

2796-9467

Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

# **Bewehrte Betonbauteile unter Betriebsbedingungen**

Herausgegeben von  
Rolf Eligehausen,  
Karl Kordina  
und Peter Schießl

Forschungsbericht

 **WILEY-VCH**

**DFG**

# Inhalt

Vorwort . . . . .	XVII
<b>Teil I Rißbreiten</b> . . . . .	<b>1</b>
<i>Gert König</i>	
<b>1 Ein mechanisches Modell zur Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit über die Rißbreiten unter Betriebsbedingungen</b> . . . . .	<b>3</b>
<i>Gert König und Michael Fischer</i>	
1.1 Einleitung und Zielsetzung . . . . .	3
1.2 Versuchsprogramm . . . . .	4
1.2.1 Versuchskörper . . . . .	4
1.2.1.1 Querschnittwahl und Bewehrungsführung . . . . .	4
1.2.1.2 Herstellung der Versuchskörper – Betonrezeptur – Versuchsaufbau . . . . .	6
1.2.1.3 Vorbereitung der Temperaturmeß-, Regel- und Steuerstrecke . . . . .	7
1.3 Meßtechnik . . . . .	8
1.3.1 Durchzuführende Messungen . . . . .	8
1.3.2 Messung der Rißbreiten, der Verformungen und der Dehnungsebenen . . . . .	10
1.3.3 Messung der aufgebrachten Last und der Auflagerkräfte . . . . .	10
1.3.4 Messung der Temperaturen . . . . .	10
1.3.5 Meßdatenerfassung . . . . .	11
1.4 Belastung und Versuchsdurchführung . . . . .	12
1.4.1 Belastungsgeschichte . . . . .	12
1.4.2 Versuchsdurchführung . . . . .	12
1.5 Literatur . . . . .	14
<b>2 Rißbreiten und Verformungszunahme vorgespannter Bauteile unter wiederholter Last- und Zwangbeanspruchung</b> . . . . .	<b>15</b>
<i>Gert König und Michael Fischer</i>	
2.1 Einleitung und Zielsetzung . . . . .	15
2.2 Versuchsprogramm . . . . .	16
2.2.1 Versuchskörper . . . . .	16
2.2.1.1 Statisches System und Bewehrung . . . . .	16
2.2.1.2 Herstellung und begleitendes Versuchsprogramm . . . . .	17

2.2.1.3	Temperaturmeß-, -steuer- und -regelstrecke . . . . .	18
2.2.2	Belastungsgeschichte . . . . .	19
2.2.3	Meßtechnik und Meßwertaufnahme . . . . .	21
2.3	Auswertung . . . . .	23
2.3.1	Zerlegung der eingeprägten Temperaturprofile . . . . .	23
2.3.2	Entwicklung der Zwangsschnittgrößen im gerissenen Spannbetonbalken . . . . .	24
2.3.3	Entwicklung der Verformungen . . . . .	26
2.3.4	Rißbreitenbetrachtungen . . . . .	28
2.4	Ausblick . . . . .	28
2.5	Literatur . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Rißverhalten von Beton bei plötzlicher Abkühlung</b> . . . . .	<b>33</b>
	<i>Viktor Mechtcherine und Harald S. Müller</i>	
3.1	Einleitung . . . . .	33
3.2	Experimentelle Untersuchungen . . . . .	34
3.2.1	Betonzusammensetzung und Probekörper . . . . .	34
3.2.2	Versuchsparameter und Versuchsdurchführung . . . . .	34
3.2.3	Versuchsergebnisse . . . . .	36
3.2.4	Diskussion der Versuchsergebnisse . . . . .	38
3.3	Formulierung eines Stoffgesetzes für thermisch beanspruchten Beton . . . . .	39
3.4	Rißentwicklung in einer Betonplatte unter Temperaturschock . . . . .	41
3.5	Zusammenfassung . . . . .	44
3.6	Literatur . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Stahlfaserbeton unter Betriebsbedingungen bei Dauerbeanspruchung</b> . . . . .	<b>46</b>
	<i>Bo Soon Kang, Bernd Schnütgen und Friedhelm Stangenberg</i>	
4.1	Einleitung . . . . .	46
4.2	Wirkung von Stahlfasern im Beton . . . . .	46
4.3	Versuchsprogramm . . . . .	47
4.3.1	Verbund zwischen Stahlfaserbeton und Normalbeton . . . . .	47
4.3.2	Versuche mit Biegebeanspruchung . . . . .	48
4.4	Untersuchungen zum Verbundverhalten . . . . .	50
4.4.1	Versuchsdurchführung . . . . .	50
4.4.2	Versuchsergebnisse . . . . .	50
4.4.2.1	Statische Versuche . . . . .	50
4.4.2.2	Dynamische Versuche . . . . .	51
4.5	Untersuchungen zum Verhalten unter Biegebeanspruchung . . . . .	53
4.5.1	Versuchsdurchführung . . . . .	53
4.5.2	Versuchsergebnisse . . . . .	54
4.5.2.1	Rißentwicklung . . . . .	54
4.5.2.2	Steifigkeitsentwicklung . . . . .	55
4.6	Theoretische Untersuchungen . . . . .	57
4.6.1	Verbund (Scheruntersuchungen) . . . . .	57
4.6.2	Rißentwicklung bei Biegung an Stahlbeton mit und ohne Stahlfasern . . . . .	58
4.7	Literatur . . . . .	62

