

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	v
Über den Autor	xv
1	Verbindungsmittel in der Befestigungstechnik 1
1.1	Notwendigkeit eines Korrosionsschutzes 1
1.2	Häufig angewendete Verbindungsmittel 4
1.2.1	Holzschrauben 4
1.2.2	Metallbauschrauben 7
1.2.3	Bohrschrauben (Blechbohrschrauben) 9
1.2.4	Dübel 11
1.2.5	Anbauteile 16
	Literatur 18
2	Korrosionsbeanspruchung von Verbindungsmitteln und Anbauteilen (mit Schwerpunkt Außenbereich) 21
2.1	Einflüsse auf die atmosphärische Korrosion mit Bewitterung 21
2.1.1	Klima 22
2.1.2	Schadgase 24
2.1.3	Feststoffe 25
2.1.4	Gesamtbewertung einer Korrosionsbeanspruchung durch Schadstoffe 28
2.2	Einflüsse auf die atmosphärische Korrosion ohne direkte Bewitterung 29
2.2.1	Tauwasserbildung 29
2.2.2	Hygroskopisch reagierende Salze 31
2.2.3	Chloridbelastung in Meeresatmosphäre 32
2.2.4	Chloridbelastung durch Tausalz 34
2.3	Korrosion bei Kontakt mit Baustoffen 35
2.3.1	Voraussetzungen für eine Metallkorrosion infolge Baustoffkontakt 35
2.3.2	Kontakt mit Holz, Korrosionsbeanspruchung von Holzschrauben 36
2.3.2.1	Feuchte von Holzbauteilen im nicht bewitterten und bewitterten Außenbereich 37

- 2.3.2.2 Korrosionsbeanspruchung durch Holzinhaltstoffe 40
- 2.3.2.3 Einflüsse aus dem Holzschutz 41
- 2.3.2.4 Eindringen von Chloriden in Holz 41
- 2.3.3 Kontakt mit Wärmedämmstoffen 44
- 2.3.4 Kontakt mit Beton 45
- 2.4 Korrosionsverhältnisse bei Außenwänden von Gebäuden 45
- 2.4.1 Feuchte in der Wand von raumabschließenden einschaligen Außenwänden 45
- 2.4.2 Korrosionsverhältnisse bei hinterlüfteten Außenwandbekleidungen (hinterlüfteten Fassaden) 49
- 2.4.2.1 Aufbau und Wirkungsweise von hinterlüfteten Fassaden 49
- 2.4.2.2 Korrosionsbeanspruchung der Verbindungsmittel und Anbauteile (Übersicht) 51
- 2.4.2.3 Korrosionsbeanspruchung in der Atmosphäre des Hinterlüftungsbereiches 51
- 2.4.2.4 Korrosionsbeanspruchung im Hinterlüftungsbereich bei Kontakt mit Holz 54
- 2.4.3 Korrosionsbeanspruchung von in Beton gesetzten Spreizdübeln 55
- 2.4.3.1 Einbausituation 55
- 2.4.3.2 Kontakt mit der Bohrlochwandung 56
- 2.4.3.3 Kontakt mit der Bohrlochatmosfera 59
- 2.4.3.4 Chloride im Bohrloch von Spreizdübeln 63
- 2.4.4 Korrosionsbeanspruchung von in Beton eingesetzten Kunststoffrahmendübeln 64
- 2.4.4.1 Einbausituation 64
- 2.4.4.2 Korrosionsbeanspruchung durch Feuchte in der Dübelhülse 65
- 2.5 Kontakt mit Böden 66
- 2.5.1 Mechanismus der Bodenkorrosion und wesentliche Einflussgrößen 66
- 2.5.2 Bodenarten 67
- 2.5.3 Korrosivität von Böden 68
- 2.5.4 Einflüsse auf den spezifischen Bodenwiderstand 69
- 2.5.4.1 Bodenart 70
- 2.5.4.2 Wassergehalt 71
- 2.5.4.3 Temperatur 71
- 2.5.4.4 Salzgehalt 71
- 2.5.4.5 pH-Wert 71
- 2.6 Regelwerke die Korrosionsbeanspruchung betreffend 72
- 2.6.1 Verbindungsmittel bei atmosphärischer Belastung (DIN EN ISO 9223, DIN EN ISO 12944) 72
- 2.6.2 Verbindungsmittel im Kontakt mit Holz (DIN EN 1995, DIN EN 14592) 76
- Literatur 78

