

# Inhalt

<b>Vorwort</b> . . . . .	IX
<b>Hinweise zur Benutzung des Buches</b> . . . . .	XXII
<b>Teil A Die technische und wirtschaftliche Bedeutung des Stahls</b> . . . . .	1
Von H. Schmitz	
<b>A 1 Geschichtlicher Rückblick auf die Entwicklung der Stahlerzeugung bis 1870</b> . . . . .	3
<b>A 2 Die heutige Bedeutung des Stahls</b> . . . . .	8
A 2.1 Die Stahlerzeugung in der Welt seit 1870 . . . . .	8
A 2.2 Heutige Bedeutung des Stahls in der Technik der Welt . . . . .	8
A 2.3 Wandel in den Stahlerzeugungsverfahren seit 1870 . . . . .	11
A 2.4 Vergleich der in der Stahlerzeugung größten Länder . . . . .	14
A 2.5 Herkunft der Rohstoffe für die Stahlherstellung . . . . .	16
<b>A 3 Derzeitige Einteilung des Stahls nach Eigenschaften, Verwendungsbereichen und Erzeugnisformen</b> . . . . .	19
A 3.1 Für die Stahlsorten gebräuchliche Gruppeneinteilungen . . . . .	19
A 3.2 Einteilung des Stahls nach Fertigungsstufen und Erzeugnisformen . . . . .	23
<b>A 4 Stahl als unentbehrlicher Bau- und Werkstoff</b> . . . . .	26
<b>Teil B Gefügebau der Stähle</b> . . . . .	29
Von W. Pitsch und G. Sauthoff (B 1 bis B 8) und H. P. Hougardy (B 9)	
<b>B 1 Einleitung</b> . . . . .	31
<b>B 2 Thermodynamik des Eisens und seiner Legierungen</b> . . . . .	33
B 2.1 Reine Metalle . . . . .	33
B 2.1.1 Nichtmagnetische Metalle . . . . .	35
B 2.1.2 Eisen . . . . .	36
B 2.2 Legierungen . . . . .	39
B 2.2.1 Austauschmischkristalle . . . . .	40
Formulierungen der Gibbsschen Energien. Gleichgewichte in Austauschmischkristallen. Chemisches Potential und chemische Aktivität einer Komponente. Anwendungsbeispiele.	
B 2.2.2 Einlagerungsmischkristalle . . . . .	49

B 2.2.3	Austausch-Einlagerungs-Mischkristalle . . . . .	53
B 2.2.4	Stöchiometrische Verbindungen . . . . .	54
B 2.2.5	Graphit . . . . .	58
B 2.2.6	Zahlenwerte der thermodynamischen Funktionen und der Gleichgewichte . . . . .	59
B 2.3	Einfluß von Gitterstörungen . . . . .	59
<b>B 3</b>	<b>Keimbildung . . . . .</b>	<b>64</b>
B 3.1	Vorbereitende Energiebetrachtungen . . . . .	64
B 3.2	Keimbildungsenergie . . . . .	66
B 3.3	Keimbildung mit elastischer Gitterverzerrung . . . . .	70
B 3.4	Heterogene Keimbildung . . . . .	72
B 3.5	Zeit-Temperatur-Keimbildungs-Diagramme . . . . .	73
<b>B 4</b>	<b>Diffusion . . . . .</b>	<b>77</b>
B 4.1	Diffusion von Einlagerungsatomen . . . . .	78
B 4.1.1	Diffusionsstrom . . . . .	78
B 4.1.2	Diffusionskoeffizient . . . . .	80
B 4.2	Diffusion von Austauschatomen in einkomponentigen Kristallen . . . . .	84
B 4.3	Diffusion an Korngrenzen und Versetzungen . . . . .	86
B 4.4	Diffusion von Austauschatomen in binären Mischkristallen . . . . .	87
B 4.5	Diffusion des Kohlenstoffs in Austausch-Einlagerungs-Mischkristallen . . . . .	91
B 4.6	Diffusion von Austauschatomen in ternären Mischkristallen . . . . .	93
B 4.7	Zeitliche Änderung einer Konzentrationsverteilung . . . . .	94
B 4.8	Diffusion in Verbindungen . . . . .	96
<b>B 5</b>	<b>Typische Stahlgefüge . . . . .</b>	<b>97</b>
B 5.1	Bestimmung des Begriffs „Gefüge“ . . . . .	97
B 5.2	Gefüge in niedriglegierten Stählen nach der Austenitumwandlung . . . . .	98
B 5.3	Gefüge in niedriglegierten Stählen nach einer Anlaßbehandlung . . . . .	107
B 5.4	Einfluß substitutioneller Legierungselemente . . . . .	112
<b>B 6</b>	<b>Kinetik und Morphologie verschiedener Gefügereaktionen . . . . .</b>	<b>115</b>
B 6.1	Austenit . . . . .	115
B 6.1.1	Austenitisierung im einphasigen $\gamma$ -Bereich . . . . .	115
B 6.1.2	Austenitisierung im zweiphasigen Bereich . . . . .	117
B 6.1.3	Einfluß von substitutionellen Legierungselementen . . . . .	118
B 6.1.4	Homogenisierungsgrad . . . . .	120
B 6.2	Ausscheidungen . . . . .	121
B 6.2.1	Energiebetrachtungen . . . . .	121
B 6.2.2	Keimbildung . . . . .	123
B 6.2.3	Wachstumskinetik . . . . .	124
B 6.2.4	Wachstumshemmungen . . . . .	129
B 6.2.5	Einfluß substitutioneller Legierungselemente . . . . .	130
B 6.2.6	Vergrößerung . . . . .	131
B 6.2.7	Gesamtverlauf einer Ausscheidung . . . . .	134
B 6.3	Perlit . . . . .	138
B 6.3.1	Energiebetrachtungen . . . . .	138
B 6.3.2	Keimbildung . . . . .	140
B 6.3.3	Wachstumskinetik von lamellarem Perlit . . . . .	141
B 6.3.4	Einfluß substitutioneller Legierungselemente . . . . .	146
B 6.4	Martensit . . . . .	150
B 6.4.1	Charakterisierung der Martensitumwandlung . . . . .	150
B 6.4.2	Energiebetrachtungen . . . . .	151

