

# **K.-A. van Oeteren** **Korrosionsschutz** **durch** **Beschichtungsstoffe**

**Grundlagen – Verfahren – Anwendungen**

**Band 1**

**Mit 604 Abbildungen und 488 Tabellen**

**Carl Hanser Verlag München Wien 1980**

# Inhalt

## Band 1

<b>Vorwort</b> .....	VII
<b>1 Einführung</b> .....	1
1.1 Stahl in der Technik .....	1
1.1.1 Substitution von Stahl .....	2
1.1.1.1 Arteigene Substitution .....	2
1.1.1.2 Artfremde Substitution .....	2
1.1.2 Der Trend beim Stahl .....	4
1.1.3 Stahlbeton oder Stahl? .....	5
1.1.3.1 Wirtschaftlichkeit des Stahlbaus .....	7
• Gesamtkosten berücksichtigen .....	7
• Zunahme der Wettbewerbsfähigkeit .....	8
1.2 Wertverluste infolge Korrosion .....	8
1.2.1 Statistische Angaben .....	15
1.2.2 Ermittlung der Wertverluste .....	15
1.2.3 Instandsetzungskosten durch Schäden infolge von Korrosion .....	17
1.3 Korrosionsschutz, ein Gebiet der industriellen Schadensverhütung .....	18
1.4 Verfahren zur Verhütung der Korrosion .....	20
1.4.1 Korrosionschemie, die wissenschaftliche Grundlage .....	21
1.4.2 Korrosionsanalyse – Korrosionstopographie; Voraussetzung für den Korrosionsschutz .....	21
1.4.3 Folgerung aus den steigenden Anforderungen auf dem Korrosionsschutz-Sektor .....	22
1.5 Aufwendungen für den Korrosionsschutz .....	22
1.5.1 Korrosionsschutzmarkt und Arbeitskräftebedarf .....	28
1.6 Tätigkeit technisch-wissenschaftlicher Organisationen in der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der Korrosion und des Korrosionsschutzes .....	30
Literatur .....	31
<b>2 Korrosion</b> .....	32
2.1 Was ist Korrosion? .....	32
• Die Korrosionsbeurteilung metallischer Werkstoffe – ein psychologisches Problem? .....	33
2.2 Ursache der Korrosion .....	35
2.3 Voraussetzung für eine Korrosion .....	36
2.4 Schädigende und nichtschädigende Korrosion? .....	36
2.5 Elektrochemische Spannungsreihe .....	37
2.6 Korrosionsreaktionen .....	41
2.6.1 Chemische Korrosionsreaktionen .....	42

X	Inhalt	
2.6.2	Elektrochemische Korrosionsreaktionen	42
2.7	Mechanismus der Korrosion	42
2.8	Arten der Werkstoffzerstörung	44
2.8.1	Werkstoffzerstörung durch Korrosion	45
	Literatur	46
<b>3</b>	<b>Die wichtigsten Korrosionsarten</b>	<b>47</b>
3.1	Ebenmäßige Korrosion (gleichmäßiger Flächenabtrag)	47
3.2	Muldenförmige Korrosion (ungleichmäßiger Flächenabtrag unter Narbenbildung)	48
3.3	Lochförmige Korrosion (örtlicher Flächenabtrag) – Lochfraß	48
3.4	Spezielle Korrosionsarten ohne mechanische Beanspruchung	49
3.4.1	Spaltkorrosion	49
3.4.2	Kontaktkorrosion	50
3.4.3	Berührungskorrosion	50
3.4.4	Selektive Korrosion	51
	• Interkristalline Korrosion (IK)	51
	• Spongiose	51
	• Entzinkung	51
3.4.5	Streustromkorrosion (Fremdstromkorrosion, Korrosion durch vagabundierende Ströme)	51
3.4.6	Stillstandskorrosion	52
3.4.7	Filigran – oder Fadenkorrosion	52
3.4.8	Zunderung, Verzunderung	52
3.4.9	Anlaufen	53
3.5	Taupunktkorrosion	53
3.5.1	Kondenswasserkorrosion	53
3.5.2	Mikrobiologische Korrosion	53
3.6	Korrosion bei gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung	54
3.6.1	Spannungsrißkorrosion	54
3.6.2	Schwingungsrißkorrosion (Korrosionsermüdung)	55
3.6.3	Erosionskorrosion	55
3.6.4	Kavitationskorrosion	55
3.6.5	Reibkorrosion	55
3.7	Korrosionselemente	56
3.7.1	Unterschiedliche Metalle; Kontaktkorrosion	56
3.7.2	Unterschiedliche Stoffe	56
3.7.3	Unterschiedliche Spannungs- und Verformungsverhältnisse	56
3.7.4	Konzentrationsunterschiede	
	• Belüftungskorrosion, Evans-Element, Belüftungselement	57
3.7.5	Lokalelemente	61
3.7.6	Unterschiede in der Temperatur eines Elektrolyten	62
3.7.7	Großflächige Korrosionselemente	62
3.8	Korrosionsbeständigkeit von Eisen und Stahl, heute und in früheren Jahrhunderten	62
3.8.1	Betrachtungen zur Abhängigkeit der Korrosion von den Korrosionseinflüssen und der Materialzusammensetzung	62

3.8.2	Korrosionsbeständigere niedriglegierte Stähle .....	66
	Literatur .....	66
<b>4</b>	<b>Art des Korrosionsangriffes</b> .....	<b>68</b>
4.1	Atmosphärische Korrosion .....	68
4.1.1	Klimagebiet (klimatische Umgebungseinflüsse) .....	69
4.1.1.1	Grundbestandteile der Luft .....	69
	● Temperatur und Feuchte .....	71
	● Temperatur .....	71
	● Relative Luftfeuchtigkeit .....	72
4.1.1.2	Feuchtigkeits-Kondensation infolge Temperaturwechsels (Schwitzwasserbildung) .....	74
4.1.1.3	Niederschlag .....	74
4.1.1.4	Klimafaktoren .....	74
4.1.2	Atmosphärentyp .....	74
4.1.2.1	Landatmosphäre .....	76
4.1.2.2	Stadtatmosphäre .....	76
4.1.2.3	Industrieatmosphäre .....	77
4.1.2.4	Meeresatmosphäre .....	77
4.1.2.5	Tropenklima .....	79
4.1.3	Anomale Atmosphären .....	80
4.1.3.1	Luftverunreinigungen .....	80
4.1.3.2	Luftverunreinigungen als Korrosionsstimulatoren .....	85
	● Schwefeldioxid .....	86
	● Sonstige gasförmige Luftverunreinigungen .....	88
	● Chlorid .....	88
	● Stäube .....	89
	● Korrosionsreaktionen an Stahl und Zink durch Schwefeldioxid aus der Atmosphäre .....	91
4.1.4	Aufstellungskategorie .....	95
4.1.5	Korrosivität verschiedener Klimate, Atmosphärentypen und Aufstellungskategorien .....	95
4.1.6	Einflüsse von Form, Masse und Lage eines Metallkörpers auf dessen Korrosion .....	98
4.2	Korrosion in Wässern .....	99
	● Einfluß der Wasserarten .....	99
4.3	Korrosion in Böden .....	104
	● Einfluß der Bodenarten .....	104
4.4	Korrosion durch chemische Einflüsse .....	105
4.5	Korrosionsgeschwindigkeit .....	106
	● Schwierigkeit von Voraussagen über die Korrosionsgeschwindigkeit, z. B. an der Atmosphäre .....	108
4.5.1	Korrosionsgeschwindigkeit von Stahl .....	109
4.5.1.1	Atmosphäre .....	109
4.5.1.2	Böden .....	112
4.5.1.3	Wasser .....	112
4.5.2	Korrosionsgeschwindigkeit von Zink .....	112