<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen an Stahlbeton-Zugkörpern unter wiederholter Belastung zur Ermittlung des versteifenden Einflusses der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen . . . . .</b>	<b>63</b>
	<i>Petra Seibel und Gerhard Mehlhorn</i>	
5.1	Einleitung . . . . .	63
5.2	Ansatz zur Bestimmung der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen nach Eurocode 2, Model Code 90 und Günther . . . . .	64
5.3	Experimentelle Untersuchungen . . . . .	65
5.3.1	Aufbau und Abmessungen der Versuchskörper . . . . .	65
5.3.2	Versuchsablauf . . . . .	66
5.4	Ergebnisse . . . . .	67
5.4.1	Allgemeines . . . . .	67
5.4.2	Einfluß des Bewehrungsgrads . . . . .	67
5.4.3	Einfluß des Bewehrungsstabdurchmessers . . . . .	68
5.4.4	Einfluß der Anzahl der Bewehrungsstäbe . . . . .	70
5.4.5	Vergleich der Versuchsergebnisse mit den Ansätzen nach Eurocode 2, Model Code 90 und Günther . . . . .	70
5.5	Zusammenfassung . . . . .	72
5.6	Literatur . . . . .	74
 <b>6</b>	 <b>Riß- und Verformungsverhalten von vorgefertigten Spannbetonträgern unter Betriebsbedingungen bei besonderer Berücksichtigung des Betonalters . . . . .</b>	 <b>75</b>
	<i>Monika Maske, Heinz Meichsner und Lothar Schubert</i>	
6.1	Einleitung . . . . .	75
6.1.1	Zielstellung . . . . .	75
6.1.2	Gegenstand des Forschungsvorhabens . . . . .	75
6.2	Beschreibung der Fertigteilträger . . . . .	76
6.2.1	Verwendete Materialien . . . . .	76
6.2.2	Besonderheiten der alten Träger . . . . .	77
6.3	Belastungsversuche . . . . .	78
6.3.1	Belastungsaufbau und Meßtechnik . . . . .	78
6.3.2	Belastungsgeschichte . . . . .	79
6.4	Ergebnisse . . . . .	79
6.4.1	Rißentwicklung bei den Belastungsversuchen . . . . .	81
6.4.2	Momenten-Durchbiegungsverhalten . . . . .	84
6.5	Zusammenfassung . . . . .	85
6.6	Literatur . . . . .	86