3	Metallische Überzüge für Verbindungsmittel und Anbauteile aus Stahl (Herstellung, Gebrauchseigenschaften)	81
3.1	Metallische Überzüge auf Zinkbasis für den Korrosionsschutz	81
3.1.1	Überzüge auf Verbindungsmitteln (Trommelware)	82
3.1.2	Überzüge auf Anbauteilen	83
3.1.3	Anforderungen an metallische Überzüge	85
3.2	Feuerverzinkte Verbindungsmittel und Anbauteile	86
3.2.1	Verfahren der Schmelztauchverzinkung	86
3.2.2	Herstellung, Überzugsdicke	87
3.2.3	Möglichkeit einer Wasserstoffaufnahme beim Stahl	90
3.2.4	Anwendungstechnische Eigenschaften	90
3.3	Verbindungsmittel mit elektrolytisch abgeschiedenen Zink- und Zink-Nickel-Überzügen	91
3.3.1	Herstellung, Überzugsdicke	91
3.3.1.1	Elektrolytische (galvanische) Verfahren	91
3.3.1.2	Chromatierung	93
3.3.1.3	Deckbeschichtung (Topcoat)	94
3.3.2	Möglichkeit einer Wasserstoffaufnahme beim Stahl	95
3.3.3	Anwendungstechnische Eigenschaften	95
3.4	Spritzmetallüberzüge aus Reinzink und Zn85Al15 auf Anbauteilen	97
3.4.1	Applikation des Überzuges	97
3.4.2	Überzugsdicke bei Spritzverzinkungen mit zusätzlicher Beschichtung	99
3.5	Verbindungsmittel mit Zink-Aluminium-Lamellenüberzügen	99
3.5.1	Details zu den Überzügen	99
3.5.2	Vorbehandlung, Herstellung und Überzugsdicke	100
3.5.3	Möglichkeit einer Wasserstoffaufnahme beim Stahl	103
3.5.4	Anwendungstechnische Eigenschaften	104
3.6	Anbauteile mit Zink-Aluminium-Überzügen	104
3.6.1	Warum Galfan und Galvalume?	104
3.6.2	Details zu den Überzügen	105
3.6.3	Möglichkeit einer Wasserstoffaufnahme beim Stahl	106
3.6.4	Anwendungstechnische Eigenschaften	106
3.7	Anbauteile mit Zink-Aluminium-Magnesium-Überzügen	107
3.7.1	Details zu den Überzügen	107
3.7.2	Möglichkeit einer Wasserstoffaufnahme beim Stahl	109
3.7.3	Anwendungstechnische Eigenschaften	109
3.8	Metallische Überzüge aus Aluminium (Aluminieren)	110
3.8.1	Schmelztauchaluminieren	110
3.8.2	Thermisches Spritzen mit Aluminium (Spritzaluminierung)	111
3.8.3	Galvanisch applizierte Aluminiumüberzüge	113
3.8.4	Duplexsysteme	114
	Literatur	114

