

**Zuverlässigkeitsorientierte Bewertung
bestehender Bauwerke
aus Stahlbeton und Spannbeton**

Gunnar Heumann

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)
Materialprüfanstalt für das Bauwesen (MPA) Braunschweig

Heft 225

Braunschweig

2014

ISBN 978-3-89288-210-7

ISSN 1439-3875

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VII
Bezeichnungen und Abkürzungen	IX
Lateinische Buchstaben	IX
Griechische Buchstaben	IX
Abkürzungen und Indizes	X
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ziel der Arbeit	4
1.3 Gliederung der Arbeit	4
2 Grundlagen der Bewertung bestehender Bauwerke	7
2.1 Allgemeines Vorgehen und Regelwerke	7
2.2 Besonderheiten von Bestandsbauwerken	7
2.3 Feststellung des Istzustandes	10
2.3.1 Allgemeines	10
2.3.2 Auswertung der Bestandsdokumentation	11
2.3.3 Ortsbesichtigung und Bauwerksinspektion	12
2.3.4 Bauwerks- und Bauteilgeometrie	13
2.3.5 Baustoffeigenschaften	13
2.4 Bewertungskonzepte	23
2.4.1 Konzepte bestehender Regelwerke	23
2.4.2 Anforderungen an eine Weiterentwicklung	25
2.5 Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen	27
3 Grundlagen der Zuverlässigkeitstheorie	29
3.1 Sicherheit im Bauwesen und Anforderungen an Bauwerke	29
3.2 Zuverlässigkeitsmaße	31
3.3 Methoden der Grenzzustände	42
3.4 Systemzuverlässigkeit und Korrelation	49
3.5 Bayes'sches Update	54
3.6 Schlussfolgerungen	55
4 Stochastische Modelle zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	57
4.1 Allgemeines	57
4.2 Stochastische Modelle der Einwirkungsseite	57
4.2.1 Allgemeines.....	57

4.2.2	Ständige Einwirkungen.....	61
4.2.3	Veränderliche und außergewöhnliche Einwirkungen	63
4.2.4	Modifikationen von Einwirkungen.....	71
4.3	Stochastische Modelle der Widerstandsseite	77
4.3.1	Allgemeines	77
4.3.2	Normalkraftbemessung.....	79
4.3.3	Biegebemessung mit bzw. ohne Längskraft.....	79
4.3.4	Querkraftbemessung.....	81
4.3.5	Torsionsnachweis	83
4.3.6	Ermüdungsnachweis.....	83
4.3.7	Betonspannungsnachweise.....	87
4.3.8	Betonstahl- und Spannstahlspannungsnachweise.....	88
4.3.9	Betonrissbreitennachweis	88
4.4	Schlussfolgerungen	89
5	Stochastische Modelle zur Dauerhaftigkeit.....	91
5.1	Dauerhaftigkeitsrelevante Einwirkungen	91
5.2	Vermeidung dauerhaftigkeitsbedingter Schädigungen	94
5.2.1	Normative Regelungen	94
5.2.2	Alternative Ansätze	96
5.3	Korrosion der Bewehrung	99
5.3.1	Allgemeines	99
5.3.2	Einleitungsphase der carbonatisierungsinduzierten Bewehrungskorrosion	101
5.3.3	Einleitungsphase der chloridinduzierten Bewehrungskorrosion.....	106
5.3.4	Schädigungsphase der Bewehrungskorrosion	118
5.3.5	Einfluss von Rissen	139
5.3.6	Spannbeton	143
5.4	Frost- bzw. Frost-Tausalz-Angriff.....	154
5.4.1	Allgemeines	154
5.4.2	Frost-Angriff.....	157
5.4.3	Frost-Tausalz-Angriff.....	159
5.4.4	Auswirkungen eines Frost- bzw. Frost-Tausalz-Angriffes	160
5.4.5	Einfluss von Rissen	164
5.5	Interaktion der Schädigungsmechanismen.....	164
5.5.1	Allgemeines	164
5.5.2	Carbonatisierung und Chlorideintrag	164