B 6.4.3	Das kristallographische Modell zur Bildung des Plattenmartensits . . . . .	153
	Umwandlungsbedingungen. Gitterverändernde (Bain-)Deformation. Gittererhaltende Deformationen. Habitusebene. Orientierungszusammenhang. Gesamtdeformation.	
B 6.4.4	Lanzettmartensit . . . . .	159
B 6.4.5	Keimbildung des Martensits . . . . .	161
B 6.4.6	Thermoelastischer Martensit . . . . .	163
B 6.5	Bainit . . . . .	165
B 6.5.1	Einige Merkmale der bainitischen Umwandlungen und Gefüge . . . . .	165
B 6.5.2	Mechanismen und Arten der bainitischen Umwandlungen . . . . .	170
B 6.5.3	Kristallographische Untersuchungen der bainitischen Umwandlungen . . . . .	174
<b>B 7</b>	<b>Gefügeentwicklung durch thermische und mechanische Behandlungen . . . . .</b>	<b>177</b>
B 7.1	Einphasige Gefüge bei Wärmebehandlungen nach Kaltumformung . . . . .	177
B 7.1.1	Erholung . . . . .	177
B 7.1.2	Rekristallisation . . . . .	178
B 7.1.3	Kornvergrößerung . . . . .	181
B 7.2	Einphasige Gefüge bei Warmumformung . . . . .	183
B 7.3	Gefüge mit ausgeschiedenen Teilchen bei Wärmebehandlungen nach Kaltumformung . . . . .	185
B 7.4	Umwandlungsfähige ferritische Gefüge bei Wärmebehandlungen nach einer Verformung . . . . .	188
B 7.5	Umwandlungsfähige austenitische Gefüge bei Wärmebehandlungen nach einer Verformung . . . . .	191
B 7.6	Umwandlungsfähige Gefüge bei gleichzeitiger thermischer und mechanischer Behandlung . . . . .	193
<b>B 8</b>	<b>Vergleichende Übersicht über die Gefügereaktionen in Stählen . . . . .</b>	<b>196</b>
<b>B 9</b>	<b>Darstellung der Umwandlungen für technische Anwendungen und Möglichkeiten ihrer Beeinflussung . . . . .</b>	<b>198</b>
B 9.1	Gleichgewichtsschaubilder . . . . .	198
B 9.2	Zeit-Temperatur-Austenitisierungs-Schaubilder . . . . .	201
B 9.2.1	ZTA-Schaubilder für isothermische Austenitisierung untereutektoidischer Stähle . . . . .	203
B 9.2.2	ZTA-Schaubilder für isothermische Austenitisierung übereutektoidischer Stähle . . . . .	204
B 9.2.3	ZTA-Schaubilder für kontinuierliche Erwärmung . . . . .	204
B 9.2.4	Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Ausgangszustandes auf die Austenitisierung . . . . .	207
B 9.2.5	Beeinflussung der Korngröße . . . . .	207
B 9.2.6	Genauigkeit der ZTA-Schaubilder . . . . .	209
B 9.2.7	Zusammenhang zwischen den ZTA-Schaubildern und dem Gleichgewichtsschaubild . . . . .	210
B 9.3	Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder . . . . .	210
B 9.3.1	ZTU-Schaubilder für isothermische Umwandlungen . . . . .	212
B 9.3.2	ZTU-Schaubilder für kontinuierliche Abkühlung . . . . .	213
B 9.3.3	Andere Darstellungsformen der ZTU-Schaubilder . . . . .	218
B 9.4	Beeinflussung des Umwandlungsverhaltens . . . . .	220
B 9.4.1	Auswirkung der Austenitisierung . . . . .	220
B 9.4.2	Einfluß der Legierungselemente . . . . .	221
B 9.4.3	Auswirkung von Seigerungen . . . . .	223
B 9.4.4	Messung und Genauigkeit der ZTU-Schaubilder . . . . .	228
B 9.5	Mathematische Beschreibung des Umwandlungsverhaltens . . . . .	228
B 9.5.1	Berechnung von Umwandlungstemperaturen . . . . .	229
B 9.5.2	Berechnung kritischer Abkühlzeiten . . . . .	230
B 9.5.3	Vollständige Beschreibung des Umwandlungsverhaltens . . . . .	230