4	Anbauteile aus Titanzink	119
4.1	Anwendungseigenschaften	119
4.2	Aufgabe von Abdeckungen aus Titanzink	121
4.3	Aufbau und Eigenschaften von Dachkonstruktionen mit Titanzinkabdeckung	122
4.3.1	Konstruktive Details	122
4.3.2	Belüftetes (hinterlüftetes) Dach (Kaltdach)	124
4.3.3	Unbelüftetes Dach (Warmdach)	125
4.3.4	Weitere Details zur Ausführung von Titanzink-Dächern	126
4.4	Schadensfälle bei Abdeckungen aus Titanzink	128
4.4.1	Ursache von Schäden	128
4.4.2	Schaden wegen fehlerhafter Befestigung auf dem tragenden Untergrund	130
4.4.3	Korrosionsbedingte Dachperforation durch Einschluss von Wasser bei der Errichtung des Daches	134
4.4.4	Korrosionsbedingte Dachperforation durch fehlerhafte Anschlüsse der Titanzinkbleche an der aufgehenden Hauswand	136
	Literatur	139
5	Korrosionsschutz- und Korrosionsmechanismen (Beispiele)	141
5.1	Wichtige Begriffe der Metallkorrosion	141
5.2	Korrosionsschutzmechanismen metallischer Überzüge auf Zinkbasis	142
5.2.1	Passiver Korrosionsschutz	142
5.2.2	Passivierung und Deckbeschichtung	143
5.2.3	Aktiver Korrosionsschutz (kathodischer Korrosionsschutz)	143
5.3	Bimetallkorrosion	149
5.3.1	Beschreibung der Korrosionsart	149
5.3.2	Einflüsse auf die Bimetallkorrosion	150
5.3.3	Beispiele für Bimetallkorrosion von Aluminium	155
5.3.4	Beispiel für Bimetallkorrosion von Zinküberzügen auf Stahl	163
	Literatur	164
6	Korrosionsverhalten von Stahl, verzinktem Stahl und Titanzink in der Außenatmosphäre und bei berührendem Kontakt mit Baustoffen	167
6.1	Korrosion von unlegiertem und niedriglegiertem Stahl	167
6.2	Korrosion von Zinküberzügen und Titanzink	168
6.2.1	Schutzmechanismus	168
6.2.2	Atmosphärische Korrosion	169
6.3	Korrosionsschutzverhalten von thermisch gespritzten Überzügen auf Zinkbasis im Vergleich zu feuerverzinkten Überzügen	177
6.4	Verzinkte Stähle in der Atmosphäre von Hallenbädern	180

- 6.5 Korrosion von verzinktem Stahl im Kontakt mit Holz 187
- 6.6 Korrosionsschutzverhalten von metallischen Überzügen auf Zinkbasis auf Holzschrauben bei Auslagerung in Stadt- und Meeresatmosphäre 196
 - 6.6.1 Erläuterung durchgeführter Untersuchungen 196
 - 6.6.2 Einfluss von Holzart und Umgebung 199
 - 6.6.3 Korrosionsschutzverhalten von Reinzinküberzügen im Vergleich zu legierten Zinküberzügen und nichtrostendem Stahl bei Kontakt mit Holz 206
 - 6.6.4 Korrosionsschutzverhalten verschiedener Baumetalle bei Kontakt mit Holz 208
- 6.7 Korrosion von Zinküberzügen bei Kontakt mit Wärmedämmstoffen 209
- 6.8 Korrosion von Zinküberzügen bei Kontakt mit Beton 209
- 6.9 Korrosionsschutzverhalten von metallischen Überzügen auf Zinkbasis auf Spreizdübeln bei Bauteilen in Stadt- und Meeresatmosphäre 217
 - 6.9.1 Erläuterung durchgeführter Versuche 217
 - 6.9.2 Einfluss der Einbausituation und Umgebung auf die Korrosion 219
 - 6.9.3 Korrosionsschutzverhalten von Reinzink im Vergleich zu legierten Zinküberzügen und nichtrostendem Stahl 225
- 6.10 Korrosion von Stahl und verzinktem Stahl bei Kontakt mit Gipsprodukten 228
- 6.11 Korrosion von Stahl und verzinktem Stahl bei Kontakt mit Böden 228
- 6.12 Regelwerk für die Anwendung verzinkter Stähle in der Bautechnik 232
- 6.13 Mögliche (spezielle) Probleme bei verzinkten hochfesten Stählen 234
 - 6.13.1 Einführung in die Problematik 234
 - 6.13.2 Wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion 235
 - 6.13.3 Korrosionsbedingte Schadensfälle an hochfesten verzinkten Bauteilen 241
Literatur 243
- 7 Korrosionsschutzverhalten von Zink-Nickel-Überzügen 247**
 - 7.1 Korrosion in der Atmosphäre 247
 - 7.1.1 Schutzmechanismus 247
 - 7.1.2 Einflüsse auf die Korrosion von ZnNi-Überzügen 250
 - 7.1.3 Korrosionsgeschwindigkeit von ZnNi-Überzügen in der Atmosphäre 252
 - 7.2 Auslagerungsversuche in Meeresatmosphäre und vergleichende Salzsprühtests an Verbindungsmitteln mit ZnNi-Überzügen, Hintergrund der Untersuchungen 253
 - 7.3 Korrosion von ZnNi-Überzügen bei Kontakt mit Holz 259
 - 7.4 Korrosion von ZnNi-Überzügen bei losem Kontakt mit nassen Wärmedämmstoffen und bewittertem Beton 260
Literatur 262

