

## 2 Inhalt

1	Vorwort .....	3
2	Inhalt .....	5
3	Einführung.....	11
4	Terminologie historischer Eisen- und Stahlwerkstoffe.....	16
5	Die Elemente Eisen und Kohlenstoff .....	20
5.1	Eisen und seine Umwandlungen im festen Zustand.....	20
5.2	Kohlenstoff und seine Allotropie.....	21
5.3	Binäres System Eisen-Kohlenstoff .....	22
5.3.1	Einführung.....	22
5.3.2	Graphische Darstellung der Systeme Fe-C und Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	22
5.3.3	Wichtige Linien und Punkte im System Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	24
5.3.4	Charakteristische Temperaturen im System Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	24
5.3.5	Phasen und Gefügebestandteile im System Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	25
5.4	Die Teilsysteme des binären Systems Eisen-Zementit.....	26
5.4.1	Überblick über die Teilsysteme.....	26
5.4.2	Das peritektische System .....	26
5.4.3	Das eutektoid System.....	26
5.4.4	Das eutektische System .....	27
5.5	Einteilung der Stahl- und Gusseisensorten anhand ihrer Lage im System Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	28
6	Historische Stahlerzeugungsverfahren und ihre geschichtliche Einordnung .....	29
6.1	Einführung .....	29
6.2	Tiegelstahl, der erste „Flüssstahl“ .....	29
6.3	Puddel-Stahl, der erste „Massenstahl“ .....	30
6.4	BESSEMER- und THOMAS-Stahl, die ersten „modernen“ Stähle .....	32
6.5	SIEMENS-MARTIN-Stahl, der erste „reine“ Stahl .....	33
6.6	Überblick über verschiedene Stahlerzeugungsverfahren .....	35
6.7	Stahlerzeugungsverfahren und ihre zeitliche Verwendung.....	37
7	Vom Schmiedeeisen zum Damaszener Stahl .....	39
7.1	Einführung .....	39
7.2	Schmiedeeisen und seine Erzeugung.....	39
7.3	Die Technologie der Damaszierung von Stahl.....	41
7.4	Die metallurgischen Vorgänge beim Damaszieren .....	43
7.5	Damaszener Stahl – ein erster Verbundwerkstoff.....	46
7.6	Beachtenswertes .....	48
8	Gusseisen und Stahlguss .....	49
8.1	Einführung .....	49
8.2	Schweißeignung von Gusseisenwerkstoffen .....	51
8.3	Hinweise zur schweißtechnischen Verarbeitung von Gusseisenwerkstoffen .....	52
8.4	Hinweise zur Wärmebehandlung von Gusseisenwerkstoffen .....	54
8.5	Technologische Empfehlungen .....	55
8.6	Beachtenswertes .....	56

9	Unlegierte Baustähle und ihre normative Entwicklung.....	57
9.1	Einführung .....	57
9.2	Übersicht über das nationale Regelwerk in Deutschland .....	58
9.2.1	Das Regelwerk für unlegierte Baustähle vor 1957 .....	58
9.2.2	Das Regelwerk für unlegierte Baustähle zwischen 1957 bis 1990.....	58
9.2.3	Das Regelwerk für unlegierte Baustähle ab 1990 .....	59
9.3	Zusammenstellung der unlegierten Stähle für den allgemeinen Stahlbau.....	60
9.4	Entwicklung der chemischen Zusammensetzung unlegierter Baustähle.....	62
9.5	Schweißeignung der unlegierten Baustähle .....	65
9.6	Beachtenswertes.....	66
10	Unlegierte Baustähle und ihre metallurgische Entwicklung .....	67
10.1	Einführung .....	67
10.2	Gewalzte und geschmiedete Flussstähle gemäß DIN 1611 .....	68
