

2015 BetonKalender

Bauen im Bestand
Brücken

 Ernst & Sohn
A Wiley Brand

1

2015

Beton Kalender

Bauen im Bestand Brücken

Herausgegeben von

Prof. Dipl.-Ing. DDr. Dr.-Ing. E. h. Konrad Bergmeister
Wien

Dr.-Ing. Frank Fingerloos
Berlin

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

104. Jahrgang

Hinweis des Verlages

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

Titelfoto: Niederrheinbrücke, Wesel
Fotograf: Nicolas Janberg

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.

© 2015 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: Alexa Glanzner GmbH, Viernheim
Druck und Bindung: Ebner & Spiegel, Ulm

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

Print ISBN: 978-3-433-03073-8
oBook ISBN: 978-3-433-60340-6
ePDF ISBN: 978-3-433-60486-1
eMobi ISBN: 978-3-433-60512-7
ePub ISBN: 978-3-433-60513-4

ISSN 0170-4958

Vorwort

Die Themen im Beton-Kalender 2015 befassen sich schwerpunktmäßig mit dem Erhalt unserer Bausubstanz und mit dem Betonbrückenbau. Die Erhaltung von Bauwerken im Allgemeinen Hochbau und im Ingenieurbau sowie das Management der Inspektion, Bewertung und Durchführung von Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen verlangen vom Bauingenieur ein umfassendes Systemdenken sowie solide Kenntnisse über die Methoden. Zudem erleben wir das konzeptionelle Altern (conceptual aging), dass nämlich ältere Bauwerke in anderen Entwurfsprozessen geplant und nach anderen Richtlinien und Normen bemessen und konstruiert wurden als heute. Haben wir früher Ingenieurverstand und -erfahrung mehr vertraut und mit weniger Normvorschriften konstruiert, so steht heute theoretisch sehr viel mehr Wissen zur Verfügung; was jedoch nicht immer bedeutet, dass die Bauwerke von höherer Qualität sind. Diese Ambivalenz kann nur durch kontinuierlichen Erkenntnis- und Erfahrungsgewinn und unter Aufbietung von genügend Zeit und Sorgfalt bei entsprechender Vergütung für das Entwerfen, Konstruieren und Bauen aufgelöst werden.

Peter Mark und *Pia Neugebauer* zeigen eindrucksvoll die Notwendigkeit zum Erhalt unserer Bausubstanz sowie den Erhaltungskreislauf bei Brücken auf. Exemplarisch werden einzelne Schäden an Brückenbauwerken herausgegriffen, um die Notwendigkeit der Überwachung, des Monitorings sowie der periodischen Überprüfung und der Nachrechnung zu verdeutlichen. Wertvoll sind auch die neuen Erkenntnisse aus der Simulation von Schädigungen, um Prognoserechnungen durchzuführen und die Restnutzungsdauer von Bauwerken abzuschätzen.

Frank Fingerloos, *Steffen Marx* und *Jürgen Schnell* beschäftigen sich mit der Tragwerksplanung im Bestand. Zuerst werden die wesentlichen Grundsätze des Bestandsschutzes und dann die besonderen Ingenieurvoraussetzungen bei der Bewertung bestehender Bauwerke aufgezeigt. Interessant sind dabei die historischen Berechnungs- und Bewehrungsregeln sowie Normen, welche sich vielfach an den Hauptspannungen orientierten. Der Ermittlung der maßgeblichen Materialkennwerte bestehender Tragwerke wird ein besonderes Augenmerk geschenkt; dabei haben die Autoren auch festgehalten, dass bei der Nachrechnung alter Betonkonstruktionen eine höhere Ausnutzung der Betondruckzone unter Berücksichtigung des Parabel-Rechteckdiagramms bis in den plastischen Bereich erfolgen kann. Modifi-

zierte Teilsicherheitsbeiwerte für Bestandsbauwerke in Abhängigkeit des Variationskoeffizienten für Beton und Betonstahl werden angegeben, mit Beispielen ergänzt und erwähnt, dass ein kontinuierliches Monitoring sehr hilfreich sein kann. Die bekannte Untersuchung der Tragfähigkeit mit Belastungsversuchen wurde speziell für die Bewertung von Bestandsbauteilen im Hochbau erweitert. Ein ergänzender Abschnitt behandelt Fragen zur Abschätzung der Feuerwiderstandsdauer historischer Betonkonstruktionen. Abschließend gibt es noch eine Übersicht über die historischen Bestimmungen für die Beton- und Stahlbetonbemessung.

Christian Sodeikat und *Till F. Mayer* geben einen Überblick über die Instandsetzung von Tiefgaragen und Parkhäusern. Einige konstruktive Anforderungen, wie die Entwässerungs- und Gefällesituation, Arbeits- und Dehnfugen sowie zulässige Rissbreiten werden anhand von Beispielen dargelegt. Die Beratungs- und Aufklärungspflicht des Planers gegenüber dem Bauherrn, die rechtlichen Grundlagen bei der Instandsetzung von Parkbauten sowie die Regelwerke zu Schutz und Instandsetzung von Betontragwerken stellen die Voraussetzungen bei jeder Instandsetzung dar. Ausführlich gehen die Autoren auf die Korrosion, insbesondere auf die chloridinduzierte Korrosion der Bewehrung ein. Der Hauptteil widmet sich der Instandsetzung auf der Basis der DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie in der Fassung von 2001; die Neufassung soll frühestens 2016 erscheinen. Darüber hinaus werden die aktuellen Untersuchungsmethoden zur Feststellung des Istzustandes, die Instandsetzungsmethoden an einzelnen Beispielen sowie die Ausführungsvarianten aus dem DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ und einige interessante Instandsetzungsdetails dargestellt. Mit einem Abschnitt über die Wartung, Instandhaltung und Überwachung sowie den zusätzlichen Wert eines Monitorings über den gesamten Lebenszyklus schließt dieser wissenschaftlich und baupraktisch wertvolle Beitrag ab.

Andreas Westendarp, *Holger Becker*, *Jörg Bödefeld*, *Helmut Fleischer*, *Claus Kunz*, *Matthias Maisner*, *Hilmar Müller*, *Amir Rahimi*, *Thorsten Reschke* und *Frank Spörel* erläutern Methoden der Erhaltung und Instandsetzung von massiven Verkehrswasserbauwerken. Die Wichtigkeit funktionsfähiger Wasserstraßen zeigt sich darin, dass die Mehrzahl der Großstädte sowie Industriezentren der Bundesrepublik Deutschland, aber auch die Städte entlang der Donau über Wien nach Budapest bis

zum Schwarzen Meer, darüber verbunden sind. Neben den eigentlichen Wasserbauwerken gewährleisten etwa 1.600 Brücken in Deutschland einen zuverlässigen Betrieb der Wasserstraßen. Etwa 50 % dieser Bauwerke sind älter als 80 Jahre und etwa 30 % sind älter als 100 Jahre. Nach einem Überblick über die aktuellen Regelwerke werden die Bauweisen, die Verfahren zur Zustandsbeurteilung sowie aktuelle Ergebnisse von Bauwerksinspektionen an Schleusen und Wehren dargestellt. Sehr detailliert wird auf die Methoden und Systeme der Instandsetzung auch unter Berücksichtigung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (LB 219 – 2013) eingegangen. Eine Bereicherung für die Praxis stellen die beschriebenen Beispiele der Instandsetzung von Bewegungsfugen und weiterer konstruktiver Details dar.

Thorsten Eichler und *Susanne Gieler-Breßmer* behandeln den kathodischen Korrosionsschutz. Im Allgemeinen ist diese Instandsetzungsmethode immer dann wirtschaftlich, wenn hohe Chloridgehalte mit einer Depassivierung der Bewehrung einhergehen, die jedoch noch nicht zu einer starken Schädigung des Bauwerks geführt haben. Detailliert werden die chemischen Grundlagen aus der neuesten Literatur zusammengestellt und ein guter Überblick über die Anodensysteme und Anwendungen gegeben. Die wichtigsten Regelwerke, wie DIN EN ISO 12696 für den kathodischen Korrosionsschutz und DIN EN 15257 für die organisatorischen Abläufe, werden erläutert. Die Anwendungsbeispiele zeigen die Wirksamkeit als präventive oder als Instandsetzungsmaßnahmen.

Christoph Gehlen, *Amir Rahimi*, *Thorsten Reschke* und *Andreas Westendarp* beschäftigen sich mit der Bewertung der Leistungsfähigkeit von Instandsetzungsmaterialien und der Lebensdauer von instandgesetzten Stahlbetonbauteilen unter Chlorideinwirkung. Wertvoll sind die Beschreibungen von Versuchsergebnissen der Chloriddiffusion und -migration mit deren zeitlicher Entwicklung. Damit kann durch geeignete Untersuchungen die Leistungsfähigkeit der Instandsetzungsmaterialien bewertet werden, da die Zusammensetzungen dieser Materialien vielfach nicht bekannt sind. Die Bemessung der Lebensdauer von instandgesetzten Stahlbetonbauteilen kann mit dem bekannten Sicherheitsindex β auf der Grundlage eines prognostizierten Chloridtransports erfolgen.

Konrad Bergmeister, *Peter Mark*, *Michael Österreicher*, *David Sanio*, *Peter Heek*, *Alexander Krawtschuk*, *Alfred Strauss* und *Mark Alexander Ahrens* zeigen in ihrem Beitrag über innovative Monitoringstrategien für Bestandsbauwerke den aktuellen Stand des Wissens im Bereich zerstörungsfreie Baustoffuntersuchung und Monitoring. Den

Grundlagen für das Monitoring, den statistischen Auswertungen, wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Innovativ ist die holistische Lebenszyklusbetrachtung, bei der jedem Bauwerk und Bauteil eine bestimmte Lebensdauer zugeordnet wird. Die mathematischen Grundlagen der dynamischen Monitoringsysteme mit digitaler Signalverarbeitung sowie die Näherungsverfahren zur automatisierten Bestimmung der Dämpfung bilden das Wissen, um Feldmessungen an realen Bestandsbrücken zu interpretieren. Interessant ist die satellitengestützte Radarinterferometrie zum großflächigen Setzungsmonitoring von Gebäuden. Beeindruckend ist die erzielbare Genauigkeit vertikaler Verformungswerte im Submillimeterbereich. An Bestandsbrücken wurden Bauwerksmonitoring zur Beurteilung der Ermüdung sowie Georadarmessungen zur Untersuchung des Hinterfüllmaterials verwendet. In diesem Beitrag wird nachgewiesen, dass Monitoringsysteme bereits bei der Planung der Lebenszyklen mitgedacht und bei Neubauten eingesetzt werden sollten.

Claudia Westerkamp-Freitag und *Johann-Dietrich Wörner* haben die theoretischen Grundlagen der Baudynamik und deren Berechnungsverfahren zusammengestellt. Ein Abschnitt widmet sich den experimentellen Untersuchungen zur Bestimmung wichtiger Verhaltensparameter, wie Dämpfung und Steifigkeit. Wertvoll sind die Darstellungen der Einwirkungen, wie beispielsweise Glockenlasten, Maschinenlasten, Wind- und Erdbebenlasten.

Hans-Werner Nordhues beschreibt im Beitrag über die Maschinenfundamente einleitend die verschiedenen Maschinenarten und die Prinzipien zur Auslegung von Maschinenfundamenten. Der Einfluss des Betons auf die Steifigkeit ist genauso wie die Fundamentbreite gering (linear); jedoch werden wertvolle baupraktische Hinweise zur Hydratation und zur Festigkeitsentwicklung gegeben. Die aktive Isolierung bei der dynamischen Auslegung von Fundamenten sowie die konstruktive Durchbildung mit eingebauten Sensoren zur Messung von Temperatur und Verformungen runden diesen Beitrag ab.

Stephan Freudenstein, *Konstantin Geisler*, *Tristan Mölter*, *Michael Mißler* und *Christian Stolz* stellen den aktuellen Stand des Wissens über die Feste Fahrbahn aus Beton zusammen. Die grundsätzlichen Bauarten und die speziellen Systeme für Brücken und Tunnel werden beschrieben sowie die neuesten internationalen Entwicklungen erwähnt. Ein wesentlicher Abschnitt widmet sich der Bemessung und konstruktiven Durchbildung mit den spezifischen Materialkenndaten. Am Beispiel einer Gleisstrahlplatte wird die Berechnung dargestellt. Interessant sind die Schritte der notwendigen Laborprüfungen und Nachweise bei der Entwicklung einer neuen Festen Fahrbahn. Spezifisch werden die Anforderungen und die Bemessung der Festen Fahr-

bahn auf Brücken sowie ausgewählte Themen der Inspektion und der Instandhaltung behandelt.

Teil 2 des Beton-Kalenders 2015 enthält spezielle Themen des Brückenbaus sowohl in Bezug auf die aktuellen Eurocodes als auch über die Nachrechnung von Bestandsbrücken.

Balthasar Novák und *Peter Lippert* beschäftigen sich mit den Einwirkungen auf Brücken nach den Eurocodes. Detailliert werden die Lastmodelle für neue Brücken und Brückenpfeiler beschrieben, während bei Bestandsbauwerken die anzusetzenden Achslasten aus der Nachrechnungsrichtlinie entnommen werden können. Am Beispiel einer 4-feldrigen Straßenbrücke sowie an einer 3-feldrigen Eisenbahnbrücke werden die Einwirkungen nach dem DIN-Handbuch Eurocode 1, Band 3: Brückenlasten dargestellt.