<b>Teil C Die Eigenschaften des Stahls in Abhängigkeit von Gefüge und chemischer Zusammensetzung</b> . . . . .	233
<b>C 1 Mechanische Eigenschaften</b> . . . . .	235
Von W. Dahl	
C 1.1 Verhalten bei einsinniger Beanspruchung und bei Temperaturen um und unter Raumtemperatur . . . . .	235
C 1.1.1 Fließverhalten . . . . .	235
C 1.1.1.1 Die Spannungs-Dehnungs-Kurve . . . . .	245
Meßverfahren und Auswertung. Ausgeprägte Streckgrenze. Einfluß von Prüftemperatur und -geschwindigkeit.	
C 1.1.1.2 Andere Untersuchungsverfahren . . . . .	260
Zylinderstauchversuch. Verdrehversuch (Torsionsversuch). Biegeversuch. Härteprüfung. Fließkriterien.	
C 1.1.1.3 Möglichkeiten zur Festigkeitssteigerung von Stahl durch Beeinflussung des Gefüges	262
Festigkeitssteigerung durch Kornfeinung, durch Mischkristallbildung, durch Versetzungen, durch Ausscheidungen. Kombination der Möglichkeiten zur Festigkeitssteigerung, Einfluß des Gefüges.	
C 1.1.1.4 Anisotropie des Fließverhaltens . . . . .	278
Einfluß der Textur. Einfluß von Eigenspannungen.	
C 1.1.2 Zähigkeit und Bruchverhalten . . . . .	279
C 1.1.2.1 Kennzeichnung der Brucharten . . . . .	280
C 1.1.2.2 Äußere Einflüsse auf das Bruchverhalten . . . . .	284
Einfluß von Temperatur und Beanspruchungsgeschwindigkeit. Einfluß des Spannungszustandes.	
C 1.1.2.3 Ablauf der Vorgänge beim Bruch . . . . .	293
C 1.1.2.4 Verfahren zur Prüfung des Zähigkeits- und Bruchverhaltens . . . . .	294
Prüfung mit Kleinproben. Prüfung mit bauteilähnlichen Proben. Vergleich der Verfahren, Übertragbarkeit der Ergebnisse.	
C 1.1.2.5 Einfluß des Gefüges auf Zähigkeit und Bruchverhalten . . . . .	306
C 1.1.2.6 Modellvorstellungen zum Bruchvorgang . . . . .	313
Metallkundliche Deutung des Spaltbruchs. Vorgänge beim Gleitbruch. Bruchmechanik. Sicherheitskonzepte.	
C 1.1.3 Gefüge mit optimaler Kombination von Festigkeit und Zähigkeit . . . . .	337
C 1.2 Verhalten bei wechselnder Beanspruchungsrichtung und bei Temperaturen um und unter Raumtemperatur . . . . .	341
C 1.2.1 Einmaliger Wechsel der Beanspruchungsrichtung (Bauschinger-Effekt) . . . . .	341
C 1.2.2 Verhalten bei schwingender Beanspruchung . . . . .	345
C 1.2.2.1 Prüfverfahren . . . . .	345
C 1.2.2.2 Diskussion der Einzelprozesse . . . . .	350
Anrißfreie Phase. Rißbildung und -ausbreitung.	
C 1.2.2.3 Einflußgrößen für das Verhalten bei schwingender Beanspruchung . . . . .	358
Einfluß der Beanspruchungsart, des Gefüges, der Geometrie und der Umgebung	
C 1.2.2.4 Betriebsfestigkeit . . . . .	368
C 1.2.2.5 Vorhersage der Lebensdauer . . . . .	372
C 1.3 Verhalten bei höheren Temperaturen . . . . .	374
C 1.3.1 Verhalten bei leicht erhöhten Temperaturen . . . . .	375
C 1.3.2 Verhalten bei der Warmumformung . . . . .	377
C 1.3.2.1 Messung der Fließspannung (Formänderungsfestigkeit) . . . . .	377
C 1.3.2.2 Im Werkstoff ablaufende Vorgänge bei der Warmumformung . . . . .	381
C 1.3.3 Zeitstandverhalten . . . . .	383
C 1.3.3.1 Prüfung des Zeitstandverhaltens . . . . .	384
C 1.3.3.2 Verhalten unter komplexen Beanspruchungen . . . . .	389
C 1.3.3.3 Deutung . . . . .	393
Beim Kriechen ablaufende Vorgänge. Bruchverhalten. Einfluß des Gefüges.	

