

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 ₃ C	22
5.3.3	Wichtige Linien und Punkte im System Fe-Fe ₃ C	24
5.3.4	Charakteristische Temperaturen im System Fe-Fe ₃ C.....	24
5.3.5	Phasen und Gefügebestandteile im System Fe-Fe ₃ 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 eutektoide System.....	26
5.4.4	Das eutektische System	27
5.5	Einteilung der Stahl- und Gusseisensorten anhand ihrer Lage im System Fe-Fe ₃ C.....	28
6	Historische Stahlerzeugungsverfahren und ihre geschichtliche Einordnung	29
6.1	Einführung	29
6.2	Tiegelstahl, der erste „Flussstahl“	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 Damasizierung von Stahl.....	41
7.4	Die metallurgischen Vorgänge beim Damasizieren	43
7.5	Damaszener Stahl – ein erster Verbundwerkstoff.....	46
7.6	Beachtenswertes	48
8	Gusseisen und Stahlguss	49
8.1	Einführung	49
8.2	Schweißneigung 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	Schweißbeignung 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 Flusstähle 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 Schweißbeignung unlegierter Baustähle	78
11.1	Einführung	78
11.2	Schweißbarkeit und Schweißbeignung.....	79
11.3	Schweißbeignung und ihre Bewertung.....	81
11.3.1	Der Begriff der „Schweißbeignung“	81
11.3.2	Begriffe zur Bewertung der Schweißbeignung.....	82
11.3.3	Untersuchungen zur Bewertung der Schweißbeignung.....	83
11.3.3.1	Überblick über empfohlene Analyse- und Prüfverfahren	83
11.3.3.2	Schema für die qualitative Bewertung der Schweißbeignung.....	84
11.3.3.3	Untersuchungen zur qualitativen Bewertung der Schweißbeignung.....	85
11.3.3.4	Zugversuch und die Bewertung der Schweißbeignung	87
11.4	Probenentnahme im Rahmen von Schweißbeignungsuntersuchungen	88
11.5	Erhöhung der Reproduzierbarkeit der Schweißbeignungsbewertung	89
11.6	Zuordnung von Altstählen zu historischen Stahlerzeugungsverfahren.....	90
11.7	Bemerkenswertes.....	91
12	Charakteristika historischer Eisenwerkstoffe zur Bewertung der Schweißbeignung	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 Zugversuchs.....	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 Brucherscheinungen	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 Schweißbeignungsuntersuchungen	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 Schweißbeignungsprüfung	212
17.4	Puddel-Stahl – Nietschaft einer historischen Hallenkonstruktion	214
17.4.1	Das Bauwerk.....	214
17.4.2	Ergebnisse der Schweißbeignungsprüfung	215
17.5	Flussstahl – Querträger einer Hallenkrananlage	217
17.5.1	Das Bauwerk.....	217
17.5.2	Ergebnisse der Schweißbeignungsprüfung	218

17.6	Flussstahl – JUNKERS Stahlplattenhalle in Dessau	220
17.6.1	Das Bauwerk.....	220
17.6.2	Ergebnisse der Schweißbeignungsprüfung	221
17.7	Flussstahl – Tragwerksstütze eines U-Bahntunnels in Berlin	223
17.7.1	Das Bauwerk.....	223
17.7.2	Ergebnisse der Schweißbeignungsprüfung	224
17.8	Flussstahl – Walzenwehr in Schweinfurt.....	226
17.8.1	Das Bauwerk.....	226
17.8.2	Ergebnisse der Schweißbeignungsprüfung	227
17.9	Flussstahl – Mainwehr Randersacker.....	229
17.9.1	Das Bauwerk.....	229
17.9.2	Ergebnisse der Schweißbeignungsprüfung	230
17.10	Flussstahl – Rheinbrücke Leverkusen im Zuge der BAB A1	232
17.10.1	Das Bauwerk.....	232
17.10.2	Ergebnisse der Schweißbeignungsprüfung	233
17.11	Flussstahl – Berliner Brücke in Halle (Saale).....	235
17.11.1	Das Bauwerk.....	235
17.11.2	Ergebnisse der Schweißbeignungsprüfung	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 Schweißbeignungsprüfung	246
17.14.3	Ergebnisse der Versuchsschweißung	248
18	Anhang.....	250
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