im Brandfall	102
2.1	Bahntunnel	74	4.5	Sensitivitätsanalyse	102
2.2	Straßentunnel	79	5	Brandschutzmaßnahmen	104
2.3	Tunnellüftung	81	5.1	Betontechnologische Maßnahmen	104
2.3.1	Straßentunnel	82	5.2	Brandschutzbekleidungen	106
2.3.2	Bahntunnel	84	5.3	Brandbekämpfungsanlagen	107
3	Modellierung und Brandbemessung im Tunnelbau	86	6	Inspektion und Ertüchtigung brandgeschädigter Tunnelschalen	111
3.1	Einwirkungen auf Tunnelbauwerke	86	6.1	Reinigung und Inspektion	111
3.2	Einwirkungen aus Brandereignis	86	6.2	Schadensanalyse und Erarbeitung des Sanierungsprojektes	112
3.3	Brandleistung und Brandenergie	87	6.3	Sanierungsmaßnahmen	113
3.4	Temperaturzeitkurven	88	7	Literatur	114
3.5	Bruchverhalten von Beton unter Brand	90			
IX	Ultrahochfester Beton UHPC	117			
	Ekkehard Fehling, Michael Schmidt, Joost Walraven, Torsten Leutbecher, Susanne Fröhlich				
1	Einführung	119	2.2.1	Gefügeeigenschaften	121
2	Grundlagen zur Herstellung ultrahochfester Betone	121	2.2.2	Kornoptimierung	123
2.1	Entwicklung	121	2.3	Ausgangsstoffe	125
2.2	Stoffliche Grundlagen	121	2.3.1	Zement	125
			2.3.2	Reaktive Zusatzstoffe	126