<b>C 2</b>	<b>Physikalische Eigenschaften</b> . . . . .	<b>401</b>
	Von W. Pepperhoff	
C 2.1	Physikalische Eigenschaften des reinen Eisens . . . . .	401
C 2.1.1	Kristallstruktur und Atomvolumen . . . . .	401
C 2.1.2	Wärmekapazität . . . . .	404
C 2.1.3	Elastische Eigenschaften . . . . .	406
C 2.1.4	Magnetische Eigenschaften . . . . .	406
C 2.1.5	Leitungseigenschaften . . . . .	410
C 2.1.6	Optische Eigenschaften . . . . .	412
C 2.1.7	Eigenschaften des $\gamma$ -Eisens im instabilen Temperaturbereich . . . . .	413
C 2.2	Physikalische Eigenschaften von $\alpha$ -Eisenmischkristallen . . . . .	415
C 2.3	Physikalische Eigenschaften von $\gamma$ -Eisenmischkristallen . . . . .	419
C 2.3.1	Magnetismus der $\gamma$ -Eisenlegierungen . . . . .	419
C 2.3.2	Wärmeausdehnung und Wärmekapazität . . . . .	425
C 2.4	Weitere Gefügeeinflüsse auf die physikalischen Eigenschaften . . . . .	428
C 2.4.1	Einphasige Gefüge mit Gitterstörungen . . . . .	428
C 2.4.2	Mehrphasige Gefüge . . . . .	430
<b>C 3</b>	<b>Chemische Eigenschaften</b> . . . . .	<b>434</b>
	Von H.-J. Engell und H. J. Grabke	
C 3.1	Problemstellung . . . . .	434
C 3.2	Gleichgewichte des Eisens mit Gasen . . . . .	435
C 3.2.1	Gleichgewichte, Fehlordnung der Oxide und Diffusion im System Eisen-Sauerstoff	436
C 3.2.2	Gleichgewichte, Fehlordnung der Sulfide und Diffusion im System Eisen-Schwefel	438
C 3.2.3	Gleichgewichte der wichtigsten Legierungselemente mit Sauerstoff und Schwefel .	440
C 3.3	Kinetik und Mechanismen der Reaktionen mit Gasen . . . . .	442
C 3.3.1	Sauerstoffadsorption, Oxidfilme, Keimbildung . . . . .	442
C 3.3.2	Oxidation von Eisen . . . . .	444
C 3.3.3	Oxidation von Stählen . . . . .	448
	Kohlenstoff im Stahl. Legierungen mit edleren Legierungskomponenten. Legierungen mit unedleren Legierungskomponenten. Unlegierte und niedriglegierte Stähle. Hochlegierte Stähle.	
C 3.3.4	Sulfidierung von Eisen und Stählen . . . . .	452
C 3.3.5	Aufkohlung und Entkohlung . . . . .	453
C 3.3.6	Aufstickung und Entstickung . . . . .	456
C 3.4	Elektrochemische Gleichgewichte des Eisens und der Legierungselemente Nickel und Chrom mit wäßrigen Elektrolyten . . . . .	459
C 3.5	Kinetik und Mechanismen der elektrochemischen Korrosion des Eisens und der Stähle . . . . .	461
C 3.5.1	Abtragende Korrosion . . . . .	461
C 3.5.2	Atmosphärische Korrosion . . . . .	465
C 3.6	Passivierung von Eisen, Nickel, Chrom und der Legierungen des Eisens mit Nickel und Chrom . . . . .	466
C 3.7	Selektive Korrosion des passiven Eisens und seiner Legierungen . . . . .	470
C 3.7.1	Lochfraß und Spaltkorrosion . . . . .	471
C 3.7.2	Interkristalline Korrosion . . . . .	472
C 3.8	Spannungsrißkorrosion . . . . .	475
C 3.8.1	Allgemeines . . . . .	475
C 3.8.2	Spannungsrißkorrosion in austenitischen Chrom-Nickel-Stählen . . . . .	476
C 3.8.3	Spannungsrißkorrosion von unlegierten Baustählen . . . . .	477
C 3.9	Aufnahme von Wasserstoff durch Eisen bei Korrosionsvorgängen und Wasserstoffversprödung . . . . .	479
C 3.9.1	Wasserstoffaufnahme . . . . .	479
C 3.9.2	Wasserstoffversprödung . . . . .	481