10.3	Entwicklung der Festigkeit unlegierter Baustähle ab Mitte der 1920er Jahre.....	69
10.4	Die Weiterentwicklung der unlegierten Baustähle .....	73
10.5	Beachtenswertes.....	76
11	Bewertung der Schweißeignung unlegierter Baustähle .....	78
11.1	Einführung .....	78
11.2	Schweißbarkeit und Schweißeignung.....	79
11.3	Schweißeignung und ihre Bewertung .....	81
11.3.1	Der Begriff der „Schweißeignung“ .....	81
11.3.2	Begriffe zur Bewertung der Schweißeignung.....	82
11.3.3	Untersuchungen zur Bewertung der Schweißeignung.....	83
11.3.3.1	Überblick über empfohlene Analyse- und Prüfverfahren .....	83
11.3.3.2	Schema für die qualitative Bewertung der Schweißeignung.....	84
11.3.3.3	Untersuchungen zur qualitativen Bewertung der Schweißeignung.....	85
11.3.3.4	Zugversuch und die Bewertung der Schweißeignung .....	87
11.4	Probenentnahme im Rahmen von Schweißeignungsuntersuchungen .....	88
11.5	Erhöhung der Reproduzierbarkeit der Schweißeignungsbewertung .....	89
11.6	Zuordnung von Altstählen zu historischen Stahlerzeugungsverfahren.....	90
11.7	Bemerkenswertes.....	91
12	Charakteristika historischer Eisenwerkstoffe zur Bewertung der Schweißeignung .....	93
13	Werkstoffprüfungen an historischen Eisenwerkstoffen.....	102
13.1	Der Zugversuch und seine Entwicklung .....	102
13.1.1	Einführung.....	102
13.1.2	Kurze Geschichte des Zugversuchs .....	103
13.1.3	Aufgaben des statischen Zugversuchs.....	107
13.1.4	Versuchsprinzip des statischen Zugversuchs.....	107
13.1.5	Das Spannung-Dehnung-Diagramm.....	108
13.1.6	Werkstoffkennwerte des Zugversuches.....	110
13.1.7	Verhalten von Stählen im Zugversuch .....	111
13.1.8	Normung des Zugversuchs.....	112
13.1.9	Beachtenswertes .....	113
13.2	Der Kerbschlagbiegeversuch und seine Entwicklung.....	114
13.2.1	Einführung.....	114
13.2.2	Kurze Geschichte des Kerbschlagbiegeversuchs.....	115
13.2.3	Versuchsprinzip beim Kerbschlagbiegeversuch .....	117
13.2.4	Das Tieftemperaturverhalten metallischer Werkstoffe .....	120

13.2.5	Das Versprödungsverhalten metallischer Werkstoffe .....	120
13.2.6	Schäden durch Sprödbrüche an geschweißten Konstruktionen .....	122
13.2.7	Analyse der Schäden an LIBERTY-Schiffen .....	124
13.2.8	Beachtenswertes .....	127
13.3	Der Aufschweißbiegeversuch und seine Anwendung.....	128
13.3.1	Einführung.....	128
13.3.2	Der Aufschweißbiegeversuch und seine Geschichte.....	130
13.3.3	Der Aufschweißbiegeversuch in seiner gegenwärtigen Anwendung .....	132
13.3.4	Der Aufschweißbiegeversuch und seine Anwendung im Regelwerk .....	133
13.3.5	Die Modifikation des Aufschweißbiegeversuchs.....	135
13.3.6	Ergebnisse experimenteller Untersuchungen .....	136
13.3.7	Bemerkenswertes .....	137
13.4	Metallographischer Versprödungsnachweis.....	139
13.4.1	Einführung.....	139
13.4.2	Historische Entwicklung der Metallographie.....	139
13.4.3	Probenpräparation durch Schleifen, Polieren und Ätzen.....	140
13.4.4	Lichtmikroskope .....	141
13.4.5	Metallographische Untersuchung von Schweißverbindungen.....	143
13.4.5.1	Makroschliffe.....	143
13.4.5.2	Mikroschliffe.....	143