4.5.2.1	Atmosphäre	112
4.5.2.2	Böden	118
4.5.2.3	Wässer	119
4.6	Korrosionsprodukte	120
4.6.1	Korrosionsprodukte des Eisens	122
4.6.1.1	Morphologie des Rostes	122
4.6.2	Korrosionsprodukte des Zinks	126
	• Zinkoxidschichten	126
	• Zinkpatina	127
	• Weißrost (Zinkrost)	129
	• Zinkkorrosionsprodukte	129
	Literatur	129
<b>5</b>	<b>Korrosionsschutzverfahren</b>	132
5.1	Aktive Korrosionsschutzverfahren	132
5.1.1	Eingreifen in den Korrosionsvorgang	133
5.1.1.1	Entfernung angreifender Stoffe – Beeinflussung angreifender Stoffe	133
5.1.1.2	Inhibitoren	133
5.1.1.3	Eingriff in den elektrochemischen Vorgang (Kathodischer Schutz)	134
5.1.2	Korrosionsschutzplanung	137
5.1.2.1	Korrosionsschutzgerechte Gestaltung	138
	• Vermeidung ungünstiger Bedingungen und ungünstiger Lage	138
	• Vermeidung ungünstiger Profile und Konstruktionen	139
	• Erleichterung der Reinigung, Entrostung und der Korrosionsschutzarbeiten	141
	• Erleichterung durch Vorrichtungen zur Ausführung von Korrosionsschutzarbeiten	142
	• Zweckmäßige Werkstoffauswahl und Kombination	142
5.1.2.2	Korrosionsbeständige oder -träge Stähle	144
	• Nichtrostende Stähle	144
	• Wetterfeste Stähle (niedriglegierte Stähle) WT	144
	.. Richtiges Konstruieren	
	.. Konversions-Primer	
	.. Wann können wetterfeste Stähle nicht ohne Beschichtung eingesetzt werden?	
	.. Beschichtung niedriglegierter Stähle	
5.2	Passive Korrosionsschutzverfahren	149
5.2.1	Anorganische Überzüge	149
5.2.1.1	Oxidschichten (Glühen)	149
5.2.1.2	Brünieren	152
5.2.1.3	Phosphatschichten	152
5.2.2	Metallische Überzüge	156
5.2.2.1	Schmelztauch-Überzüge	156
	• Verzinnen	156
	• Verzinken (Feuerverzinkung)	157
	• Verbleiung	163

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Feualuminieren ..... 164</li> </ul>	164
5.2.2.2	Diffusionsmetallüberzüge ..... 165	165
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chromdiffusion ..... 165</li> <li>● Sherardisieren ..... 165</li> <li>● Pulveralittierung (Kalorisieren, Pulveralittieren) ..... 166</li> </ul>	166
5.2.2.3	Plattierte Metallüberzüge ..... 166	166
5.2.2.4	Metallspritzüberzüge; thermisches Spritzen (Spritzmetallisierung) ..... 168	168
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Metallspritzwerkstoffe ..... 170</li> <li>● Zink-Metallspritzschichten ..... 171</li> <li>● Aluminium-Metallspritzschichten ..... 172</li> <li>● Kombinierte Metallspritzschichten ..... 172</li> <li>● Blei-Metallspritzschichten ..... 172</li> <li>● Korrosionsschutz durch Metallspritzüberzüge ..... 173</li> <li>● Flamspritzen ..... 174</li> <li>● Lichtbogenspritzen ..... 176</li> <li>● Plasmaspritzen ..... 177</li> <li>● Vorbereiten des Grundwerkstoffes (Haftgrundes) für das Metallspritzen ..... 177</li> <li>● Entstehung der Metallspritzschicht ..... 179</li> <li>● Dichtigkeit von Metallspritzschichten ..... 180</li> <li>● Nachbehandlung der Metallspritzschichten; Porendichtung; Nachverdichten (sealing) ..... 181</li> <li>.. Natürliche Porendichtung</li> <li>.. Mechanische Porendichtung (Frottieren)</li> <li>.. Physikalische Porendichtung (Imprägnierung)</li> <li>.. Chemische Porendichtung</li> <li>● Prüfung von Metallspritzschichten ..... 183</li> <li>● Kosten beim Metallspritzen ..... 184</li> <li>● Wirtschaftlichkeit des Korrosionsschutzes mit Metallspritzschichten .. 185</li> </ul>	185
5.2.2.5	Elektrolytische (galvanische) Metallüberzüge ..... 185	185
5.2.2.6	Metallabscheidung ohne äußere Stromquelle ..... 187	187
5.2.2.7	Vakuum-Aufdampfverfahren durch Kathodenzerstäubung und Hochvakuum-Verdampfung (Vacuum Coating) ..... 187	187
5.2.3	Nichtmetallische Überzüge (anorganisch) ..... 190	190
5.2.3.1	Silikatüberzüge (Emaillieren) ..... 190	190
5.2.3.2	Zementüberzüge ..... 192	192
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Einbetonierung ..... 193</li> <li>● Zementmörtelaukleidung ..... 193</li> <li>● Torkretierung ..... 193</li> </ul>	193
5.2.4	Nichtmetallische Überzüge (organisch) ..... 193	193
5.2.4.1	Bituminöse Überzüge ..... 193	193
5.2.4.2	Gummi-(Kautschuk-)Überzüge ..... 195	195
5.2.4.3	Kunststoffüberzüge ..... 195	195
	<i>Flächenhafte Halbzeuge</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kunststoff-Folierung ..... 195</li> <li>● Kunststoff-Kaschierungen ..... 197</li> <li>● Kunststoff-Auskleidung und Ummantelung ..... 198</li> </ul>	198
	<i>Dreidimensionale Halbzeuge</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kunststoff-Schrumpfüberzüge ..... 198</li> </ul>	198

	<i>Pulverbeschichtung</i>	
	● Kunststoff-Wirbelsintern . . . . .	200
	● Elektrostatisches Kunststoffpulverspritzen (EPS) . . . . .	202
	● Kunststoff-Flammspritzen . . . . .	204
	<i>Kunststoffdispersionen</i>	
	● Echte Dispersionen . . . . .	205
	● Kunststoff-Plastisole und -Organosole . . . . .	206
5.2.4.4	Kunststoff-Korrosionsschutzbeläge . . . . .	206
5.2.4.5	Beschichtung durch Lackierung und Coil-Coating . . . . .	207
	● Lackierung . . . . .	207
	.. Industrielacke	
	.. Applikationsmethoden	
	.. Lacktrocknung	
	● Coil-Coating (Bandbeschichtung) . . . . .	224
	.. Allgemeines	
	.. Beschichtungstypen	
	.. Verfahrenstechnik	
	... Naßbeschichtung	
	... Folienbeschichtung (Kaschierung)	
	.. Prüfung von Coil-Coating-Beschichtungen	
5.2.4.6	Plastische Korrosionsschutzbinden . . . . .	232
	● Allgemeines . . . . .	232
	● Ausführungsarten . . . . .	232
	● Ausführung des Oberflächenschutzes . . . . .	234
5.2.5	Vorübergehender (temporärer) Korrosionsschutz . . . . .	234
5.2.5.1	Aktive Korrosionsschutzverfahren . . . . .	234
	● Verbesserung der Atmosphäre . . . . .	234
	.. Trocknungsmittel	
	.. Luftentfeuchtung	
	.. Infrarotstrahlen	
	.. Dampfphaseninhibitor	
	.. Wasserverdrängung (dewatering fluids)	
5.2.5.2	Passive Korrosionsschutzverfahren . . . . .	237
	● Abziehbare Kunststoffschichten . . . . .	237
	.. Kaltplastik	
	.. Warmplastik	
	.. Cocoon	
	● Lackartige Mittel . . . . .	238
	● Phosphatschichten . . . . .	238
	● Ölige, fettartige Schutzmittel . . . . .	238
	● Plastische, schmierfettartige Mittel . . . . .	238
	● Lösungsmittelhaltige Mittel auf Fett-Ölbasis . . . . .	238
	● Verarbeitungstechnik der Korrosionsschutzmittel . . . . .	238
	Literatur . . . . .	239
<b>6</b>	<b>Oberflächenvorbereitung; Reinigung, Entzunderung und Entrostung . . . . .</b>	<b>244</b>
6.1	Oberflächenzustände und Güteklassen . . . . .	244
6.1.1	Reinheit unbeschichteter Metalle, vorzugsweise von Stahl . . . . .	244