<b>C 4</b>	<b>Eignung zur Wärmebehandlung</b> . . . . .	<b>483</b>
	Von H. P. Hougardy	
C 4.1	Begriffsbestimmungen . . . . .	483
C 4.2	Einfluß der Gefügeausbildung auf die Eigenschaften . . . . .	485
C 4.2.1	Einfluß der Ausbildung kennzeichnender Gefüge auf die mechanischen Eigenschaften . . . . .	485
	Zusammenhang zwischen Festigkeit und Zähigkeit. Gefüge der Perlitstufe. Gefüge der Bainitstufe. Gefüge der Martensitstufe. Mischgefüge. Gefüge nach Anlassen.	
C 4.3	Während und nach einer Wärmebehandlung auftretende Spannungen . . . . .	500
C 4.4	Einfluß der Abmessungen von Werkstücken auf die Gefügeausbildung nach einer Wärmebehandlung . . . . .	502
C 4.5	Gesteuerte Einstellung einer Korngröße . . . . .	506
C 4.6	Einstellung eines über den Querschnitt gleichmäßigen Gefüges . . . . .	508
C 4.6.1	Erzeugen eines nicht dem Gleichgewicht entsprechenden Gefüges . . . . .	508
	Umwandlung zu Gefügen der Perlitstufen. Umwandlung zu Gefügen der Bainitstufe. Umwandlungen in der Martensitstufe.	
C 4.6.2	Änderung eines Gefüges in Richtung auf das Gleichgewicht . . . . .	514
	Ausscheidungen aus übersättigten Mischkristallen.	
C 4.6.3	Bildung von Gefügen unter Einbeziehung einer Umformung . . . . .	519
C 4.7	Einstellung eines über den Querschnitt ungleichmäßigen Gefüges . . . . .	522
C 4.7.1	Wärmebehandlung ohne Änderung der chemischen Zusammensetzung . . . . .	522
C 4.7.2	Wärmebehandlung unter Änderung der chemischen Zusammensetzung . . . . .	523
	Einsatzhärten. Verschleiß-Schutzschichten.	
<b>C 5</b>	<b>Eignung zum Schweißen</b> . . . . .	<b>529</b>
	Von H. P. Hougardy	
C 5.1	Definitionen und Begriffe . . . . .	530
C 5.2	Übersicht über die Schweißverfahren . . . . .	532
C 5.3	Aus Konstruktion und Schweißbedingungen sich ergebende Temperatur-Zeit-Verläufe bei Erwärmung und Abkühlung . . . . .	534
C 5.3.1	Erwärmung . . . . .	534
C 5.3.2	Abkühlung . . . . .	538
C 5.4	Auswirkung der Temperatur-Zeit-Verläufe auf Grundwerkstoff und Schweißgut . . . . .	541
C 5.4.1	Beschreibung der entstehenden Gefüge durch ZTU-Schaubilder . . . . .	541
C 5.4.2	Eigenschaften der Schweißzone und der Wärmeeinflußzone . . . . .	546
	Mechanische Eigenschaften. Sonstige Eigenschaften.	
C 5.4.3	Entstehung und Auswirkung von Spannungen . . . . .	551
C 5.4.4	Durch Nichtbeachten von Werkstoffeigenschaften bedingte Fehler . . . . .	552
	Heißrisse. Kaltrisse. Durch Wasserstoff beeinflusste Risse. Ausscheidungsrisse. Lamellenrisse.	
C 5.5	Wärmebehandlung von Schweißverbindungen . . . . .	559
C 5.6	Beurteilung der Schweißbeignung . . . . .	561
C 5.6.1	Das Kohlenstoffäquivalent . . . . .	561
C 5.6.2	Schweißversuche . . . . .	562
C 5.6.3	Bewertung nach kausalen Zusammenhängen . . . . .	562
<b>C 6</b>	<b>Warmumformbarkeit</b> . . . . .	<b>564</b>
	Von P.-J. Winkler und W. Dahl	
C 6.1	Allgemeines . . . . .	564
C 6.2	Kennwerte für die Warmumformbarkeit und ihre Ermittlung . . . . .	564
C 6.3	Einflußgrößen für das Formänderungsvermögen . . . . .	565
C 6.3.1	Einfluß des Spannungszustandes . . . . .	565