2.3.2.1	Silikastaub	126	5	Grundlagen der Bemessung	163
2.3.2.2	Hüttensand	127	5.1	Einfluss der Faserverteilung und Faserorientierung	163
2.3.3	Inerte Zusatzstoffe	127	5.2	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	164
2.3.4	Fließmittel	127	5.2.1	Sicherheitskonzept	164
2.3.5	Stahlfasern	127	5.2.2	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Bemessung	165
2.4	Mischungszusammensetzung	128	5.2.2.1	Druckbeanspruchung	165
2.5	Mischen	129	5.2.2.2	Zugbeanspruchung	167
2.6	Nachbehandlung und Wärmebehandlung	129	5.2.3	Bemessung für Biegung und Normalkraft	167
2.7	Prüfung	130	5.2.4	Bemessung für Querkraft	169
2.7.1	Frischbeton	130	5.2.4.1	Versuche an der Universität Kassel	170
2.7.2	Druck- und Biegezugfestigkeit	131	5.2.4.2	Versuche an der RWTH Aachen	174
3	Mechanische Eigenschaften des Festbetons	133	5.2.4.3	Versuche an der TU Delft	175
3.1	Allgemeines	133	5.2.5	Durchstanzen	177
3.2	Drucktragverhalten	133	5.2.6	Stabwerkmodelle	178
3.2.1	Ultrahochfester Beton ohne Faserzugabe	133	5.2.6.1	Tragfähigkeit der Druckstreben	179
3.2.2	Ultrahochfester Beton mit Zugabe von Stahlfasern	134	5.2.6.2	Tragfähigkeit der Zugstreben	179
3.2.3	Weitere Einflüsse auf die Druckfestigkeit	136	5.2.6.3	Tragfähigkeit der Knoten	179
3.2.3.1	Geometrie der Probekörper und Prüfeinrichtung	136	5.2.7	Teilflächenbelastung	179
3.2.3.2	Wärmebehandlung	136	5.2.8	Ermüdung	180
3.3	Zugtragverhalten	136	5.3	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	181
3.3.1	Axiale (zentrische) Zugbelastung	136	5.3.1	Begrenzung der Rissbreite	181
3.3.2	Biegezugfestigkeit	140	5.3.2	Mindestbewehrung	186
3.3.3	Ableitung der zentrischen Zugfestigkeit aus der Druckfestigkeit	142	5.3.3	Berechnung von Verformungen	187
3.3.4	Ableitung der zentrischen Zugfestigkeit aus Biegeversuchen	142	6	Verbindungen	190
3.3.5	Spaltzugfestigkeit	142	6.1	Allgemeines	190
3.3.6	Einfluss der Fasergeometrie und der Faserorientierung auf das Verhalten von UHPC unter Zugbeanspruchung	142	6.2	Trockene Verbindungen	191
3.3.7	Transformation der Spannungs-Rissöffnungs-Beziehung in eine Spannungs-Dehnungs-Linie	144	6.3	Geklebte Verbindungen	191
3.3.8	Zusammenwirken von Faser- und Stabbewehrung	146	6.4	Nasse Verbindungen	193
3.4	Schwinden	146	6.5	Grouted Joints	196
3.5	Kriechen	148	6.6	Verbindung von UHPC-Schichten an existierenden Bauteilen für die Ertüchtigung von Konstruktionen	197
3.6	Mehraxiale Beanspruchung	148	7	Ausgeführte Beispiele	198
3.7	Ermüdungsverhalten	148	7.1	Brückenbau	198
3.8	Dynamische Beanspruchung	154	7.1.1	Kanada	198
3.9	Brandwiderstand	154	7.1.1.1	Fuß- und Radwegbrücke in Sherbrooke (1997)	198
3.10	UHPC mit Kombinationen von Fasern (Fasercoktails)	156	7.1.1.2	Glenmore/Legsby-Fußgängerbrücke in Calgary (2007)	198
4	Dauerhaftigkeit	159	7.1.2	Frankreich	199
4.1	Gefügestruktur	159	7.1.2.1	Straßenbrücke Bourg-les-Valence	199
4.2	Widerstand gegen aggressive Medien	160	7.1.2.2	Fußgängerbrücke Pont de Diable (2005)	199
4.3	Einordnung in Expositions-klassen	162	7.1.2.3	Straßenbrücke Pont de la Chabotte	200
			7.1.2.4	Straßenbrücke Pont Pinel (2007)	201
			7.1.2.5	Verstärkung der Pont sur l'Huisne in Mans	203
			7.1.3	Japan	204
			7.1.3.1	Sakata-Mirai-Fußgängerbrücke (2003)	204
			7.1.3.2	GSE-Brücke Flughafen Tokyo (2010)	205

