

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Wirtschaftliche und Technische Bedeutung der Korrosion . . .</b>	<b>1</b>
1.1	Kosten der Korrosionsschäden . . . . .	2
1.2	Sekundärkosten von Korrosionsschäden . . . . .	3
	Produktionsverlust . . . . .	4
	Effizienzverlust . . . . .	4
	Kontamination (Verunreinigung) von Produkten . . . . .	4
	Erhöhte Materialkosten durch Korrosionsverschleiß . . . . .	4
	Verluste aus indirekten Folgen der Korrosion . . . . .	5
1.3	Schadensformen und Gefährdungspotential . . . . .	5
1.4	Schadensverhütung als volkswirtschaftliche Aufgabe . . . . .	6
	<i>Literatur zu Kapitel 1</i> . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Korrosion . . . . .</b>	<b>10</b>
2.1	Grundbegriffe . . . . .	10
	Korrosionsarten ohne mechanische Beanspruchung . . . . .	15
	Korrosionsarten bei zusätzlicher mechanischer Beanspruchung . . . . .	17
	Korrosionserscheinungen . . . . .	19
2.2	Thermodynamik und Kinetik elektrochemischer Korrosion . . . . .	20
2.2.1	Elektrolytische Korrosion, Überspannung, Mischelektrode . . . . .	20
2.2.2	Korrosionsstrom und Polarisation (Stromdichte-Potentialkurven) . . . . .	27
2.2.3	Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit (Tafel-Gerade, Stern-Geary-Gleichung) . . . . .	30
2.2.4	Wasserstoffüberspannung und Säurekorrosion . . . . .	34
2.2.5	Sauerstoffüberspannung und Sauerstoffkorrosion . . . . .	37
2.2.6	Einfluß von Deckschichten . . . . .	41
	Besondere Merksätze der elektrochemischen Korrosion . . . . .	45
	<i>Literatur zu Kapitel 2</i> . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Korrosionsarten und -formen in wäßrigen Medien . . . . .</b>	<b>47</b>
3.1	Korrosionsarten ohne mechanische Beanspruchung . . . . .	47
3.1.1	Gleichmäßige und ungleichmäßige Flächenkorrosion . . . . .	47

Un- und niedriglegierte Stähle . . . . .	48
Schutzmaßnahmen . . . . .	65
Hochlegierte nichtrostende Stähle . . . . .	66
Nickel und Nickellegierungen . . . . .	76
Kupfer und Kupferlegierungen . . . . .	86
Korrosionsschutzmaßnahmen . . . . .	91
Aluminium und Aluminiumlegierungen . . . . .	91
Korrosionsschutzmaßnahmen . . . . .	96
Bleiwerkstoffe . . . . .	97
Anwendungsbereich von Bleiwerkstoffen . . . . .	105
Zink und Zinklegierungen . . . . .	105
Zinn und Zinnlegierungen . . . . .	106
Refraktäre Metalle . . . . .	109
Sondermetalle der IV. Nebengruppe: Ti, Zr, Hf . . . . .	109
Sondermetalle der V. Nebengruppe: Nb, Ta . . . . .	114
Wirtschaftliche Betrachtung . . . . .	117
<i>Literatur zu 3.1.1</i> . . . . .	117
3.1.2 Lochkorrosion . . . . .	119
Lochkorrosion nichtrostender Stähle . . . . .	121
Lochkorrosion an Al-Werkstoffen . . . . .	131
Korrosionsverhalten geschweißter Al-Legierungen . . . . .	134
Lochkorrosion an Kupferwerkstoffen . . . . .	136
Lochfraß unter Ablagerungen . . . . .	138
<i>Literatur zu 3.1.2</i> . . . . .	139
3.1.3 Selektive Korrosion . . . . .	140
Selektive Korrosion an Eisenwerkstoffen . . . . .	141
Selektive Korrosion an Kupferwerkstoffen . . . . .	148
Abhilfemaßnahmen . . . . .	150