Karlheinz Haveresch und *Reinhard Maurer* behandeln Entwurf, Bemessung und Konstruktion von Betonbrücken nach Eurocode 2 in Deutschland. Die wesentlichen Anforderungen bei der Planung von neuen Brücken sowie die Unterschiede bei der Umgestaltung von Bestandsbrücken werden strukturiert dargestellt. Beginnend mit den Balkenbrücken werden Bogenbrücken, Sprengwerksbrücken und Rahmenbrücken beschrieben. Die konstruktive Durchbildung der Brückenüberbauten sowie der Widerlager, Pfeiler und Gründungen werden baupraktisch erläutert und mit Beispielen ergänzt. Ein Abschnitt ist den Bauverfahren gewidmet, beginnend mit dem Erbauen auf einem Traggerüst, über das Taktschiebeverfahren, Freivorbauverfahren hin zum Bauen mit Fertigteilen. Die Grundlagen der Tragwerksplanung werden behandelt und die Bemessung nach Eurocode 2 detailliert dargelegt. Die Nachweise der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung werden anhand von Beispielen veranschaulicht, sodass sie wertvolle Hilfen in der Ingenieurpraxis bieten. Vervollständigt wird der Beitrag mit dem Thema der externen Vorspannung, welche vielfach auch bei der Ertüchtigung von Bestandsbrücken angewandt wird.

Gero Marzahn, *Josef Hegger*, *Reinhard Maurer*, *Konrad Zilch*, *Daniel Dunkelberg*, *Agnieszka Kolodziejczyk* und *Frederik Teworte* befassen sich mit der Fortschreibung der deutschen Nachrech-

nungsrichtlinie von Betonbrücken. Dabei stellen die Autoren aktuelle Erkenntnisse aus der Nachrechnung von Betonbrücken und ein neues Verkehrslastmodell (4+0-System) für die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen unter Verkehr vor. Interessant sind die Erkenntnisse über die Defizite bei der Bewehrung zur Abdeckung der verschiedenen Schnittgrößen. Vertiefend wurden die Nachrechnung mit genaueren wissenschaftlichen Methoden (Stufe 4), insbesondere für Querkraft und Torsion, sowie die erweiterten Ansätze zum Nachweis der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit behandelt. Wertvoll für die Praxis sind die angeführten Nachrechnungsbeispiele und die daraus gewonnenen Erkenntnisse.

Im Beitrag Normen und Regelwerke hat *Frank Fingerloos* eine konsolidierte Fassung des Eurocodes 2 für Betonbrücken in Deutschland aufbereitet. *Daia Zwicky* und *Thomas Vogel* stellen die Schweizer Normenserie SIA 269, insbesondere den Betonteil SIA 269/2 zur Erhaltung von Tragwerken, vor. *Walter Potucek* und *Markus Vill* erläutern die Anwendung der Eurocodes 1 und 2 mit den Nationalen Anhängen für Betonbrücken in Österreich. Damit wird ein guter Überblick über den aktuellen Stand der Normen zur Bestandsbewertung und zu Betonbrücken in den drei Ländern Deutschland, Österreich und Schweiz gegeben.

Der Erhalt unserer Bausubstanz sowie der Brückenbau sind die Themen dieses Jahrgangs. Umfangreiches Fachwissen wurde zusammengestellt und anhand von anschaulichen Beispielen aus der Berufspraxis für die Anwendung aufbereitet. Damit stellt der Beton-Kalender 2015 wieder eine Fundgrube zum vertieften Studium sowie eine Hilfe für die Ingenieurarbeit dar. Wir wünschen allen Freunden des Beton-Kalenders viel Erfolg in der täglichen Arbeit und den Mut trotz mancher Limitierungen durch die Normen mit neuem Wissen innovative Projekte zu gestalten!

Wien, Berlin, Darmstadt, im September 2014

Konrad Bergmeister, Wien

Frank Fingerloos, Berlin

Johann-Dietrich Wörner, Darmstadt

Inhaltsübersicht

	Inhaltsverzeichnis	IX
	Anschriften	XXX
I	Erhalt unserer Bausubstanz	1
	Peter Mark, Pia Neugebauer	
II	Tragwerksplanung im Bestand – Bewertung bestehender Tragwerke	25
	Frank Fingerloos, Steffen Marx, Jürgen Schnell	
III	Instandsetzung von Tiefgaragen und Parkhäusern	115
	Christian Sodeikat, Till F. Mayer	
IV	Erhaltung und Instandsetzung von massiven Verkehrswasserbauwerken ...	185
	Andreas Westendarp, Holger Becker, Jörg Bödefeld, Helmut Fleischer, Claus Kunz, Matthias Maisner, Hilmar Müller, Amir Rahimi, Thorsten Reschke, Frank Spörel	
V	Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlbetonbau	247
	Thorsten Eichler, Susanne Gieler-Breßmer	
VI	Bewertung der Leistungsfähigkeit von Instandsetzungsmaterialien und der Lebensdauer von instand gesetzten Stahlbetonbauteilen unter Chlorideinwirkung	287
	Christoph Gehlen, Amir Rahimi, Thorsten Reschke, Andreas Westendarp	
VII	Innovative Monitoringstrategien für Bestandsbauwerke	315
	Konrad Bergmeister, Peter Mark, Michael Österreicher, David Sanio, Peter Heek, Alexander Krawtschuk, Alfred Strauss, Mark Alexander Ahrens	
VIII	Baudynamik	461
	Claudia Westerkamp-Freitag, Johann-Dietrich Wörner	
IX	Maschinenfundamente	495
	Hans-Werner Nordhues	
X	Feste Fahrbahn in Betonbauweise	529
	Stephan Freudenstein, Konstantin Geisler, Tristan Mölter, Michael Mißler, Christian Stolz	

XI	Einwirkungen auf Brücken nach den Eurocodes	585
	Balthasar Novák, Peter Lippert	
XII	Entwurf, Bemessung und Konstruktion von Betonbrücken	679
	Karlheinz Haveresch, Reinhard Maurer	
XIII	Die Nachrechnung von Betonbrücken – Fortschreibung der Nachrechnungsrichtlinie	819
	Gero Marzahn, Josef Hegger, Reinhard Maurer, Konrad Zilch, Daniel Dunkelberg, Agnieszka Kolodziejczyk, Frederik Teworte	
XIV	Normen und Regelwerke	905
	Frank Fingerloos	
	Stichwortverzeichnis	1147

Inhaltsverzeichnis

I	Erhalt unserer Bausubstanz	1		
	Peter Mark, Pia Neugebauer			
1	Einleitung	3	5.1	Monitoring
				11
2	Einführung und Pressestimmen	3	5.2	Nachrechnung
				13
3	Zustand und Eigenschaften unserer		5.3	Verstärkung mit externer
	Brücken	3		Vorspannung
				15
4	Erhaltungskreislauf	8	5.4	Lebensdaueranalysen und
				Optimierung
				16
5	Ansätze der Forschung,		6	Schlussfolgerungen
	Bewertung und Nachrechnung			20
	von Bestandsbrücken	11	7	Danksagung
				21
			8	Literatur
				21
II	Tragwerksplanung im Bestand – Bewertung bestehender Tragwerke	25		
	Frank Fingerloos, Steffen Marx, Jürgen Schnell			
1	Einleitung	27	3.5.7	Übergreifungsstöße zugbeanspruchter
				Längsbewehrung
				55
2	Bestandsschutz	27	3.5.7.1	Übergreifungsstöße zugbeanspruchter
				glatter Betonstähle
				55
2.1	Grundlagen	27	3.5.7.2	Übergreifungsstöße zugbeanspruchter
2.2	Umsetzung	28		gerippter Betonstähle
2.3	Zusammenfassung	31		57
3	Besonderheiten bei der Bewertung		4	Historische Normen und Zulassungen
	bestehender Tragwerke	31		des Beton- und Stahlbetonbaus
				60
3.1	Allgemeines	31	5	Ermittlung der maßgebenden Material-
3.2	Bestandsaufnahme und Bestands-			kennwerte bestehender Tragwerke ...
	bewertung	32	5.1	Materialkennwerte auf Basis
3.2.1	Vorgehensweise	32		vorliegender Planungsdokumente ...
3.2.2	Durchzuführende Untersuchungen ...	33		63
3.3	Berücksichtigung baubetrieblicher		5.1.1	Beton
	Abläufe	35	5.1.2	Betonstahl
				65
3.4	Nachrechnung und Konstruktion ...	39	5.2	Materialkennwerte aus Werkstoff-
3.5	Historische Bewehrungsregeln	42		untersuchungen
				69
3.5.1	Einleitung	42	5.2.1	Beton
3.5.2	Eigenschaften historischer		5.2.2	Betonstahl
	Betonstähle	43		71
3.5.3	Mindestbetondeckung	46	6	Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte
3.5.4	Stababstände von Betonstählen	48		für Bestandsbauten
3.5.5	Biegerollendurchmesser	50	6.1	Allgemeines
3.5.6	Verankerung zugbeanspruchter		6.2	Modifikation von Teilsicherheits-
	Längsbewehrung	51		beiwerten
			6.3	Beispiel: Nachweis Büro-/
3.5.6.1	Verankerung zugbeanspruchter			Wohnhausdeckenplatte
	glatter Betonstähle	51	6.3.1	Aufgabenstellung
3.5.6.2	Verankerung zugbeanspruchter		6.3.2	Vorhandene Bemessung nach
	gerippter Betonstähle	53		DIN 1045:1972-01
3.5.6.3	Verbundspannungen	54		76

6.3.3	Nachweis nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 mit Lasterhöhung	77	8.2	Baustoffe	94
6.3.4	Nachweis mit modifizierten Teilsicherheitsbeiwerten	78	8.2.1	Beton	94
6.3.5	Vergleich der Ergebnisse	81	8.2.2	Betonstahl	95
7	Ermittlung der Tragfähigkeit auf der Grundlage von Belastungsversuchen	81	8.2.3	Putze	97
7.1	Entwicklung und normative Grundlagen	81	8.2.4	Baustoffklassen	97
7.2	Einordnung in die Bestands- bewertung	83	8.3	Bauteile	97
7.3	Grundlagen und Anwendungs- bereiche	84	8.3.1	Stahlbetondecken	97
7.4	Planung von Belastungsversuchen	86	8.3.2	Stahlsteindecken	98
7.5	Versuchsdurchführung und Auswertung	88	8.3.3	Kappendecken	98
7.6	Schlussfolgerungen	90	8.3.4	Glasstahlbeton	98
8	Abschätzung der Feuerwiderstands- dauer historischer Beton- konstruktionen	91	8.3.5	Balken	99
8.1	Allgemeines	91	8.3.6	Stützen	99
III	Instandsetzung von Tiefgaragen und Parkhäusern	115	9	Übersicht historischer Bestimmungen für den Beton- und Stahlbetonbau – Bemessung, Ausführung, Beton, Betonstahl	100
	Christian Sodeikat, Till F. Mayer		9.1	Die frühen Bestimmungen bis 1925	100
1	Einleitung	117	9.2	DIN-Normen 1925 bis 2004	100
2	Bauliche Situation älterer Tiefgaragen und Parkhäuser	117	9.3	TGL-Standards 1960 bis 1990	104
3	Rechtliche Grundlagen bei Instandsetzungen von Parkbauten	120	9.4	Die Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton 1930 bis 2004	106
3.1	Einführung	120	10	Literatur	107
3.2	Die anerkannten Regeln der Technik (aRdT)	120	4.5	Chloridinduzierte Bewehrungskorrosion	128
3.3	Verwendbarkeit von Baustoffen	121	4.6	Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt C_{Krit}	129
3.4	Regelwerke für Instandsetzungen: Instandsetzungs-Richtlinie (Rili-SIB 2001) und DIN EN 1504	122	4.7	Korrosion im Rissbereich	131
3.5	Weitere Regelwerke für Instandsetzungen	123	4.7.1	Allgemeines	131
3.6	Beratungs- und Aufklärungspflicht der Planer gegenüber dem Bauherrn	123	4.7.2	Einleitungsphase im Bereich von Rissen	132
4	Bewehrungskorrosion	124	4.7.3	Schädigungsphase im Bereich von Rissen	132
4.1	Allgemeines	124	4.7.4	Korrosionsfortschritt nach Verschließen der Risse	133
4.2	Korrosion von Stahl allgemein	124	5	Instandsetzung nach der Instand- setzungs-Richtlinie – Vorgehen und technische Grundlagen	134
4.3	Korrosion von Stahl in Beton	125	5.1	Grundlagen	134
4.4	Carbonatisierungsinduzierte Bewehrungskorrosion	127	5.2	Instandsetzungsprinzipien	134
			5.2.1	Allgemeines	134
			5.2.2	Instandsetzungsprinzipien bei carbo- natisierungsinduzierter Korrosion	135
			5.2.3	Instandsetzungsprinzipien bei chloridinduzierter Korrosion	138
			5.3	Umsetzung von Instandsetzungen nach der Instandsetzungs-Richtlinie	138