13.4.6	Ätzmethoden zur metallographischen Versprödungsabschätzung.....	143
13.4.6.1	BAUMANN-Abdruck .....	143
13.4.6.2	Makroätzmittel .....	144
13.4.6.3	Vergleich der Makroätzmittel .....	146
13.4.6.4	Mikroätzmittel zum Nachweis von Eisennitriden .....	147
13.4.6.5	Weitere Ätzmittel zum Nachweis von Eisennitriden .....	149
13.4.7	Beachtenswertes .....	150
14	Werkstoffbedingte Schädigungen von historischen Stählen .....	152
14.1	Riss- und Brcherscheinungen .....	152
14.2	Schädigungen durch Risserscheinungen .....	153
14.2.1	Einführung.....	153
14.2.2	Überblick über die metallurgisch bedingten Risserscheinungen.....	153
14.2.2.1	Systematik der metallurgisch bedingten Risserscheinungen.....	153
14.2.2.2	Kaltrisse .....	155
14.2.2.3	Heißrisse .....	155
14.2.2.4	Hohlräume .....	155
14.2.3	Kaltrisse .....	156
14.2.3.1	Allgemeine Einflussgrößen auf die Kaltrissbildung .....	156
14.2.3.2	Aufhärtungsrisse .....	156
14.2.3.3	Wasserstoffunterstützte Risse .....	158
14.2.3.4	Lamellarrißigkeit (Terrassenbruch).....	161
14.2.3.5	Alterungsrisse .....	164
14.2.4	Heißrisse .....	165
14.2.4.1	Allgemeine Einflussgrößen auf die Heißrissbildung .....	165
14.2.4.2	Überblick über die Grundarten von Heißrissen .....	165
14.2.4.2.1	Erstarrungsrisse .....	165
14.2.4.2.2	Wiederaufschmelzrisse .....	167
14.2.4.3	Beeinflussung der Heißrissanfälligkeit.....	168
14.2.4.3.1	Allgemeine metallurgische Faktoren .....	168
14.2.4.3.2	Metallurgische Besonderheiten beim Schweißen unlegierter Stähle.....	168

14.2.4.3.3	Technologische Faktoren .....	170
14.3	Schädigungen durch Brucherscheinungen .....	171
14.3.1	Einführung.....	171
14.3.2	Überblick über technische Brucherscheinungen .....	171
14.3.3	Gewaltbrüche.....	173
14.3.3.1	Arten von Gewaltbrüchen .....	173
14.3.3.2	Sprödbrüche .....	173
14.3.3.3	Verformungsbrüche .....	175
14.3.4	Ermüdungsbrüche .....	176
14.3.5	Zeitstandbrüche.....	177
14.3.6	Beispiele für historische Schäden durch Brucherscheinungen.....	179
14.3.6.1	Untergang der R. M. S. „TITANIC“ .....	179
14.3.6.2	Zerstörung der TACOMA-NARROWS-Brücke .....	179
14.3.6.3	Abstürze der DeHavilland DH 106 „COMET“ .....	180
14.3.6.4	Kesselexplosion auf der S. S. „NORWAY“ .....	181
15	Einfluss von Kerben in reparaturgeschweißten historischen Konstruktionen .....	183
15.1	Einführung .....	183
15.2	Bewertungsansätze der Restnutzungsdauer von Altstahlkonstruktionen .....	183
15.3	Bewertung der Ermüdungssicherheit .....	185
15.4	Vorgehensweise bei der Erstellung von WÖHLER-Kurven.....	186
15.5	Dauerschwingmodellversuche an „reparaturgeschweißten“ Proben .....	190
15.6	Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Dauerschwingmodellversuche .....	193
15.7	Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Bewertung der Restnutzungsdauer.....	194
16	Revitalisierung potentieller Wärmeeinflusszonen durch gezielte Wärmebehandlung .....	195
16.1	Einführung .....	195
16.2	Eigenschaftsveränderungen durch Wärmebehandlung.....	196
16.2.1	Möglichkeiten zur Wärmebehandlung von Stählen.....	196
