

Handbuch Bautenschutz und Bausanierung

Schadensursachen, Diagnoseverfahren, Sanierungsmöglichkeiten

4., überarbeitete und erweiterte Auflage
mit 212 Abbildungen

Horst Reul

Inhalt

	Vorwort	5
1	Schutz und Instandsetzung von Stahlbetonoberflächen	23
1.1	Einleitung und Abgrenzung	23
1.2	Bestandteile von Stahlbeton	23
1.2.1	Zement	23
	Aufbereitung	23
	Brennen	23
	Zementmahlen	23
1.2.2	Anmachwasser, Hydratation der Zementmineralien (Erhärtungsreaktionen)	24
	pH-Wert	26
1.2.3	Zuschlagstoffe	26
1.2.4	Zusatzstoffe	27
1.2.5	Zusatzmittel	27
1.2.6	Bewehrung (Armierung)	27
1.3	Betonarten und Beachtenswertes bei der Herstellung und Verarbeitung	28
1.3.1	Betonarten	28
1.3.2	Wasser-Zement-Wert	28
1.3.3	Nachbehandlung der Betonoberfläche	30
1.3.4	Betonüberdeckung der Bewehrung	30
1.4	Schäden, Schadensursachen und Schadensmechanismen	30
1.4.1	Korrosion infolge der Carbonatisierung	32
1.4.2	Stahlkorrosion durch Chlorideinwirkung	33
1.4.3	Risse im Beton	33
1.4.4	Unzureichende Betondeckung über der Bewehrung	33
1.4.5	Weitere Schadensursachen	34
	Durchfeuchtung, mangelnder Wasserablauf, biologischer Angriff	34
1.5	Schadensdokumentation	34
1.5.1	Erhebungen zur Vorgeschichte	35
1.5.2	Untersuchungen am Bauwerk	36
1.5.3	Visuelle Kontrolle	36
1.6	Schadensdiagnose, Diagnoseverfahren und Diagnosegeräte	36
1.6.1	Zerstörungsfreie Methoden	36
	Ermittlung der Betongüte	37
	Überprüfung auf Hohlstellen im Beton (Prüfhammer, Drahtschleife)	37
	Prüfung der Oberflächendruckfestigkeit (Rückprallhammer nach Schmidt)	37
	Ermittlung der Betonüberdeckung der Bewehrung	38
1.6.2	Zerstörende Methoden	38
	Ermittlung der Druckfestigkeit und des Gefüges	38
	Ermittlung der Abreißfestigkeit und der Haftzugfestigkeit	39
	Ermittlung der Carbonatisierungstiefe	40
	Ermittlung des Feuchtegehaltes	41
1.6.3	Rissbreite und Risstiefe	42
	Mikrorisse	42
	Makrorisse	43
1.6.4	Schadstoffanalyse durch Chloridnachweis	43
	Zerstörendes Verfahren	43
	Zerstörungsfreies Verfahren (indirekter Chloridnachweis)	44
1.6.5	Temperaturmessung	44

1.7	Stahlbetonoberflächeninstandsetzung	44
1.7.1	Allgemeines und Abgrenzung	44
1.7.2	Vier Grundprinzipien des Korrosionsschutzes	45
	Prinzip R – Realkalisierung	45
	Prinzip W – Begrenzung des Wassergehaltes im Beton	45
	Prinzip C – Bewehrungsbeschichtung	45
	Prinzip K – Kathodischer Korrosionsschutz	46
1.7.3	Anforderungen an ein Betoninstandsetzungssystem ohne tragende Funktion	46
	Oberflächenzugfestigkeit (Haftzugfestigkeit)	47
	Druckfestigkeit	47
	Biegezugfestigkeit	47
	Schwindmaß	48
	Elastizitätsmodul	48
	Linearer Temperaturdehnkoeffizient	48
	Mörtelverhalten an Reparaturstellen	48
	Gesamtreparatursystem	48
	Fremdüberwachung	48
1.8	Durchführung der Instandsetzungsmaßnahme	49
1.8.1	Untergrundvorbereitung	49
	Das Betongefüge an der Oberfläche	49
	Methoden der Untergrundvorbereitung	49
1.8.2	Auffüllen der Fehlstellen	52
	Einsatz zementgebundener Materialien	52
	Arbeitsschritte beim Auffüllen von Fehlstellen	54
	Einsatz reaktionsharzgebundener Materialien	54
1.8.3	Füllen von Rissen	55
	Schließen durch Tränken	56
	Schließen durch Injektion	57
	Abdichtung von Rissen durch Injektion	57
	Dehnfähiges Verbinden von Rissufern	57
	Kraftschlüssiges Verbinden von Rissufern	57
1.9	Betonschutz	57
	Anforderungen an den Betonschutz	57
	Systeme auf Acrylatbasis	59
	Systeme auf anderer Basis	61
	»Elastische« Dichtungsschlämmen als Betonschutz	61
1.10	Spezielle Anwendungsbereiche	61
1.10.1	Brückeninstandsetzung – Anforderungen des Auftraggebers Verkehrsminister (ZTV-SIB 90)	61
	Anwendungsbereich und Abgrenzung	62
	Betonersatzmaterialien	62
	Oberflächenschutzsysteme	63
	Vertrauensschutz für die Behörden	65
1.10.2	Stahlbetoninstandsetzung in der Denkmalpflege	65
	Anforderungen der Denkmalpflege	65
1.10.3	Stahlleichtbetoninstandsetzung	66
1.10.4	Hinweise zur Instandsetzung von Industrieböden und Parkdecks	66
	Anwendungsbereiche und Anforderungen	66
	Beanspruchungsarten	66
1.10.5	Elektrochemischer Chloridentzug	68
1.11	Normen, Richtlinien, Merkblätter	69
	Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (»Rili«)	69
	Sonstige Merkblätter	70
2	Fugen	75
2.1	Einleitung und Abgrenzung	75