6	Istzustandsfeststellung von Parkbauten – Durchführung erforderlicher Untersuchungen	139	9	DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“	163
6.1	Aufnahme der grundsätzlichen Bauwerkssituation	139	9.1	Einführung	163
6.2	Tragkonstruktion	139	9.2	Diskussion der Ausführungsvarianten nach DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“	165
6.3	Auffinden von Bereichen mit chlorid-induzierter Korrosion(sgefahr)	142	10	Instandsetzungsdetails bei Parkbauten	167
6.3.1	Aufgabenstellung	142	10.1	Einführung	167
6.3.2	Visuelle Untersuchung	142	10.2	Betonabtrag – Technologie und Umfang	167
6.3.3	Bestimmung des Ausmaßes von Bewehrungskorrosion bzw. vorhandener Querschnittsschwächung	143	10.2.1	Technologie	167
6.3.4	Bestimmung des Chloridgehalts	143	10.2.2	Umfang des erforderlichen Betonabtrags	168
6.3.5	Elektrochemische Potentialfeldmessung	145	10.3	Schutzmaßnahmen für befahrene Flächen	170
6.3.6	Bestimmung der Betondeckung	148	10.3.1	Randbedingungen	170
6.4	Weitere zerstörungsfreie Untersuchungen	149	10.3.2	Zwischendecks	170
7	Bestandsschutz – Festlegung des Sollzustands	153	10.3.3	Freidecks	170
8	Instandsetzungsplanung	157	10.3.4	Rampen	171
8.1	Allgemeines	157	10.3.5	Bodenplatten	171
8.2	Notwendiger Instandsetzungsumfang bei chloridbeaufschlagten Bauteilen	157	10.4	Schutzmaßnahmen für aufgehende Bauteile über und unter Belagoberkante	171
8.3	Instandsetzungsbetone und -mörtel	161	10.5	Gefälle, Entwässerungseinrichtungen	174
8.3.1	Allgemeines	161	11	Wartung, Instandhaltung und Überwachung	174
8.3.2	Beton nach EC2 und DIN EN 206-1/DIN 1045-2	161	11.1	Wartung und Instandhaltung	174
8.3.3	Spritzbeton nach DIN 18551 bzw. DIN EN 14487	161	11.2	Wartungsplan	175
8.3.4	Kunststoffmodifizierter Instandsetzungsbeton und -mörtel (PCC)	161	11.3	Überprüfung des Instandsetzungserfolgs durch Monitoring	176
8.3.5	Kunststoffmodifizierter Spritzbeton und -mörtel (SPCC)	162	11.3.1	Anwendungsgebiete	176
8.3.6	Reaktionsharzgebundener Instandsetzungsbeton und -mörtel (PC)	162	11.3.2	Korrosionsmonitoring	178
8.3.7	Vergussbeton	162	11.3.3	Feuchtemonitoring	179
IV	Erhaltung und Instandsetzung von massiven Verkehrswasserbauwerken	185	12	Literatur	180
	Andreas Westendarp, Holger Becker, Jörg Bödefeld, Helmut Fleischer, Claus Kunz, Matthias Maisner, Hilmar Müller, Amir Rahimi, Thorsten Reschke, Frank Spörl				
1	Einführung	187	3.3	Bauwerkssituation	202
2	Regelwerksituation	188	3.3.1	Ergebnisse aus der Bauwerksinspektion	202
3	Bauwerke, Bauwerkszustand	190	3.3.2	Dauerhaftigkeitsprobleme	204
3.1	Bauwerke, Bauweisen, Baustoffe	190	3.3.3	Standsicherheitsprobleme	206
3.2	Verfahren für die Zustandsbeurteilung und Prognose	193	4	Planungsgrundlagen, Instandsetzungskonzepte	210
3.2.1	Bauwerksinspektion, EMS	193	4.1	Allgemeines	210
3.2.2	Bauwerksbegutachtung	193	4.2	Umgang mit Dauerhaftigkeitsproblemen	210
3.2.2.1	Allgemeines	193	4.2.1	Allgemeines	210
3.2.2.2	Ablauf, Vorgehensweise	194			

4.2.2	Dauerhaftigkeitsrelevante Einwirkungen auf Verkehrswasserbauwerke	210	5.3.1	Allgemeines	227
4.2.3	Klassifizierung des Betonuntergrunds	211	5.3.2	Anforderungen und Eignungsnachweise gemäß BAW-MSM	227
4.2.4	Instandsetzungssysteme, Dauerhaftigkeit, Verbund	213	5.3.3	Qualitätssicherung	229
4.2.5	Erreichen der Instandsetzungsziele, Prinzipien und Verfahren für die Instandsetzung	214	5.4	Injektion massiger Betonbauteile mit hydraulischen Bindemitteln	229
4.2.6	Wasserbauspezifische Planungsgrundsätze	215	5.4.1	Anwendungsbereich des Verfahrens	229
4.3	Umgang mit Standsicherheitsproblemen	216	5.4.2	Voruntersuchungen zur Bewertung der Injizierbarkeit	230
5	Instandsetzungsverfahren gemäß ZTV-W LB 219	220	5.4.3	Injektionsdurchführung und Injektionsversuch	231
5.1	Untergrundvorbehandlung	220	5.4.4	Bewertung Injektionserfolg	232
5.1.1	Ziel und Umfang der Untergrundvorbehandlung	220	6	Offene Fragen, Entwicklungen	232
5.1.2	Verfahren	220	6.1	Instandsetzung mit textilbewehrten Spritzmörteln	232
5.1.3	Eigenschaften und Anforderungen	222	6.2	Instandsetzung von Bewegungsfugen	234
5.1.4	Entsorgung	222	6.2.1	Problemstellung	234
5.2	Beton/Spritzbeton (verankert, bewehrt)	222	6.2.2	Fugeneinstanzungsvarianten	234
5.2.1	Allgemeines	222	6.2.2.1	Aufgesetzte Fugenbänder	234
5.2.2	Bemessung von Vorsatzschalen	223	6.2.2.2	Aufgesetzte Omega-Fugenbänder mit Gewebeerstärkung	236
5.2.3	Baustoffanforderungen	224	6.2.2.3	Stahlseilbewehrtes Klemmfugenband (SBK)	236
5.2.4	Ausführung	225	6.2.2.4	Mörtelgefüllter Elastomer-Schlauch	239
5.2.5	Qualitätssicherung	226	6.2.2.5	Injektionen von Bewegungsfugen	239
5.3	Spritzmörtel/Spritzbeton (unverankert, unbewehrt)	227	6.2.3	Fazit und Ausblick	239
			6.3	Instandsetzung unter Betrieb	240
V	Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlbetonbau	247	7	Literatur	243
	Thorsten Eichler, Susanne Gieler-Brefmer				
1	Allgemeines	249	4	Schutzkriterien und technische Regelwerke	268
2	Grundlagen	250	4.1	DIN EN ISO 12696	268
2.1	Korrosion von Stahl in Beton	251	4.2	DIN EN 15257 zur Zertifizierung von Fachpersonal für den kathodischen Korrosionsschutz	269
2.1.1	Flächige Korrosion durch Karbonatisierung	251	4.3	Kathodischer Korrosionsschutz von Spannbetonbauwerken	270
2.1.2	Lochkorrosion in Anwesenheit von Chloriden	253	5	Ausführungsbeispiele	271
2.2	Galvanischer Schutz	256	5.1	Parkhäuser und Tiefgaragen	271
2.3	Fremdstromschutz	257	5.1.1	Cityparkhaus in Offenbach	272
3	Anodenmaterialien und -typen	261	5.1.2	Präventiver kathodischer Korrosionsschutz in einer Tiefgarage	276
3.1	Galvanische Anoden	261	5.1.3	Kathodischer Korrosionsschutz hochbelasteter Stützen in einer Tiefgarage	278
3.2	Inertanoden (Dimensionsstabile Anoden – DSA)	263	5.2	Brückenbauwerke	280
3.3	Leitfähige Beschichtungen auf Kohlenstoffbasis	264	6	Zusammenfassung	283
3.4	Anodeneinbettung	264	7	Literatur	284

VI	Bewertung der Leistungsfähigkeit von Instandsetzungsmaterialien und der Lebensdauer von instand gesetzten Stahlbetonbauteilen unter Chlorideinwirkung	287		
	Christoph Gehlen, Amir Rahimi, Thorsten Reschke, Andreas Westendarp			
1	Einleitung	289	4	Lebensdauerbemessung von instand gesetzten Stahlbetonbauteilen
2	Lebensdauerbemessung von (neuen) Stahlbetonbauteilen	290	4.1	Allgemeines
2.1	Grundlagen	290	4.2	Modellierung des Chloridtransports in einem 2-Schicht-System
2.2	Mathematische Modellierung des Chloridtransports	290	4.3	Numerische Untersuchungen zum Chloridtransport in einem 2-Schicht-System
2.3	Bemessung	294	4.4	Laborversuche zum Chloridtransport in einem 2-Schicht-System
3	Chlorideindringwiderstand von Instandsetzungsmaterialien	297	4.5	Auslagerungsversuche zum Chloridtransport in einem 2-Schicht-System
3.1	Allgemeines	297	4.6	Zustandsprognose nach einer Instandsetzung
3.2	Laboruntersuchungen	297	5	Zusammenfassung
3.2.1	Materialien, Probekörper, Versuche	297	6	Literatur
3.2.2	Kennwerte und Zusammenhänge ..	298		
3.2.3	Bewertung der Leistungsfähigkeit der Instandsetzungsmaterialien	302		
VII	Innovative Monitoringstrategien für Bestandsbauwerke	315		
	Konrad Bergmeister, Peter Mark, Michael Österreicher, David Sanio, Peter Heek, Alexander Krawtschuk, Alfred Strauss, Mark Alexander Ahrens			
1	Einleitung	317	3.4.1	Bestimmung der Bemessungswerte auf Basis der charakteristischen Werte
2	Zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden	318	3.4.2	Direkte Bestimmung der Bemessungswerte
2.1	Schallemissionsverfahren	318	3.4.3	Bestimmung der Bemessungswerte auf Basis probabilistischer Bewertung von Stichproben
2.2	Impuls-Echoverfahren	318	4	Grundelemente einer holistischen Lebenszyklusbetrachtung
2.3	Radar- bzw. Georadarverfahren ..	319	4.1	Probabilistisch basierte Bewertung ..
2.4	Ultraschallverfahren	321	4.2	Holistisch basierte Lebenszyklusbewertung
2.5	Infrarotverfahren	322	5	Dynamische Monitoringverfahren – Grundlagen
2.6	Elektromagnetische Verfahren ..	322	5.1	Allgemeines
2.7	Laservibrometer	322	5.2	Schwingungslehre
2.8	Wegaufnehmer	323	5.2.1	Allgemeine Einführung
2.8.1	Kapazitive Wegaufnehmer	323	5.2.2	Gliederung der Schwingungen
2.8.2	Induktive Wegaufnehmer	323	5.2.3	Der lineare Einmassenschwinger ..
2.9	Optische Messsysteme	324	5.2.3.1	Allgemeine Definition
3	Monitoringmethoden und Grundlagen der Bewertung	325	5.2.3.2	Freie Schwingung des ungedämpften Einmassenschwingers
3.1	Warum Monitoring?	325	5.2.3.3	Freie Schwingung des gedämpften Einmassenschwingers
3.2	Monitoringmethoden – Aktueller Wissenstand	325		
3.3	Planung und statistische Bearbeitung von Bauteilprüfungen ..	326		
3.3.1	David-Hartley-Pearson-Test	328		
3.3.2	Grubbs-Test	328		
3.4	Festlegung der Bemessungswerte ..	328		