7.1.3.3	Monorail der Haneda-Linie zum Haneda Flughafen	206	7.1.6.1	Wildbrücke bei Völkermarkt	215
7.1.4	Südkorea	207	7.1.6.2	Rad- und Fußgängerbrücke in Lienz	219
7.1.4.1	Seonyu Brücke des Friedens, Seoul.	207	7.1.6.3	Modulare Behelfsbrücke für Hochgeschwindigkeitsstrecken der Bahn.	219
7.1.4.2	Schrägschleppbrücke KICT (Korean Institute of Construction Technology) (2009).	209	7.1.7	Schweiz	219
7.1.4.3	Entwurf Jobal-Brücke (Korean Institute of Construction Technology).	209	7.1.8	Die Niederlande.	221
7.1.5	Deutschland	210	7.2	Anwendungen im Hochbau	223
7.1.5.1	Brücken über die Nieste bei Kassel.	210	7.2.1	Stützen	223
7.1.5.2	Gärtnerplatzbrücke über die Fulda in Kassel (2007)	210	7.2.2	Fassaden	223
7.1.5.3	Pilotprojekt des Hessischen Landesamts für Straßen- und Verkehrswesen.	214	7.2.3	Treppen und Balkone	225
7.1.5.4	Radweg-Bogenbrücke über die Pleiße in Markkleeberg (2012).	215	7.2.4	Dächer	226
7.1.6	Österreich	215	7.3	Andere Anwendungen	228
			7.3.1	Startbahn Haneda Airport Tokyo, Japan	228
			7.3.2	Stadion Jean Bouin, Paris.	230
			8	Danksagung	231
			9	Literatur	232
X	Holz-Beton-Verbund	241			
	Klaus Holschemacher, Ricky Selle, Jörg Schmidt, Hubertus Kieslich				
1	Einleitung	243	6.1.2	Spannungsnachweise	258
2	Baurechtliche Einordnung der Holz-Beton-Verbundbauweise	243	6.1.3	Tragfähigkeitsnachweis der Verbindungsmittel.	258
2.1	Deutschland	243	6.2	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	259
2.2	Österreich	245	6.2.1	Nachweis des Verformungsverhaltens.	259
2.3	Schweiz	245	6.2.2	Nachweis des Schwingungsverhaltens.	259
3	Geschichtliche Entwicklung der Bauweise	245	6.3	Nachweis der Feuerwiderstandsdauer	260
4	Systematik	246	6.4	Bauakustische Anforderungen	261
4.1	Ansatz der Gliederung	246	7	Besondere Anforderungen an HBV-Decken, konstruktive Hinweise	262
4.2	Monolithische Tragschicht	247	7.1	Einwirkungen infolge unterschiedlichen Schwindverhaltens	262
4.3	Verbindungsmittel.	248	7.2	Quertragwirkung	263
4.3.1	Mechanische Verbindungsmittel	248	7.3	Feuchteschutz des Holzes.	265
4.3.2	Formschluss	250	7.4	Bauseitige Betonage des Obergurts.	267
4.3.3	Geklebte Verbindungen.	250	7.5	Negative Momentenbeanspruchung.	267
5	Wirkungsweise	250	8	Wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Technologie	267
5.1	Tragverhalten.	250	8.1	Die Wirtschaftlichkeit von Stahlbeton-, HBV- und Holzbalkendecken im Vergleich	267
5.2	Modellbildung	251	8.1.1	Vorbemerkungen	267
5.2.1	Geschlossene Lösung mittels Differenzialgleichung	251	8.1.2	Sanierungsaufgaben als wirtschaftliche Spezialfälle.	268
5.2.2	Lineare analytische Näherungsverfahren	254			
5.2.3	Finite-Elemente-Modelle	255			
5.2.4	Nichtlineare analytische Näherungsverfahren	256			
6	Funktionale Anforderungen und rechnerische Nachweisführung	257			
6.1	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT)	257			
6.1.1	Vorbemerkungen	257			