2.1.1	Fugenarten	75
	Starre Fugen	75
	Bewegungsfugen	75
2.1.2	Funktion von Fugen	77
2.2	Anforderungen an die Fugenabdichtung	77
2.3	Fugenbänder	77
2.3.1	Arten der Fugenbänder	78
	Dichtprinzipien	78
	Lage und Einbau	80
2.3.2	Werkstoffe für Fugenbänder	80
	Weich-PVC	80
	Fugenbänder aus Kunstkautschuk (SBR), Chloroprenkautschuk oder Nitrilkautschuk	80
	Naturkautschuk versetzt mit hydrophilen Substanzen	81
2.4	Fugendichtstoffe	81
2.4.1	Anwendungsbereich von Fugendichtstoffen	81
2.4.2	Anforderungen an Fugendichtstoffe	81
2.4.3	Werkstoffe	82
	Dichtstoffe auf Dispersionsacrylatbasis	82
	Dichtstoffe auf Polyurethanbasis	83
	Silikonkautschuk	83
	Silikonkautschukklassen	84
	Wasserbasierende Silikondichtstoffe	84
	Polysulfiddichtstoffe	84
	MS-Polymer	84
	Polyisobuten (Polybutylen)	85
	Butylkautschuk	85
	Bitumen/bituminöse Massen	85
	Hybridprodukte	85
2.4.4	Lieferform und Konsistenz	85
2.5	Fugenausbildung	85
2.5.1	Fugenausbildung in Industrieböden	85
2.5.2	Fugenausbildung mit chemikalienbeständigen Fugendichtstoffmassen	86
2.6	Verarbeitung der Dichtmassen	86
	Vorbereiten der Fugen	86
	Hinterfüllmaterial	87
	Mischen, Einfüllen, Glätten	87
	Abglättmittel	87
2.7	Verträglichkeit von Fugendichtungsmassen mit Beschichtungs- stoffen, Überstreichbarkeit	87
	Aufzeichnungen über den Arbeitsablauf	87
2.8	Mängel und Schäden an Fugenabdichtungen	87
2.9	Instandsetzung von Fugen	88
2.9.1	Instandsetzung von defekten Fugenbändern	88
2.9.2	Instandsetzung von Fugen mit Fugendichtungsmassen	88
2.9.3	Instandsetzung mit aufklebbaren Dichtstoffbändern	89
2.9.4	Instandsetzung von Fugen mit wasserquellfähigen Dichtungsmaterialien	90
2.9.5	Sonderlösungen	90
	Instandsetzung von Fugen mit Metallprofilen	90
	Instandsetzung von Fugen, die asbesthaltige Fugenmassen enthalten	91
2.10	Normen, Richtlinien, Merkblätter	92

3	Außenputze	97
3.1	Problemstellung und Abgrenzung	97
3.1.1	Fassadenschutztheorie nach Künzel; Anforderungen an das System Mauerwerk/Putz/Anstrich	97
	Temperaturverhältnisse im Außenputz	98
	Feuchtigkeitsgehalt und Wärmeleitfähigkeit	98
	Fassadenschutztheorie nach Künzel	99
3.1.2	Normsituation	99
3.2	Putz	100
3.2.1	Begriffsbestimmung	100
3.2.2	Putzmörtel	100
3.2.3	Anforderungen an Putze	100
	Anforderungen an den Feuchteschutz	101
3.2.4	Prüfungen von Putzen	103
3.2.5	Ausführung von Putzarbeiten	103
	Putzarten	103
	Putzaufbau	103
3.3	Putze mit besonderen Eigenschaften	103
3.3.1	Wärmedämmputzsysteme	103
3.3.2	Leichtputze	104
	Begriff	104
	Anforderungen	104
	Putzaufbau	104
3.4	Hinweise zur Putzzusammensetzung	104
3.4.1	Kunstharzgebundene Putze	104
	Silikonharzputze	105
3.4.2	Mineralisch gebundene Putze	105
	Kalkgebundene und kalkzementgebundene Putze	105
	Silikatputze	107
	Lehmputze	107
3.5	Putzschäden und ihre Ursachen	108
3.5.1	Putzschäden bei mineralischen Putzen	108
	Putzschäden im Zusammenhang mit dem Putzuntergrund	108
	Schäden im Zusammenhang mit dem Putzsystem	110
	Putzschäden durch Umwelteinflüsse	112
3.5.2	Putzschäden bei Kunstharzputzen	112
3.5.3	Hinweise zur Vermeidung von Putzrissen	113
	Vermeidung von Planungsfehlern	113
	Vermeidung von Verarbeitungsfehlern an Mauerwerk und Putz	114
3.6	Schadensdiagnose und -beschreibung	114
3.6.1	Bestimmung der Putzart	114
	Kunstharzgebundene Putze	114
	Mineralisch gebundene Putze	115
3.6.2	Ermittlung des Schadensbildes	115
	Bestimmung der Rissbreite und der Risstiefe	115
	Bestimmung der Wasseraufnahme des Putzes	115
	Bestimmung der Haftzugfestigkeit (Abreißfestigkeit)	115
	Ermittlung von Hohlstellen	116
	Bestimmung der Carbonatisierungstiefe	116
	Bestimmung der Druckfestigkeit	116
3.7	Sanierung von geschädigten Putzen	116
3.7.1	Instandsetzung kunstharzgebundener Putze	117
	Vorbereitende Maßnahmen	117
	Beschichten	117

3.7.2	Instandsetzung mineralisch gebundener Putze	117
	Vorbereitende Maßnahmen	118
	Putzinstandsetzung	118
3.7.3	Instandsetzung und Restaurierung historischer Putze	121
	Abgrenzung	121
	Sanierungs- und Restaurierungsziele	121
	Vorgehensweise	122
3.8	Normen, Richtlinien, Merkblätter	122
	Normen	122
	Richtlinien	122
	Merkblätter	122
4	Fassadensanierung mit Wärmedämmverbundsystemen	127
4.1	Grundsätzliches zur Anwendung von Wärmedämmverbundsystemen	127
	Schutz der tragenden Konstruktion	127
	Verbesserter Regenschutz	127
	Fassadenrissanierung	127
4.2	Anforderungen an Wärmedämmverbundsysteme	127
4.2.1	Bauphysikalische Anforderungen	127
	Standicherheit	127
	Stoßfestigkeit	128
	Brandschutz	128
	Wärmeschutz	128
	Schallschutz	128
	Feuchte- und Witterungsschutz	128
	Resistenz gegen Verschmutzung	129
	Dauerhaftigkeit	129
	Rissüberbrückungsfähigkeit	129
4.2.2	Anforderungen an den Untergrund	129
4.3	Häufig angewandte Wärmedämmverbundsystem-Konstruktionen ...	129
4.3.1	Geklebte Systeme	130
4.3.2	Polystyrolhartschaumdämmplatten-Klebeverfahren mit mechanischer Befestigung	130
4.3.3	Systeme mit geklebten Mineralfaserlamellenplatten	131
4.3.4	Systeme mit geklebten und gedübelten Mineralfaserdämmplatten	131
4.3.5	Sonderkonstruktionen	131
4.4	Systembestandteile	132
4.4.1	Kleber	132
4.4.2	Dämmplatten	132
4.4.3	Armierungspachtel (Unterputz)	133
4.4.4	Gewebebewehrung	134
4.4.5	Putzsystem (Oberputz)	134
4.5	Häufig auftretende Mängel und Schäden	134
4.6	Ursachen der Mängel und Schäden, Schadensbilder	134
4.6.1	Mangelnde Haftung von Dämmplatten	134
4.6.2	Mangelhaftes Dämmmaterial und Verlegefehler	136
	Schäden mit PS-Platten	136
	Schäden mit Mineralfaserplatten	136
4.6.3	Schäden in der Armierungsschicht (Unterputz)	136
4.6.4	Schäden im Oberputzsystem	137
	Kunstharzdispersionsputze	137