5.2.3.4	Harmonische Anregung des ungedämpften Einmassenschwingers	339	6.2.1.3	Bandbreitenmethode zur Bestimmung der Dämpfung	360
5.2.3.5	Harmonische Anregung des gedämpften Einmassenschwingers	339	6.2.2	Erweiterter Ansatz – Bestimmung der Dämpfung mittels Kreuzkorrelationsanalyse	361
5.2.4	Der lineare Mehrmassenschwinger	340	6.2.2.1	Einleitung	361
5.2.4.1	Allgemeine Definition	340	6.2.2.2	Kreuzkorrelationsanalyse	362
5.2.4.2	Freie Schwingung des linearen Mehrmassenschwingers	341	6.2.2.3	Charakterisierung der Dämpfungseigenschaften auf Basis von Kreuzkorrelationsbetrachtungen	363
5.2.4.3	Erzwungene Schwingung des linearen Mehrmassenschwingers	342	6.2.2.4	Praktische Anwendung des Verfahrens	367
5.2.5	Modalanalyse	342	6.3	Über die Möglichkeiten der Bestimmung der Verformung und der Modalformen von Strukturen unter Belastung	368
5.2.6	Dämpfung	344	6.3.1	Praktische Aspekte im Zusammenhang mit der Ermittlung der Verformung aus Beschleunigungsmessungen	369
5.2.6.1	Allgemeines	344	6.4	Bestimmung der Verformung auf Basis von Neigungsmessungen	371
5.2.6.2	Definition der Dämpfung	345	6.4.1	Theoretische Grundlagen des Verfahrens	371
5.2.6.3	Dämpfungszahlen in der Praxis	345	6.4.2	Praktische Aspekte im Zusammenhang mit der Ermittlung der Verformung aus Neigungsmessungen	376
5.3	Grundlagen der Signalverarbeitung	346	6.5	Experimentelle Verifikation der Verformungen und Beschleunigungen	377
5.3.1	Analoge – Digitale Signale	346	6.5.1	Zielsetzung der Laborstudie	377
5.3.2	Grundsätzliche Einteilung von Signalen	346	6.5.2	Versuchsaufbau	377
5.3.3	Digitale Signalverarbeitung	347	6.5.3	Ergebnisse der Labormessungen	378
5.3.3.1	Allgemeines	347	6.6	Feldmessungen an einer Eisenbahnbrücke der ÖBB-Strecke Wien–Gmünd	380
5.3.3.2	Zeitdiskretisierung	347	6.6.1	Tragwerkskurzbeschreibung	380
5.3.3.3	Abtasttheorem	347	6.6.2	Langzeitmonitoring zur Ermittlung der Tragwerksdämpfung	380
5.3.3.4	Quantisierungsruschen	348	7	Radarinterferometrie zum großflächigen Setzungsmonitoring von Bauwerken	382
5.4	Methoden der Signalanalyse – Frequenzanalyse	349	7.1	Einleitung und Motivation	382
5.4.1	Einleitung	349	7.1.1	Einführung Radarinterferometrie	383
5.4.2	Fourierreihe	349	7.1.2	Grundprinzip satellitengestützter Radarinterferometrie	385
5.4.3	Fourierintegral	350	7.1.3	Persistent-Scatterer-Interferometrie (PSI)	388
5.4.4	Diskrete Fouriertransformation	350	7.2	Satellitengestützte Radarinterferometrie zum Monitoring von Bestandsbebauung – Beispiel innerstädtisches Tunnelbauprojekt „Wehrhahnlinie“ in Düsseldorf	390
5.4.5	„Schnelle“ Fouriertransformation – FFT	352	7.2.1	Projektbeschreibung und Setzungen aus dem Tunnelbau	390
5.5	Numerische Integration	353	7.2.2	Detektierte Persistent Scatterer	393
5.5.1	Allgemeines	353	7.2.3	Mittels PSI gemessene Setzungsmulde	393
5.5.1.1	Theoretische Grundlagen	353			
5.5.1.2	Rechteckregel zur numerischen Integration	354			
5.5.1.3	Trapezregel zur numerischen Integration	355			
5.5.1.4	Simpsonregel zur numerischen Integration	356			
5.5.2	Zusammenfassung und Vergleich der vorgestellten numerischen Integrationsverfahren	357			
6	Dynamische Monitoringverfahren – Anwendung	358			
6.1	Einleitung	358			
6.2	Näherungsverfahren zur automatisierten Bestimmung der Dämpfung	358			
6.2.1	Experimentelle Verfahren zur Bestimmung der Dämpfung – Stand der Technik	359			
6.2.1.1	Einleitung	359			
6.2.1.2	Logarithmische Dekrement-Methode	359			

7.2.4	Gegenüberstellung terrestrischer und satellitengestützter Messwerte	395	8.5.6	Probebelastung zur Modellkalibrierung	424
7.2.5	Schlussfolgerungen	397	8.5.7	Zeitabhängige Verluste	426
7.3	Ausblick auf satellitengestütztes Monitoring an Bestandsbrücken	398	8.5.8	Temperaturmessung	429
8	Monitoring einer Spannbeton-Hohlkastenbrücke	399	8.6	Genauigkeitssteigerung von Lebensdauerprognosen durch Monitoring	433
8.1	Einleitung und Motivation	399	9	Zerstörungsfreie Überprüfungen und Lebensdauerbewertung einer Bogenbrücke	435
8.2	Referenzbauwerk: Hochstraße „Pariser Straße“	400	9.1	Zerstörungsfreie Untersuchungen	435
8.3	Numerische Berechnung und Modellierung	402	9.1.1	Georadarmessungen	435
8.3.1	Numerisches Modell und Modellierungsaspekte	402	9.1.2	Laservibrometermessungen	438
8.3.2	Spannungsberechnung mit Momenten-Spannstahlspannungs-Beziehung	403	9.1.3	Wegaufnehmermessungen	440
8.3.3	Lastmodellierung und Verkehrslastmodelle	406	9.1.4	Erkenntnisse aus den Monitoringkampagnen der einzelnen Bogentragwerke	442
8.4	Betriebsfestigkeitsnachweis	408	9.2	Strukturmodellierung	442
8.5	Monitoringprogramm für Ermüdungsprobleme	409	9.2.1	Baustoffmechanische Grundlagen	443
8.5.1	Direkte Dehnungsmessung am Spannstahl	409	9.2.2	Belastungen	445
8.5.2	Aufbereitung der Dehnungsmessung mit Klassier- und Zählverfahren	414	9.2.3	Vergleich Messdaten – Modellergebnisse	445
8.5.3	Langzeitige Verkehrszählungen	418	9.2.4	Ermittlung der Stützlinie mittels Monitoringdaten	448
8.5.4	Materialproben	419	9.3	Erkenntnisse	450
8.5.5	Ermittlung der Wöhlerlinie	423	10	Zusammenfassung und Ausblick	450
			11	Literatur	452
VIII	Baudynamik	461			
	Claudia Westerkamp-Freitag, Johann-Dietrich Wörner				
1	Einleitung	463	4	Experimentelle Untersuchungen	484
2	Begriffe, Einheiten und Bezeichnung	463	4.1	Untersuchungsverfahren	484
3	Theoretische Grundlagen	464	4.1.1	Labor	484
3.1	Systeme mit einem Freiheitsgrad	464	4.1.2	Vor Ort	485
3.1.1	Freie lineare Schwingungen	464	5	Anwendungen	485
3.1.1.1	Ungedämpfte Schwingung	464	5.1	Einwirkungen	485
3.1.1.2	Gedämpfte Schwingung	466	5.1.1	Allgemeines	485
3.1.2	Erzwungene lineare Schwingungen	468	5.1.2	Lasteinwirkungen	485
3.1.3	Nichtlineares Verhalten	473	5.1.3	Verschiebungseinwirkungen	488
3.2	Systeme mit mehreren Freiheitsgraden	475	5.2	Nachweise	489
3.2.1	Allgemeines	475	5.2.1	Sicherheitskonzept	489
3.2.2	Diskrete Systeme	475	5.2.2	Tragfähigkeit	489
3.2.2.1	Freie lineare Schwingungen	475	5.2.3	Gebrauchstauglichkeit (inkl. Komfort)	490
3.2.2.2	Erzwungene lineare Schwingungen	479	5.3	Schwingungsreduktion	490
3.2.2.3	Nichtlineares Verhalten	483	5.3.1	Allgemeines	490
3.2.3	Kontinuierliche Systeme	483	5.3.2	Passive Systeme	490
			5.3.3	Aktive Systeme	491
			5.3.4	Schwingungsisolation	491
			6	Weiterführende Literatur	491

IX	Maschinenfundamente	495
	Hans-Werner Nordhues	
1	Einleitung	497
2	Maschinenarten	497
2.1	Werkzeugmaschinen	497
2.1.1	Allgemeines	497
2.1.2	Kleine Bearbeitungszentren	497
2.1.3	Umformmaschinen	498
2.1.4	Feinbearbeitungsmaschinen	498
2.1.5	Große Werkzeugmaschinen	498
2.2	Messmaschinen	499
2.3	Prüfstände	499
2.4	Aufstellelemente	499
3	Statische Auslegung von Fundamenten	499
3.1	Allgemeines	499
3.2	Baugrund	501
3.3	Lastabtragung	501
3.4	Verformungsnachweise von Maschinenfundamenten	502
3.5	Spannungen aus Hydratation	505
3.5.1	Allgemeines	505
3.5.2	Zustand 1 (T = 24 h)	507
3.5.3	Zustand 2 (T = 3 Tage)	507
3.5.4	Zustand 3 (T = 28 Tage)	507
3.6	Mindestbewehrung	507
	3.7 Wasserrechtliche Anforderungen an Fundamente	508
	3.7.1 Allgemeines	508
	3.7.2 Beton nach BUmwS-Richtlinie	509
	3.7.2.1 Allgemeines	509
	3.7.2.2 Dichtheitsnachweise	510
	3.7.3 Beschichtungen	511
	3.7.4 Auskleidungen mit Stahl	512
	3.7.5 Kunststoffbahnen	512
4	Dynamische Auslegung von Fundamenten	512
4.1	Allgemeines	512
4.2	Schutz von Menschen in Gebäuden	515
4.3	Schutz von baulichen Anlagen	517
5	Konstruktion von Fundamenten	517
5.1	Allgemeines	517
5.2	Betonsorten	517
5.3	Bewehrungsführung	518
5.4	Einbauteile	518
5.5	Fixaturen und Verankerungen	519
6	Beurteilung von Fundamenten	521
6.1	Temperaturkontrollen	521
6.2	Verformungsmessungen	521
7	Literatur	524
X	Feste Fahrbahn in Betonbauweise	529
	Stephan Freudenstein, Konstantin Geisler, Tristan Mölter, Michael Mißler, Christian Stolz	
1	Einleitung – Stand der Technik	531
1.1	Vorbemerkungen	531
1.2	Vergleich Schotteroberbau – Feste Fahrbahn	531
1.3	Grundsätzliche Bauarten der FF in Deutschland – Stand der Technik	533
1.3.1	Entwicklung in Deutschland	533
1.3.2	Gleisrost auf durchgehend bewehrter Gleistragplatte	534
1.3.3	Durchgehend bewehrte Gleistragplatte mit Einzelstützpunkten	535
1.3.4	Fertigteileplatten	535
1.3.5	Spezielle Systeme für Tunnel/Brücken	536
1.3.6	Weiterentwicklungen	536
1.3.7	Resümee	537
1.4	FF-Systeme/Entwicklungen im Ausland (Beispiele)	537
2	Bemessung und Konstruktion	540
2.1	Grundsätzliches	540
2.1.1	Regelwerke	540
2.1.2	Grundsätzliche Belastungsansätze	540
2.2	Werkstoffkennwerte – Annahmen	541
2.2.1	Untergrund	541
2.2.2	Ungebundene Tragschicht	542
2.2.3	Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln (THB)	542
2.2.4	Gleistragplatte	544
2.3	Berechnung	544
2.3.1	Allgemeines	544
2.3.2	Berechnung der Einzelstützpunktkräfte	545
2.3.3	Biegespannungsberechnung am System mit aufgelagertem Gleisrost	546
2.3.4	System mit Einzelstützpunkten	549
2.3.5	Beispielrechnung	550

2.4	Weitere Betrachtungen	552	4.3.3	Zusammenwirken von Oberbau und Brücke	570
2.4.1	Zwischenschichten	552	4.3.4	Generelle Einwirkungen und Verformungen am Brückenende	570
2.4.2	Temperatureinfluss	552	4.3.5	Zusammenstellung der Einwirkungen	571
2.4.3	Finite-Elemente-Methode (FEM)	553	4.3.6	Ergänzende Regelungen zur Ausführung der Festen Fahrbahn auf Brücken und Nachweisführungen . . .	571
3	Entwicklung einer Festen Fahrbahn	554	4.3.7	Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte	573
3.1	Allgemeines	554	4.3.8	Zusammenfassung, Konsequenzen und Ausblick	574
3.2	Laborprüfungen	555	5	Ausgewählte Themen	574
3.2.1	Schienenbefestigungsprüfung	555	5.1	Zusätzliche Anforderungen an die Konstruktion für die Instandhaltung .	574
3.2.2	Prüfung elastischer Komponenten . .	555	5.2	Weichen in Fester Fahrbahn bei der Deutschen Bahn	575
3.2.3	Spannklemmenprüfung	556	5.3	Instandhaltung der Festen Fahrbahn .	576
3.3	Lateralkräftenachweis	556	5.4	Inspektionen	577
4	Feste Fahrbahn auf Brücken	557	5.4.1	Allgemeines	577
4.1	Einführung – Historie	557	5.4.2	Rissbildungen und Fugenöffnungen .	577
4.1.1	Anforderungen an die Feste Fahrbahn auf Brücken	557	5.4.3	Anker zur Befestigung von Schwellen	578
4.1.2	Systemfindung	557	5.4.4	Schwellenlockerungen	578
4.1.2.1	Geometrische Zwangspunkte	558	5.4.5	Zusätzliche Inspektionen	578
4.1.2.2	Akustik	559	5.5	Instandsetzung einer FF	578
4.1.2.3	Bemessung	559	5.5.1	Instandsetzungsfälle aus der Praxis .	578
4.1.3	Systemerprobung und Folgerungen für einen späteren Einbau	559	5.5.2	Erneuerungen von Stützpunkten	579
4.1.4	Messungen während der Systemerprobung	560	5.5.3	Sanierung von Ankerbolzen	579
4.1.4.1	Bremstversuche	560	5.5.4	Sanierung von Setzungen	579
4.1.4.2	Akustische Eigenschaften nach Einbau der elastischen Matte	560	5.5.5	Schadhafte Schallabsorber	579
4.1.4.3	Einfederungen der Gleistragplatte . .	560	5.6	Entwässerung	579
4.1.4.4	Resümee der Systemerprobung	560	5.6.1	Allgemeines	579
4.1.5	Regelungen und Planungshinweise für die Ausführung der Festen Fahrbahn auf Brücken	561	5.6.2	Abführung des Oberflächenwassers .	579
4.1.6	Die Umsetzung auf Köln–Rhein/Main und Nürnberg–Ingolstadt	561	5.6.3	Mittentwässerung	580
4.1.7	VDE 8 – neue Brückenbauweisen . .	561	5.6.4	Gestaltung des Mittelstreifens	580
4.2	Systeme der Festen Fahrbahn auf Brücken	562	5.6.5	Seitliche Abdeckung	580
4.2.1	Prinzip der Festen Fahrbahn auf langen Brücken	562	5.7	Übergänge	580
4.2.2	Komponenten der Festen Fahrbahn auf langen Brücken	562	5.7.1	Allgemeines	580
4.2.2.1	Schienenstützpunkte	563	5.7.2	Übergänge im Unterbau und Oberbau	580
4.2.2.2	Gleistragplatte	563	5.7.3	Schweißungen und Isolierstöße	580
4.2.2.3	Höckerplatte	565	5.7.4	Übergang Brücke bzw. Tunnel zum Erdbauwerk	580
4.2.2.4	Trennebene	565	5.7.5	Übergang Feste Fahrbahn – Schotteroberbau	580
4.2.2.5	Schutzbeton(platte)	566	5.7.6	Übergang Feste Fahrbahn – Feste Fahrbahn	581
4.2.3	Feste Fahrbahn auf kurzen Brücken .	566	5.8	Befahrbarkeit der Festen Fahrbahn . .	581
4.2.4	Feste Fahrbahn auf langen Brücken .	567	5.8.1	Allgemeines	581
4.2.5	Brückenbereich der Festen Fahrbahn	568	5.8.2	Konstruktive Gestaltung der Befahrbarkeit	581
4.2.6	Endsporn	569	5.8.3	Dimensionierung der Befahrbarkeit .	582
4.3	Der anspruchsvolle Übergangsbereich	569			
4.3.1	Allgemeines	569			
4.3.2	Die obere und untere Systemebene . .	569			