<b>Teil II</b>	<b>Verbundfragen</b>	87
	<i>Rolf Eligehausen</i>	
<b>1</b>	<b>Ein mechanisches Modell zur Beschreibung des Verbundverhaltens zwischen Stahl und Beton</b>	90
	<i>Gert König, Nguyen V. Tue und Wolfgang Kurz</i>	
1.1	Einleitung	90
1.2	Beschreibung der Kraftübertragung zwischen Stahl und Beton	91
1.3	Vorstellung des Modells	93
1.3.1	Fachwerkmodell zur Beschreibung des Verbundverhaltens	93
1.3.2	Ermittlung der Spannung und Verformung der einzelnen Stäbe	94
1.3.2.1	Stäbe 1 und 2	94
1.3.2.2	Stab 3	98
1.3.2.3	Stab 4	100
1.3.2.4	Stab 5	103
1.3.2.5	Auswirkung der Stahldehnung und der Querrisse auf das Verbundverhalten	103
1.4	Materialgesetze für die Berechnung der Verformung des Fachwerks	106
1.4.1	Stäbe mit linearem Verhalten	106
1.4.2	Stäbe mit nichtlinearem Verhalten	106
1.5	Vergleich zwischen Versuch und Modell	111
1.6	Zusammenfassung und Ausblick	114
1.7	Literatur	114
<b>2</b>	<b>Verbund unter nicht ruhender Beanspruchung</b>	116
	<i>Rainer Koch und György L. Balázs</i>	
2.1	Übersicht über die durchgeführten Versuche	116
2.2	Versuchkörper und Materialien	117
2.3	Versuchseinrichtungen	118
2.4	Versuche und Ergebnisse	119
2.4.1	Vor- und Vergleichsversuche	119
2.4.2	Statische Ausziehversuche	120
2.4.3	Dauerstandversuche	121
2.4.4	Schwellversuche	121
2.4.5	Kombinierte Dauerstand-Schwellversuche	124
2.4.6	Wechselversuche	124
2.4.7	Versuche zur Resttragfähigkeit	128
2.4.8	Versuche mit Schallemissionsanalyse	130
2.5	Zusammenfassung und Ausblick	131
2.6	Literatur	132

<b>3</b>	<b>Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetontragwerken unter Betriebsbelastung</b> . . . . .	133
	<i>Thomas M. Sippel und Rolf Eligehausen</i>	
3.1	Einleitung . . . . .	133
3.2	Allgemeines . . . . .	133
3.3	Rechenmodell und Materialmodelle . . . . .	135
3.3.1	Allgemeines . . . . .	135
3.3.2	Verhalten des Betons unter nicht ruhender Beanspruchung . . . . .	135
3.3.3	Verbund zwischen Stahl und Beton . . . . .	137
3.4	Vergleich zwischen Versuchen und Rechnung . . . . .	140
3.5	Parameterstudien . . . . .	143
3.6	Vereinfachtes Rechenmodell . . . . .	147
3.7	Zusammenfassung . . . . .	148
3.8	Literatur . . . . .	149
<b>4</b>	<b>Verbundverhalten von Spanngliedern mit nachträglichem Verbund unter Betriebsbedingungen</b> . . . . .	150
	<i>Josef Hegger, Norbert Will und Heiner Cordes</i>	
4.1	Einführung . . . . .	150
4.2	Verbundverhalten von Spanngliedern . . . . .	150
4.2.1	Verbundmechanismus von Spannstahllitzen . . . . .	150
4.2.2	Bezogene Rippenfläche von Spannstahllitzen . . . . .	152
4.2.3	Wirksame Verbundfläche von Litzenbündeln . . . . .	152
4.3	Zeitabhängige Effekte des Verbunds . . . . .	153
4.3.1	Erläuterung des zeitabhängigen Verbundverhaltens . . . . .	153
4.3.2	Numerisches Berechnungsmodell zur Verbundrelaxation . . . . .	153
4.4	Versuche unter statischer Langzeitbeanspruchung . . . . .	155
4.4.1	Versuchsprogramm und Versuchsdurchführung . . . . .	155
4.4.2	Versuchsergebnisse . . . . .	156
4.5	Versuche unter dynamischer Langzeitbeanspruchung . . . . .	158
4.5.1	Versuchsprogramm . . . . .	158
4.5.2	Versuchsergebnisse . . . . .	159
4.6	Bemessungsvorschlag für Verbundkennwerte . . . . .	162
4.7	Zusammenfassung . . . . .	163
4.8	Literatur . . . . .	163
<b>5</b>	<b>Spannungsumlagerungen in gemischt bewehrten Querschnitten</b> . . . . .	164
	<i>Josef Hegger, Heiner Cordes und Matthias Rudloff</i>	
5.1	Problemstellung und Zielsetzung . . . . .	164
5.2	Spannungsumlagerungen bei gemischter Bewehrung . . . . .	165
5.2.1	Spannungsverhältnisse in Spannbetonbauteilen mit nachträglichem Verbund . . . . .	165
5.2.2	Analytische Beschreibung mit der Differentialgleichung des verschieblichen Verbunds . . . . .	166