- 8 Korrosionsschutzverhalten von Zink-Aluminium-Lamellenüberzügen 263**
 - 8.1 Korrosion in der Atmosphäre 263
 - 8.2 Untersuchungen an bewitterten Verbindungsmitteln mit ZnAl-Lamellenüberzügen 268
 - 8.2.1 Hintergrund der Untersuchungen 268
 - 8.2.2 Schäden an Gewindefurhschrauben mit ZnAl-Lamellenüberzug 268
 - 8.2.3 Auslagerungsversuche an Bohrschrauben in Meeresatmosphäre und vergleichende Salzsprühtests 270
 - 8.2.4 Gesamtbewertung der Untersuchungen an Verbindungsmitteln mit ZnAl-Lamellenüberzügen 271
 - 8.3 Korrosion von ZnAl-Lamellenüberzügen bei Kontakt mit Holz 272
 - 8.3.1 Hintergrund von Untersuchungen 272
 - 8.3.2 Auslagerungsversuche an Holzschrauben 272
 - 8.4 Korrosion von ZnAl-Lamellenüberzügen bei losem Kontakt mit nassen Wärmedämmstoffen und bewittertem Beton 273
 - 8.4.1 Hintergrund von Untersuchungen 273
 - 8.4.2 Auslagerungsversuche an Spreizdübeln 274
 - Literatur 275

- 9 Korrosionsschutzverhalten von Galfan- und Galvalume-Überzügen 277**
 - 9.1 Korrosion in der Atmosphäre 277
 - 9.1.1 Korrosionsverhalten im Salzsprühtest 279
 - 9.1.2 Korrosionsabtrag von Galfan bei atmosphärischer Korrosionsbeanspruchung 280
 - 9.1.3 Korrosionsabtrag von Galvalume bei atmosphärischer Korrosionsbeanspruchung 283
 - 9.2 Korrosion bei Kontakt mit Baustoffen 284
 - Literatur 286

- 10 Korrosionsschutzverhalten von Zink-Aluminium-Magnesium-Überzügen 289**
 - 10.1 Korrosion in der Atmosphäre 289
 - 10.1.1 Schutzmechanismus 289
 - 10.1.2 Korrosionsabtrag von Zink-Aluminium-Magnesium im Salzsprühtest 293
 - 10.1.3 Korrosionsabtrag von Zink-Aluminium-Magnesium-Überzügen in der Atmosphäre 294
 - 10.2 Korrosion bei Kontakt mit Baustoffen 296
 - Literatur 296

- 11 Passivierung und Deckbeschichtungen metallischer Überzüge auf Zinkbasis 299**
 - 11.1 Passivierungsverfahren, Korrosionsschutz 300
 - 11.2 Deckbeschichtungen (Topcoats) 302
 - 11.3 Ursache von Beschichtungsschäden auf verzinkten Untergründen 309
 - 11.4 Mechanismen der Korrosion 311
 - 11.5 Naturversuche an Schrauben mit Zink-Nickelüberzügen ohne und mit zusätzlichem Schutz durch Passivierung/Beschichtung 313
Literatur 314