5.9	Schallabsorber	582	5.9.3	Spezielle Anforderungen an Materialien und Konstruktion	582
5.9.1	Allgemeines	582			
5.9.2	Bau- und schalltechnische Anforderungen	582	6	Literatur	583

XI **Einwirkungen auf Brücken nach den Eurocodes** 585

Balthasar Novák, Peter Lippert

1	Allgemeines über die Eurocodes für die Bestimmung der Einwirkungen auf Brücken	587	2.4.11	Weitere Einwirkungen	604
1.1	Hintergründe der Fortschreibung der Eurocodes	587	2.4.11.1	Allgemeines	604
1.2	Allgemeines zu den Eurocodes	587	2.4.11.2	Fahrbahnbeläge	604
1.3	Eurocodes mit Regelungen für Einwirkungen auf Brücken	587	2.4.11.3	Klappbrücken	604
1.4	Sicherheitskonzept der Eurocodes ..	588	2.4.11.4	Versorgungsleitungen und andere ruhende Lasten	604
1.5	DIN-Handbücher	588	2.4.11.5	Einwirkungen aus Schnee	604
1.5.1	Allgemeines	588	2.4.11.6	Auswechseln von Lagern	604
1.5.2	Bauen im Bestand	589	2.5	Einwirkungen aus Fußgänger- und Radverkehr	604
2	Erläuterungen	589	2.5.1	Anwendungsbereich	604
2.1	Allgemeines	589	2.5.2	Lastmodelle für Vertikallasten	604
2.2	Aufbau des DIN-Handbuches 1, Band 3	589	2.5.2.1	Gleichmäßig verteilte Last	604
2.3	Einteilung der Einwirkungen	590	2.5.2.2	Einzellast	605
2.4	Einwirkungen aus Straßenverkehr ..	591	2.5.2.3	Dienstfahrzeug	605
2.4.1	Anwendungsbereich	591	2.5.3	Horizontallasten	605
2.4.2	Anzusetzende Fahrstreifen	591	2.5.4	Mehrkomponentige Einwirkungen ..	605
2.4.3	Lastmodelle für Vertikallasten	591	2.5.5	Außergewöhnliche Einwirkungen ..	605
2.4.3.1	Allgemeines	591	2.5.5.1	Allgemeines	605
2.4.3.2	Lastmodell 1	592	2.5.5.2	Anprall von Straßenfahrzeugen an Unterbauten	606
2.4.3.3	Lastmodell 4	595	2.5.5.3	Anprall von Straßenfahrzeugen an Überbauten	606
2.4.4	Horizontallasten	595	2.5.5.4	Unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen auf der Brücke	606
2.4.4.1	Lasten aus Bremsen und Anfahren ..	595	2.5.6	Dynamische Modelle	606
2.4.4.2	Zentrifugallasten	595	2.5.6.1	Allgemeines	606
2.4.5	Mehrkomponentige Einwirkungen ..	596	2.5.6.2	Neuere Forschungsergebnisse	606
2.4.6	Lastmodelle für Ermüdungs- berechnungen	598	2.5.6.3	Umsetzung der Forschungsergebnisse in den Eurocode 1, Teil 2	606
2.4.7	Außergewöhnliche Einwirkungen aus Straßenfahrzeugen	598	2.5.7	Einwirkungen auf Geländer	607
2.4.7.1	Allgemeines	598	2.5.8	Lastmodell für Hinterfüllung	607
2.4.7.2	Ergebnisse neuerer Forschungen ..	598	2.5.9	Weitere typische Einwirkungen	607
2.4.7.3	Anpralllasten an Pfeilern und andere stützende Bauteile	599	2.6	Einwirkungen aus Eisenbahn- verkehr	607
2.4.7.4	Anprall an Überbauten	600	2.6.1	Anwendungsbereich	607
2.4.7.5	Fahrzeuge auf Geh- und Radwegen ..	600	2.6.2	Darstellung der Einwirkungen	607
2.4.7.6	Anprall an Schrammborde	601	2.6.3	Lastmodelle für vertikale Einwirkungen	607
2.4.7.7	Anprall an Schutzeinrichtungen	601	2.6.3.1	Allgemeines	607
2.4.7.8	Anprall an tragende Bauteile oberhalb der Fahrbahnebene	602	2.6.3.2	Lastmodell 71	607
2.4.8	Einwirkungen auf Geländer	602	2.6.3.3	Lastmodelle SW/0 und SW/2	608
2.4.9	Lastmodelle auf Hinterfüllungen ..	602	2.6.3.4	Unbelasteter Zug	609
2.4.9.1	Vertikallasten	602	2.6.3.5	HSLM	609
2.4.9.2	Horizontallasten	603	2.6.3.6	Dienstgehwege	609
2.4.10	Einwirkungen auf Kammerwände ..	603	2.6.3.7	Öffentliche Gehwege	609

2.6.4	Lastverteilung der Achs- und Radlasten	609	2.8.3.4	Schwankung des konstanten Temperaturanteils	622
2.6.4.1	Allgemeines	609	2.8.3.5	Linearer Temperaturanteil	622
2.6.4.2	Lastverteilung der Radlast durch die Schiene in Längsrichtung	610	2.8.3.6	Nichtlinearer Temperaturanteil	622
2.6.4.3	Lastverteilung durch Schwellen und Schotter in Längsrichtung	610	2.8.3.7	Temperaturunterschiede zwischen verschiedenen Bauteilen	623
2.6.4.4	Lastverteilung durch Schwellen und Schotter in Querrichtung	610	2.8.3.8	Brückenpfeiler	623
2.6.4.5	Vertikale Ersatzlasten für Erdbauwerke und Erddrücke	610	2.9	Bewegungen von Lagern und Fahrbahnübergängen und ergänzende Regelungen für die Bemessung von Lagern	623
2.6.5	Dynamische Einwirkungen	610	2.9.1	Allgemeines	623
2.6.5.1	Allgemeines	610	2.9.2	Bemessungswerte der Bewegungen und Kräfte	623
2.6.5.2	Dynamischer Beiwert Φ (Φ_2, Φ_3)	611	2.9.3	Klimatische Temperatureinwirkungen	624
2.6.5.3	Gefahr von Resonanz oder übermäßigen Schwingungen der Tragwerke	611	2.9.4	Reaktionskräfte an Festpunkten	624
2.6.6	Lastmodelle für horizontale Einwirkungen	612	2.9.5	Ergänzende Regelungen zur Lagerbemessung	625
2.6.6.1	Fliehkräfte	612	2.10	Kombination der Einwirkungen	625
2.6.6.2	Seitenstoß (Schlingerkraft)	612	2.10.1	Allgemeines	625
2.6.6.3	Einwirkungen aus Bremsen und Anfahren	612	2.10.2	Grenzzustände der Tragfähigkeit	625
2.6.6.4	Längskraftabtragung	613	2.10.3	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	626
2.6.7	Druck-Sog-Einwirkungen	614	3	Einwirkungen auf Brücken nach DIN-Handbuch (Eurocode) in Beispielen	631
2.6.8	Zusätzliche Einwirkungen	615	3.1	Beispiel Straßenbrücke	631
2.6.9	Außergewöhnliche Einwirkungen	616	3.1.1	Allgemeines	631
2.6.9.1	Entgleisung auf Brücken	616	3.1.2	Beschreibung und Darstellung des statischen Systems	631
2.6.9.2	Entgleisungen unter Überbauungen von Bahnanlagen	617	3.1.3	Entwurfsparameter	632
2.6.9.3	Außergewöhnliche Einwirkung aus Fahrleitungsbruch	617	3.1.4	Charakteristische Werte der einwirkenden Last- und Weggrößen	633
2.6.9.4	Außergewöhnliche Einwirkungen aus Straßenverkehr	617	3.1.4.1	Ständige Einwirkungen	633
2.6.10	Mehrkomponentige Einwirkungen	617	3.1.4.2	Veränderliche Einwirkungen	634
2.6.11	Lastmodelle für Ermüdungsberechnungen	617	3.1.5	Außergewöhnliche Einwirkungen	644
2.6.12	Nachweise in den Grenzzuständen	618	3.1.5.1	Anpralllasten auf Unterbauten	644
2.6.12.1	Allgemeines	618	3.1.5.2	Außergewöhnliche Einwirkungen auf der Brücke	644
2.6.12.2	Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte	618	3.1.6	Kombination der Einwirkungen	645
2.6.12.3	Kriterien der Betriebssicherheit	618	3.1.6.1	Lastgruppen aus Verkehr	645
2.7	Einwirkungen aus Wind	619	3.1.6.2	Kombinationen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	646
2.7.1	Allgemeines	619	3.1.6.3	Kombinationen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	648
2.7.1.1	Windeinwirkungen auf nicht schwingungsanfällige Brückenüberbauten	619	3.2	Beispiel Eisenbahnbrücke	649
2.7.1.2	Windeinwirkungen auf schwingungsanfällige Brückenüberbauten	619	3.2.1	Allgemeines	649
2.7.1.3	Windeinwirkungen auf Brückenunterbauten	619	3.2.2	Beschreibung und Darstellung des statischen Systems	649
2.8	Temperatureinwirkungen	620	3.2.3	Entwurfsparameter	650
2.8.1	Allgemeines	620	3.2.4	Charakteristische Werte der einwirkenden Last- und Weggrößen	651
2.8.2	Neue Forschungsergebnisse	620	3.2.4.1	Ständige Einwirkungen	651
2.8.3	Beschreibung der Temperatureinwirkungen	620	3.2.4.2	Veränderliche Einwirkungen	652
2.8.3.1	Allgemeines	620	3.2.4.3	Außergewöhnliche Einwirkungen	665
2.8.3.2	Überbaugruppen	620	3.2.5	Kombination der Einwirkungen	666
2.8.3.3	Konstanter Temperaturanteil	621	3.2.5.1	Verkehrslastgruppen	666

3.2.5.2	Zusammenstellung der wesentlichen Einwirkungen	666	3.3	Charakteristische Werte der einwirkenden Last- und Weggrößen .	670
3.2.5.3	Kombinationen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit . .	667	3.3.4.1	Ständige Einwirkungen	670
3.2.5.4	Kombinationen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	667	3.3.4.2	Veränderliche Einwirkungen	671
3.3	Beispiel Geh- und Radwegbrücke . .	668	3.3.5	Kombination der Einwirkungen	675
3.3.1	Allgemeines	668	3.3.5.1	Kombinationen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit . .	675
3.3.2	Beschreibung und Darstellung des statischen Systems	668	3.3.5.2	Kombinationen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	676
3.3.3	Entwurfsparameter	670	4	Literatur	677