8.1.3	Definition der zu vergleichenden Deckensysteme	268	9	Anwendungsbeispiele	272
8.1.4	Kostenstruktur der Deckensysteme	268	9.1	Vorbemerkungen	272
8.2	Ökologische Bewertung der verschiedenen Deckensysteme im Vergleich	270	9.2	Sanierung von Holzbalkendecken	272
8.2.1	Vorbemerkungen	270	9.3	Neubau von Geschossdecken	273
8.2.2	Diskussion der ökologischen Bewertungskriterien	270	9.4	Brückenbau	274
8.2.3	Darstellung der Umweltindikatoren für die Deckensysteme	271	10	Zusammenfassung und Ausblick	274
			11	Literatur	275
			Anhang:	Bemessung einer HBV-Decke nach DIN EN 1995-1-1	282
XI	Normen und Regelwerke	289			
	Frank Fingerloos				
1	Einleitung	291	2.2.5.3	Flachdecken	307
2	Technische Regeln des Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbaus	292	2.2.5.4	Rippendecken	307
2.1	DIN EN 1992-1-1: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau	292	2.2.5.5	Hohlplatten	308
2.1.1	Bauaufsichtliche Einführung in Deutschland	292	2.2.5.6	Deckenplatten aus Fertigteilen	308
2.1.1.1	Baurechtliche Folgen	292	2.2.5.7	Ziegeldecken (Stahlsteindecken)	310
2.1.1.2	Konsequenzen der neuen Eurocodes im Werkvertragsrecht	293	2.2.6	Balken	313
2.1.1.3	Verwendung von Bauprodukten nach europäischen oder deutschen Produktnormen und Zulassungen in Deutschland – Umgang mit dem Mischungsverbot	293	2.2.6.1	Allgemeines	313
2.1.2	Zur Berichtigung 1 und A1-Änderung von DIN EN 1992-1-1/NA seit 2011	295	2.2.6.2	Dreiseitig brandbeanspruchte Balken	313
2.2	Nachweise der Feuerwiderstandsdauer nach DIN EN 1992-1-2: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall und DIN 4102-4 mit Tabellenverfahren	296	2.2.6.3	Vierseitig brandbeanspruchte Balken	316
2.2.1	Einführung zu Tabellenverfahren nach Eurocode 2 und DIN 4102-4	296	2.2.7	Zugglieder	316
2.2.2	Bauordnungsrechtliche Anforderungen	297	2.2.8	Stützen	317
2.2.3	Einwirkungen im Brandfall	301	2.2.8.1	Tabelle für Stützen in ausgesteiften Tragwerken	317
2.2.4	Betondeckung und Achsabstand der Längsbewehrung	302	2.2.8.2	Berechnung der Branddauer R für Stützen in ausgesteiften Tragwerken	318
2.2.4.1	Betondeckung	302	2.2.9	Wände	320
2.2.4.2	Achsabstand	302	2.2.9.1	Allgemeines	320
2.2.5	Deckenplatten	305	2.2.9.2	Tragende Betonwände	320
2.2.5.1	Allgemeines	305	2.2.9.3	Nichttragende raumabschließende Wände	321
2.2.5.2	Vollplatten	306	2.2.9.4	Brandwände	322
			2.2.10	Auflager und Konsolen	322
			2.2.10.1	Balkenaufleger	322
			2.2.10.2	Stahlbetonkonsolen	322
			2.2.11	Putzbekleidungen	322
			2.2.12	Betonabplatzungen	326
			2.2.13	Hochfester Beton \geq C55/67	326
			2.3	Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)	329
			2.3.1	Erläuterungen	329
			2.3.2	Richtlinientext	329
			Inhalt	330	
			1	Geltungsbereich und Grundlagen	330
			2	Normative Verweise	330
			2.1	Grundsätzliches	330
			2.2	Normen und Technisches Regelwerk	331