6.1.1.1	Prüfung der Reinheit .....	246
6.1.1.2	Prüfung der Reinheit von Metalloberflächen bei hydrophoben Verunreinigungen .....	246
	• Benetzbarkeitsprüfung .....	246
	.. Wasserbenetzungstest	
	.. Alkoholbenetzungstest	
	• Fluoreszenztest .....	248
	• Chemische Methoden .....	248
	• Gravimetrische Methoden .....	248
6.1.1.3	Prüfung der Reinheit von Metallflächen bei hydrophilen Verunreinigungen .....	248
6.1.1.4	Prüfung der Reinheit entrosteter und entzunderter Stahloberflächen .....	249
	• Optische Prüfung entrosteter und entzunderter Stahloberflächen .....	249
	• Chemische Prüfung entrosteter und entzunderter Stahloberflächen ..	249
	• Elektrische Prüfung entrosteter und entzunderter Stahloberflächen ..	249
	.. Elektrische Prüfung nach H. A. Möller	
	.. Fotoelektrische Prüfung entrosteter und entzunderter Stahloberflächen nach dem Reflektometerverfahren	
6.1.2	Rostgrad unbeschichteten Stahls .....	251
6.1.3	Güteklassen für die Vorbereitung von Stahloberflächen – Norm-Reinheitsgrade .....	252
6.1.3.1	Optische Prüfung von Stahloberflächen, Fotostandards .....	252
	• Lupenreine Strahlentrostung .....	257
6.1.3.2	Unterschiedliches Aussehen der Oberflächen nach einer Strahlentrostung .....	257
	• Ausgangszustände von Stahloberflächen vor einer Strahlentrostung .....	257
	• Unebenheiten von Stahloberflächen bei der Strahlentrostung .....	257
	• Unterschiedliche Rauheit von Stahloberflächen nach dem Strahlen ..	258
6.1.3.3	Beispiele für das unterschiedliche Aussehen der Oberfläche bei Korrosionsangriffen oder Stahlentrostung .....	258
	• Unterschiedlicher Angriff durch das begrenzte Vorliegen artfremder Deckschichten .....	258
	.. Korrosion an artfremden Deckschichten	
	.. Schutz an artfremden Deckschichten	
	.. Unterschiedlicher Abtrag durch beschädigte arteigene Deckschichten	
	.. Unterschiedlicher Abtrag der Stahloberfläche durch das Vorliegen unterschiedlich entfernbarer arteigener Deckschichten (Walzhautschatten)	
6.1.4	Rauheit unbeschichteter Metalloberflächen .....	261
6.1.4.1	Prüfung der Rauheit .....	261
6.1.5	Verrostungsgrad von beschichteten Stahloberflächen .....	267
6.1.5.1	Europäische Skala des Verrostungsgrades von Anstrichen und DIN 53210 Bezeichnung des Rostgrades von Anstrichen .....	268
6.1.5.2	Fontana-Rostgradskala .....	268
6.1.5.3	Wiederholt-Skala .....	270
6.1.6	Beschichtungs- oder Anstrichwert .....	270
6.1.7	Beschichtungszustand .....	272



6.2	Vorbereitung der Stahloberfläche für das Aufbringen von Beschichtungen; allgemeine Gesichtspunkte .....	273
6.2.1	Artfremde und arteigene Verunreinigungen .....	273
6.3	Reinigung von Stahl und anderen Metalloberflächen sowie vorhandener Beschichtungen vor nachfolgenden Korrosionsschutzbeschichtungen .....	276
6.3.1	Allgemeines .....	276
6.3.2	Mechanische und chemische Reinigungsverfahren, Entfetten .....	277
6.3.2.1	Absanden, Abschmirgeln, Abschleifen, Glühen, Scheuern .....	280
6.3.2.2	Organische und anorganische Reinigungsmittel .....	281
	● Lösemittel .....	281
	● Wäßrige Emulsion hochsiedender organischer Lösemittel .....	282
	● Wasserlösliche alkalische Reinigungsmittel .....	282
	● Wasserlösliche saure Reinigungsmittel .....	282
6.3.3	Dampfstrahlreiniger .....	282
	● Bewegliche Geräte .....	282
	● Ortsfeste Geräte .....	282
	● Hochdruckspritzstrahl zur Innenreinigung von Behältern .....	282
	● Dampfstrahlphosphatierung .....	283
	● Anwendung von Dampfstrahlreinigungsgeräten .....	283
	.. Entfettung von Metallflächen	
	.. Säuberung alter Beschichtungsflächen für die Neubeschichtung	
	.. Trocknung feuchter Flächen	
	.. Entfernung von Salzablagerungen u. a. auf dem Beschichtungsuntergrund bzw. zwischen den einzelnen Beschichtungen	
	.. Entwachsung (Entkonservierung) von Maschinen	
6.4	Entrostungs- und Entzunderungsverfahren, Allgemeines .....	285
6.4.1	Anwendung der Entrostungsverfahren .....	285
6.4.1.1	Abhängigkeit von der Art und Form des zu entrostenden Gegenstandes .....	287
6.4.1.2	Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Stahloberfläche .....	288
6.4.1.3	Abhängigkeit von den örtlichen Möglichkeiten des Einsatzes .....	289
6.4.1.4	Abhängigkeit von der Art des aufzubringenden Beschichtungsstoffes bzw. Überzuges .....	289
6.4.2	Bewertung der Entrostungsverfahren .....	289
6.4.2.1	Veränderung der Oberfläche .....	289
6.4.2.2	Haftung der Beschichtung bzw. Überzüge und die Art des Entrostungsverfahrens .....	292
6.4.2.3	Schutzdauer von Beschichtungen in Abhängigkeit vom Entrostungsverfahren und Beschichtungstofftypus .....	293
	● Einfluß der Dauer der Freilagerung ungeschützten Stahles auf die Schutzdauer von nachfolgenden Beschichtungen .....	297
6.4.3	Norm-Reinheitsgrade (Entrostungsgrade) .....	297
	● Zustand der zu entrostenden Oberfläche .....	299
	● Art der jeweiligen Korrosionsbelastung .....	299
	● Art des aufzubringenden Beschichtungsstoffes .....	299
6.5	Entrostungs- und Entzunderungsverfahren, Ausführung .....	300
6.5.1	Mechanische Verfahren .....	300

6.5.1.1	Handentrostung .....	301
6.5.1.2	Maschinelle Entrostung .....	302
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Schleifmittel; Schleifscheiben und Schleifpapier .....</li> <li>● Rotierende Drahtbürsten .....</li> <li>● Klopf-, und Schlagwerkzeuge .....</li> <li>● Lufthammer .....</li> <li>● Schlagscheiben und Rostfräser .....</li> <li>● Druckluft-Nadlentrostler .....</li> </ul>	<p>304</p> <p>306</p> <p>307</p> <p>308</p> <p>308</p> <p>310</p>
6.5.2	Strahlverfahren .....	313
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sandwäsche (Sandwashing) .....</li> <li>● Überstrahlen .....</li> </ul>	<p>314</p> <p>314</p>
6.5.2.1	Druckluftstrahlen (Freistrahlen) .....	314
6.5.2.2	Druckluftstrahlen (Strahlkammer/-halle) .....	317
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Großraumstrahlen .....</li> </ul>	318
6.5.2.3	Schleuderstrahlen .....	319
6.5.2.4	Staubfreies Strahlen .....	320
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vacu-Blast-Verfahren .....</li> <li>● Educt-O-Matic-Verfahren .....</li> <li>● Magstar-Verfahren .....</li> <li>● System W. Braun .....</li> </ul>	<p>320</p> <p>321</p> <p>321</p> <p>323</p>
6.5.2.5	Naß-Strahlen, Druckwasserstrahlen, Wasser-Strahlen .....	323
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verhinderung der Neurostbildung .....</li> <li>.. Welchen Einfluß haben diese Inhibitoren auf nachfolgende Korrosionsschutzmaßnahmen, z. B. Beschichtungen? .. Prüfung der eventuellen Beeinflussung der Beschichtung durch den Inhibitor</li> <li>● Naß-Strahlen .....</li> <li>● Druckwasserstrahlen .....</li> <li>● Wasser-Strahlmittel .....</li> </ul>	<p>324</p> <p>325</p> <p>326</p> <p>326</p>
6.5.2.6	Strahlmittel .....	328
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Strahlmittel-Unterscheidungsmerkmale .....</li> <li>● Eisen- bzw. Stahlstrahlmittel .....</li> <li>● NE-Strahlmittel .....</li> <li>● Mineralische Strahlmittel .....</li> <li>● Schlacken-Strahlmittel .....</li> <li>● Anorganische Strahlmittel .....</li> <li>● Organische Strahlmittel .....</li> <li>● Mehrfach- und Einwegstrahlmittel .....</li> <li>● Auswirkung der Verordnung über gefährliche Arbeitsstoffe auf die Verwendung von Quarzsand als Strahlmittel .....</li> <li>● Praxisgesichtspunkte für die Wahl der Strahlmittel .....</li> <li>.. Korngröße des Strahlmittels</li> <li>.. Einschluß von Strahlmittel in das Strahlgut</li> <li>.. Rißbildung bei der Verformung von Stahl durch Stahldrahtstrahlmittel</li> <li>.. Korrosionsverhalten von Beschichtungen in Abhängigkeit vom Strahlmittel</li> <li>● Strahlmittel-Trocknung .....</li> </ul>	<p>328</p> <p>328</p> <p>330</p> <p>330</p> <p>331</p> <p>332</p> <p>332</p> <p>332</p> <p>332</p> <p>332</p> <p>332</p> <p>332</p> <p>334</p> <p>334</p> <p>334</p> <p>334</p> <p>334</p> <p>338</p>
6.5.3	Thermische Entrostung-Flammstrahlen .....	338
6.5.3.1 ✓	Praktische Gesichtspunkte für die Flammstrahlentrostung .....	341