XII Entwurf, Bemessung und Konstruktion von Betonbrücken 679

Karlheinz Haveresch, Reinhard Maurer

1	Anforderungen an Brücken	681	3.2.6	Zusätzliche Anforderungen an Gründungen	722
1.1	Eurocodes und DIN-Fachberichte . .	681	3.2.7	Anforderungen an Befestigungsmittel	723
1.2	Eurocode 2 und DIN-Handbuch Betonbrücken	682	3.2.8	Bautechnische Unterlagen	723
1.3	Ergänzendes Regelwerk	685	3.3	Baustoffe	723
2	Brückenentwurf	689	3.3.1	Beton	724
2.1	Vorentwurf	689	3.3.2	Betonstahl	727
2.2	Entwurf	691	3.3.3	Spannstahl	727
2.3	Tragwerksarten	696	3.3.4	Komponenten von Spannsystemen . .	727
2.3.1	Allgemeines	696	3.4	Dauerhaftigkeit und Betondeckung .	730
2.3.2	Balkenbrücken	696	3.4.1	Allgemeines	730
2.3.3	Bogenbrücken	698	3.4.2	Umgebungsbedingungen, Anforderungen an Beton und Betondeckung	730
2.3.4	Sprengwerk	700	3.5	Ermittlung der Schnittgrößen	731
2.4	Brückenüberbauten	702	3.5.1	Allgemeines	731
2.4.1	Allgemeines	702	3.5.2	Schnittgrößen infolge Lasten	732
2.4.2	Massive Platte	702	3.5.3	Schnittgrößen infolge Zwang	732
2.4.3	Plattenbalken	704	3.5.4	Schnittgrößen infolge Vorspannung .	736
2.4.4	Kastenquerschnitte	706	3.5.5	Nachweise für Bauteile unter Normal- kraft nach Theorie II. Ordnung	739
2.5	Unterbauten	709	3.5.5.1	Imperfektionen	739
2.5.1	Allgemeines	709	3.5.5.2	Berechnung der Effekte aus Theorie II. Ordnung	739
2.5.2	Widerlager	709	3.5.5.3	Behandlung der Rückstell- bzw. Reibungskräfte der Lager	741
2.5.3	Brückenpfeiler	713	3.5.5.4	Berücksichtigung des Kriechens beim Nachweis nach Theorie II. Ordnung	742
2.6	Bauverfahren	714	3.5.5.5	Zum Ansatz des E-Moduls	743
2.6.1	Allgemeines	714	3.5.6	Modellbildung und Querverteilung .	744
2.6.2	Überbauerstellung auf Traggerüst . .	714	3.6	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT)	747
2.6.3	Taktschiebeverfahren	715	3.6.1	Tragwiderstand bei Biegung mit Normalkraft	747
2.6.4	Freivorbauverfahren	716	3.6.2	Mindestbewehrung für ausreichendes Ankündigungsverhalten	748
2.6.5	Fertigteilbauweise	718	3.6.3	Tragwiderstand bei Querkraft	750
3	Bemessung und Konstruktion von Betonbrücken nach Eurocode 2	719	3.6.3.1	Bauteile ohne Querkraftbewehrung .	750
3.1	Allgemeines	719	3.6.3.2	Bauteile mit Querkraftbewehrung . .	754
3.2	Grundlagen für die Tragwerksplanung	719	3.6.3.3	Mindestbewehrung für Querkraft . . .	756
3.2.1	Anforderungen	719			
3.2.2	Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	719			
3.2.3	Basisvariablen	720			
3.2.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	721			
3.2.5	Versuchsgestützte Bemessung	722			

3.6.4	Tragwiderstand bei Torsion	757	3.8.3	Konstruktionsregeln für Bauteile	785
3.6.5	Stabwerkmodelle	760	3.8.3.1	Oberflächenbewehrung bei vorgespannten Bauteilen	786
3.6.6	Nachweis gegen Ermüdung	761	3.8.3.2	Stahlbetonwände	786
3.6.6.1	Nachweis gegen Ermüdung nach DIN EN 1992-2	761	3.8.3.3	Sonderfälle	787
3.6.6.2	Wöhlerlinie Betonstahl	761	3.9	Besonderheiten bei Fertigteilbrücken	788
3.6.6.3	Wöhlerlinien Spannstahl	762	3.10	Bemessung für Bauzustände	791
3.6.6.4	Spannungsschwingbreiten	764	3.11	Ergänzung für Betonbrücken mit externen Spanngliedern	792
3.6.6.5	Ermittlung der Spannungen	764	3.11.1	Allgemeines	792
3.6.6.6	Vereinfachter Nachweis	765	3.11.2	Grundsätze für die bauliche Durchbildung	793
3.6.6.7	Betriebsfestigkeitsnachweis	766	3.11.3	Überwachung	795
3.6.6.8	Nachweis der schädigungs- äquivalenten Schwingbreite $\Delta\sigma_{\text{equ}}$	767	3.12	Lager und Fahrbahnübergänge	795
3.6.7	Nachweis gegen Anprall	768	3.12.1	Lagerung und Lager	795
3.7	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	769	3.12.2	Fahrbahnübergänge	800
3.7.1	Allgemeines und Begrenzung der Spannungen	769	4	Innovationen im Betonbrückenbau	800
3.7.2	Anforderungen für die Rissbreitenbegrenzung	769	4.1	Hochleistungsbeton	800
3.7.3	Begrenzung der Rissbreiten	777	4.1.1	Technologie	800
3.7.3.1	Allgemeines	777	4.1.2	Internationale Entwicklungen	801
3.7.3.2	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite	778	4.1.3	Entwicklungen in Deutschland	802
3.7.3.3	Mindestbewehrung im Bereich von Arbeitsfugen	779	4.2	Integrale und semi-integrale Bauwerke	804
3.7.3.4	Begrenzung der Rissbreiten bei abgeschlossenem Rissbild	780	4.3	Ergänzungen für Betonbrücken mit internen Spanngliedern ohne Verbund in Längsrichtung	809
3.7.3.5	Dicke Bauteile	780	4.3.1	Allgemeines	809
3.7.4	Begrenzung der Schwingungen und dynamische Einflüsse	784	4.3.2	Ergänzende Regeln für die Bemessung	810
3.7.5	Begrenzung der Verformungen	784	4.3.3	Ergänzende Regeln für die bauliche Durchbildung von Brücken mit Kastenquerschnitten	810
3.8	Allgemeine Bewehrungs- und Konstruktionsregeln	784	4.3.4	Ergänzende Regeln für Brücken mit Platten- oder Plattenbalkenquerschnitten	810
3.8.1	Betonstahl	784	5	Nachrechnung und Verstärkung von Brücken	811
3.8.2	Spannstahl und Spannglieder	785	6	Literatur	816
3.8.2.1	Vorspannung mit sofortigem Verbund	785			
3.8.2.2	Vorspannung mit nachträglichem Verbund	785			
3.8.2.3	Verankerung und Kopplung von Spanngliedern	785			
3.8.2.4	Umlenkstellen	785			

XIII Die Nachrechnung von Betonbrücken – Fortschreibung der Nachrechnungsrichtlinie

Gero Marzahn, Josef Hegger, Reinhard Maurer, Konrad Zilch, Daniel Dunkelberg, Agnieszka Kolodziejczyk, Frederik Teworte 819

1	Ausgangslage	821	4	Erkenntnisse aus der Nachrechnung von Betonbrücken	824
2	Bauwerksprüfung und Nachrechnung – zur Zustandsbewertung von Brücken	822	4.1	Allgemeines	824
3	Überblick zur Nachrechnung von Bestandsbrücken	822	4.2	Erfahrungen und Fortschreibung auf der Einwirkungsseite	824
			4.2.1	Ermittlung der Schnittgrößen	824
			4.2.2	Lastmodell für Anprall auf Brücken	825

4.2.3	Verkehrslastmodell für Verkehr im 4+0-System (4+0-Verkehr)	826	6.4	Nachweis der Querkrafttragfähigkeit unter Ermüdungslasten	852
4.3	Erfahrungen und Fortschreibung auf der Widerstandsseite	827	6.4.1	Allgemeines	852
4.3.1	Überblick zu Nachweisdefiziten	827	6.4.2	Grundlagen	853
4.3.2	Defizite der Querkrafttragfähigkeit	827	6.4.2.1	Technische Regelwerke	853
4.3.3	Defizite der Biegetragfähigkeit	828	6.4.2.2	Aktuelle Untersuchungen	855
4.3.4	Defizite der Torsionslängsbewehrung	828	6.4.3	Empfehlung für die Nachrechnung	858
4.3.5	Ermüdungsdefizite in den Koppelfugen	828	6.4.3.1	Allgemeiner Aufbau	858
4.3.6	Defizite im Bruchankündigungsverhalten von Spannbetonbrücken	828	6.4.3.2	Ansatz unter Vernachlässigung der Querkraftbewehrung	858
4.3.7	Defizite der Dekompression	829	6.4.3.3	Ansatz unter Berücksichtigung der Querkraftbewehrung	861
4.3.8	Defizite der konstruktiven Durchbildung	829	6.5	Schub zwischen Balkensteg und Gurten	863
4.3.9	Kleine Bauwerke	829	6.5.1	Allgemeines	863
4.4	Nicht zukunftsfähige Brückentypen	829	6.5.2	Entwicklung des Nachweisformats in früheren Normengenerationen	863
5	Erkenntnisse und Erfahrungen aus bisherigen Nachrechnungen der Stufe 4	830	6.5.3	Empfehlungen für die Nachrechnung	865
5.1	Bisher angewendete Verfahren	830	6.6	Abminderung der Torsionssteifigkeit	866
5.1.1	Ansatz nach <i>Hegger/Görtz</i>	830	6.6.1	Allgemeines	866
5.1.2	Druckbogenmodell	832	6.6.2	Erkenntnisse aus Versuchen unter kombinierter Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Torsion	867
5.1.3	Nachweis auf Grundlage der Modified Compression Field Theory	833	6.6.3	Abminderung der Torsionssteifigkeit in früheren Regelwerken	868
5.1.3.1	Hintergrund	833	6.6.4	Ansätze zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit in der Literatur	868
5.1.3.2	Querkraftbemessung nach kanadischer Norm CSA A23.3-04	834	6.6.4.1	Ansätze auf Grundlage eines räumlichen Fachwerkmodells	868
5.2	Anwendungsbeispiel Brücke Mersmannsstiege	836	6.6.4.2	Ansätze mit Berücksichtigung der Steifigkeitsanteile von Druck- und Zugzone auf Querschnittsebene	868
5.2.1	Allgemeines	836	6.6.5	Auswirkungen aus einer Abminderung der Torsionssteifigkeit	870
5.2.2	Bauwerksbeschreibung	836	6.6.6	Empfehlung für die Nachrechnung	871
5.2.3	Querkraftnachweis nach Stufe 1 und 2 der Nachrechnungsrichtlinie	837	6.7	Anrechenbarkeit der Spannglieder auf die Torsionslängsbewehrung	871
5.2.4	Ansatz nach <i>Hegger/Görtz</i>	838	6.7.1	Grundlagen	871
5.2.5	Druckbogenmodell	838	6.7.2	Empfehlungen für die Nachrechnung	872
5.2.6	Nachweis auf Grundlage der Modified Compression Field Theory	841	6.8	Berücksichtigung von Bügelbewehrung bei nicht eingehaltenen Konstruktionsregeln	873
5.2.7	Nichtlineare FEM	842	6.8.1	Grundlagen	873
6	Erweiterte Ansätze zum Nachweis der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit	844	6.8.2	Auswertung repräsentativer Versuche	875
6.1	Allgemeines	844	6.8.3	Empfehlungen für die Nachrechnung	876
6.2	Querkraftnachweis auf Grundlage des Hauptzugspannungskriteriums	844	7	Möglichkeiten zur Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit mit wissenschaftlichen Methoden gemäß Nachweisstufe 4	876
6.2.1	Allgemeines	844	7.1	Einleitung	876
6.2.2	Grundlagen	844	7.1.1	Zielsetzung	876
6.2.2.1	Technische Regelwerke	844	7.1.2	Auswahl geeigneter Methoden	876
6.2.2.2	Aktuelle Untersuchungen	845	7.2	Abzubildendes Werkstoffverhalten	878
6.2.3	Empfehlung für die Nachrechnung	847	7.2.1	Allgemeines	878
6.3	Querkraftnachweis auf Grundlage des modifizierten Fachwerkmodells mit Rissreibung	850			
6.3.1	Grundlagen	850			
6.3.2	Empfehlung für die Nachrechnung	851			

7.2.2	Werkstoffverhalten des Betons	878	7.4.2	Stahlbetonbalken mit Bügelbewehrung (BM 100)	885
7.2.2.1	Einaxiale Beanspruchungen	878	7.4.3	Spannbetonbalken mit Bügelbewehrung	887
7.2.2.2	Zweiaxiale Beanspruchungen	879	7.4.4	Bauteile ohne Querkraftbewehrung	890
7.2.2.3	Dreiaxiale Beanspruchung	880	7.5	Berücksichtigung der Zuverlässigkeitsanforderungen bei der Beurteilung der Tragfähigkeit mit wissenschaftlichen Methoden	892
7.2.3	Werkstoffverhalten der Bewehrung	881	7.5.1	Problemstellung	892
7.2.4	Verhalten des Verbundwerkstoffs		7.5.2	Grundlagen	892
7.3	Stahlbeton	881	7.5.3	Untersuchungen für ein angepasstes Sicherheitskonzept	896
	Tragfähigkeitsermittlung auf Grundlage nichtlinearer FEM-		7.6	Abschließende Wertung und Perspektiven	898
	Berechnungen	882	8	Schlussfolgerungen und Ausblick	899
7.3.1	Materialmodelle	882	9	Literatur	900
7.3.2	Modellierung der Verbundwerkstoffe				
	Stahlbeton und Spannbeton	883			
7.3.2.1	Geschichtete Flächenelemente	884			
7.3.2.2	Embedded Elements	884			
7.3.2.3	Modellierung der Vorspannung	884			
7.4	Nachrechnung von Versuchen aus der Literatur	884			
7.4.1	Allgemeines	884			