3	Begriffe	331	12.2.2	Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT)	360
4	Konzept der Nachrechnungsrichtlinie	332	12.2.3	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	361
4.1	Allgemeines	332	12.3	Ergänzende Regelungen zum Sicherheitskonzept	362
4.2	Nachweisführung	332	12.3.1	Allgemeines	362
4.3	Nachweisarten und Bewertungskriterien	333	12.3.2	Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite	362
4.3.1	Rechnerischer Nachweis	333	12.3.3	Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite	362
4.3.2	Bewertung auf Grundlage des Bauwerkzustands (Qualitative Bewertung)	333	12.4	Rechnerischer Nachweis der Tragfähigkeit	362
4.3.3	Experimentelle Tragfähigkeitsermittlung	333	12.4.1	Allgemeines	362
4.3.4	Bewertung der Nachrechnungsergebnisse	333	12.4.2	Stufe 1	362
5	Anforderungen an die Nachrechnung	333	12.4.3	Stufe 2	363
6	Bestandserfassung	334	12.4.4	Stufe 3	365
6.1	Grundlagen und notwendige Unterlagen	334	12.4.5	Stufe 4	365
6.2	Zustandserfassung	334	12.5	Rechnerischer Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	365
7	Ablauf der Nachrechnung	334	12.5.1	Allgemeines	365
7.1	Ablaufdiagramm zur Nachrechnung	334	12.5.2	Stufe 1	365
7.2	Inhalt und Gliederung der Nachrechnung	334	12.5.3	Stufe 2	365
8	Auswertung der Ergebnisse der Nachrechnung	335	12.5.4	Stufe 3	365
8.1	Bewertung	335	12.5.5	Stufe 4	365
8.2	Machbarkeitsstudie zur Bauwerkserächtigung	335	12.6	Qualitative Bewertung der Gebrauchstauglichkeit	365
9	Dokumentation	336	12.7	Nachweis gegen Ermüdung	365
10	Grundlagen der Tragwerksberechnung	336	12.7.1	Allgemeines	365
10.1	Einwirkungen	336	12.7.2	Wöhlerlinien	366
10.1.1	Allgemeines	336	12.7.3	Stufe 1	366
10.1.2	Vertikale Verkehrseinwirkung	336	12.7.4	Stufe 2	366
10.1.3	Horizontale Verkehrseinwirkung	338	12.7.5	Stufe 3	367
10.1.4	Verkehrseinwirkung zur Nachweisführung gegen Ermüdung	339	12.7.6	Stufe 4	367
10.2	Teilsicherheitsbeiwerte	339	12.8	Ankündigungsverhalten für Brücken	367
10.3	Grundlagen der Schnittgrößenermittlung	340	13	Stahl- und Stahlverbundbrücken	367
11	Werkstoffkennwerte (Rechenwerte)	343	13.1	Allgemeines	367
11.1	Allgemeines	343	13.2	Schnittgrößenermittlung	367
11.2	Rechenwerte für Beton	343	13.3	Ergänzende Regelungen zum Sicherheitskonzept	367
11.3	Rechenwerte für Betonstahl	344	13.3.1	Allgemeines	367
11.4	Rechenwerte für Spannstahl	348	13.3.2	Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite	368
11.5	Rechenwerte für Baustahl, Verbindungs- und Verbundmittel	356	13.3.3	Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite	368
11.6	Rechenwerte für Verbindungsmittel im Stahlbau	356	13.4	Querschnittsklassifizierung und Querschnittswiderstände	368
11.7	Rechenwerte für Verbundmittel im Stahlverbundbau	357	13.5	Verbindungsmittel, Schweißnähte und Anschlüsse	369
11.8	Hertz'sche Pressung und Lagerbauteile	357	13.6	Verbundsicherung und Verbundmittel	369
11.9	Rechenwerte für Mauerwerk	357	13.6.1	Allgemeines	369
12	Betonbrücken	360	13.6.2	Kopfbolzendübel und Bolzendübel	369
12.1	Allgemeines	360	13.6.3	Blockdübel	370
12.2	Schnittgrößenermittlung	360	13.6.4	Blockdübel in Kombination mit Schlaufenankern	370
12.2.1	Allgemeines	360			

Anschriften

1

Autoren

Ahrens, Mark Alexander, Dr.-Ing.
Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Massivbau
Universitätsstraße 150
44780 Bochum

Bergmeister, Konrad, Prof. Dipl.-Ing. DDr.
Ingenieurbüro Bergmeister
Peter-Jordan-Straße 113
1180 Wien
Österreich

Dunkelberg, Daniel, Dipl.-Ing.
Technische Universität München
Lehrstuhl für Massivbau
Theresienstraße 90
80333 München

Finckh, Wolfgang, Dr.-Ing.
Wayss & Freytag Ingenieurbau AG
Eschborner Landstraße 130–132
60489 Frankfurt am Main

Gehlen, Christoph, Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität München
cbm – Centrum Baustoffe und Materialprüfung
Baumbachstraße 7
81245 München

von Greve-Dierfeld, Stefanie, Dipl.-Ing.
Technische Universität München
cbm – Centrum Baustoffe und Materialprüfung
Baumbachstraße 7
81245 München

Kolodziejczyk, Agnieszka, Dipl.-Ing.
Technische Universität Dortmund
Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen
August-Schmidt-Straße 8
44227 Dortmund

Küchler, Michael, Dr.-Ing.
König, Heunisch Planungsgesellschaft mbH &
Co. KG
Oskar-Sommer-Straße 15–17
60596 Frankfurt/Main