	Silikatputze	138
	Mineralische Putze	138
4.6.5	Schäden im Sockelbereich	139
4.7	Schadensfeststellung, Diagnose und Dokumentation	140
4.7.1	Zerstörungsfreie Methoden	141
4.7.2	Zerstörungsarme Methoden	142
4.7.3	Zerstörende Methoden	142
4.8	Überarbeitungsmöglichkeiten von desolaten Fassaden und gerissenen Wärmedämmverbundsystemen	142
	Überarbeitung von gerissenen Wärmedämmverbundsystemen	143
4.9	Normen, Richtlinien	143
	Richtlinien, Verordnungen	143
5	Fassadenbeschichtungen, Anstrichstoffe auf mineralischen Untergründen	149
5.1	Einleitung	149
5.2	Grundsätzliches zu den Bestandteilen von Anstrichstoffen	149
5.2.1	Bestandteile von Anstrichstoffen	149
	Pigmente	149
	Extender und Füllstoffe	149
	Bindemittel	149
5.2.2	Unterscheidung der Anstrichstoffe nach ihren Bindemitteln	150
	2-K-Silikatfarben	150
	Dispersionssilikatfarben	150
	Dispensionsfarben	151
	Silikonharzfarben	152
	Silikonharzemulsionsfarben	152
	Mikrosilikonharzfarben	152
	Fluorierte Silikonharzfarben	152
	Kalkfarben	152
5.3	Anforderungen an Anstrichstoffe	153
	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke	153
	Wasserdichtigkeit, Wasseraufnahmekoeffizient	154
5.4	Mängel und Schäden; Schadensursachen und Schadensbilder	154
5.4.1	Anstrichschäden	154
	Anstrichschäden bei filmbildenden Anstrichstoffen	154
	Anstrichschäden bei nicht filmbildenden Anstrichstoffen	155
5.4.2	Pilzbewuchs, Algenbefall und Flechten	155
	Pilze und ihre Erscheinungsformen	156
	Algen und deren Erscheinungsformen	156
	Flechten	156
5.5	Schadensdiagnose	156
5.5.1	Identifizierung der Pilze und Algen	157
	Pilze	157
	Algen	157
5.5.2	Bestimmung des Anstrichstofftyps mittels Infrarotspektroskopie	157
5.5.3	Bestimmung der Schichtdicke	158
5.5.4	Bestimmung der Haftung und Haftzugfestigkeit	158
	Klebebandversuch, Gitterschnittprüfung	158
	Haftkraftmesser (Twist-o-meter)	158

5.5.5	Bestimmung der Wasseraufnahme	158
5.6	Sanierung von Fassadenanstrichen	159
5.6.1	Untergrundvorbereitung, Reinigung	159
	Reinigung mittels Dampfstrahlen	159
	Abbeizen	159
	Sandstrahlen	160
5.6.2	Beschichten	160
5.6.3	Maßnahmen gegen Pilz-, Algen- und Flechtenbefall	161
	Reinigung des Untergrundes	162
	Biozide Imprägnierung	162
	Biozide Anstrichstoffe	163
	Hydrophobierung	163
	Verschmutzungsvorbeugung durch porenfüllende Kieselsäure	164
5.7	Antigraffiti	164
5.7.1	Voruntersuchungen	164
	Eigenschaften des Untergrundes	164
	Graffiti-Zusammensetzung	165
5.7.2	Graffitientfernung	165
	Abrasive Methoden	165
	Entfernung mit Reinigungsmitteln	165
	Überstreichen	165
5.7.3	Graffiti-Phylaxe	165
	Permanente Systeme	165
	Semipermanente Systeme	165
	Temporäre Systeme	165
5.7.4	Wirksamkeit der Antigraffitisysteme	166
	Gütegemeinschaft	166
5.8	Normen, Richtlinien	166
6	Mauerwerkssanierung: Mauerentfeuchtung und Entsalzung	171
6.1	Einleitung	171
6.1.1	Porosität von Baustoffen	171
6.1.2	Wasseraufnahmemechanismen	172
6.1.3	Bauschädliche Salze, Entstehung und Schadenswirkung	174
	Schädigende Wirkung der Säuren	174
	Schädigende Wirkung der Salze	174
6.2	Diagnoseverfahren und Diagnosegeräte	176
6.2.1	Ermittlung der Mauerwerksfeuchte	178
	Zerstörungsfreie Methoden	178
	Zerstörende Methoden	179
6.2.2	Salzanalyseverfahren	179
	Ermittlung des pH-Wertes der Salze	179
	Bestimmung der Schadsalze	180
6.2.3	Bestimmung der Mauerwerksbaustoffe	181
6.3	Sanierungsmaßnahmen	181
6.3.1	Horizontalabdichtung	182
	Mechanische Verfahren	182
	Chemische Verfahren, Injektagen	184
6.3.2	Elektrophysikalische Verfahren	187
	Passive Elektro-Osmose	187
	Aktive Elektro-Osmose	187
	Elektrolytische und elektro-phoretische Verfahren; Entsalzungsverfahren	187
6.3.3	Vertikalabdichtung	188