C 6.3.2	Einfluß des Werkstoffs . . . . .	567
	Warmumformbarkeit einphasiger Legierungen. Warmumformbarkeit zwei- und mehrphasiger Legierungen.	
C 6.4	Warmumformbarkeit verschiedener Stahlgruppen . . . . .	576
<b>C 7</b>	<b>Kalt-Massivumformbarkeit</b> . . . . .	<b>578</b>
	Von W. Schmidt	
C 7.1	Allgemeines . . . . .	578
C 7.2	Kennwerte für die Kalt-Massivumformbarkeit und ihre Ermittlung . . . . .	579
C 7.2.1	Fließspannung (Formänderungsfestigkeit), Formänderungsvermögen . . . . .	579
C 7.2.2	Fließkurve . . . . .	580
	Allgemeines. Einfluß des Prüfverfahrens auf den Verlauf der Fließkurve. Einfluß der Umformgeschwindigkeit und Eigenerwärmung beim Versuch. Ableitung der Fließkurve aus anderen Werkstoffkennwerten.	
C 7.3	Einflußgrößen für die Kalt-Massivumformbarkeit . . . . .	584
C 7.3.1	Allgemeine Zusammenhänge . . . . .	584
C 7.3.2	Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Gefüges . . . . .	587
<b>C 8</b>	<b>Kaltumformbarkeit von Flachzeug</b> . . . . .	<b>595</b>
	Von W. Müschenborn, W. Küppers und D. Grzesik	
C 8.1	Allgemeines . . . . .	595
C 8.2	Bewertungskriterien für die Kaltumformbarkeit . . . . .	596
C 8.2.1	Grundsätzliche Anforderungen . . . . .	596
C 8.2.2	Kennwerte des Zugversuchs . . . . .	596
C 8.2.3	Kennwerte des Kerbzugversuchs . . . . .	599
C 8.2.4	Kennwerte aus nachbildenden und technologischen Prüfverfahren . . . . .	600
C 8.2.5	Oberflächenmerkmale . . . . .	600
C 8.2.6	Kennzeichnung der Umformbeanspruchung . . . . .	603
C 8.3	Werkstoffeinflüsse auf die Kaltumformbarkeit weicher und hochfester Stähle . . . . .	603
C 8.3.1	Allgemeine Kennzeichnung der Einflußgrößen für die Kaltumformbarkeit von Flachzeug . . . . .	603
C 8.3.2	Chemische Zusammensetzung und Gefügeausbildung . . . . .	604
C 8.3.3	Reinheitsgrad (Freiheit von nichtmetallischen Einschlüssen) . . . . .	612
C 8.3.4	Textur . . . . .	613
C 8.3.5	Oberflächenzustand . . . . .	614
C 8.3.6	Oberflächenveredlung . . . . .	615
<b>C 9</b>	<b>Zerspanbarkeit</b> . . . . .	<b>616</b>
	Von W. Knorr und H. Vöge	
C 9.1	Grundlagen und Begriffe der Zerspanung und Zerspanbarkeit . . . . .	616
C 9.2	Zusammenhang zwischen mechanischen Eigenschaften und Zerspanbarkeit . . . . .	618
C 9.3	Einfluß des Gefüges . . . . .	620
C 9.3.1	Ferrit-Perlit-Gefüge . . . . .	620
C 9.3.2	Martensit- und Bainitgefüge . . . . .	622
C 9.3.3	Körniger Zementit . . . . .	623
C 9.3.4	Austenitisches Gefüge . . . . .	623
C 9.4	Einfluß von nichtmetallischen Einschlüssen . . . . .	623
C 9.4.1	Sulfide . . . . .	623
C 9.4.2	Oxide . . . . .	626
C 9.5	Verbesserung der Zerspanbarkeit durch Legieren mit Blei, Wismut, Selen oder Tellur . . . . .	628
C 9.6	Hinweise zur Bearbeitung, Berechnung von Schnittbedingungen und auf Sonderverfahren . . . . .	628