5.2.3	Lösungsmöglichkeiten der Differentialgleichung . . . . .	166
5.3	Versuche an zentrischen Zugkörpern . . . . .	167
5.3.1	Versuchskörper und Versuchsprogramm . . . . .	167
5.3.2	Versuchsdurchführung . . . . .	168
5.4	Versuchsergebnisse . . . . .	171
5.4.1	Auswirkungen des Rißzustands . . . . .	171
5.4.2	Einfluß der Spanngliedart . . . . .	172
5.4.3	Einfluß des Verhältnisses Spannstahtfläche zu Betonstahtfläche . . . . .	173
5.4.4	Einfluß von statischen und dynamischen Dauerlasten . . . . .	174
5.4.5	Vergleich der Versuchsergebnisse von normalfestem (NC) und hochfestem Beton (HSC) . . . . .	174
5.5	Ermittlung und Vergleich von Verbundkennwerten . . . . .	175
5.6	Zusammenfassung . . . . .	177
5.7	Literatur . . . . .	178
 <b>Teil III Bauteile . . . . .</b>		 179
<i>Karl Kordina</i>		
<b>1</b>	<b>Einfluß von Längbeanspruchungen auf den Neigungswinkel der Schubrisse . . . . .</b>	<b>182</b>
<i>Marek Los und Ulrich Quast</i>		
1.1	Einleitung . . . . .	182
1.2	Ungerissener Zustand . . . . .	183
1.3	Gerissener Zustand . . . . .	185
1.4	FEM-Berechnungen . . . . .	186
1.4.1	Einführung . . . . .	186
1.4.2	Ausragender Fertigteilbalken . . . . .	186
1.4.3	Einfeldbalken . . . . .	189
1.4.4	Einfeldbalken mit vorgegebenem Schubriß . . . . .	190
1.5	Zusammenfassung . . . . .	192
1.6	Literatur . . . . .	193
<b>2</b>	<b>Auswirkungen des unterschiedlichen Verformungsverhaltens bei Be- und Entlastung auf die Beanspruchungen im Gebrauchszustand . . . . .</b>	<b>194</b>
<i>Jochen Keysberg</i>		
2.1	Einleitung und Zielsetzung . . . . .	194
2.2	Modelle für die Momenten-Verkrümmungs-Beziehung . . . . .	195
2.2.1	Aus der Literatur bekannte Modelle . . . . .	195
2.2.2	Neu entwickeltes Modell . . . . .	196
2.3	Programm zur nichtlinearen Berechnung . . . . .	198
2.4	Einfluß von Lastwechseln auf nichtlineare Berechnungen . . . . .	199
2.4.1	Steifigkeitsverteilung . . . . .	199
2.4.2	Lastbeanspruchungen . . . . .	200
2.4.3	Kombinierte Last- und Zwangbeanspruchungen . . . . .	201