	Außenabdichtung	188
	Innenabdichtung	190
6.3.4	Ergänzende Maßnahmen, Sanierputzsysteme	191
	Kondentrocknung	191
	Salzbehandlung	191
	Sanierputzsysteme	192
6.4	Normen, Merkblätter	196
	Normen	196
	Merkblätter	196
7	Natursteinrestaurierung	201
7.1	Einführung und Abgrenzung	201
	Gestein	201
	Werkstein	201
	Kunststein	201
	Naturstein	201
7.1.1	Natursteine	201
	Mineralien	201
	Gesteine	202
	Die am häufigsten eingesetzten Natursteine	204
7.1.2	Feuchtetransport im porösen Naturstein	204
	Porosität und Gefüge	204
	Feuchtigkeitsaufnahme von Natursteinen	205
7.2	Schadensursachen und Schadensbilder	206
7.2.1	Schadensursachen	206
	Mechanische oder physikalische Verwitterung	206
	Chemische Verwitterung	206
	Biologische Verwitterung	206
	Schädigungen durch falsche Sanierungen	206
7.2.2	Schadensformen und Schadensbilder	207
	Absanden	208
	Krustenbildung	208
	Blättern	208
	Bröckeln	208
	Risse	208
	Ausblühungen	209
	Verwittertes Fugenmaterial	209
	Marmorzuckerbruch	209
7.3	Bestandsaufnahme und Schadensdokumentation	209
7.3.1	Zerstörungsfreie Methoden	210
	Ansichtsaufmaß, Feldpantograph	210
	Fotografie und Fotogrammetrie	210
	Bestimmung der Wasseraufnahme	211
	Bestimmung des Feuchtegehalts	211
	Sonstige Methoden: Impulsradar, Endoskopie, Ultraschall	211
7.3.2	Zerstörende Methoden	212
	Bestimmung der Druckfestigkeit	212
	Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Bohrwiderstandsmessung	212
	Salzsprengtest	213
	Steinidentifizierung (mineralogische und petrographische Untersuchung)	213
	Chemisch-analytische Bestimmung der Schadsalze	214
7.4	Steinrestaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen	214
7.4.1	Reinigung von Natursteinen	214
	Mechanische Verfahren	214

	Physikalische Verfahren, Ultraschall- und Laserreinigung	215
	Chemische Verfahren	216
7.4.2	Weitere Maßnahmen zur Konservierung	217
	Fungizid- und Biozidbehandlung	218
	Steinergänzung	218
	Anbringen von Putzen und Anstrichen	219
	Steinverfestigung	220
	Steinhydrophobierung, Anforderungen	222
	Steinersatz, Verfugung, Abformung	224
7.5	Normen, Richtlinien, Merkblätter	225
8	Holzschutz	231
8.1	Aufbau des Baustoffes Holz	231
8.1.1	Anatomischer Aufbau des Holzes	231
8.1.2	Chemischer Aufbau des Holzes	232
	Zellulose	232
	Polyosen	232
	Lignin	232
	Extraktstoffe	233
	Holzfeuchte	233
	Quellen und Schwinden	233
8.2	Historische Holzschutzmaßnahmen	233
8.3	Konstruktiver Holzschutz	234
8.4	Voraussetzungen der Holzerstörung	234
8.5	Tierische Holzschädlinge	234
8.5.1	Trockenholzinsekten	235
	Der Hausbockkäfer	235
8.5.2	Frischholzinsekten	236
	Die Holzwespe	236
8.5.3	Sonstige Schadinsekten	238
8.6	Pflanzliche Holzschädlinge	238
	Aufbau, Entwicklung und Verbreitung der Pilze	238
	Einteilung der Holzpilze	238
8.6.1	Holz verfärbende Pilze	239
8.6.2	Holz zerstörende Pilze	239
	Der Echte Hausschwamm	240
	Schwämme	241
8.7	Schadensermittlung und Schadensdokumentation	243
8.7.1	Bestimmung der Holzfeuchte	243
	Zerstörungsfreie Methode (elektronisch)	243
	Zerstörende Methode (gravimetrisch)	243
8.7.2	Bestimmung der Luftfeuchtigkeit	243
8.7.3	Bestimmung der Holztemperatur	244
8.7.4	Bohrkernentnahme	244
	Bohrwiderstandsmessung	244
8.7.5	Endoskopie	244
8.7.6	Bestimmung der Pilzart	245
8.7.7	Bestimmung der Schadinsekten	246
8.8	Anforderungen an Holzschutzmittel in der Bundesrepublik Deutschland	247

8.8.1	Hinweise zu den Regelwerken	247
8.8.2	Zulassungspflichtige Holzschutzmittel	247
8.8.3	Holzschutzmittel mit RAL-Gütezeichen	249
8.9	Zur Wirksamkeit von Holzschutzmitteln	250
8.9.1	Wasserlösliche Holzschutzmittel	250
8.9.2	Emulsionen	250
8.9.3	Steinkohlenteeröle	250
8.9.4	Lösemittelhaltige Holzschutzmittel	250
8.10	Maßnahmen und Verfahren zum Holzschutz	251
8.10.1	Bekämpfende Maßnahmen	251
	Physikalische Maßnahmen	251
	Chemische Verfahren	252
8.10.2	Vorbeugende Verfahren (chemische Verfahren)	253
8.11	Hinweise zur Umweltrelevanz, zu Gesundheitsrisiken und zur Entsorgung	254
	Entsorgung von Holzschutzmitteln und von chemisch behandeltem Holz	254
	Entsorgung von Holzschutzmittelresten, Produktionsrückständen und holzschutzmittelkontaminierten Gebinden	254
8.12	Normen, Richtlinien, Merkblätter	255
	Normen	255
	Richtlinien	255
	Merkblätter	255
9	Anhang	261
9.1	Prüfinstitute, Verbände und Organisationen	261
9.1.1	Prüfinstitute	261
	Staatliche Prüfinstitute	261
	Private Prüfinstitute	265
9.1.2	Verbände, Organisationen	266
9.2	Firmenverzeichnisse	273
9.2.1	Herstellung	273
9.2.2	Ausführung	275
9.2.3	Planung/Beratung	275
9.2.4	Handel	275
9.2.5	Postleitzahlenverzeichnis	276
9.3	Lieferantenverzeichnis	280
9.4	Literaturverzeichnis, Bildnachweis	290
9.4.1	Literatur zum Kapitel 1	290
9.4.2	Literatur zum Kapitel 2	291
9.4.3	Literatur zum Kapitel 3	292
9.4.4	Literatur zum Kapitel 4	294
9.4.5	Literatur zum Kapitel 5	294
9.4.6	Literatur zum Kapitel 6	295
9.4.7	Literatur zum Kapitel 7	298
9.4.8	Literatur zum Kapitel 8	301
9.4.9	Bildnachweis	302
9.5	Stichwortverzeichnis	303