XIV Normen und Regelwerke 905

Frank Fingerloos, Daia Zwicky, Thomas Vogel, Walter Potucek, Markus Vill

1	Einleitung	907	2.4.4.1	Aktualisierungstiefe	916
2	Normenreihe SIA 269		2.4.4.2	Betonstahl	917
	„Erhaltung von Tragwerken“	907	2.4.4.3	Spannstahl	918
2.1	Einleitung	907	2.4.5	Tragwerksanalyse und Nachweise	918
2.2	Zielsetzungen der Normenserie		2.4.5.1	Plastisches Verformungsvermögen	918
	SIA 269	908	2.4.5.2	Überprüfungswerte	919
2.3	Aufbau und Inhalt der Normenserie		2.4.5.3	Nachweis der Tragsicherheit	920
	SIA 269	908	2.4.5.4	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	922
2.3.1	Aufbau der Normenserie SIA 269	908	2.4.6	Statische und konstruktive Besonderheiten	922
2.3.2	Norm SIA 269 „Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken“	909	2.4.6.1	Kraftfluss	922
	Geltungsbereich und Begriffe	909	2.4.6.2	Überprüfungswert der Verbundspannung	922
2.3.2.1	Grundsätze und Anforderungen	909	2.4.6.3	Bewehrungsverankerung	925
2.3.2.2	Aktualisierung	911	2.4.6.4	Bewehrungsstöße	926
2.3.2.3	Tragwerksanalyse und Nachweise	911	2.4.6.5	Vorgespannte Tragwerke	926
2.3.2.4	Überprüfung	912	2.4.6.6	Balken und Plattenbalken	926
2.3.2.5	Erhaltungsmaßnahmen	913	2.4.6.7	Weitere Bauteile	927
2.3.2.6	Norm SIA 269/1 „Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen“	913	2.4.6.8	Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke	927
2.3.3	Übrige bauweisenspezifische Erhaltungsnormen SIA 269/3-6	914	2.4.7	Zustandserfassung	927
2.3.4	SIA 269/7 „Erhaltung von Tragwerken – Geotechnik“	914	2.4.7.1	Grundsätze	927
2.4	Norm SIA 269/2 „Erhaltung von Tragwerken – Betonbau“	914	2.4.7.2	Untersuchungsmethoden	927
	Abgrenzung zu neuen Betonbauten	914	2.4.8	Zustandsbeurteilung	928
2.4.1	Fachausdrücke	915	2.4.8.1	Allgemeines	928
2.4.2	Grundsätze	915	2.4.8.2	Schädigungen infolge AAR	929
2.4.3	Anforderungen an die Kenntnisse der Planer	915	2.4.8.3	Schädigungen infolge Korrosion der Bewehrung	930
2.4.3.1	Überprüfung	915	2.4.8.4	Prognose der Zustandsentwicklung	930
2.4.3.2	Instandsetzungs- und Erhaltungs- maßnahmen	916	2.4.8.5	Überprüfungsbericht	931
2.4.4	Aktualisierung von Baustoff- kennwerten	916	2.4.9	Erhaltungsmaßnahmen	931
			2.4.9.1	Grundprinzipien und Verfahren	931
			2.4.9.2	Verstärkungen	932
			2.4.9.3	Instandsetzungsverfahren	933
			2.4.9.4	Qualitätssicherung	936
			2.5	Zusammenfassung	936

3	Betonbrücken in Österreich – Planung und Konstruktion nach Eurocode	937	3.4.1	Vertikale Verkehrslasten	959
3.1	Einleitung	937	3.4.1.1	Lastmodell 1	960
3.2	Grundlagen der Berechnung	938	3.4.1.2	Lastmodell 2	960
3.2.1	Allgemeines	938	3.4.1.3	Lastmodell 3	961
3.2.2	Probabilistisches Sicherheitskonzept, Zuverlässigkeit von Tragwerken	938	3.4.1.4	Lastmodell 4 (Menschenansammlung)	962
3.2.3	Semiprobabilistisches Sicherheitskonzept	939	3.4.1.5	Lasten auf Fußwegen und Radwegen	962
3.2.4	Bemessungssituationen	940	3.4.2	Horizontale Verkehrslasten	963
3.2.5	Einwirkungskombinationen	940	3.4.2.1	Lasten aus Bremsen und Anfahren	963
3.2.5.1	Kombinationsbeiwerte	940	3.4.2.2	Flihkkräfte und andere Querlasten	963
3.2.5.2	Grundkombination	941	3.4.2.3	Lasten auf Geländer	963
3.2.5.3	Außergewöhnliche Einwirkungskombinationen und Kombinationen bei Erdbeben	941	3.4.3	Lastmodelle für Ermüdungsberechnungen	963
3.2.6	Grenzzustände der Tragfähigkeit	942	3.4.4	Gebrauchstauglichkeit, Grenzwerte von Verformungen	964
3.2.7	Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen	942	3.5	Verkehrslasten auf Eisenbahnbrücken	965
3.2.7.1	Nachweise der Lagesicherheit (EQU)	942	3.5.1	Vertikale Verkehrslasten	965
3.2.7.2	Nachweise (STR) gegen Versagen des Tragwerks oder eines seiner Teile	943	3.5.1.1	Allgemeines	965
3.2.7.3	Geotechnische Nachweise (GEO)	944	3.5.1.2	Lastmodelle	965
3.2.7.4	Bemessung von Lagern und Fahrbahnübergängen	944	3.5.1.3	Dynamische Beiwerte	965
3.2.8	Teilsicherheitsbeiwerte des Materials	945	3.5.1.4	Längs- und Querverteilung der Lasten	967
3.2.9	Qualitätsmanagement	945	3.5.2	Horizontale Verkehrslasten	967
3.3	Allgemeine Einwirkungen auf Brücken	947	3.5.3	Betriebslastenzüge	967
3.3.1	Ständige Einwirkungen	947	3.5.4	Schwingungen, dynamische Berechnung bei hohen Geschwindigkeiten	968
3.3.2	Klimatische Einwirkungen	947	3.5.5	Sonstige Verkehrslasten	968
3.3.2.1	Windlasten	947	3.5.5.1	Gehsteige	968
3.3.2.2	Schneelasten	949	3.5.5.2	Bahnsteige	968
3.3.2.3	Temperaturänderungen	949	3.5.5.3	Geländer	969
3.3.3	Außergewöhnliche Einwirkungen	952	3.5.6	Lastkombinationen, Lastgruppen	969
3.3.3.1	Außergewöhnliche Einwirkungen aus dem Anprall von Straßenfahrzeugen	952	3.5.7	Ermüdung	970
3.3.3.2	Außergewöhnliche Einwirkungen aus dem Anprall von Eisenbahnfahrzeugen	952	3.5.8	Gebrauchstauglichkeit, Grenzwerte von Verformungen	972
3.3.3.3	Anprall von Eisenbahnfahrzeugen bei Unterwerfungen und in Unterflurtrassen (offene Bauweise)	955	3.5.8.1	Allgemeines	972
3.3.3.4	Anprall von Binnenschiffen	955	3.5.8.2	Betriebssicherheit	972
3.3.4	Baulicher Brandschutz	955	3.5.8.3	Reisendenkomfort	973
3.3.5	Einwirkungen aus Bauzuständen	956	3.6	Verkehrslasten auf Fußgängerbrücken	973
3.3.6	Lastmodell für Hinterfüllungen und Widerlager	956	3.6.1	Allgemeines	973
3.3.7	Erdbeben	956	3.6.2	Vertikallasten	973
3.3.7.1	Bodenbeschleunigung	956	3.6.3	Horizontallasten	973
3.3.7.2	Beanspruchungen infolge Erdbeben	956	3.6.4	Außergewöhnliche Einwirkungen, Erdbeben, Lasten auf Geländer	974
3.3.7.3	Berechnungsverfahren	959	3.6.5	Dynamisches Modell für Fußgängerbrücken	974
3.4	Verkehrslasten auf Straßenbrücken	959	3.7	Planung und Ausführung von Betonbrücken	974
			3.7.1	Allgemeines	974
			3.7.2	Baustoffe	975
			3.7.2.1	Beton	975
			3.7.2.2	Betonstahl	975
			3.7.3	Dauerhaftigkeit und Betondeckung	975
			3.7.4	Berechnung der Schnittgrößen	976
			3.7.4.1	Allgemeines	976
			3.7.4.2	Fahrbahnplatten	976
			3.7.4.3	Haupttragwerke	976

3.7.5	Tragwerke aus Spannbeton	977	2 Grundlagen für die Tragwerksplanung	994	
3.7.5.1	Qualifikation des Personals für Spannarbeiten	977	2.1 Anforderungen	994	
3.7.5.2	Durchführung der Spannarbeiten	978	2.1.1 Grundlegende Anforderungen	994	
3.7.6	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	979	2.3 Basisvariablen	994	
3.7.6.1	Allgemeines	979	2.3.1 Einwirkungen und Umgebungs- einflüsse	994	
3.7.6.2	Biegung	979	2.3.1.1 Allgemeines	994	
3.7.6.3	Querkraft, Torsion	979	2.3.1.2 Temperatúrauswirkungen	994	
3.7.7	Ermüdungsnachweise	979	2.3.1.3 Setzungs-/Bewegungs- unterschiede	994	
3.7.7.1	Allgemeines	979	2.3.1.4 Vorspannung	995	
3.7.7.2	Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Betonstahl	980	2.3.2 Eigenschaft von Baustoffen, Bauprodukten und Bauteilen	995	
3.7.7.3	Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Beton bei Druckbeanspruchung	980	2.3.2.2 Kriechen und Schwinden	995	
3.7.7.4	Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Beton bei Querkraftbeanspruchung	980	2.3.3 Verformungseigenschaften des Betons	995	
3.7.8	Nachweise der Gebrauchs- tauglichkeit	981	2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	995	
3.7.8.1	Begrenzung der Spannungen	981	2.4.2 Bemessungswerte	995	
3.7.8.2	Begrenzung der Rissbreiten	983	2.4.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Schwinden	995	
3.7.9	Allgemeine Bewehrungsregeln	983	2.4.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Vorspannung	995	
3.7.9.1	Betonstahl	983	2.4.2.3 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen beim Nachweis gegen Ermüdung	996	
3.7.9.2	Spannglieder	983	2.4.2.4 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe	996	
3.7.10	Konstruktionsregeln	985	2.4.3 Kombinationsregeln für Einwirkungen	996	
3.7.10.1	Allgemeines	985	2.7 Anforderungen an Befestigungsmittel	996	
3.7.10.2	Mindestabmessungen	985	3 Baustoffe	997	
3.7.10.3	Konstruktive Durchbildung von Bauteilen	985	3.1 Beton	997	
3.7.10.4	Arbeitsfugen	985	3.1.1 Allgemeines	997	
3.7.11	Ergänzende Regeln zu speziellen Bauweisen	986	3.1.2 Festigkeiten	997	
3.7.11.1	Allgemeines	986	3.1.3 Elastische Verformungs- eigenschaften	999	
3.7.11.2	Ergänzende Regeln zu Taktschiebebrücken	986	3.1.4 Kriechen und Schwinden	999	
3.7.11.3	Ergänzende Regeln zu Freivorbaubrücken	987	3.1.5 Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen	1002	
3.7.11.4	Ergänzende Regeln zu Bogenbrücken	987	3.1.6 Bemessungswert der Betondruck- und Zugfestigkeit	1002	
3.8	Schlussbemerkung	988	3.1.7 Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung	1002	
4	Der Eurocode 2 für Betonbrücken in Deutschland	989	3.1.8 Biegezugfestigkeit	1003	
Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonttragwerken – Konsolidierte Fassung	990	Inhalt	990	3.1.9 Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung	1003
1 Allgemeines	990	1.1 Anwendungsbereich	990	3.2 Betonstahl	1003
1.1	Anwendungsbereich	990	1.1.2 Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 2	990	
1.1.2	Anwendungsbereich des Eurocode 2 Teil 2	990	1.2 Normative Verweisungen	990	
1.2	Normative Verweisungen	990	1.4 Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln	991	
1.4	Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln	991	1.5 Begriffe	991	
1.5	Begriffe	991	1.5.2 Besondere Begriffe und Definitionen (<i>alphabetisch</i>)	991	
1.5.2	Besondere Begriffe und Definitionen (<i>alphabetisch</i>)	991	1.106 Formelzeichen (<i>Auswahl</i>)	992	
1.106	Formelzeichen (<i>Auswahl</i>)	992			