<b>C 10</b>	<b>Verschleißwiderstand</b> . . . . .	630
	Von E. Stolte	
C 10.1	Abhängigkeit des Verschleißwiderstands vom Verschleißmechanismus . . . . .	630
C 10.2	Einfluß von Gefüge und Eigenschaften der Stähle auf ihren Widerstand gegen die hauptsächlichen Verschleißmechanismen . . . . .	632
C 10.2.1	Abrasion (Furchungverschleiß) . . . . .	632
C 10.2.2	Oberflächenzerrüttung (Ermüdungverschleiß) . . . . .	634
C 10.2.3	Adhäsion (Haftverschleiß) . . . . .	636
C 10.2.4	Tribochemische Reaktion (Schichtverschleiß) . . . . .	637
C 10.2.5	Kombinierte Verschleißvorgänge . . . . .	637
C 10.3	Einfluß von Gefüge und Eigenschaften der Stähle auf das Einsetzen bestimmter Verschleißmechanismen . . . . .	638
C 10.3.1	Vermeidung der Abrasion . . . . .	638
C 10.3.2	Vermeidung der Adhäsion . . . . .	639
C 10.4	Schlußbemerkung . . . . .	641
<b>C 11</b>	<b>Schneidhaltigkeit</b> . . . . .	643
	Von H.-J. Becker	
C 11.1	Begriffsbestimmung für Schneidhaltigkeit . . . . .	643
C 11.2	Einflüsse auf die Schneidhaltigkeit . . . . .	643
C 11.3	Abhängigkeit der Schneidhaltigkeit vom Gefüge des Stahls . . . . .	643
C 11.3.1	Einteilung der Stahlsorten nach Zusammensetzung und Gefüge . . . . .	644
C 11.3.2	Erzielung des für Schneidhaltigkeit günstigen Gefüges . . . . .	647
C 11.4	Hartmetalllegierungen und Oxidkeramik . . . . .	647
C 11.4.1	Hartmetalle . . . . .	648
C 11.4.2	Oxidkeramik . . . . .	649
C 11.5	Einfluß von Schneidengeometrie und Arbeitsbedingungen auf die Schneidhaltigkeit	649
C 11.6	Prüfung der Schneidhaltigkeit . . . . .	651
C 11.6.1	Temperaturstandzeit-Drehversuch . . . . .	651
C 11.6.2	Verschleißstandzeit-Versuch . . . . .	652
C 11.6.3	Temperaturstandzeit-Drehversuch mit ansteigender Schnittgeschwindigkeit . . . . .	653
C 11.6.4	Notwendigkeit von Prüfverfahren in Anpassung an die Betriebsbedingungen . . . . .	654
<b>C 12</b>	<b>Eignung zur Oberflächenveredlung</b> . . . . .	654
	Von U. Tenhaven, Y. Guinomet, D. Horstmann, L. Meyer und W. Pappert	
C 12.1	Allgemeines . . . . .	654
C 12.2	Eignung zur Oberflächenveredlung durch Aufbringen metallischer Überzüge nach Schmelztauchverfahren . . . . .	656
C 12.2.1	Allgemeingültiges zu den Verfahren . . . . .	656
C 12.2.2	Eignung zum Feuerverzinken . . . . .	656
C 12.2.3	Eignung zum Feualuminieren . . . . .	661
C 12.2.4	Eignung zum Schmelztauchen in Aluminium-Zink-Legierungen . . . . .	662
C 12.2.5	Eignung zum Feuerverzinnen . . . . .	663
C 12.2.6	Eignung zum Feuerverbleien . . . . .	663
C 12.3	Eignung zur Oberflächenveredlung durch elektrolytisch aufgebraachte Metallüberzüge	663
C 12.3.1	Allgemeingültiges zu den Verfahren . . . . .	663
C 12.3.2	Eignung zum elektrolytischen Verzinnen . . . . .	665
C 12.4	Eignung zur Oberflächenveredlung durch Aufbringen metallischer Überzüge nach sonstigen Verfahren . . . . .	665
C 12.4.1	Allgemeines . . . . .	665
C 12.4.2	Eignung zum Plattieren . . . . .	665
C 12.4.3	Eignung zum Abscheiden im Vakuum oder aus der Gasphase . . . . .	666



C 12.4.3	Eignung zum Abscheiden im Vakuum oder aus der Gasphase . . . . .	666
C 12.4.4	Eignung zum Diffusionsglühen im Einsatzverfahren . . . . .	668
C 12.4.5	Eignung für Spritzverfahren . . . . .	668
C 12.5	Eignung zur Oberflächenveredlung durch Aufbringen anorganischer Überzüge: Emaillieren . . . . .	669
C 12.6	Eignung zum Aufbringen anorganischer Überzüge nach sonstigen Verfahren . . .	672
C 12.7	Eignung zum Beschichten mit organischen Stoffen . . . . .	673
	<b>Zusammenstellung wiederholt verwendeter Kurzzeichen . . . . .</b>	<b>675</b>
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>679</b>
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>721</b>