Inhalt

1	Schutz und Instandsetzung von Stahlbetonoberflächen	23
1.1	Einleitung und Abgrenzung	23
1.2	Bestandteile von Stahlbeton	23
1.2.1	Zement	23
	Aufbereitung	23
	Brennen	23
	Zementmahlen	23
1.2.2	Anmachwasser, Hydratation der Zementmineralien (Erhärtungsreaktionen)	24
	pH-Wert	26
1.2.3	Zuschlagstoffe	26
1.2.4	Zusatzstoffe	27
1.2.5	Zusatzmittel	27
1.2.6	Bewehrung (Armierung)	27
1.3	Betonarten und Beachtenswertes bei der Herstellung und Verarbeitung	28
1.3.1	Betonarten	28
1.3.2	Wasser-Zement-Wert	28
1.3.3	Nachbehandlung der Betonoberfläche	30
1.3.4	Betonüberdeckung der Bewehrung	30
1.4	Schäden, Schadensursachen und Schadensmechanismen	30
1.4.1	Korrosion infolge der Carbonatisierung	32
1.4.2	Stahlkorrosion durch Chlorideinwirkung	33
1.4.3	Risse im Beton	33
1.4.4	Unzureichende Betondeckung über der Bewehrung	33
1.4.5	Weitere Schadensursachen	34
	Durchfeuchtung, mangelnder Wasserablauf, biologischer Angriff	34
1.5	Schadensdokumentation	34
1.5.1	Erhebungen zur Vorgeschichte	35
1.5.2	Untersuchungen am Bauwerk	36
1.5.3	Visuelle Kontrolle	36
1.6	Schadensdiagnose, Diagnoseverfahren und Diagnosegeräte	36
1.6.1	Zerstörungsfreie Methoden	36
	Ermittlung der Betongüte	37
	Überprüfung auf Hohlstellen im Beton (Prüfhammer, Drahtschlaufe)	37
	Prüfung der Oberflächendruckfestigkeit (Rückprallhammer nach Schmidt)	37
	Ermittlung der Betonüberdeckung der Bewehrung	38
1.6.2	Zerstörende Methoden	38
	Ermittlung der Druckfestigkeit und des Gefüges	38
	Ermittlung der Abreißfestigkeit und der Haftzugfestigkeit	39

	Ermittlung der Carbonatisierungstiefe	40
	Ermittlung des Feuchtegehaltes	41
1.6.3	Rissbreite und Risstiefe	42
	Mikrorisse	42
	Makrorisse	43
1.6.4	Schadstoffanalyse durch Chloridnachweis	43
	Zerstörendes Verfahren	43
	Zerstörungsfreies Verfahren (indirekter Chloridnachweis)	44
1.6.5	Temperaturmessung	44
1.7	Stahlbetonoberflächeninstandsetzung	44
1.7.1	Allgemeines und Abgrenzung	44
1.7.2	Vier Grundprinzipien des Korrosionsschutzes	45
	Prinzip R – Realkalisierung	45
	Prinzip W – Begrenzung des Wassergehaltes im Beton	45
	Prinzip C – Bewehrungsbeschichtung	45
	Prinzip K – Kathodischer Korrosionsschutz	46
1.7.3	Anforderungen an ein Betoninstandsetzungssystem ohne tragende Funktion	46
	Oberflächenzugfestigkeit (Haftzugfestigkeit)	47
	Druckfestigkeit	47
	Biegezugfestigkeit	47
	Schwindmaß	48
	Elastizitätsmodul	48
	Linearer Temperaturdehnkoeffizient	48
	Mörtelverhalten an Reparaturstellen	48
	Gesamtreparatursystem	48
	Fremdüberwachung	48
1.8	Durchführung der Instandsetzungsmaßnahme	49
1.8.1	Untergrundvorbereitung	49
	Das Betongefüge an der Oberfläche	49
	Methoden der Untergrundvorbereitung	49
1.8.2	Auffüllen der Fehlstellen	52
	Einsatz zementgebundener Materialien	52
	Arbeitsschritte beim Auffüllen von Fehlstellen	54
	Einsatz reaktionsharzgebundener Materialien	54
1.8.3	Füllen von Rissen	55
	Schließen durch Tränken	56
	Schließen durch Injektion	57
	Abdichtung von Rissen durch Injektion	57
	Dehnfähiges Verbinden von Rissufern	57
	Kraftschlüssiges Verbinden von Rissufern	57
1.9	Betonschutz	57
	Anforderungen an den Betonschutz	57
	Systeme auf Acrylatbasis	59
	Systeme auf anderer Basis	61
	»Elastische« Dichtungsschlämmen als Betonschutz	61
1.10	Spezielle Anwendungsbereiche	61
1.10.1	Brückeninstandsetzung – Anforderungen des Auftraggebers Verkehrsminister (ZTV-SIB 90)	61
	Anwendungsbereich und Abgrenzung	62
	Betonersatzmaterialien	62
	Oberflächenschutzsysteme	63
	Vertrauensschutz für die Behörden	65
1.10.2	Stahlbetoninstandsetzung in der Denkmalpflege	65
	Anforderungen der Denkmalpflege	65
1.10.3	Stahlleichtbetoninstandsetzung	66

1.10.4	Hinweise zur Instandsetzung von Industrieböden und Parkdecks	66
	Anwendungsbereiche und Anforderungen	66
	Beanspruchungsarten	66
1.10.5	Elektrochemischer Chloridentzug	68
1.11	Normen, Richtlinien, Merkblätter	69
	Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (»Rili«)	69
	Sonstige Merkblätter	70