6.5.3.2	Flammphosphatieren .....	344
	● Durchführung .....	345
6.5.4	Chemische Entrostung .....	345
6.5.4.1	Abwittern der Walzhaut .....	345
	● Unterschiedliche Haftung des Zunders von Stahl beim Abwittern bzw. bei der Strahlentrostung .....	347
6.5.4.2	Beizen .....	348
	● Beizverfahren .....	350
	● Beiztechniken .....	350
	● Schmelzbeizen .....	350
	● Beizen oder Strahlen als Oberflächenvorbereitung für Beschichtungen .....	350
6.5.4.3	Entrostung durch Pasten .....	350
6.5.4.4	Rostumwandler .....	355
6.5.5	Mikrobielle Entrostung .....	355
6.5.6	Entrostung in feuergefährlichen Betrieben; funkenfreie Entrostung .....	355
	● Zur Entstehung zündfähiger Funken .....	356
	● Funkenbildung durch funkenfreie Werkzeuge .....	356
	● Zündung von Gasgemischen durch Funken .....	357
	● Steigende Anwendung der funkenfreien Entrostung .....	357
	● Standpunkt verschiedener Stellen zur funkenfreien Entrostung .....	358
	● Geerdete Strahldüsen für Strahl-Entrostungsarbeiten in feuergefährlichen Betrieben .....	360
	● Naß-Strahlen als Oberflächenvorbereitung in feuergefährlichen Betrieben .....	360
6.5.6.1	Verwendung von Beschichtungen mit Aluminiumpulver als Pigment in feuergefährlichen Betrieben .....	361
6.6	Leistung und Kosten der Entrostungsverfahren .....	361
6.6.1	Handentrostung .....	363
6.6.2	Strahlentrostung .....	363
6.6.3	Flammstrahlen .....	366
6.6.4	Beizen .....	369
6.7	Entfernung von Beschichtung durch Abbrennen, Ablaugen, Abbeizen .....	370
	● Abbrennen .....	370
	● Ablaugen und Abbeizen .....	370
6.8	Reinigung und Nachbehandlung entrosteter Flächen .....	371
6.8.1	Vorläufiger Schutz der vorbereiteten Oberflächen vor Korrosion .....	373
6.8.2	Oberflächenfehler des Werkstoffes; Schweißperlen, Walzfehler u. a. ....	373
6.8.3	Vorbereiten von Verbindungsstellen (Schweiß-, Niet- und Schraubverbindungen) .....	376
6.8.4	Vorbereiten von Oberflächen mit Zink- oder Aluminiumüberzügen .....	376
6.9	Rauheit von Stahloberfläche und Korrosionsschutz .....	378
6.9.1	Rauheit .....	378
6.9.2	Rauhtiefe .....	379
6.9.2.1	Korrosionsschutz und Rauhtiefe .....	380
6.9.2.2	Verbrauch an Beschichtungsstoffen und Rauhtiefe .....	382
6.9.2.3	Haftung und Rauhtiefe .....	383

6.9.2.4	Rauhtiefe und Strahlmittel .....	384
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Korngröße des Strahlmittels .....</li> <li>● Auftreffwinkel des Strahlmittels .....</li> <li>● Härte und Form des Strahlmittels .....</li> <li>● Strahldauer .....</li> <li>● Verschleißzustand des Strahlmittels .....</li> <li>● Grundrauhigkeit vor dem Strahlen; Primärprofil .....</li> <li>● Form der Oberflächenaufrauung .....</li> </ul>	<p>384</p> <p>386</p> <p>387</p> <p>387</p> <p>387</p> <p>387</p> <p>387</p>
6.10	Schutzmaßnahmen bei der Ausführung von Entrostungsarbeiten .....	387
	Literatur .....	388
<b>7</b>	<b>Zunder (Walzhaut) und Rost unter Beschichtungen .....</b>	<b>391</b>
7.1	Beschichtungen auf Zunder (Walzhaut) .....	391
7.1.1	Was ist Zunder? .....	391
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Walzzunder .....</li> <li>● Glühhaut .....</li> <li>● Anlauffarben .....</li> </ul>	<p>392</p> <p>392</p> <p>392</p>
7.1.2	Aufbau und Entstehung der Zunderschichten .....	392
7.1.3	Zunder (Walzhaut) als Korrosionsschutz .....	393
7.1.4	Entfernung des Zunders (Walzhaut) .....	396
7.2	Beschichtungen auf Rost .....	396
7.2.1	Was ist Rost? .....	396
7.2.2	Möglichkeiten von Beschichtungen auf Rost .....	397
7.2.2.1	Rostumwandler .....	399
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vergleichsversuche zweier Rostumwandler unter Öl-Bleimennige-Zinkoxid-Deckbeschichtungen .....</li> <li>● Versuche mit Tannin-Rostumwandler .....</li> <li>● Flammphosphatierung .....</li> </ul>	<p>401</p> <p>403</p> <p>404</p>
7.2.2.2	Penetrier-Beschichtungsstoffe .....	404
7.2.2.3	Stabilisations-Beschichtungsstoffe .....	405
7.2.2.4	Weitere Methoden für die Beschichtung auf Rost .....	405
7.2.3	Beschichtungen auf chemisch verseuchter Stahloberfläche – Korrosionsstimulatoren und Rostinertisation – .....	406
7.2.3.1	Korrosionsstimulatoren .....	406
7.2.3.2	Rostinertisation .....	410
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chemische Methoden .....</li> <li>● Flammphosphatierung .....</li> <li>● Spezielle Beschichtungsstoffe .....</li> <li>● Zink-Metallspritzschichten .....</li> <li>● Wetterfeste Baustähle, niedriglegierte Stähle .....</li> <li>● „Norm“-Rost für die Prüfung von Beschichtungen auf Rost .....</li> </ul>	<p>411</p> <p>411</p> <p>411</p> <p>411</p> <p>411</p> <p>412</p>
7.2.4	Beschichtungen auf Restrost .....	412
	Literatur .....	414
<b>8</b>	<b>Korrosionsschutz im Stahlbauwerk –</b>	
	Ablieferungsbeschichtung – Fertigungsbeschichtung (Shop-Primer) –	
	Walzstahlkonservierung .....	416

8.1	Allgemeines	416
8.2	Klassischer Korrosionsschutz ab Fabrik	418
8.2.1	Reiseanstrich und Werkstattgrundbeschichtung	418
8.3	Neuzeitlicher Korrosionsschutz im Stahlbauwerk oder ab Walzwerk	419
8.4	Ablieferungs-Grundbeschichtung im Stahlbauwerk	421
8.4.1	Schichtdicke	424
8.4.2	Art der Oberflächenvorbereitung	424
8.4.3	Prüfung von Ablieferungs-Grundbeschichtungen	424
8.4.4	Schäden durch Transport, Montage und Lagerung	424
8.4.5	Schutzdauer von Grundbeschichtungen	426
8.4.6	Reinigung der Werkstatt-Grundbeschichtung	427
8.5	Walzstahlkonservierung	427
8.5.1	Allgemeines	428
8.5.2	Verfahrenstechnik der Walzstahlkonservierung	428
8.5.3	Fertigungsbeschichtungen (Shop-Primer)	429
8.5.3.1	Applikationstechnik	430
8.5.3.2	Schichtdicke	432
8.5.3.3	Vorteile für den Stahlbauer bei Einsatz von konservierten Walzstahles	434
8.5.4	Überschweißbarkeit von Fertigungsbeschichtungen	435
8.5.4.1	Der Einfluß von Fertigungsbeschichtungen auf technologische Gütewerte der Schweißverbindungen	435
	• Einfluß auf die Zugfestigkeit	436
	• Einfluß auf Streckgrenze, Biegewinkel und Kerbschlagzähigkeit	436
	• Einfluß von Poren auf die Dauerfestigkeit	436
	• Die Ursache der Porenbildung bei dem Überschweißen	436
	.. Oberflächenzustand des Schweißgutes	
	.. Rauigkeit der Oberflächen und Schnittkanten	
	.. Nahtarten und Schweißverfahren	
	.. Art des Fertigungsbeschichtungstoffes	
	• Brennhof	439
	• Umgehung schweißtechnischer Schwierigkeiten	439
8.5.5	Arbeitssicherheit; Geruchsbelästigung und/oder Gesundheitsschäden bei Schweißarbeiten an Stahl mit Beschichtung	439
	• Bindemittel-Pyrolyseprodukte	440
	• Pigment-Pyrolyseprodukte	440
8.5.6	Prüfungen für Fertigungsbeschichtungen	443
	Literatur	443
<b>9</b>	<b>Korrosionsschutz durch Beschichtungstoffe</b>	<b>444</b>
9.1	Allgemeine Gesichtspunkte	444
9.2	Grundvoraussetzungen für einen optimalen Korrosionsschutz durch Beschichtungstoffe	445
9.3	Der Beschichtungstoff-Hersteller; Lackindustrie	445
9.3.1	Die Größenordnung	445
9.3.2	Die Struktur	447
9.3.3	Die Produkte	447
9.3.4	Der Markt	448