16.2.2	Lieferzustände und Vergießungsarten bei modernen unlegierten Baustählen.....	197
16.2.3	Normalglühen (+N) .....	198
16.2.4	Zähigkeitsglühen (+RT) .....	199
16.2.5	Nachteilige Auswirkungen von Wärmebehandlungen auf Altstähle .....	200
16.3	Untersuchungen zur thermischen Revitalisierung gealterter Stähle .....	201
16.4	Diskussion der Ergebnisse der Wärmebehandlungsversuche.....	203
16.5	Beachtenswertes .....	204
16.6	Empfehlungen zur Revitalisierung der Zähigkeit.....	205
17	Ausgewählte Beispiele von Schweißeignungsuntersuchungen .....	207
17.1	Einführung .....	207
17.2	Schmiedeeisen – Klammern aus Flacheisen im Dresdner Zwinger .....	208
17.2.1	Das Bauwerk.....	208
17.2.2	Ergebnisse der werkstofftechnischen Untersuchung .....	209
17.3	Puddel-Stahl – POLONCEAU-Binder .....	211
17.3.1	Das Bauwerk.....	211
17.3.2	Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	212
17.4	Puddel-Stahl – Niettschaft einer historischen Hallenkonstruktion.....	214
17.4.1	Das Bauwerk.....	214
17.4.2	Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	215
17.5	Flussstahl – Querträger einer Hallenkrananlage .....	217
17.5.1	Das Bauwerk.....	217
17.5.2	Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	218

17.6 Flusstahl – JUNKERS Stahllamellenhalle in Dessau .....	220
17.6.1 Das Bauwerk.....	220
17.6.2 Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	221
17.7 Flusstahl – Tragwerksstütze eines U-Bahntunnels in Berlin .....	223
17.7.1 Das Bauwerk.....	223
17.7.2 Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	224
17.8 Flusstahl – Walzenwehr in Schweinfurt.....	226
17.8.1 Das Bauwerk.....	226
17.8.2 Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	227
17.9 Flusstahl – Mainwehr Randersacker .....	229
17.9.1 Das Bauwerk.....	229
17.9.2 Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	230
17.10 Flusstahl – Rheinbrücke Leverkusen im Zuge der BAB A1 .....	232
17.10.1 Das Bauwerk.....	232
17.10.2 Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	233
17.11 Flusstahl – Berliner Brücke in Halle (Saale) .....	235
17.11.1 Das Bauwerk.....	235
17.11.2 Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	236
17.11.3 Ergebnisse der Versuchsschweißung .....	237
17.12 Stahlguss – Stützen- und Bogenfußgelenke am Chemnitztal-Viadukt .....	239
17.12.1 Das Bauwerk.....	239
17.12.2 Ergebnisse der werkstofftechnischen Untersuchung .....	240
17.13 Gusseisen – Rohr aus der Wasserkunst im Bergpark Wilhelmshöhe .....	242
17.13.1 Das Bauwerk.....	242
17.13.2 Ergebnisse der werkstofftechnischen Untersuchung .....	243
17.14 Gusseisen – „LANZ-Perlit“ für hochbeanspruchte Gussteile.....	245
17.14.1 Das Bauteil.....	245
17.14.2 Ergebnisse der Schweißeignungsprüfung .....	246
17.14.3 Ergebnisse der Versuchsschweißung .....	248
<b>18 Anhang.....</b>	<b>250</b>
18.1 Zeitstrahl der Stahl- und Eisenwerkstoffe.....	250
18.2 Danksagungen.....	254
18.3 Stichwortverzeichnis.....	255
18.4 Bildquellenverzeichnis .....	272
18.4.1 Einzelbilder .....	272
18.4.2 Bilder in Tabellen .....	275
18.5 Literaturquellenverzeichnis.....	276