2.5	Zusammenfassung . . . . .	202
2.6	Literatur . . . . .	202
<b>3</b>	<b>3D-Analyse von Balken-Stützen-Verbindungen aus normal- und hochfestem Beton unter zyklischer Beanspruchung</b> . . . . .	<b>204</b>
	<i>Joško Ožbolt, Yijun Li und Rolf Eligehausen</i>	
3.1	Einleitung . . . . .	204
3.2	Materialmodell und FE-Diskretisierung . . . . .	206
3.3	Numerische Analyse . . . . .	208
3.3.1	Geometrie, Materialeigenschaften und FE-Modell . . . . .	208
3.3.2	Numerische Analyse und Diskussion der Ergebnisse . . . . .	209
3.3.2.1	Normalfester Beton . . . . .	212
3.3.2.2	Hochfester Beton . . . . .	216
3.4	Schlußfolgerungen . . . . .	219
3.5	Zusammenfassung . . . . .	219
3.6	Literatur . . . . .	220
<b>4</b>	<b>Der Einfluß von freien Schwingungen infolge dynamischer Belastung auf die Deterioration eines Bauwerks</b> . . . . .	<b>221</b>
	<i>Manfred Specht und Michael Kramp</i>	
4.1	Veranlassung des Forschungsvorhabens . . . . .	221
4.2	Forschungsziele . . . . .	222
4.3	Versuchsträger, Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse . . . . .	222
4.3.1	Versuchsträger . . . . .	222
4.3.2	Versuchsdurchführung . . . . .	224
4.3.3	Versuchsergebnisse . . . . .	224
4.4	Auswertung . . . . .	226
4.4.1	Biegesteifigkeit . . . . .	226
4.4.2	Logarithmisches Dekrement . . . . .	228
4.4.3	Phasendiagramme und Hysteresekurven . . . . .	230
4.5	Ergebnisse für die Systemidentifikation von Stahlbetonkonstruktionen . . . . .	230
4.6	Literatur . . . . .	233
<b>5</b>	<b>Lokale Schwind- und Temperaturgradienten in bewehrten, oberflächennahen Zonen von Betonkonstruktionen</b> . . . . .	<b>234</b>
	<i>Josef Eibl und Stephan Kranz</i>	
5.1	Problemstellung . . . . .	234
5.2	Temperatur- und Feuchtefeldberechnung . . . . .	235
5.3	Numerisches Berechnungsmodell zur Spannungsanalyse im Beton . . . . .	236
5.4	Durchgeführte Versuche . . . . .	238
5.4.1	Freie Schwindverformungen . . . . .	238
5.4.2	Zwangsspannungen aus behinderten Schwindverformungen . . . . .	239
5.4.3	Thermoschock (Bauteilversuch) . . . . .	241

5.5	Rechnerische Untersuchungen . . . . .	242
5.6	Zusammenfassung . . . . .	245
5.7	Literatur . . . . .	246
<b>6</b>	<b>Wassereindringverhalten von Flüssigkeiten beim Biegeriß</b> . . . . .	<b>247</b>
	<i>Gert König und Christian Brunsch</i>	
6.1	Problemstellung . . . . .	247
6.2	Experimentelle Untersuchungen . . . . .	248
6.2.1	Vorüberlegungen zur Versuchsreihe . . . . .	248
6.2.2	Versuchsvorbereitungen . . . . .	248
6.2.2.1	Versuchsaufsatz . . . . .	248
6.2.3	Versuchsdurchführung . . . . .	249
6.2.4	Versuchsauswertung . . . . .	250
6.2.4.1	Berechnungen . . . . .	250
6.2.4.2	Versuchsergebnisse . . . . .	250
6.3	Entwicklung eines Modells zur rechnerischen Abschätzung des zeitlichen Eindringens einer Wassermenge in Biegerisse von Stahlbetonbauteilen . . . . .	251
6.3.1	Zeitunabhängiges Wasservolumen $V_0$ . . . . .	252
6.3.1.1	Anteil aus Rißfüllung $V_{\text{Riß}}$ . . . . .	252
6.3.1.2	Anteil aus Verdichtungsporenfüllung $V_{\text{Luft}}$ . . . . .	253
6.3.2	Zeitabhängiges Wasservolumen $V_t$ . . . . .	254
6.3.2.1	Rechenmodell für den Fließbehinderungsfaktor $K_a$ . . . . .	255
6.4	Zusammenfassung und Diskussion der Versuchsreihe . . . . .	257
6.5	Literatur . . . . .	258
<b>7</b>	<b>Dauerhaftigkeitsprobleme von offenen Becken</b> . . . . .	<b>259</b>
	<i>György Iványi, Wilhelm Buschmeyer und Udo Paas</i>	
7.1	Einleitung . . . . .	259
7.2	Bestandsaufnahme . . . . .	260
7.2.1	Übersicht . . . . .	260
7.2.2	Schäden im Bereich der Wandkronen . . . . .	260
7.3	Felduntersuchungen . . . . .	261
7.3.1	Meßprogramm . . . . .	261
7.3.2	Meßergebnisse . . . . .	261
7.4	Laboruntersuchungen . . . . .	263
7.4.1	Probenahmen . . . . .	263
7.4.2	Ergebnisse . . . . .	264
7.4.3	Frost-Tau-bedingte Spannungen im Inneren des Betongefüges . . . . .	264
7.5	Berechnungen . . . . .	266
7.5.1	Temperatur- und Spannungsverlauf in Beckenwänden . . . . .	266
7.5.2	Vorspannung der Beckenkronen von Rundklärbecken . . . . .	268
7.6	Entwurfs- und Ausführungskriterien . . . . .	270
7.6.1	Allgemeines . . . . .	270
7.6.2	Entwurfsgundsätze . . . . .	270