Typische Schadensfälle . . . . .	150
Schadensabhilfe . . . . .	151
<i>Literatur zu 3.1.3</i> . . . . .	152
3.1.4 Interkristalline Korrosion . . . . .	152
Austenitische Chrom-Nickel-Stähle . . . . .	154
Ferritische Chromstähle . . . . .	170
NiMo- und NiMoCr-Legierungen . . . . .	173
Interkristalline Korrosion von Titan . . . . .	176
Aluminiumwerkstoffe . . . . .	178
<i>Literatur zu 3.1.4</i> . . . . .	180
3.1.5 Kontaktkorrosion . . . . .	180
Kontaktkorrosion nichtrostender Stähle in Kombination mit anderen Metallen . . . . .	186
Vermeidung von Kontaktkorrosion . . . . .	191
<i>Literatur zu 3.1.5</i> . . . . .	191
3.1.6 Spaltkorrosion . . . . .	192
<i>Literatur zu 3.1.6</i> . . . . .	200
3.1.7 Filigrankorrosion (Filiformkorrosion) . . . . .	200

	Schichtkorrosion . . . . .	205
	<i>Literatur zu 3.1.7</i> . . . . .	207
3.1.8	Mikrobiologisch induzierte Korrosion (MIC) . . . . .	208
	Einleitung und Problemstellung . . . . .	208
	Mikroorganismen und Biofilmbildung . . . . .	208
	Allgemeine Korrosionsaspekte . . . . .	211
	Untersuchungsmethoden . . . . .	213
	Korrosionsschutz unter besonderer Berücksichtigung der mikrobiellen Korrosion . . . . .	213
	Schäden durch Mikroorganismen in Kühlkreisläufen . . . . .	215
	Schadensbeispiele an Stählen . . . . .	217
	Mikrobiologisch induzierte Korrosion an Kupferrohren . . . . .	220
	<i>Literatur zu 3.1.8</i> . . . . .	222
3.1.9	Korrosion in Böden . . . . .	223
	Grauguß, duktiles Gußeisen . . . . .	226
	Aluminiumwerkstoffe . . . . .	226
	Kupferwerkstoffe . . . . .	227
	Sonstige Nichteisenwerkstoffe . . . . .	228
	<i>Literatur zu 3.1.9</i> . . . . .	228
3.1.10	Korrosion in organischen Medien	
	Halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW) . . . . .	229
	Problemstellung . . . . .	229
	Werkstoffverhalten . . . . .	229
	Unlegierte Stähle . . . . .	230
	Nichtrostende Stähle . . . . .	230
	Aluminium und Aluminiumlegierungen . . . . .	231
	Kupfer und Kupferlegierungen . . . . .	232
	Hydrolyse der Halogenkohlenwasserstoffe . . . . .	232
	Korrosionsmechanismen . . . . .	234
	Schlußfolgerung . . . . .	235
	Schadensbeispiele . . . . .	236
	Alkohole . . . . .	239
	Kupfer, Zink . . . . .	240
	Un- und niedriglegierte Stähle . . . . .	243
	Korrosionsverhalten in Alternativkraftstoffen . . . . .	245
	Schlußfolgerungen . . . . .	247
	<i>Literatur zu 3.1.10</i> . . . . .	248
3.1.11	Strömungsabhängige Korrosion . . . . .	249
	<i>Literatur zu 3.1.11</i> . . . . .	256
<b>4</b>	<b>Korrosionsarten mit mechanischer Beanspruchung . . . . .</b>	<b>257</b>
4.1	Erosionskorrosion, Kavitationskorrosion, Reibkorrosion . . . . .	258
4.1.1	Erosionskorrosion . . . . .	258
	Erosionskorrosion an Kupferwerkstoffen . . . . .	265
	Erosionskorrosion an Kupferwerkstoffen in der Meerestechnik . . . . .	268

	Schadensfallbeispiele . . . . .	273
	Schutzmaßnahmen . . . . .	273
	<i>Literatur zu 4.1.1</i> . . . . .	274
4.1.2	Kavitationskorrosion . . . . .	275
	<i>Literatur zu 4.1.2</i> . . . . .	279
4.1.3	Reibkorrosion . . . . .	279
	<i>Literatur zu 4.1.3</i> . . . . .	284