## Inhaltsverzeichnis von Band 2

### Teil D **Stähle mit kennzeichnenden Eigenschaften für bestimmte Verwendungsbereiche**

- D 1 Allgemeiner Überblick über den Teil D und seine Zielsetzung**  
Von W. Schlüter
- D 2 Normalfeste und hochfeste Baustähle**  
Von B. Müsgen, H. de Boer, H. Fröber und J. Petersen
- D 3 Bewehrungsstähle für den Stahlbeton- und Spannbetonbau**  
Von H. Weise, W. Bartels, W.-D. Brand und W. Krämer
- D 4 Stähle für warmgewalzte, kaltgewalzte und oberflächenveredelte Flacherzeugnisse zum Kaltumformen**  
Von Chr. Straßburger, B. Henke, B. Meuthen, L. Meyer, J. Siewert und U. Tenhaven
- D 5 Vergütbare und oberflächenhärtbare Stähle für den Fahrzeug- und Maschinenbau**  
Von G. Tacke, K. Forch, K. Sartorius, A. von den Steinen und K. Vetter
- D 6 Stähle mit Eignung zur Kalt- Massivumformung**  
Von H. Gulden und I. Wiesenecker-Krieg
- D 7 Walzdraht zum Kaltziehen**  
Von H. Beck und C. M. Vlad
- D 8 Höchsfeste Stähle**  
Von K. Vetter, E. Gondolf und A. von den Steinen
- D 9 Warm- und hochwarmfeste Stähle**  
Von H. Fabritius, D. Christianus, K. Forch, M. Krause, H. Müller und A. von den Steinen
- D 10 Kaltzähe Stähle**  
Von M. Haneke, J. Degenkolbe, J. Petersen und W. Weßling

- D 11 Werkzeugstähle**  
Von S. Wilmes, H.-J. Becker, R. Krumpholz und W. Verderber.
- D 12 Verschleißbeständige Stähle**  
Von H. Berns
- D 13 Nichtrostende Stähle**  
Von W. Heimann, R. Oppenheim und W. Weßling
- D 14 Druckwasserstoffbeständige Stähle**  
Von E. Märker
- D 15 Hitzebeständige Stähle**  
Von W. Weßling und R. Oppenheim
- D 16 Widerstands- und Heizleiterlegierungen**  
Von H. Thomas
- D 17 Stähle für Ventile von Verbrennungsmotoren**  
Von W. Weßling und F. Ulm
- D 18 Federstähle**  
Von D. Schreiber und I. Wiesenecker-Krieg
- D 19 Automatenstähle**  
Von G. Becker und H. Sutter
- D 20 Weichmagnetische Werkstoffe**  
Von E. Gondolf, F. Abmus, K. Günther, A. Mayer, H.-G. Ricken und K.-H. Schmidt
- D 21 Dauermagnetwerkstoffe**  
Von H. Stäblein und H.-E. Arntz
- D 22 Nichtmagnetisierbare Stähle**  
Von W. Heimann und W. Weßling
- D 23 Stähle mit bestimmter Wärmeausdehnung**  
Von H. Thomas und H. Haas
- D 24 Stähle mit guter elektrischer Leitfähigkeit**  
Von K. Weber und H. Beck
- D 25 Stähle für Fernleitungsrohre**  
Von G. Kalwa, K. Kaup und C. M. Vlad
- D 26 Wälzlagerstähle**  
Von K. Barteld und A. Stanz
- D 27 Stähle für den Eisenbahn-Oberbau**  
Von W. Heller, H. Klein und H. Schmedders
- D 28 Stähle für rollendes Eisenbahnzeug**  
Von K. Vogt, K. Forch und G. Oedinghofen
- D 29 Stähle für Schrauben, Muttern und Niete**  
Von K. Barteld und W.-D. Brand
- D 30 Stähle für geschweißte Rundstahlketten**  
Von H.-H. Domalski, H. Beck und H. Weise

**Teil E Einfluß der Erzeugungsbedingungen auf chemische Zusammensetzung, Gefüge und Eigenschaften des Stahls**

- E 1 Allgemeine Übersicht über die Bedeutung der Erzeugungsbedingungen für die Eigenschaften der Stähle und der Stahlerzeugnisse**  
Von A. Randak
- E 2 Rohstahlerzeugung**  
Von H. Peter Haastert
- E 3 Gießen und Erstarren**  
Von P. Hammerschmid
- E 4 Sonderverfahren des Erschmelzens und Vergießens**  
Von H. Vöge
- E 5 Warmumformung durch Walzen**  
Von K. Täffner
- E 6 Warmumformung durch Schmieden**  
Von H. G. Ricken
- E 7 Kaltumformung durch Walzen**  
Von J. Lippert
- E 8 Wärmebehandlung**  
Von H. Vöge
- E 9 Qualitätssicherung bei der Herstellung von Hüttenwerkserzeugnissen**  
Von W. Rohde, R. Dawirs, F. Helck und K.-J. Kremer