Inhalt

2	Fugen	75
2.1	Einleitung und Abgrenzung	75
2.1.1	Fugenarten	75
	Starre Fugen	75
	Bewegungsfugen	75
2.1.2	Funktion von Fugen	77
2.2	Anforderungen an die Fugenabdichtung	77
2.3	Fugenbänder	77
2.3.1	Arten der Fugenbänder	78
	Dichtprinzipien	78
	Lage und Einbau	80
2.3.2	Werkstoffe für Fugenbänder	80
	Weich-PVC	80
	Fugenbänder aus Kunstkautschuk (SBR), Chloroprenkautschuk oder Nitrilkautschuk	80
	Naturkautschuk versetzt mit hydrophilen Substanzen	81
2.4	Fugendichtstoffe	81
2.4.1	Anwendungsbereich von Fugendichtstoffen	81
2.4.2	Anforderungen an Fugendichtstoffe	81
2.4.3	Werkstoffe	82
	Dichtstoffe auf Dispersionsacrylatbasis	82
	Dichtstoffe auf Polyurethanbasis	83
	Silikonkautschuk	83
	Silikonkautschukklassen	84
	Wasserbasierende Silikondichtstoffe	84
	Polysulfiddichtstoffe	84
	MS-Polymer	84
	Polyisobuten (Polybutylen)	85
	Butylkautschuk	85
	Bitumen/bituminöse Massen	85
	Hybridprodukte	85
2.4.4	Lieferform und Konsistenz	85
2.5	Fugenausbildung	85
2.5.1	Fugenausbildung in Industrieböden	85
2.5.2	Fugenausbildung mit chemikalienbeständigen Fugendichtstoffmassen	86
2.6	Verarbeitung der Dichtmassen	86
	Vorbereiten der Fugen	86
	Hinterfüllmaterial	87
	Mischen, Einfüllen, Glätten	87
	Abglättmittel	87

2.7	Verträglichkeit von Fugendichtungsmassen mit Beschichtungsstoffen, Überstreichbarkeit	87
	Aufzeichnungen über den Arbeitsablauf	87
2.8	Mängel und Schäden an Fugenabdichtungen	87
2.9	Instandsetzung von Fugen	88
2.9.1	Instandsetzung von defekten Fugenbändern	88
2.9.2	Instandsetzung von Fugen mit Fugendichtungsmassen	88
2.9.3	Instandsetzung mit aufklebbaren Dichtstoffbändern	89
2.9.4	Instandsetzung von Fugen mit wasserquellfähigen Dichtungsmaterialien	90
2.9.5	Sonderlösungen	90
	Instandsetzung von Fugen mit Metallprofilen	90
	Instandsetzung von Fugen, die asbesthaltige Fugenmassen enthalten	91
2.10	Normen, Richtlinien, Merkblätter	92

Inhalt

3	Außenputze	97
3.1	Problemstellung und Abgrenzung	97
3.1.1	Fassadenschutztheorie nach Künzel; Anforderungen an das System	
	Mauerwerk/Putz/Anstrich	97
	Temperaturverhältnisse im Außenputz	98
	Feuchtigkeitsgehalt und Wärmeleitfähigkeit	98
	Fassadenschutztheorie nach Künzel	99
3.1.2	Normsituation	99
3.2	Putz	100
3.2.1	Begriffsbestimmung	100
3.2.2	Putzmörtel	100
3.2.3	Anforderungen an Putze	100
	Anforderungen an den Feuchteschutz	101
3.2.4	Prüfungen von Putzen	103
3.2.5	Ausführung von Putzarbeiten	103
	Putzarten	103
	Putzaufbau	103
3.3	Putze mit besonderen Eigenschaften	103
3.3.1	Wärmedämmputzsysteme	103
3.3.2	Leichtputze	104
	Begriff	104
	Anforderungen	104
	Putzaufbau	104
3.4	Hinweise zur Putzzusammensetzung	104
3.4.1	Kunstharzgebundene Putze	104
	Silikonharzputze	105
3.4.2	Mineralisch gebundene Putze	105
	Kalkgebundene und kalkzementgebundene Putze	105
	Silikatputze	107
	Lehmputze	107
3.5	Putzschäden und ihre Ursachen	108
3.5.1	Putzschäden bei mineralischen Putzen	108
	Putzschäden im Zusammenhang mit dem Putzuntergrund	108
	Schäden im Zusammenhang mit dem Putzsystem	110
	Putzschäden durch Umwelteinflüsse	112
3.5.2	Putzschäden bei Kunstharzputzen	112
3.5.3	Hinweise zur Vermeidung von Putzrissen	113
	Vermeidung von Planungsfehlern	113
	Vermeidung von Verarbeitungsfehlern an Mauerwerk und Putz	114

3.6	Schadensdiagnose und -beschreibung	114
3.6.1	Bestimmung der Putzart	114
	Kunstharzgebundene Putze	114
	Mineralisch gebundene Putze	115
3.6.2	Ermittlung des Schadensbildes	115
	Bestimmung der Rissbreite und der Ristiefe	115
	Bestimmung der Wasseraufnahme des Putzes	115
	Bestimmung der Haftzugfestigkeit (Abreißfestigkeit)	115
	Ermittlung von Hohlstellen	116
	Bestimmung der Carbonatisierungstiefe	116
	Bestimmung der Druckfestigkeit	116
3.7	Sanierung von geschädigten Putzen	116
3.7.1	Instandsetzung kunstharzgebundener Putze	117
	Vorbereitende Maßnahmen	117
	Beschichten	117
3.7.2	Instandsetzung mineralisch gebundener Putze	117
	Vorbereitende Maßnahmen	118
	Putzinstandsetzung	118
3.7.3	Instandsetzung und Restaurierung historischer Putze	121
	Abgrenzung	121
	Sanierungs- und Restaurierungsziele	121
	Vorgehensweise	122
3.8	Normen, Richtlinien, Merkblätter	122
	Normen	122
	Richtlinien	122
	Merkblätter	122

Inhalt

4	Fassadensanierung mit Wärmedämmverbundsystemen	127
4.1	Grundsätzliches zur Anwendung von Wärmedämmverbundsystemen	127
	Schutz der tragenden Konstruktion	127
	Verbesserter Regenschutz	127
	Fassadenrissanierung	127
4.2	Anforderungen an Wärmedämmverbundsysteme	127
4.2.1	Bauphysikalische Anforderungen	127
	Standsicherheit	127
	Stoßfestigkeit	128
	Brandschutz	128
	Wärmeschutz	128
	Schallschutz	128
	Feuchte- und Witterungsschutz	128
	Resistenz gegen Verschmutzung	129
	Dauerhaftigkeit	129
	Rissüberbrückungsfähigkeit	129
4.2.2	Anforderungen an den Untergrund	129
4.3	Häufig angewandte Wärmedämmverbundsystem-Konstruktionen ...	129
4.3.1	Geklebte Systeme	130
4.3.2	Polystyrolhartschaumdämmplatten-Klebeverfahren mit mechanischer Befestigung	130
4.3.3	Systeme mit geklebten Mineralfaserlamellenplatten	131
4.3.4	Systeme mit geklebten und gedübelten Mineralfaserdämmplatten	131
4.3.5	Sonderkonstruktionen	131
4.4	Systembestandteile	132
4.4.1	Kleber	132
4.4.2	Dämmplatten	132
4.4.3	Armierungsspachtel (Unterputz)	133
4.4.4	Gewebebewehrung	134
4.4.5	Putzsystem (Oberputz)	134
4.5	Häufig auftretende Mängel und Schäden	134
4.6	Ursachen der Mängel und Schäden, Schadensbilder	134
4.6.1	Mangelnde Haftung von Dämmplatten	134
4.6.2	Mangelhaftes Dämmmaterial und Verlegefehler	136
	Schäden mit PS-Platten	136
	Schäden mit Mineralfaserplatten	136
4.6.3	Schäden in der Armierungsschicht (Unterputz)	136
4.6.4	Schäden im Oberputzsystem	137
	Kunstharzdispersionsputze	137
	Silikatputze	138