7.6.2.1	Formgebung, Geometrie . . . . .	270
7.6.2.2	Auslegung . . . . .	271
7.6.2.3	Beton . . . . .	271
7.6.3	Ausführungsgrundsätze . . . . .	271
7.7	Literatur . . . . .	272
 <b>Teil IV Korrosion und Ermüdung</b> . . . . .		 273
<i>Peter Schießl</i>		
<b>1</b>	<b>Ermüdungskorrosion von Spannstahl</b> . . . . .	275
<i>Herbert Kupfer und Hans H. Müller</i>		
1.1	Forschungsziel . . . . .	275
1.2	Korrosionsversuche an Spannstählen . . . . .	275
1.2.1	Versuchsmaterial . . . . .	275
1.2.2	Versuchsmethode . . . . .	276
1.2.3	Ergebnisse der Spannungskorrosionsversuche . . . . .	277
1.3	Methoden zur Erkennung von Anrissen . . . . .	280
1.3.1	Prinzip der angewendeten Magnetfeldmessung . . . . .	280
1.3.2	Ergebnisse der Magnetfeldmessungen . . . . .	281
 <b>2</b>	 <b>Korrosionsermüdung von Stahl in Betonbauteilen</b> . . . . .	 282
<i>J. W. Weber, Peter Schießl und Jörg Moersch</i>		
2.1	Allgemeines . . . . .	282
2.2	Wesentliche Einflüsse bei der Schwingungsrißkorrosion . . . . .	282
2.3	Ziel der Untersuchungen . . . . .	283
2.4	Prüfkörper und Betone . . . . .	284
2.5	Chloridbeaufschlagung . . . . .	284
2.6	Ergebnisse . . . . .	284
2.7	Zusammenfassung . . . . .	290
2.8	Literatur . . . . .	290
 <b>3</b>	 <b>Untersuchungen zum Rißkorrosionsverhalten von Spannstählen unter Betriebsbedingungen</b> . . . . .	 291
<i>Jörg Moersch und Peter Schießl</i>		
3.1	Einführung und Ziel . . . . .	291
3.2	Untersuchungsprogramm . . . . .	292
3.3	Ergebnisse . . . . .	293
3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	295
3.5	Literatur . . . . .	296
 <b>4</b>	 <b>Schwingfestigkeit von Stahlbeton bei Beanspruchung mit Meerwasser</b> . . . . .	 297
<i>Ulf Nürnberger und Willibald Beul</i>		
4.1	Einführung . . . . .	297
4.2	Mechanismus . . . . .	298

4.3	Schwingfestigkeitsuntersuchungen . . . . .	299
4.4	Folgerungen . . . . .	302
4.5	Literatur . . . . .	303
<b>5</b>	<b>Wasserstoffinduzierte Spannungsrißkorrosion von zugschwellbeanspruchten Spannstählen . . . . .</b>	<b>304</b>
	<i>Ulf Nürnberger und Willibald Beul</i>	
5.1	Einführung . . . . .	304
5.2	Untersuchungen . . . . .	305
5.3	Folgerung . . . . .	309
5.4	Literatur . . . . .	309
<b>6</b>	<b>Selbstheilung und Bewehrungskorrosion bei von schwach sauren Wässern durchströmten Trennrissen in bewehrtem Beton . . . . .</b>	<b>310</b>
	<i>Wieland Ramm und Michaela Biscopig</i>	
6.1	Übersicht . . . . .	310
6.2	Einleitung . . . . .	310
6.3	Versuchsprogramm . . . . .	311
6.4	Versuchsergebnisse . . . . .	313
6.4.1	Versuchsergebnisse zur Selbstheilung . . . . .	313
6.4.2	Versuchsergebnisse zur Korrosion . . . . .	315
6.5	Zusammenfassung . . . . .	320
6.6	Literatur . . . . .	321
<b>7</b>	<b>Untersuchungen zur Reibermüdung bei teilweise vorgespannten Bauteilen . . . . .</b>	<b>322</b>
	<i>Heiner Cordes, Josef Hegger und Jens U. Neuser</i>	
7.1	Einleitung . . . . .	322
7.2	Stand der Forschung . . . . .	323
7.2.1	Wirkungsweise der Reibermüdung . . . . .	323
7.3	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung . . . . .	324
7.3.1	Versuchsaufbau . . . . .	324
7.3.2	Versuchsprogramm . . . . .	326
7.3.3	Meßwerterfassung und Meßprogramm . . . . .	327
7.4	Versuchsergebnisse . . . . .	328
7.4.1	Dichtheit und Dauerfestigkeit der Hüllrohre . . . . .	328
7.4.2	Ermüdungsfestigkeit der Spannstähle . . . . .	329
7.4.2.1	Bruchbild . . . . .	329
7.4.2.2	Lage des Spannstahlbruchs . . . . .	330
7.4.2.3	Ertragbare Lastspielzahl . . . . .	330
7.4.2.4	Bemessungsvorschlag . . . . .	331
7.4.3	Verbundverhalten von Kunststoffhüllrohren . . . . .	333
7.5	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	334
7.6	Literatur . . . . .	334