9.3.5	Die Zukunft .....	448
9.4	Beschichtungsstoffe für den Korrosionsschutz .....	449
9.4.1	Differenzierte und kombinierte Schutzmaßnahmen im Korrosionsschutz ..	452
9.4.2	Der Trend Korrosionsschutz ab Fabrik .....	452
9.4.3	Die Bewährung von Beschichtungen an Objektbeispielen .....	453
9.4.4	Abgrenzung zu anderen Einsatzgebieten von Beschichtungsstoffen .....	453
9.5	Begriffsbestimmungen für Anstrichstoffe bzw. Anstriche für den Korrosionsschutz durch die Einführung der Bezeichnung Beschichtungsstoff bzw. Beschichtung .....	462
9.5.1	Anstrich .....	462
9.5.2	Lackierung .....	463
9.5.3	Beschichtung – Beschichtungsstoffe .....	463
9.5.4	Beschichtung .....	464
9.5.5	Terminologie – Untergrund oder Oberfläche; Untergrund- oder Oberflächenvorbehandlung bzw. -vorbereitung .....	465
9.5.6	Rostschutanstrich oder Korrosionsschutzanstrich (Korrosionsschutz-Beschichtung) welche Terminologie ist richtig? .....	465
9.5.7	Leichter Korrosionsschutz – schwerer Korrosionsschutz .....	466
9.6	Bedarf und Kosten an Korrosionsschutz-Beschichtungsstoffen .....	467
9.6.1	Bedarf an Korrosionsschutz-Beschichtungsstoffen .....	467
9.6.2	Kosten für den Korrosionsschutz durch Beschichtungsstoffen .....	467
9.6.3	Kostenanteil des Korrosionsschutzes an den Gesamtkosten des Objektes ..	475
9.7	Kostenvergleich verschiedener Korrosionsschutzverfahren .....	476
9.7.1	Kosten des Duplex-Systems .....	478
9.7.2	Schutzdauer und Kosten des Duplex-Systems .....	478
9.8	Schutzdauer von Korrosionsschutzbeschichtungen .....	479
9.8.1	Schutzdauer von Beschichtungen in Abhängigkeit von der Atmosphäre ...	481
9.8.2	Schutzdauer der Beschichtung in geschlossenen und in Freiluftanlagen ...	482
9.8.3	Abhängigkeit der Schutzdauer von der Art der Metalloberfläche .....	482
9.8.4	Abhängigkeit der Schutzdauer von der Stahlzusammensetzung .....	482
9.8.5	Abhängigkeit der Schutzdauer von der Geometrie der beschichteten Flächen .....	483
9.8.6	Verkürzte Schutzdauer von Korrosionsschutzbeschichtungen? .....	483
9.8.7	Verstärkte Belastung von einzelnen Beschichtungen durch veränderte Beschichtungstechnik .....	485
9.9	Versuch einer Kosten- und Nutzungsdauerermittlung der wichtigsten Korrosionsschutzsysteme .....	486
	Literatur .....	493
<b>10</b>	<b>Ermittlung und Wirtschaftlichkeit des erforderlichen Korrosionsschutzes, Topographie der Korrosions- bzw. Beschichtungsbeanspruchung .....</b>	<b>494</b>
10.1	Ermittlung des erforderlichen Korrosionsschutzes .....	495
	• Maximaler Korrosionsschutz .....	495
	• Optimaler Korrosionsschutz .....	495
10.1.1	Nutzungsdauer des Bauwerks .....	495
10.1.2	Zulässige Abrostungsgrenze .....	496

10.1.3	Korrosivität des Standortes bzw. der einwirkenden Medien und der damit verbundenen Korrosionsgeschwindigkeit . . . . .	496
10.1.4	Schutzdauer und Kosten des jeweiligen Korrosionsschutzverfahrens . . . . .	496
10.1.5	Kosten der verschiedenen Korrosionsschutzverfahren . . . . .	497
10.1.6	Korrosionsschutzwert-Schutzdauer . . . . .	498
10.1.7	Arbeitskräftesituation . . . . .	499
10.1.8	Preis der Stahlkonstruktion . . . . .	499
10.1.9	Schrotterlös . . . . .	499
10.1.10	Konstruktive und technologische Bedingungen . . . . .	499
10.1.11	Architektonische Gesichtspunkte . . . . .	499
10.2	Die Wirtschaftlichkeit des Korrosionsschutzes . . . . .	500
10.2.1	Kostenanteil der Beschichtungsstoffe an den Gesamtkosten . . . . .	501
10.2.2	Wirtschaftlichkeitsrechnung bei Korrosionsschutzbeschichtungen . . . . .	502
10.2.2.1	Optimierung des Korrosionsschutzes . . . . .	505
	• Festkosten . . . . .	508
	.. Baustelleneinrichtung	
	.. Rüstung	
	.. Organisatorische Kosten	
	.. Entrostung	
	• Höhere Kosten der Wiederholungsarbeiten . . . . .	509
	.. Geringere Zeitwert des Geldes	
	.. Steigenden Lohnkosten	
	.. Höhere Kosten durch Entfernung des alten Korrosionsschutzes	
	.. Betriebsstillstand, -Einschränkung, -Behinderung	
	• Geringere Schutzdauer des Erneuerungs-Korrosionsschutzes . . . . .	509
	• Bei dem Zeitpunkt der Erneuerungsbeschichtung oder der Ausbesserung fehlender Mittel . . . . .	510
	• Die Nutzungsdauer des Objektes . . . . .	510
	• Nicht ausreichende Beständigkeit des preisgünstigeren Korrosions- schutzsystems bei stärkerer Beanspruchung als erwartet . . . . .	510
	• Keine exakte Vorherbestimmung der Schutzdauer von Korrosionsschutzsystemen . . . . .	511
	• I und R Kostenrechnung im Korrosionsschutz . . . . .	511
	• Alternative: Korrosionsschutz oder kein Schutz . . . . .	511
	.. Beschichtung bis zur Zerstörung oder Auffrischungs-Beschichtung	
	• Einsatz hochwertiger Korrosionsschutzsysteme unter Reduzierung der Schichtdicke zur Einsparung der Kosten . . . . .	512
10.2.3	Objekt-Inspektion und Ausbesserung der Beschichtungen . . . . .	513
10.2.4	Korrosionsschutz bezogen auf Nutzungsdauer des Objektes . . . . .	515
10.2.4.1	Welche Korrosionsschutzsysteme ermöglichen einen Schutz auf Nutzungsdauer? . . . . .	517
	• Duplex-Systeme . . . . .	517
	• Dickschichtige Beschichtungen . . . . .	517
10.3	Topographie der Korrosions- bzw. Beschichtungsbeanspruchung . . . . .	517
10.3.1	Allgemeines . . . . .	517
10.3.2	Differenzierte Schutzmaßnahmen erfordern eine Topographie . . . . .	519
10.3.3	Ermittlung der Beanspruchung . . . . .	519
10.3.4	Topographie verschiedener Objekte . . . . .	525