Mark, Peter, Prof. Dr.-Ing. habil.
Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Massivbau
Universitätsstraße 150
44780 Bochum

Marzahn, Gero, Dr.-Ing.
Landesbetrieb Straßenbau NRW
Abt. Konstruktiver Ingenieurbau
Wildenbruchplatz 1
45888 Gelsenkirchen

Maurer, Reinhard, Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität Dortmund
Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen
August-Schmidt-Straße 8
44227 Dortmund

Niedermeier, Roland, PD Dr.-Ing. habil.
Technische Universität München
MPA Bau
Theresienstraße 90
80333 München

Stangenberg, Friedhelm, Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Massivbau
Universitätsstraße 150
44780 Bochum

Strauss, Alfred, assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr.
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Peter-Jordan-Straße 82
1190 Wien
Österreich

Wörner, Johann-Dietrich, Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
mult.
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
Linder Höhe
51145 Köln

Zilch, Konrad, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h.
Technische Universität München
Theresienstraße 90
80333 München

Anschriften

2

Autoren

Bergmeister, Konrad, Prof. Dipl.-Ing. DDR.
Ingenieurbüro Bergmeister
Peter-Jordan-Straße 113
1180 Wien
Österreich

Fehling, Ekkehard, Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Universität Kassel
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Fachgebiet Massivbau
Kurt-Wolters-Straße 3
34109 Kassel

Fingerloos, Frank, Dr.-Ing.
Deutecher Beton- und Bautechnik-Vernein E. V.
Kurfürstenstraße 129
10785 Berlin

Fröhlich, Susanne, Dipl.-Ing.
Universität Kassel
Fachbereich Bauingenieurwesen
Werkstoffe des Bauwesens und Bauchemie
Mönchebergstraße 7
34125 Kassel

Holschemacher, Klaus, Prof. Dr.-Ing.
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur
Leipzig
Institut für Betonbau (IfB)
Karl-Liebknecht-Straße 132
04277 Leipzig

Hosser, Dietmar, Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität Braunschweig
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
(iBMB)
Beethovenstraße 52
38106 Braunschweig

Kampmeier, Björn, Prof. Dr.-Ing.
Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich Bauwesen
Konstruktiver Brandschutz und Baukonstruktion
Breitscheidstraße 2
39114 Magdeburg

Kieslich, Hubertus, M. Sc. Dipl.-Ing. (FH)
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur
Leipzig
Institut für Betonbau (IfB)
Karl-Liebkecht-Straße 132
04277 Leipzig

Leutbecher, Torsten, Dr.-Ing.
Akademischer Rat
Universität Kassel
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Fachgebiet Massivbau
Kurt-Wolters-Straße 3
34125 Kassel

Richter, Ekkehard, Dr.-Ing.
Technische Universität Braunschweig
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
(iBMB)
Beethovenstraße 52
38106 Braunschweig

Schmidt, Jörg, Dr.-Ing. habil.
MFPA Leipzig GmbH
Hans-Weigel-Straße 2b
04319 Leipzig

Schmidt, Michael, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Universität Kassel
FB 14
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
FG Werkstoffe des Bauwesens
Mönchebergstraße 7
34125 Kassel

Selle, Ricky, Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Selle & Fromm Planungsgesellschaft mbH
Shakespearestraße 52
04107 Leipzig

Walraven, Joost C., Prof. Dr. ir.
Technische Universität Delft
Civil Engineering and Geosciences
Design and Construction
Structural and Building Engineering
Stevinweg 1, Building 23
2628 CN Delft
Niederlande

Schriftleitung

Prof. Dipl.-Ing. DDr. Konrad **Bergmeister**
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien

Dr.-Ing. Frank **Fingerloos**
Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.
Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult.
Johann-Dietrich **Wörner**
Technische Universität Darmstadt
Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt

Verlag

Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und technische
Wissenschaften GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
www.ernst-und-sohn.de