- 12 Verbindungsmittel und Anbauteile aus nichtrostendem Stahl 317**
 - 12.1 Überblick zu bestehenden Sorten 317
 - 12.2 Sorteneinteilung der nichtrostenden Stähle 321
 - 12.3 Gefügeeigenschaften der nichtrostenden Stähle 332
 - 12.3.1 Ferritische Stähle 332
 - 12.3.2 Austenitische Stähle 336
 - 12.3.3 Austenitisch-ferritische Stähle (Duplex-Stähle) 344
 - 12.3.4 Martensitische Stähle 348
 - 12.3.5 Ausscheidungshärtende nichtrostende Stähle 355
 - 12.4 Oberflächenhärten nichtrostender Stähle 355
 - 12.5 Oberflächenbehandlung nichtrostender Stähle 360
Literatur 361

- 13 Korrosionsverhalten und Korrosionsarten der nichtrostenden Stähle 365**
 - 13.1 Schutzmechanismus 365
 - 13.2 Mögliche Korrosionsarten 367
 - 13.2.1 Gleichförmige Korrosion (Flächenkorrosion) 367
 - 13.2.2 Lochkorrosion, Spaltkorrosion 368
 - 13.2.3 Interkristalline Korrosion 381
 - 13.2.4 Anodische Spannungsrisskorrosion 384
 - 13.2.5 Wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion 392
 - 13.3 Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle bei atmosphärischer Korrosionsbeanspruchung im Außenbereich 397
 - 13.3.1 Ferritische Stähle 398
 - 13.3.2 Austenitische Stähle 400
 - 13.3.3 Austenitisch-ferritische Stähle (Duplex-Stähle) 404
 - 13.3.4 Martensitische Stähle 405
 - 13.3.5 Auslagerungsversuche an Bohrschrauben 408
 - 13.4 Nichtrostende Stähle in der Atmosphäre von Hallenbädern 412
 - 13.5 Regelwerk für die Anwendung nichtrostender Stähle in der Bautechnik 419

13.6	Korrosion bei Kontakt mit Holz	423
13.7	Korrosion bei Kontakt mit Böden	424
13.8	Nichtrostende Stähle im Kontakt mit Beton	425
	Literatur	425
14	Wetterfester Stahl	431
14.1	Was ist ein wetterfester Stahl?	431
14.2	Einteilung der Stähle	432
14.3	Allgemeine Gebrauchseigenschaften	433
	Literatur	437
15	Kupferwerkstoffe	439
15.1	Sorten und allgemeine Gebrauchseigenschaften	439
15.2	Mechanische Eigenschaften	442
15.3	Physikalische Eigenschaften	442
15.4	Schweißneigung	443
15.5	Korrosionsverhalten	444
15.5.1	Atmosphärische Korrosion von Kupfer	445
15.5.2	Atmosphärische Korrosion von Messing	447
15.5.3	Korrosion von Kupferwerkstoffen bei Kontakt mit Baustoffen	454
	Literatur	456
16	Aluminiumwerkstoffe	459
16.1	Sorten und allgemeine Gebrauchseigenschaften	459
16.2	Möglichkeiten einer Festigkeitssteigerung	462
16.3	Aluminiumwerkstoffe und hieraus hergestellte Produkte	467
16.3.1	Einfluss der Legierungselemente	467
16.3.2	Aluminiumwerkstoffe und Aluminiumprodukte für die Bautechnik	469
16.4	Physikalische Eigenschaften	471
16.5	Schweißen von Aluminiumwerkstoffen	472
16.5.1	Werkstoffeinfluss	472
16.6	Korrosionsverhalten	474
16.6.1	Atmosphärische Korrosion von Aluminiumwerkstoffen	474
16.6.2	Spezielle Korrosionsarten bei Aluminium	480
16.6.3	Korrosion von Aluminium bei Kontakt mit Baustoffen	486
16.6.4	Oberflächenbehandlung von Aluminium	492
16.6.5	Oberflächenschutz von Stahl mit Überzug aus Aluminium (Aluminierung)	499
	Literatur	502
	Stichwortverzeichnis	505