4.2	Spannungsrißkorrosion (SpRK) . . . . .	285
4.2.1	Allgemeines . . . . .	285
4.2.2	Dehnungsinduzierte SpRK . . . . .	291
4.2.3	Spannungsrißkorrosion un- und niedriglegierter Stähle . . . . .	297
	SpRK in Nitrat-haltigen Lösungen . . . . .	297
	SpRK in Alkalien . . . . .	305
	<i>Literatur zu 4.2.1, 4.2.2 und 4.2.3 (Nitrate und Alkalien)</i> . . . . .	308
	SpRK in Carbonat-Bicarbonatlösungen . . . . .	309
	<i>Literatur SpRK in Carbonat-Bicarbonatlösungen</i> . . . . .	314
	SpRK in flüssigem Ammoniak . . . . .	314
	<i>Literatur SpRK in flüssigem Ammoniak</i> . . . . .	321
	SpRK in CO/CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O-Gemischen . . . . .	321
	<i>Literatur zu SpRK in CO/CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O-Gemischen</i> . . . . .	328
	SpRK im System CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O . . . . .	328
	<i>Literatur zu SpRK im System CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O</i> . . . . .	333
	SpRK in Ammoniumsalzgemischen schwacher Säuren (H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , HCN) . . . . .	333
	<i>Literatur zu SpRK in Ammoniumsalzgemischen schwacher Säuren</i> . . . . .	335
	SpRK in Rohmethanol . . . . .	335
	<i>Literatur zu SpRK in Rohmethanol</i> . . . . .	337
	Dehnungsinduzierte SpRK in Wässern . . . . .	337
	Werkstoff- und mediumseitige Einflußgrößen . . . . .	344
	Untersuchungsmethoden . . . . .	348
	<i>Literatur zu Dehnungsinduzierte SpRK in Wässern</i> . . . . .	349
4.2.4	Spannungsrißkorrosion nichtrostender Chrom-Nickel-Stähle und Nickellegierungen . . . . .	349
	CrNi-Stähle in Chloridlösungen . . . . .	350
	CrNi-Stähle in Alkalilaugen . . . . .	370
	SpRK von Nickelbasis-Legierungen in reinem Hochtemperaturwasser . . . . .	377
	SpRK kupferhaltiger nichtrostender Austenitstähle in Schwefelsäure . . . . .	378
	<i>Literatur zu SpRK nichtrostender CrNi-Stähle und Nickellegierungen</i> . . . . .	381
	SpRK an austenitischem Gußeisen . . . . .	381
	<i>Literatur zu SpRK an austenitischem Gußeisen</i> . . . . .	388
	Spannungsrißkorrosionsverhalten martensitischer CrNi-Stähle . . . . .	388
	Spannungsrißkorrosionsverhalten ferritisch-austenitischer CrNi-Stähle . . . . .	392

	<i>Literatur zu SpRK martensitischer CrNi-Stähle und ferritisch-austenitischer CrNi-Stähle</i> . . . . .	395
4.2.5	Spannungsrißkorrosion von Kupferwerkstoffen . . . . .	396
	Einfluß der Werkstoffzusammensetzung . . . . .	396
	Einfluß der Art der mechanischen Beanspruchung . . . . .	403
	Einfluß des Elektrodenpotentials . . . . .	403
	Interkristallines und transkristallines Bruchverhalten . . . . .	405
	Einfluß des Angriffsmediums . . . . .	406
	Mechanismus der Rißenstehung und Rißausbreitung . . . . .	409
	Typische Schadenfälle . . . . .	413
	Abhilfemaßnahmen . . . . .	416
	<i>Literatur zu 4.2.5</i> . . . . .	417
4.2.6	Spannungsrißkorrosion der Aluminiumwerkstoffe . . . . .	417
	Spannungsrißkorrosionsverhalten aushärtbarer Aluminiumwerkstoffe . . . . .	418
	Spannungsrißkorrosions-Prüfverfahren . . . . .	419