	Mineralische Putze	138
4.6.5	Schäden im Sockelbereich	139
4.7	Schadensfeststellung, Diagnose und Dokumentation	140
4.7.1	Zerstörungsfreie Methoden	141
4.7.2	Zerstörungsarme Methoden	142
4.7.3	Zerstörende Methoden	142
4.8	Überarbeitungsmöglichkeiten von desolaten Fassaden und gerissenen Wärmedämmverbundsystemen	142
	Überarbeitung von gerissenen Wärmedämmverbundsystemen	143
4.9	Normen, Richtlinien	143
	Richtlinien, Verordnungen	143

Inhalt

5	Fassadenbeschichtungen, Anstrichstoffe auf mineralischen Untergründen	149
5.1	Einleitung	149
5.2	Grundsätzliches zu den Bestandteilen von Anstrichstoffen	149
5.2.1	Bestandteile von Anstrichstoffen	149
	Pigmente	149
	Extender und Füllstoffe	149
	Bindemittel	149
5.2.2	Unterscheidung der Anstrichstoffe nach ihren Bindemitteln	150
	2-K-Silikatfarben	150
	Dispersionssilikatfarben	150
	Dispersionsfarben	151
	Silikonharzfarben	152
	Silikonharzemulsionsfarben	152
	Mikrosilikonharzfarben	152
	Fluorierte Silikonharzfarben	152
	Kalkfarben	152
5.3	Anforderungen an Anstrichstoffe	153
	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke	153
	Wasserdichtigkeit, Wasseraufnahmekoeffizient	154
5.4	Mängel und Schäden; Schadensursachen und Schadensbilder	154
5.4.1	Anstrichschäden	154
	Anstrichschäden bei filmbildenden Anstrichstoffen	154
	Anstrichschäden bei nicht filmbildenden Anstrichstoffen	155
5.4.2	Pilzbewuchs, Algenbefall und Flechten	155
	Pilze und ihre Erscheinungsformen	156
	Algen und deren Erscheinungsformen	156
	Flechten	156
5.5	Schadensdiagnose	156
5.5.1	Identifizierung der Pilze und Algen	157
	Pilze	157
	Algen	157
5.5.2	Bestimmung des Anstrichstofftyps mittels Infrarotspektroskopie	157
5.5.3	Bestimmung der Schichtdicke	158
5.5.4	Bestimmung der Haftung und Haftzugfestigkeit	158
	Klebebandversuch, Gitterschnittprüfung	158
	Haftkraftmesser (Twist-o-meter)	158
5.5.5	Bestimmung der Wasseraufnahme	158
5.6	Sanierung von Fassadenanstrichen	159
5.6.1	Untergrundvorbereitung, Reinigung	159

	Reinigung mittels Dampfstrahlen	159
	Abbeizen	159
	Sandstrahlen	160
5.6.2	Beschichten	160
5.6.3	Maßnahmen gegen Pilz-, Algen- und Flechtenbefall	161
	Reinigung des Untergrundes	162
	Biozide Imprägnierung	162
	Biozide Anstrichstoffe	163
	Hydrophobierung	163
	Verschmutzungsvorbeugung durch porenfüllende Kieselsäure	164
5.7	Antigraffiti	164
5.7.1	Voruntersuchungen	164
	Eigenschaften des Untergrundes	164
	Graffiti-Zusammensetzung	165
5.7.2	Graffitientfernung	165
	Abrasivemethoden	165
	Entfernung mit Reinigungsmitteln	165
	Überstreichen	165
5.7.3	Graffitiprophylaxe	165
	Permanente Systeme	165
	Semipermanente Systeme	165
	Temporäre Systeme	165
5.7.4	Wirksamkeit der Antigraffitisysteme	166
	Gütegemeinschaft	166
5.8	Normen, Richtlinien	166

Inhalt

6	Mauerwerkssanierung: Mauerentfeuchtung und Entsalzung	171
6.1	Einleitung	171
6.1.1	Porosität von Baustoffen	171
6.1.2	Wasseraufnahmemechanismen	172
6.1.3	Bauschädliche Salze, Entstehung und Schadenswirkung	174
	Schädigende Wirkung der Säuren	174
	Schädigende Wirkung der Salze	174
6.2	Diagnoseverfahren und Diagnosegeräte	176
6.2.1	Ermittlung der Mauerwerksfeuchte	178
	Zerstörungsfreie Methoden	178
	Zerstörende Methoden	179
6.2.2	Salzanalyseverfahren	179
	Ermittlung des pH-Wertes der Salze	179
	Bestimmung der Schadsalze	180
6.2.3	Bestimmung der Mauerwerksbaustoffe	181
6.3	Sanierungsmaßnahmen	181
6.3.1	Horizontalabdichtung	182
	Mechanische Verfahren	182
	Chemische Verfahren, Injektagen	184
6.3.2	Elektrophysikalische Verfahren	187
	Passive Elektro-Osmose	187
	Aktive Elektro-Osmose	187
	Elektrolytische und elektrophoretische Verfahren; Entsalzungsverfahren	187
6.3.3	Vertikalabdichtung	188
	Außenabdichtung	188
	Innenabdichtung	190
6.3.4	Ergänzende Maßnahmen, Sanierputzsysteme	191
	Kondenstrocknung	191
	Salzbehandlung	191
	Sanierputzsysteme	192
6.4	Normen, Merkblätter	196
	Normen	196
	Merkblätter	196