<b>Teil V</b>	<b>Junger Beton</b> . . . . .	337
	<i>Ferdinand S. Rostásy</i>	
<b>1</b>	<b>Ermittlung und Berechnung des Nullspannungstemperaturgradienten im jungen Beton</b> . . . . .	339
	<i>Rupert Springenschmid und Jean-Louis Bostvironnois</i>	
1.1	Einleitung . . . . .	339
1.2	Der Nullspannungstemperaturgradient . . . . .	340
1.2.1	Ermittlung der Nullspannungstemperatur im Reißrahmen . . . . .	342
1.2.2	Modell zur kontinuierlichen Ermittlung der Nullspannungstemperatur . . . . .	343
1.2.3	Überprüfung des Rechenmodells . . . . .	345
1.3	Ergebnisse und Schlußfolgerungen . . . . .	345
1.4	Literatur . . . . .	346
<b>2</b>	<b>Experimentelle Ermittlung der Verformungskennwerte von jungem Beton und der Zwangspannungen in situ</b> . . . . .	347
	<i>Markus Plannerer und Rupert Springenschmid</i>	
2.1	Einleitung . . . . .	347
2.2	Versuche zur Ermittlung der Verformungskennwerte und der Zwangspannungen . . . . .	348
2.2.1	Betonausgangsstoffe, -zusammensetzung und -herstellung . . . . .	348
2.2.2	Stressmeter (in situ) . . . . .	349
2.3	Laborergebnisse . . . . .	350
2.3.1	Entwicklung des Elastizitätsmoduls in den ersten Stunden und Tagen . . . . .	353
2.3.2	Relaxationsverhalten des jungen Betons . . . . .	353
2.3.3	Formänderungen bzw. Zwangspannungen infolge chemischen Schwindens und Quellens . . . . .	355
2.3.3.1	Einfluß der Erhaltungstemperatur . . . . .	355
2.3.3.2	Einfluß des $w/z$ -Wertes und von Silikastaub auf das chemische Schwinden . . . . .	355
2.4	In-situ-Ergebnisse . . . . .	357
2.5	Zusammenfassung . . . . .	359
2.6	Literatur . . . . .	360
<b>3</b>	<b>Werkstoffeigenschaften jungen Betons – Experimente und Modellierung</b> . . . . .	361
	<i>Ferdinand S. Rostásy und Alex-W. Gutsch</i>	
3.1	Einleitung . . . . .	361
3.2	Versuche und Modellbildung . . . . .	362
3.2.1	Betonzusammensetzungen . . . . .	362
3.2.2	Adiabatische Temperaturerhöhung . . . . .	362
3.2.3	Entwicklung der mechanischen Kurzzeiteigenschaften . . . . .	364
3.2.4	Entwicklung und Ausbreitung der Mikrorisse bei Zugbeanspruchung . . . . .	366
3.2.5	Viskoelastisches Verhalten unter Zugspannung . . . . .	368
3.3	Zusammenfassung . . . . .	373
3.4	Literatur . . . . .	373