	Einfluß des Elektrodenpotentials . . . . .	424
	Gezielte Untersuchungen zum Mechanismus der Spannungsrißkorrosion . . . . .	426
	Mechanismus der Spannungsrißkorrosion . . . . .	428
	SpRK-beständige Al-Werkstoffe . . . . .	429
	Schutzmaßnahmen . . . . .	430
	<i>Literatur zu 4.2.6</i> . . . . .	430
4.2.7	Spannungsrißkorrosion der Titanwerkstoffe . . . . .	430
	Spannungsrißkorrosion von Titan technischer Reinheit in Halogenid-haltigem Alkohol . . . . .	431
	Spannungsrißkorrosion von Ti-Legierungen in chloridhaltigem Methanol . . . . .	432
	Spannungsrißkorrosion von Ti-Legierungen in wäßrigen Halogenid-Lösungen . . . . .	434
	Morphologie des Bruches . . . . .	437
	CERT-Versuche . . . . .	437
	Mechanismus des SpRK in wäßrigen Lösungen . . . . .	440
	<i>Literatur zu 4.2.7</i> . . . . .	441
4.2.8	Spannungsrißkorrosion in Metallschmelzen . . . . .	442
	<i>Literatur zu 4.2.8</i> . . . . .	445
4.3	Schwingungsrißkorrosion (SwRK), Korrosionsermüdung . . . .	445
	Schädigungsmechanismen bei Schwingungsrißkorrosion . . . .	446
	Schwingungsrißkorrosion im aktiven Zustand . . . . .	447
	Schwingungsrißkorrosion im passiven Zustand . . . . .	448
	Prüfverfahren und Ergebnisse . . . . .	452
	Schadensfälle und Abhilfemaßnahmen . . . . .	466
	Schutzmaßnahmen . . . . .	471
	Zusammenfassung . . . . .	473
	<i>Literatur zu 4.3</i> . . . . .	474

<b>5</b>	<b>Wasserstoffbedingte Schäden an metallischen Werkstoffen . . .</b>	<b>476</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	476
5.1.1	Wasserstoff in metallischen Werkstoffen . . . . .	477
	Wasserstoffverhalten im Metallgitter . . . . .	484
	<i>Literatur zu 5.1</i> . . . . .	488
5.2	Chemische Druckwasserstoffschädigung . . . . .	488
	<i>Literatur zu 5.2</i> . . . . .	495
5.3	Werkstoffschäden durch elektrochemisch entwickelten Wasserstoff . . . . .	496
	<i>Literatur zu 5.3</i> . . . . .	510
5.4	Werkstoffschäden durch Druckwasserstoff bei RT . . . . .	510
	Rißfortpflanzungsgeschwindigkeit unter Wasserstoffeinfluß . .	514
	Gefügeeinfluß . . . . .	518
	Temperatureinfluß . . . . .	518
	Einfluß des Wasserstoffdruckes . . . . .	520
	Einfluß der Zusammensetzung des Wasserstoffgases . . . . .	520
	Statische mechanische Beanspruchung . . . . .	521
	Schutzmaßnahmen . . . . .	526
	<i>Literatur zu 5.4</i> . . . . .	526
5.5	Hydridversprödung refraktärer Metalle . . . . .	527
	<i>Literatur zu 5.5</i> . . . . .	535
 <b>6</b>	 <b>Spezielle Korrosionssysteme und Schadensformen . . . . .</b>	 <b>536</b>
	Fremdstromkorrosion . . . . .	536
	Rißbildung an Graugußteilen durch Einwirkung von Oleum . .	537
	Korrosionsgefährdung von Nickellegierungen durch Einwirkung Schwefel- und Sauerstoff-haltiger Glühgase . . . . .	537
	Korrosion an Metalloberflächen mit Wärmedurchgang . . . . .	539
	Korrosion durch Abgaskondensat (Taupunktkorrosion) . . . . .	540
	Fertigungsfehler und Korrosion . . . . .	544
	<i>Literatur zu Kapitel 6</i> . . . . .	545
 	 <b>Anhang/Farbabbildungen . . . . .</b>	 <b>547</b>
 	 <b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	 <b>573</b>