Inhalt

7	Natursteinrestaurierung	201
7.1	Einführung und Abgrenzung	201
	Gestein	201
	Werkstein	201
	Kunststein	201
	Naturstein	201
7.1.1	Natursteine	201
	Mineralien	201
	Gesteine	202
	Die am häufigsten eingesetzten Natursteine	204
7.1.2	Feuchtetransport im porösen Naturstein	204
	Porosität und Gefüge	204
	Feuchtigkeitsaufnahme von Natursteinen	205
7.2	Schadensursachen und Schadensbilder	206
7.2.1	Schadensursachen	206
	Mechanische oder physikalische Verwitterung	206
	Chemische Verwitterung	206
	Biologische Verwitterung	206
	Schädigungen durch falsche Sanierungen	206
7.2.2	Schadensformen und Schadensbilder	207
	Absanden	208
	Krustenbildung	208
	Blättern	208
	Bröckeln	208
	Risse	208
	Ausblühungen	209
	Verwittertes Fugenmaterial	209
	Marmorzuckerbruch	209
7.3	Bestandsaufnahme und Schadensdokumentation	209
7.3.1	Zerstörungsfreie Methoden	210
	Ansichtsaufmaß, Feldpantograph	210
	Fotografie und Fotogrammetrie	210
	Bestimmung der Wasseraufnahme	211
	Bestimmung des Feuchtegehalts	211
	Sonstige Methoden: Impulsradar, Endoskopie, Ultraschall	211
7.3.2	Zerstörende Methoden	212
	Bestimmung der Druckfestigkeit	212
	Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Bohrwiderstandsmessung	212
	Salzsprengtest	213
	Steinidentifizierung (mineralogische und petrographische Untersuchung) ...	213
	Chemisch-analytische Bestimmung der Schadsalze	214
7.4	Steinrestaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen	214
7.4.1	Reinigung von Natursteinen	214

	Mechanische Verfahren	214
	Physikalische Verfahren, Ultraschall- und Laserreinigung	215
	Chemische Verfahren	216
7.4.2	Weitere Maßnahmen zur Konservierung	217
	Fungizid- und Biozidbehandlung	218
	Steinergänzung	218
	Anbringen von Putzen und Anstrichen	219
	Steinverfestigung	220
	Steinhydrophobierung, Anforderungen	222
	Steinersatz, Verfugung, Abformung	224
7.5	Normen, Richtlinien, Merkblätter	225

Inhalt

8	Holzschutz	231
8.1	Aufbau des Baustoffes Holz	231
8.1.1	Anatomischer Aufbau des Holzes	231
8.1.2	Chemischer Aufbau des Holzes	232
	Zellulose	232
	Polyosen	232
	Lignin	232
	Extraktstoffe	233
	Holzfeuchte	233
	Quellen und Schwinden	233
8.2	Historische Holzschutzmaßnahmen	233
8.3	Konstruktiver Holzschutz	234
8.4	Voraussetzungen der Holzzerstörung	234
8.5	Tierische Holzschädlinge	234
8.5.1	Trockenholzinsekten	235
	Der Hausbockkäfer	235
8.5.2	Frischholzinsekten	236
	Die Holzwespe	236
8.5.3	Sonstige Schadinsekten	238
8.6	Pflanzliche Holzschädlinge	238
	Aufbau, Entwicklung und Verbreitung der Pilze	238
	Einteilung der Holzpilze	238
8.6.1	Holz verfärbende Pilze	239
8.6.2	Holz zerstörende Pilze	239
	Der Echte Hausschwamm	240
	Schwämme	241
8.7	Schadensermittlung und Schadensdokumentation	243
8.7.1	Bestimmung der Holzfeuchte	243
	Zerstörungsfreie Methode (elektronisch)	243
	Zerstörende Methode (gravimetrisch)	243
8.7.2	Bestimmung der Luftfeuchtigkeit	243
8.7.3	Bestimmung der Holztemperatur	244
8.7.4	Bohrkernentnahme	244
	Bohrwiderstandsmessung	244
8.7.5	Endoskopie	244
8.7.6	Bestimmung der Pilzart	245
8.7.7	Bestimmung der Schadinsekten	246

8.8	Anforderungen an Holzschutzmittel in der Bundesrepublik Deutschland	247
8.8.1	Hinweise zu den Regelwerken	247
8.8.2	Zulassungspflichtige Holzschutzmittel	247
8.8.3	Holzschutzmittel mit RAL-Gütezeichen	249
8.9	Zur Wirksamkeit von Holzschutzmitteln	250
8.9.1	Wasserlösliche Holzschutzmittel	250
8.9.2	Emulsionen	250
8.9.3	Steinkohlenteeröle	250
8.9.4	Lösemittelhaltige Holzschutzmittel	250
8.10	Maßnahmen und Verfahren zum Holzschutz	251
8.10.1	Bekämpfende Maßnahmen	251
	Physikalische Maßnahmen	251
	Chemische Verfahren	252
8.10.2	Vorbeugende Verfahren (chemische Verfahren)	253
8.11	Hinweise zur Umweltrelevanz, zu Gesundheitsrisiken und zur Entsorgung	254
	Entsorgung von Holzschutzmitteln und von chemisch behandeltem Holz	254
	Entsorgung von Holzschutzmittelresten, Produktionsrückständen und holzschutzmittelkontaminierten Gebinden	254
8.12	Normen, Richtlinien, Merkblätter	255
	Normen	255
	Richtlinien	255
	Merkblätter	255

Inhalt

9	Anhang	261
9.1	Prüfinstitute, Verbände und Organisationen	261
9.1.1	Prüfinstitute	261
	Staatliche Prüfinstitute	261
	Private Prüfinstitute	265
9.1.2	Verbände, Organisationen	266
9.2	Firmenverzeichnisse	273
9.2.1	Herstellung	273
9.2.2	Ausführung	275
9.2.3	Planung/Beratung	275
9.2.4	Handel	275
9.2.5	Postleitzahlenverzeichnis	276
9.3	Lieferantenverzeichnis	280
9.4	Literaturverzeichnis, Bildnachweis	290
9.4.1	Literatur zum Kapitel 1	290
9.4.2	Literatur zum Kapitel 2	291
9.4.3	Literatur zum Kapitel 3	292
9.4.4	Literatur zum Kapitel 4	294
9.4.5	Literatur zum Kapitel 5	294
9.4.6	Literatur zum Kapitel 6	295
9.4.7	Literatur zum Kapitel 7	298
9.4.8	Literatur zum Kapitel 8	301
9.4.9	Bildnachweis	302
9.5	Stichwortverzeichnis	303