10.3.5	Beispiele für die falsche Einschätzung von Beanspruchungen . . . . .	525
10.3.5.1	pH-Wert und Säurekonzentration . . . . .	532
	Literatur . . . . .	534
<b>11</b>	<b>Korrosionsschutz-Beschichtungsstoffe – Allgemeines</b> . . . . .	<b>535</b>
11.1	Zusammensetzung von Beschichtungsstoffen . . . . .	535
	● Einteilung der Beschichtungsstoff-Bestandteile in Festkörper und Flüchtiges . . . . .	536
	● Einfluß der Zusammensetzung und Herstellung auf die Eigenschaften der Beschichtung . . . . .	536
11.1.1	Bindemittel . . . . .	538
11.1.1.1	Bindemittelanteil, z. B. Ölgehalt von Beschichtungsstoffen . . . . .	540
11.1.2	Pigmente und Füllstoffe (Extender) . . . . .	542
11.1.3	Lösemittel und Verdüner . . . . .	542
11.1.4	Hilfsstoffe . . . . .	543
11.2	Trocknung; Filmbildung von Beschichtungsstoffen . . . . .	543
11.2.1	Trocknungsarten . . . . .	543
11.2.1.1	Filmbildung physikalisch . . . . .	546
11.2.1.2	Filmbildung chemisch durch Oxydation . . . . .	546
11.2.1.3	Filmbildung physikalisch-chemisch durch Oxydation . . . . .	547
11.2.1.4	Filmbildung chemisch durch Polyaddition . . . . .	547
11.2.1.5	Filmbildung chemisch durch Polymerisation . . . . .	548
11.2.1.6	Filmbildung chemisch durch höhere Temperaturen – ofentrocknende Beschichtungsstoffe – . . . . .	549
11.2.2	Trocknungs-Phasen und ihre Prüfung . . . . .	549
11.2.3	Einfluß der Anwendung höherer Temperaturen auf den Chemismus der Trocknung und die Verbesserung der Beschichtungseigenschaften . . . . .	550
11.2.4	Trocknungsgeschwindigkeit . . . . .	551
11.2.4.1	Einfluß variierender Klimabedingungen auf die Trocknungsgeschwindigkeit . . . . .	551
	● Temperatur . . . . .	551
	● Luftfeuchtigkeit . . . . .	552
	● Luftzirkulation . . . . .	553
11.2.4.2	Einfluß atmosphärischer Verunreinigungen und Abgase auf die Trocknungsgeschwindigkeit . . . . .	553
11.3	Beschichtungsstoffe für den Korrosionsschutz . . . . .	553
11.3.1	Welcher Beschichtungsstoff ist der richtige? . . . . .	574
11.3.1.1	Erstellung eines Korrosionsschutzplanes . . . . .	579
	● Doppelfunktion von Beschichtungen . . . . .	580
	● Aufwand und Nutzeffekt . . . . .	580
	● Auswahl von Korrosionsschutzsystemen nach den zu erwartenden Beanspruchungen . . . . .	580
	● Ermittlung der Beanspruchung . . . . .	582
	● Beanspruchungsklassen für Korrosionsschutzsysteme . . . . .	582
11.3.2	Normung von Beschichtungsstoffen oder Festlegung von Gebrauchseigenschaften? . . . . .	584



11.3.3	Deklarierung der Basis von Korrosionsschutz-Beschichtungsstoffen . . . . .	585
	● Kennzeichnung des Oberflächenlieferzustandes von Stahl . . . . .	588
	Literatur . . . . .	588
<b>12</b>	<b>Korrosionsschutz-Beschichtungen</b> . . . . .	<b>589</b>
12.1	Eigenschaften von Beschichtungen . . . . .	589
12.2	Wirkungsweise von Beschichtungen . . . . .	592
12.2.1	Passive Beschichtung; Barriereeffekt . . . . .	594
12.2.2	Aktive Beschichtung; Korrosionsinhibitor . . . . .	596
	● Inhibierung . . . . .	596
	● Kathodischer Schutz . . . . .	596
	● Anodischer Passivierung . . . . .	597
	● Inertisation . . . . .	599
12.2.2.1	Korrosion an Fehlstellen von Beschichtungen . . . . .	600
12.3	Aufbau von Beschichtungen . . . . .	600
	● Anzahl der Grund- bzw. Deckbeschichtungen bei drei- bzw. vierfachem System . . . . .	601
12.3.1	Grundbeschichtung . . . . .	602
12.3.2	Deckbeschichtung . . . . .	605
12.3.3	Aktiver Korrosionsschutz in allen Schichten (defense in depth) . . . . .	606
12.3.4	Zur Frage der Kombination von verschiedenartigen Beschichtungen zu einem Beschichtungssystem . . . . .	606
12.3.5	Unterschiedliche Beschichtungsstoffe für innen oder außen bei normaler Beanspruchung? . . . . .	609
12.3.6	Farb- bzw. Farbtonunterschiede der einzelnen Beschichtungen eines Beschichtungssystem . . . . .	610
12.3.7	Spachtel unter Korrosionsschutz-Beschichtungen . . . . .	611
12.3.8	Zusätzliche Beschichtung von Behältern an Überlaufstellen zur Vermeidung zu starker Verschmutzungen bzw. Zerstörungen . . . . .	611
12.3.8	Zusätzliche Beschichtung von Behältern an Überlaufstellen zur Vermeidung zu starker Verschmutzungen bzw. Zerstörungen . . . . .	611
	Literatur . . . . .	611
<b>13</b>	<b>Pigmente für Korrosionsschutz-Beschichtungsstoffe</b> . . . . .	<b>613</b>
13.1	Allgemeines . . . . .	613
13.1.1	Pigmentklassen . . . . .	613
13.1.2	Allgemeine Gesichtspunkte . . . . .	615
13.1.3	Struktur und Teilchengröße der Pigmente . . . . .	618
13.1.4	Pigmentvolumenkonzentration . . . . .	622
13.2	Korrosionsschutzpigmente . . . . .	623
13.2.1	Allgemeines-Definition . . . . .	623
13.2.2	Wirkungsweise . . . . .	624
	● Verbesserung der mechanischen Filmeigenschaften . . . . .	624
	● Chemische Wirkungsweise . . . . .	624
	● Elektrochemische – passivierende Wirkungsweise . . . . .	625
13.2.3	Einteilung . . . . .	625
13.2.4	Bleipigmente . . . . .	626

13.2.4.1	Bleimennige .....	626
13.2.4.2	Bleicyanamid .....	631
13.2.4.3	Basisches Bleisilicochromat .....	632
13.2.4.4	Bleistaub .....	632
13.2.4.5	Basisches Bleisulfat (Sulfo-Bleiweiß) .....	634
13.2.4.6	Calciumplumbat .....	634
13.2.4.7	Bleisuboxid .....	635
13.2.4.8	Graubleimennige .....	636
13.2.4.9	Bleiphosphat, Bleiphosphit .....	636
13.2.5	Chromatpigmente .....	636
13.2.5.1	Verschiedene Chromate .....	640
	• Bariumchromat .....	640
	• Bleisilicochromat (basisches Bleichromat) .....	640
	• Calciumchromat .....	640
	• Bariumkaliumchromat .....	640
	• Strontiumchromat .....	640
13.2.5.2	Zinkchromat .....	641
	• Zinkkaliumchromate .....	641
	• Zinktetrahydroxichromate .....	641
13.2.5.3	Organische Chromatpigmente .....	642
13.2.6	Zinkpigmente .....	642
13.2.6.1	Verschiedene Zinkpigmente .....	642
	• Zinkchromat .....	642
	• Zinkphosphat .....	642
13.2.6.2	Zinkstaub .....	642
	• Zinkstaub – Zinkoxid .....	646
13.2.7	Phosphatpigmente .....	646
13.2.7.1	Bariumphosphat .....	647
13.2.7.2	Bleiphosphat .....	647
13.2.7.3	Chromphosphat .....	647
13.2.7.4	Zinkphosphat .....	647
13.2.8	Phosphitpigmente .....	648
13.2.9	Sonstige Korrosionsschutzpigmente .....	648
13.2.9.1	Bariummetaborat .....	648
13.2.9.2	Bariumsilikat .....	649
13.2.9.3	Chromfluorid .....	649
13.2.9.4	Eisenmennige .....	649
13.2.9.5	Mehrphasenpigmente .....	650
13.2.9.6	Molybdat- und Wolframtpigmente .....	650
13.2.9.7	Inhibitoren .....	650
13.2.9.8	Ferleukit .....	654
13.3	Pigmente für Deckbeschichtungen .....	654
13.3.1	Allgemeines .....	654
13.3.2	Aluminiumpulver .....	654
13.3.3	Antimonweiß .....	657
13.3.4	Bleiweiß .....	657
13.3.5	Bauxit .....	658
13.3.6	Chromoxidgrün und Chromoxidhydratgrün .....	658

