

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	
	Stichwortverzeichnis	553

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 Material- verhalten	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 Einwirkungs- kombinationen	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 elasto- plastischen 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 Schädigungsent- wicklung	66	6.3	Inspektions- und Monitoring- strategien	119
5.4.2.3	Einstufige Ermüdungs- beanspruchung – 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 Ermüdungs- beanspruchung	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 Grenzzustands- funktionen	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- rissgefährdeter Spannstähle	426
7.1.1	Ausgangslage	412	7.3	Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauwerken	429
7.1.2	Einfache Mess- und Aufnahme- verfahren	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 Verstärkungs- maßnahmen 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 Betonstahl- festigkeiten in Bestandsbauwerken	420	8.5.2.6	Instandsetzungsprinzip 6 (RC): Erhöhung des Chemikalien- widerstandes	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 Bauminister- konferenz (ARGEBAU)	421			
7.2.2.3	Modifikation von Teilsicherheits- beiwerten	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 Schlitze 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	Querkräftenachweise	488	6.4	Nachweis der Biegetragfähigkeit	515
3.4.1	Querkräftenachweise	488	6.5	Verbundnachweis	516
3.4.2	Querkräftenachweise	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	Querkräftenachweise	518
3.7.1	Lamellenabstände	493	6.6.1	Querkräftenachweise	518
3.7.2	Verbügelung	493	6.6.2	Querkräftenachweise	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 Schlitze 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	Querkräftenachweise	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