3.3	Spannstahl	1006	5.8.3	Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung	1022
3.3.1	Allgemeines	1006	5.8.3.1	Grenzwert der Schlankheit für Einzeldruckglieder	1022
3.3.2	Eigenschaften	1007	5.8.3.2	Schlankheit und Knicklänge von Einzeldruckgliedern	1023
3.3.3	Festigkeiten	1007	5.8.4	Kriechen	1023
3.3.4	Duktilitätseigenschaften	1007	5.8.5	Berechnungsverfahren	1023
3.3.5	Ermüdung	1007	5.8.6	Allgemeines Verfahren	1023
3.3.6	Spannungs-Dehnungs-Linie für die Querschnittsbemessung	1007	5.8.8	Verfahren mit Nennkrümmung	1024
3.3.7	Spannstähle in Hüllrohren	1008	5.8.8.1	Allgemeines	1024
3.4	Komponenten von Spannsystemen	1008	5.8.8.2	Biegemomente	1024
3.4.1	Verankerungen und Spanngliedkopplungen	1008	5.8.8.3	Krümmung	1025
3.4.2	Externe Spannglieder ohne Verbund	1008	5.9	Seitliches Ausweichen schlanker Träger	1025
3.4.2.1	Allgemeines	1008	5.10	Spann betontragwerke	1025
3.4.2.2	Verankerung	1009	5.10.1	Allgemeines	1025
4	Dauerhaftigkeit und Betondeckung	1009	5.10.2	Vorspannkraft während des Spannvorgangs	1026
4.1	Allgemeines	1009	5.10.2.1	Maximale Vorspannkraft	1026
4.2	Umgebungsbedingungen	1009	5.10.2.2	Begrenzung der Betondruckspannungen	1026
4.3	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit	1012	5.10.2.3	Messung der Spannkraft und des zugehörigen Dehnwegs	1027
4.4	Nachweisverfahren	1012	5.10.3	Vorspannkraft nach dem Spannvorgang	1027
4.4.1	Betondeckung	1012	5.10.4	Sofortige Spannkraftverluste bei sofortigem Verbund	1027
4.4.1.1	Allgemeines	1012	5.10.5	Sofortige Spannkraftverluste bei nachträglichem Verbund	1027
4.4.1.2	Mindestbetondeckung c_{min}	1012	5.10.5.1	Elastische Verformung des Betons	1027
4.4.1.3	Vorhaltemaß	1014	5.10.5.2	Reibungsverluste	1028
5	Ermittlung der Schnittgrößen	1015	5.10.5.3	Verankerungsschlupf	1028
5.1	Allgemeines	1015	5.10.6	Zeitabhängige Spannkraftverluste bei sofortigem und nachträglichem Verbund	1028
5.1.1	Grundlagen	1015	5.10.7	Berücksichtigung der Vorspannung in der Berechnung	1029
5.1.3	Lastfälle und Kombinationen von Einwirkungen	1015	5.10.8	Grenzzustand der Tragfähigkeit	1029
5.1.4	Auswirkungen von Bauteilverformungen (Theorie II. Ordnung)	1016	5.10.9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung	1030
5.2	Imperfektionen	1016	6	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit (GZT)	1030
5.3	Idealisierungen und Vereinfachungen	1016	6.1	Biegung mit oder ohne Normalkraft und Normalkraft allein	1030
5.3.1	Tragwerksmodelle für statische Berechnungen	1016	6.2	Querkraft	1032
5.3.2	Geometrische Angaben	1017	6.2.1	Nachweisverfahren	1032
5.3.2.1	Mitwirkende Plattenbreite (alle Grenzzustände)	1017	6.2.2	Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung	1033
5.3.2.2	Effektive Stützweite von Balken und Platten	1018	6.2.3	Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung	1035
5.4	Linear-elastische Berechnung	1018	6.2.4	Schubkräfte zwischen Balkensteg und Gurten	1037
5.5	Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung	1019			
5.6	Verfahren nach der Plastizitätstheorie	1019			
5.6.1	Allgemeines	1019			
5.6.4	Stabwerkmodelle	1019			
5.7	Nichtlineare Verfahren	1020			
5.8	Berechnungen der Effekte aus Theorie II. Ordnung mit Normalkraft	1021			
5.8.1	Begriffe	1021			
5.8.2	Allgemeines	1021			

6.2.5	Schubkraftübertragung in Fugen	1038	8.3	Biegen von Betonstählen	1072
6.2.106	Querkraft und Querbiegung	1040	8.4	Verankerung der Längsbewehrung	1073
6.3	Torsion	1040	8.4.1	Allgemeines	1073
6.3.1	Allgemeines	1040	8.4.2	Bemessungswert der Verbund- festigkeit	1074
6.3.2	Nachweisverfahren	1041	8.4.3	Grundwert der Verankerungslänge	1074
6.3.3	Wölbkrafttorsion	1043	8.4.4	Bemessungswert der Verankerungs- länge	1075
6.4	Durchstanzen	1043	8.5	Verankerung von Bügeln und Querkraftbewehrung	1077
6.4.1	Allgemeines	1043	8.7	Stöße und mechanische Verbindungen	1077
6.4.2	Lasteinleitung und Nachweisschnitte	1044	8.7.1	Allgemeines	1077
6.4.3	Nachweisverfahren	1046	8.7.2	Stöße	1077
6.4.4	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente ohne Durchstanzbewehrung	1048	8.7.3	Übergreifungslänge	1079
6.4.5	Durchstanzwiderstand für Platten oder Fundamente mit Durchstanzbewehrung	1049	8.7.4	Querbewehrung im Bereich der Übergreifungsstöße	1079
6.5	Stabwerkmodelle	1051	8.7.4.1	Querbewehrung für Zugstäbe	1079
6.5.1	Allgemeines	1051	8.7.4.2	Querbewehrung für Druckstäbe	1080
6.5.2	Bemessung der Druckstreben	1051	8.8	Zusätzliche Regeln bei großen Stabdurchmessern	1080
6.5.3	Bemessung der Zugstreben	1051	8.9	Stabbündel	1080
6.5.4	Bemessung der Knoten	1052	8.9.1	Allgemeines	1080
6.6	Verankerung der Längs- bewehrung und Stöße	1053	8.9.2	Verankerung von Stabbündeln	1081
6.7	Teilflächenbelastung	1054	8.9.3	Gestoßene Stabbündel	1081
6.8	Nachweis gegen Ermüdung	1054	8.10	Spannglieder	1081
6.8.1	Allgemeines	1054	8.10.1	Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren	1081
6.8.2	Innere Kräfte und Spannungen beim Nachweis gegen Ermüdung	1055	8.10.1.1	Allgemeines	1081
6.8.3	Einwirkungskombinationen	1056	8.10.1.2	Spannglieder im sofortigen Verbund	1082
6.8.4	Nachweisverfahren für Betonstahl und Spannstahl	1056	8.10.1.3	Hüllrohre für Spannglieder im nachträglichen Verbund	1082
6.8.5	Nachweis gegen Ermüdung über schädigungsäquivalente Schwingbreiten	1058	8.10.2	Verankerung bei Spanngliedern im sofortigen Verbund	1083
6.8.6	Vereinfachte Nachweise	1058	8.10.2.1	Allgemeines	1083
6.8.7	Nachweis gegen Ermüdung des Betons unter Druck oder Querkraftbeanspruchung	1058	8.8.2.2	Übertragung der Vorspannung	1083
8	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	1061	8.10.2.3	Verankerung der Spannglieder in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	1084
7.1	Allgemeines	1061	8.10.3	Verankerungsbereiche bei Spanngliedern im nachträglichen oder ohne Verbund	1085
7.2	Begrenzung der Spannungen	1061	8.10.4	Verankerungen und Spannglied- kopplungen für Spannglieder	1086
7.3	Begrenzung der Rissbreiten	1061	8.10.5	Umlenkstellen	1087
7.3.1	Allgemeines	1061	9	Konstruktionsregeln	1087
7.3.2	Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite	1064	9.1	Allgemeines	1087
7.3.3	Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung	1067	9.2	Balken	1087
7.3.4	Berechnung der Rissbreite	1069	9.2.1	Längsbewehrung	1087
7.4	Begrenzung der Verformungen	1070	9.2.1.1	Mindestbewehrung und Höchstbewehrung	1087
7.4.1	Allgemeines	1070	9.2.1.2	Weitere Konstruktionsregeln	1087
7.4.3	Nachweis der Begrenzung der Verformungen mit direkter Berechnung	1071	9.2.1.3	Zugkraftdeckung	1088
8	Allgemeine Bewehrungsregeln	1072	9.2.1.4	Verankerung der unteren Bewehrung an Endauflagern	1089
8.1	Allgemeines	1072	9.2.1.5	Verankerung der unteren Bewehrung an Zwischenaufslagern	1089
8.2	Stababstände von Betonstählen	1072			

9.2.2	Querkraftbewehrung	1089	113 Bemessung für Bauzustände	1099
9.2.3	Torsionsbewehrung	1090	113.1 Allgemeines	1099
9.2.4	Oberflächenbewehrung	1091	113.2 Einwirkungen während der Bauausführung	1099
9.2.5	Indirekte Auflager	1091	113.3 Nachweiskriterien	1100
9.3	Vollplatten	1091	113.3.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit	1100
9.3.1	Biegebewehrung	1091	113.3.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	1100
9.3.1.1	Allgemeines	1091	Anhang A (normativ) Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe	1100
9.3.1.2	Bewehrung von Platten in Auflagernähe	1091	A.2.3 Reduktion auf Grundlage der Bestimmung der Betonfestigkeit im fertigen Tragwerk	1100
9.3.1.4	Randbewehrung an freien Rändern von Platten	1092	Anhang B (normativ) Kriechen und Schwinden	1100
9.3.2	Querkraftbewehrung	1092	B.1 Grundgleichungen zur Ermittlung der Kriechzahl	1100
9.4	Punktgestützte Platten	1092	B.2 Grundgleichungen zur Ermittlung der Trocknungsschwinddehnung	1101
9.4.3	Durchstanzbewehrung	1092	B.100 Allgemeines	1102
9.5	Stützen	1094	B.105 Abschätzung der verzögerten Langzeitverformungen	1102
9.5.1	Allgemeines	1094	Anhang J (normativ) Konstruktionsregeln für ausgewählte Beispiele	1103
9.5.2	Längsbewehrung	1094	Anhang NA.NN (normativ) Schädigungs- äquivalente Schwingbreite für Nachweise gegen Ermüdung	1104
9.5.3	Querbewehrung	1094	Anhang NA.TT (normativ) Ergänzungen für Betonbrücken mit externen Spanngliedern	1106
9.6	Wände	1095	NA.TT.1 Allgemeines	1106
9.6.1	Allgemeines	1095	NA.TT.2 Begriffe	1106
9.6.2	Vertikale Bewehrung	1095	NA.TT.3 Grundsätze für die bauliche Durchbildung	1106
9.6.3	Horizontale Bewehrung	1095	NA.TT.3.1 Externe Spannglieder und interne Spannglieder ohne Verbund	1106
9.6.4	Querbewehrung	1095	NA.TT.3.2 Mischbauweise	1106
9.7	Wandartige Träger	1095	NA.TT.3.3 Querspannglieder	1106
9.9	Bereiche mit geometrischen Diskontinuitäten oder konzentrierten Einwirkungen (D-Bereiche)	1096	NA.TT.3.4 Maßnahmen zur Verstärkung, Instandsetzung und Zugänglichkeit	1107
10	Zusätzliche Regeln für Bauteile und Tragwerke aus Fertigteilen	1096	NA.TT.3.5 Anker- und Umlenkelemente	1107
10.1	Allgemeines	1096	NA.TT.4 Überwachung	1108
10.1.1	Besondere Begriffe dieses Kapitels	1096	Anhang NA.UU (normativ) Ergänzungen für Betonbrücken mit internen Spanngliedern ohne Verbund in Längstragrichtung	1108
10.2	Grundlagen für die Tragwerksplanung, Grundlegende Anforderungen	1097	NA.UU.1 Anwendungsbereich	1108
10.3	Baustoffe	1097	NA.UU.2 Ergänzende Regeln für die Bemessung	1109
10.3.1	Beton	1097	NA.UU.3 Ergänzende Regeln für die bauliche Durchbildung	1109
10.3.1.1	Festigkeiten	1097	NA.UU.3.1 Brücken mit Kastenquerschnitt	1109
10.3.1.2	Kriechen und Schwinden	1097	NA.UU.3.2 Brücken mit Platten- oder Plattenbalkenquerschnitt	1109
10.3.2	Spannstahl	1098	Anhang NA.VV (normativ) Bewehrung von Stahlbetonstützen für den Anprall von Fahrzeugen	1110
10.3.2.1	Eigenschaften	1098		
10.5	Ermittlung der Schnittgrößen	1098		
10.5.1	Allgemeines	1098		
10.5.2	Spannkraftverluste	1098		
10.9	Bemessungs- und Konstruktions- regeln	1098		
10.9.4	Verbindungen und Lager für Fertigteile	1098		
10.9.4.2	Konstruktions- und Bemessungs- regeln für Verbindungen	1098		
10.9.4.4	Verbindungen zur Querkraft- Übertragung	1099		
10.9.4.5	Verbindungen zur Übertragung von Biegemomenten oder Zugkräften	1099		
10.9.5	Lager	1099		