13.3.7	Nichtrostendes Stahlpulver – Edelstahlpulver	659
13.3.8	Eisenglimmer	659
13.3.9	Eisenoxide	661
	• Eisenoxiduloxid-Hammerschlag	662
13.3.10	Titandioxid-Titanweiß	662
13.3.10.1	Titandioxid	662
13.3.10.2	Titanweiß	663
13.3.11	Zinkweiß (Zinkoxid) – Farbenzinkoxid	664
13.1.11.1	Zinkweiß	664
13.1.11.2	Farbenzinkoxid	664
13.4	Füllstoffe (Extender)	666
13.4.1	Allgemeines	666
13.4.2	Asbestine	667
13.4.3	Bariumsulfat (Schwerspat, Blanc fixe)	667
13.4.4	Calcite	667
13.4.5	Glimmer (Kalium-Aluminiumsilikat)	668
13.4.6	Graphit	668
13.4.7	Kaolin und Kieselsäure	668
13.4.8	Siliziumkarbid	668
13.4.9	Talkum (Magnesiumsilikat)	669
13.5	Korrosionsschutzprüfung von Pigmenten	669
13.5.1	Allgemeines	669
13.5.2	Prüfung	670
13.5.2.1	Korrosionsschutztest von Pigmenten	670
	• Test nach U. R. Evans	670
	• Test nach M. F. Clay	671
13.5.2.2	Physikalisch-chemische und elektrochemische Prüfverfahren	672
	• Kurzprüfung von Korrosionsschutzpigmenten speziell in Grundbeschichtungen; Korrosionsschutzwert	672
13.5.2.3	Praktische Korrosionsschutzprüfung	672
13.6	Trockenstoffe (Sikkative)	674
	Literatur	675
<b>14</b>	<b>Bindemittel</b>	<b>678</b>
14.1	Allgemeines	678
14.2	Öle (OL)	678
14.3	Alkydharze (AK)	681
14.3.1	Modifizierte Alkydharze	682
	• Harzmodifizierte Alkydharze	682
	• Vinylalkydhharze	682
	• Urethanalkydhharze	682
	• Silikonalkydhharze	682
	• Metallverstärkte Alkydhharze	682
	• Epoxidalkydhharze	683
14.4	Bituminöse Stoffe, Bitumen (B) Teer (T)	683
14.5	Chlorkautschuk (RUC)	684
14.6	Cyklokautschuk (RUI)	685

14.7	Polyvinylchlorid (PVC), Vinylchlorid-Copolymerisate .....	686
14.8	Siliconharz (SI) .....	687
14.9	Silikate, Alkali- und Alkylsilikate .....	688
14.10	Epoxidharz (EP) .....	689
14.11	Polyurethan (PUR) .....	689
14.12	Acrylharz (AY), Polyacrylatharze .....	690
14.13	Elastomere, Basis Polyolefine und Chlorbutadien .....	692
	• Polyäthylen, chloriert (PEC) .....	692
	• Polypropylen, chloriert (PP) .....	692
	• Polyäthylen, chlórsulfoniert (CSM) .....	692
	• Polychloropren .....	692
14.14	Polyvinylbutyral (PVB) .....	693
14.15	Sonstige Bindemittel .....	693
	Literatur .....	694
<b>15</b>	<b>Lösemittel und Verdüner für Beschichtungsstoffe .....</b>	<b>695</b>
15.1	Allgemeines .....	695
15.2	Einteilung der Lösemittel .....	695
15.2.1	Physikalische Eigenschaften .....	695
15.2.2	Zugehörigkeit zu chemischen Stoffklassen .....	696
	• Aliphatische Kohlenwasserstoffe .....	697
	• Aromatische Kohlenwasserstoffe .....	697
	• Terpen-Kohlenwasserstoffe .....	697
	• Chlor-Kohlenwasserstoffe .....	697
	• Alkohole und Glykole .....	697
	• Ester und Glykolester .....	697
	• Ketone .....	700
15.2.3	Einteilung nach praktischen Gesichtspunkten .....	700
15.3	Verdüner .....	701
15.4	Einfluß der Lösemittel und Verdüner auf die Viskosität .....	702
15.5	Einfluß der Lösemittel und Verdüner auf Trocknungs- und Beschichtungsfehler .....	704
15.6	Einfluß der Lösemittel und Verdüner auf den Schutzwert der Beschichtung .....	705
	Literatur .....	706
<b>16</b>	<b>Beschichtungsstoffe für den Korrosionsschutz – nach der Bindemittelbasis .....</b>	<b>707</b>
16.1	Öl-(OL-)Beschichtungsstoffe .....	707
16.1.1	Faktisiertes Leinöl .....	709
16.1.2	Öl/Harz (Öllacke) .....	710
16.2	Alkydharz-(AK-)Beschichtungsstoffe .....	711
16.3	Bituminöse Beschichtungsstoffe .....	714
	• Ungefüllte und gefüllte bituminöse Beschichtungsstoffe .....	716
	• Farbige bituminöse Beschichtungsstoffe .....	720
	• Verhalten bituminöser Beschichtungen an der Atmosphäre .....	720
	• Schwierigkeiten bei Teer-Beschichtungen auf Bitumen-Beschichtungen .....	722

● Beschichtungen auf bituminösen Beschichtungen .....	722
● Physiologische Wirkung von Teer und Bitumen bei der Applikation ..	723
● Aktive Korrosionsschutzgrundbeschichtungen unter bituminösen Beschichtungen .....	724
16.3.1 Bitumen-(B-)Beschichtungsstoffe .....	724
16.3.2 Steinkohlenteer- bzw. -Pech-(T-)Beschichtungsstoffe .....	726
16.3.2.1 Steinkohlenteerlösungen .....	727
16.3.2.2 Plastifizierte Steinkohlenteerlösungen .....	728
16.3.2.3 Teerpechemulsionen .....	728
16.3.2.4 Steinkohlenteer-Schmelz- oder Heißmassen .....	728
16.3.2.5 Steinkohlenteer- bzw. -Pech-Epoxid- oder Polyurethan-Kombination ....	728
16.4 Chlorkautschuk-(RUI-)Beschichtungsstoffe .....	728
16.4.1 „Reine“ Chlorkautschuk-Beschichtungsstoffe .....	729
16.4.2 Chlorkautschuk-Kombinations- (z. B. Alkydharz-)Beschichtungsstoffe ...	733
16.4.3 Chlorkautschuk-Emulsionen .....	734
16.4.4 Dickschicht-Chlorkautschuk-Beschichtungsstoffe .....	734
16.5 Cyclokautschuk-(RUI-)Beschichtungsstoffe .....	737
16.6 Chlorierte Polypropylen-Beschichtungsstoffe .....	739
16.7 Polyvinylchlorid-(PVC-)Beschichtungsstoffe .....	740
16.8 Siliconharz-(SI-)Beschichtungsstoffe .....	741
16.8.1 Siliconharzmodifikationen, z. B. Siliconalkyde .....	743
16.9 Butyltitanat-Beschichtungsstoffe .....	743
16.10 Zement-Beschichtungsstoffe .....	743
16.11 Silikat-Beschichtungsstoffe .....	744
16.12 Fluorkunststoff-Beschichtungsstoffe .....	744
● Polytetrafluoräthylen (PTFE) .....	745
● Polyvinylidenfluorid (PVDF) .....	745
● Polyvinylfluorid (PVF) .....	746
● Polytetrafluoräthylen-(PTFE-)Phenolharz .....	746
● Polytetrafluoräthylenpropylen (FEP) .....	746
● Perfluorpolymere (PFA) .....	747
16.13 Epoxidharz-(EP-)Beschichtungsstoffe .....	747
16.13.1 Zweikomponenten-Beschichtungsstoffe .....	749
16.13.1.1 Epoxidharz-Amin .....	753
16.13.1.2 Epoxidharz-Polyamid .....	754
16.13.1.3 Epoxidharz-Isocyanat .....	755
16.13.1.4 Epoxidharz-Ketimin .....	755
16.13.1.5 Epoxidharz-Dispersionen .....	755
16.13.2 Einkomponenten-Beschichtungsstoffe lufttrocknend .....	756
16.13.2.1 Epoxidharzester (EPE) .....	756
16.13.2.2 Epoxid-Alkydharze .....	756
16.13.2.3 Epoxidierte Öle .....	756
16.13.3 Einkomponenten-Beschichtungsstoffe ofentrocknend .....	756
16.13.3.1 Epoxidharzkombinationen mit Melamin-, Harnstoff- oder Phenolharz ...	756
16.14 Polyurethan-(PUR-)Beschichtungsstoffe .....	758
16.14.1 Zweikomponenten Beschichtungsstoffe .....	758