5.5.3	Carbonatisierung und Frost-Angriff.....	165
5.5.4	Frost-Tausalz-Angriff und Bewehrungskorrosion	165
5.5.5	Bewertung und Erfassung der Interaktion	166
5.6	Schlussfolgerungen.....	167
6	Erweiterte Kenntnisse zum Istzustand.....	169
6.1	Allgemeines	169
6.2	Entwurfsnormen und Herstellungsprozesse.....	169
6.2.1	Übersicht	169
6.2.2	Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen	172
6.2.3	Ansätze zur Bestimmung der Tragfähigkeit	178
6.3	Nutzungsabhängige Bemessungseinwirkungen.....	180
6.3.1	Allgemeines.....	180
6.3.2	Verkehrslasten für Fahrzeugüberfahrten.....	181
6.4	Dauerhaftigkeitsrelevante Exposition	194
6.4.1	Änderungen der umgebungsbedingten Exposition	194
6.4.2	Eigenchloridgehalt von Beton.....	196
6.5	Baustoffeigenschaften	198
6.5.1	Übersicht	198
6.5.2	Betongüte und Zementeigenschaften	198
6.5.3	Zugfestigkeit des Betons	201
6.5.4	Chloridmigrationskoeffizient	201
6.5.5	Zeitliche Entwicklung der Betoneigenschaften	203
6.6	Schlussfolgerungen.....	207
7	Erweiterte Methoden zur Zustandsbewertung	209
7.1	Konsistente Lebensdauerprognose.....	209
7.2	Integration von Vorinformationen	212
7.2.1	Allgemeines.....	212
7.2.2	Bauwerksinspektion und Monitoring.....	214
7.2.3	Belastungsversuche	218
7.3	Modellunsicherheiten in Abhängigkeit des Kenntnisstandes	227
7.4	Zufallsfelder und Korrelationen	235
7.5	Zuverlässigkeitsbetrachtungen zu Lastannahmen	239
7.5.1	Allgemeines.....	239
7.5.2	Eigengewicht.....	240
7.5.3	Verkehrslasten bei abweichenden Referenzzeiten.....	243
7.6	Auslastungsgrad und Zuverlässigkeitsindex	249

7.7	Schlussfolgerungen	252
8	Zuverlässigkeitsorientiertes Bewertungskonzept	255
8.1	Übersicht	255
8.2	Grundstruktur	256
8.2.1	Aufbau	256
8.2.2	Aufgliederungsebenen	258
8.2.3	Bewertungskriterien	261
8.2.4	Zuverlässigkeitsindex	262
8.2.5	Beurteilungsklassen	265
8.3	Stufe 1 des Bewertungskonzeptes	268
8.4	Stufe 2 des Bewertungskonzeptes	271
8.5	Stufe 3 des Bewertungskonzeptes	274
8.6	Schlussfolgerungen	276
9	Anwendung an typischen Bauteilen	277
9.1	Beispiel 1: Hochbaudecke	277
9.1.1	Ausgangssituation	277
9.1.2	Bewertung Stufe 1	277
9.1.3	Bewertung Stufe 2	281
9.1.4	Bewertung Stufe 3	283
9.1.5	Betrachtungen zur Anwendung des Bewertungskonzeptes	288
9.2	Beispiel 2: Stahlbetonstütze	289
9.2.1	Ausgangssituation	289
9.2.2	Bewertung Stufe 1	290
9.2.3	Bewertung Stufe 2	293
9.2.4	Bewertung Stufe 3	298
9.2.5	Betrachtungen zur Anwendung des Bewertungskonzeptes	302
9.3	Beispiel 3: Zweistegige Plattenbalkenbrücke	302
9.3.1	Ausgangssituation	302
9.3.2	Bewertung Stufe 1	304
9.3.3	Bewertung Stufe 2	308
9.3.4	Bewertung Stufe 3	315
9.3.5	Betrachtungen zur Anwendung des Bewertungskonzeptes	319
9.4	Beispiel 4: Betongerbergelenke einer Fußgängerbrücke	320
9.4.1	Ausgangssituation	320
9.4.2	Bewertung Stufe 1	321
9.4.3	Bewertung Stufe 2	324

9.4.4	Betrachtungen zur Anwendung des Bewertungskonzeptes	329
9.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der Beispiele	329
10	Zusammenfassung und Ausblick	331
10.1	Zusammenfassung	331
10.2	Ausblick	333
	Literatur	335
Anhang A:	Katalog der Lasteinwirkungen	
Anhang B:	Katalog der Materialeigenschaften	
Anhang C:	Katalog der Bauteileigenschaften	
Anhang D:	Katalog der Modellunsicherheiten	
Anhang E:	Katalog der Umwelteinwirkungen	
Anhang F:	Anhaltswerte für Messungenauigkeiten	
Anhang G:	Entwicklung von Normen und Vorschriften	
Anhang H:	Historische Betonfestigkeiten	
Anhang I:	Abschätzung von Verkehrslasten (Straßenbrücken)	