16.14.2	Einkomponenten Beschichtungsstoffe .....	761
16.14.2.1	Feuchtigkeitshärtendes Polyurethan .....	761
16.14.2.2	Urethanöl und Urethanalkydharz .....	762
16.15	Epoxidharz-Teer-(EP-T-) bzw. Polyurethan-Teer-(PUR-T-) Beschichtungsstoffe .....	762
16.15.1	Epoxidharz-Teer (EP-T) .....	763
	• Aktive Grundbeschichtung unter Epoxidharz-Teer-Beschichtung ...	767
	• Feuerverzinkung, Zink, Aluminium als zu beschichtende Oberfläche .	768
	• Aluminium-, Zink-, Blei-Metallspritzschichten als zu beschichtende Fläche .....	768
16.15.2	Polyurethan-Teer (PUR-T) .....	768
16.16	Polyacrylharz-(AY-)Beschichtungsstoffe .....	769
16.16.1	„Reine“ Polyacrylharz-Beschichtungsstoffe .....	769
16.16.2	Polyacrylatdispersionen .....	771
16.16.3	Polyacrylat in Kombination mit anderen Kunstharzen .....	771
16.16.4	Polyacrylat-Polisocyanat .....	771
16.17	Ungesättigte Polyester-(UP-)Beschichtungsstoffe .....	771
16.18	Elastomere-Beschichtungsstoffe (kautschukartige Beschichtungen) .....	775
16.18.1	Chlorsulfoniertes Polyäthylen (CSM) .....	778
16.18.2	Polychloropren (Chlorbutadien) .....	778
16.19	Zweikomponenten- oder Reaktions-Beschichtungsstoffe .....	779
16.19.1	Begriffsbestimmung .....	779
	• Zweikomponenten-Beschichtungsstoff beziehungsweise -Kombination mit bituminösen Stoffen .....	784
16.19.2	Filmbildung von Zweikomponenten-Beschichtungsstoffen .....	784
16.19.3	Verbund zwischen den einzelnen Schichten eines Zweikomponenten-Beschichtungssystems .....	785
	• Prüfung auf maximale Vernetzung von Zweikomponenten- Beschichtungen .....	786
16.19.4	Kombination verschiedener Zweikomponenten Beschichtungsstoffe in einem Beschichtungssystem .....	787
16.19.5	Ein- oder Mehrkomponenten Beschichtungsstoffe? .....	788
16.20	Aluminiumpulver-Beschichtungsstoffe .....	789
16.20.1	Hitzebeständige Beschichtungen .....	790
16.20.2	Korrosionsschutz-Deckbeschichtungen .....	790
16.20.3	Reflexions-Beschichtungen .....	791
16.20.4	Isolations-Beschichtungen .....	791
16.20.5	Aluminiumpulverhaltige Beschichtungsstoffe .....	791
16.20.6	Aluminiumpigmentierte Beschichtungsstoffe in explosionsgefährdeten Räumen .....	791
16.21	Bleistaub-Beschichtungsstoffe .....	792
16.22	Bleimennige-Beschichtungsstoffe .....	794
16.22.1	Bleimennige auf Fertigungsbeschichtungen .....	795
16.22.2	Beschichtungen auf Restrost .....	796
16.22.3	Bleimennige im Bereich von Schweißnähten .....	796
16.22.4	Dickschichtige Beschichtungen .....	796
16.22.5	Spritzen von Bleimennige .....	796

16.22.6	Temperaturbeständigkeit von Bleimennige .....	797
16.22.7	Art und Abhängigkeit der Bleimennige-Grundbeschichtung von der Zeit der Applikation bis zum Auftrag der nachfolgenden Beschichtung .....	797
16.23	Eisenglimmer-Beschichtungsstoffe .....	797
16.24	Nichtrostende Stahlpulver-, Edelstahlpulver-Beschichtungsstoffe .....	801
16.25	Zinkstaub-Beschichtungsstoffe .....	802
16.25.1	Zink im Korrosionsschutz .....	802
16.25.2	Zinkstaub-Beschichtungsstoffe .....	805
	• Bindemittel für Zinkstaub-Beschichtungsstoffe .....	805
16.25.2.1	Eigenschaften .....	806
	• Kathodische Schutzwirkung .....	806
	• Schutz durch Deckschichten .....	809
	• Chemische Beständigkeit .....	811
	• Wasser-Beständigkeit .....	812
	• Thermische Beständigkeit .....	812
	• Mechanische Beständigkeit .....	812
	• Vergleich der Zinkstaubgrund-Beschichtung, Zink-Metallspritzschicht, Feuerverzinkung .....	813
	• Vorteil der Zinkstaub-Beschichtungen für Grundbeschichtungen im Vergleich zu anderen Beschichtungen .....	814
	• Hygiene .....	814
16.25.3	Organische und anorganische Zinkstaub-Beschichtungsstoffe .....	815
16.25.3.1	Allgemeines .....	815
16.25.3.2	Alkalisilikat für Zinksilikat-Beschichtungen .....	818
	• Eigenschaften .....	819
16.25.3.3	Anwendungsgebiete .....	821
	• Oberflächenvorbereitung .....	821
	• Beschichtungsaufbau .....	823
	• Applikation .....	824
16.25.3.4	Deckbeschichtungen auf Zinkstaub-Grundbeschichtungen .....	824
	• Allgemeines .....	824
	• Haftungsschäden .....	824
	• Deckbeschichtungen für die Beschichtung auf frischen Zinkstaub-Beschichtungen .....	827
16.26	Wash Primer (Haftgrundmittel) .....	829
16.26.1	Allgemeines .....	829
16.26.1.1	Funktion des Wash Primers .....	830
16.26.1.2	Vorbereitung des Beschichtungsträgers .....	830
16.26.1.3	Applikation des Wash Primers .....	831
16.26.1.4	Beschichtungen auf Wash Primer .....	831
16.26.2	Zweikomponenten-Wash Primer .....	832
16.26.3	Einkomponenten-Wash Primer .....	833
16.26.4	Verstärkte Wash Primer .....	834
16.27	Lösemittelhaltige und freie Beschichtungsstoffe .....	834
16.27.1	Allgemeines .....	834
16.27.2	Lösemittelhaltige Beschichtungsstoffe .....	836
16.27.3	Lösemittelfreie Beschichtungsstoffe .....	837

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reaktive Verdüner . . . . . 838</li> </ul>	838
16.27.4	Wasserverdünnbare (Wasser-)Beschichtungsstoffe . . . . .	838
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Begriffsdefinition . . . . . 839</li> <li>.. Dispersion, Emulsion, Suspension, Lösung, Dispersions- Beschichtungsstoffe, wasserverdünnbare Beschichtungsstoffe</li> </ul>	839
16.27.4.1	Verschiedene wasserverdünnbare Beschichtungsstoffe . . . . .	841
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Wäßrige Dispersionsbeschichtungsstoffe . . . . . 841</li> <li>● Wassergelöste Beschichtungsstoffe . . . . . 843</li> </ul>	843
16.28	Kunststoffpulver-Beschichtungsstoffe . . . . .	844
16.29	Thermisch oder wärmhärtende Beschichtungsstoffe (Einbrennbeschichtungsstoffe) . . . . .	844
16.29.1	Allgemeines . . . . .	844
16.29.1.1	Korrosionsbeständigere Werkstoffe oder beschichteter Stahl? . . . . .	846
16.29.1.2	Vermeidung der Inkrustation . . . . .	846
16.29.1.3	Wärmedurchgang bei beschichteten Oberflächen . . . . .	847
16.29.1.4	Grundvoraussetzungen; Anforderungen an die zu beschichtenden Objekte . . . . .	848
16.29.1.5	Applikation . . . . .	848
16.29.1.6	Beschichtungsprozeß . . . . .	848
16.29.1.7	Reparatur wärmegehärteter Beschichtungen . . . . .	849
16.29.2	Beschichtungsstofftypus . . . . .	849
16.29.2.1	Phenolharze . . . . .	850
16.29.2.2	Epoxidharze . . . . .	850
16.29.2.3	Siliconharz . . . . .	851
16.29.2.4	Polyacrylharz . . . . .	851
16.30	Verstärkte, armierte oder laminierte Beschichtung . . . . .	851
16.30.1	Allgemeines . . . . .	851
16.30.2	Armierungsmaterialien . . . . .	852
16.30.3	Ausführung der Armierung . . . . .	855
16.31	Spachtel . . . . .	857
16.32	Dickschicht-Beschichtungsstoffe . . . . .	857
16.32.1	Allgemeines . . . . .	857
16.32.2	Dickschichtige Beschichtungen; High-Build . . . . .	863
16.32.2.1	Thixotropie und Strukturviskosität . . . . .	866
16.33	Kantenschutz-Beschichtungsstoffe . . . . .	868
	Literatur . . . . .	871