

Wolfgang Bleck

Elvira Moeller

Handbuch Stahl

**Auswahl, Verarbeitung,
Anwendung**

HANSER

Inhalt

Vorwort	V
Autorenverzeichnis	XXIII
Stahl – eine Werkstoffgruppe mit Zukunft	XXIX
<i>Wolfgang Bleck</i>	
TEIL A	
Der Werkstoff Stahl	
1 Definition und Systematik von Stählen	3
<i>Wolfgang Bleck</i>	
1.1 Systematik der Stähle	5
1.1.1 Einteilung der Stähle nach Hauptgüteklassen	5
1.1.1.1 Unlegierte Stähle	6
1.1.1.2 Nichtrostende Stähle	6
1.1.1.3 Andere legierte Stähle	7
1.1.2 Bezeichnungssystem für Stähle	7
1.1.2.1 Bezeichnung nach Verwendungszweck sowie mechanischen und physikalischen Eigenschaften	7
1.1.2.2 Bezeichnung nach der chemischen Zusammensetzung	8
1.1.2.3 Bezeichnung der Stähle mit Werkstoffnummern	9
2 Informationsquellen zu Stahl	13
<i>Uwe Diekmann</i>	
2.1 Einleitung	13
2.2 Aufbau unternehmensinterner Informationsquellen	14
2.3 Der Werkstoff Stahl im Vergleich – konzeptionelle Werkstoffauswahl	16
2.4 Werkstoffdatenbanken	17
2.4.1 StahlDat SX	18
2.4.2 Stahlschlüssel	22
2.4.3 StahlWissen NavIMAT	24
2.4.4 Weitere Faktendatenbanken mit Bezug zu Stahl	26
2.5 Simulationssysteme für die Berechnung von Werkstoffeigenschaften	28
2.6 Bibliotheken, Literaturdaten, Wissensbasen und Nachschlagewerke	30
2.7 Selbststudium und Weiterbildung	32

3	Eigenschaften von Stählen	35
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
3.1	Thermische Eigenschaften	35
3.1.1	Volumen- und Längenänderung von Eisen	35
3.1.2	Volumen- und Längenänderung von Stählen	37
3.1.3	Wärmeleitfähigkeit des Eisens	38
3.2	Elastische Eigenschaften	39
3.2.1	Elastizitätsmodul und Schubmodul	39
3.2.2	Anelastizität	42
3.3	Magnetische und elektrische Eigenschaften	43
3.3.1	Magnetische Eigenschaften von Eisen	43
3.3.2	Magnetische Eigenschaften von Stählen	47
3.3.3	Elektrische Eigenschaften von Eisen	49
3.3.4	Elektrische Eigenschaften von Stählen	49
3.4	Legierungen des Eisens	50
3.4.1	Legierungsbildung	50
3.4.2	Zustandsschaubilder von Fe-Legierungen	52
3.4.3	Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff	55
3.5	Ausscheidungen	57
3.6	Wirkung der Legierungselemente	58
3.6.1	Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften	58
3.6.2	Wirkung auf technologische Eigenschaften	60
3.7	Einfluss einzelner Legierungselemente auf die Eigenschaften von Stählen	62
3.7.1	Häufige Legierungselemente	62
3.7.2	Spurenelemente im Stahl	73
3.8	Zusammenfassung	74
4	Herstellung und Lieferformen von Stahl	77
	<i>Hannah Schwich, Serosh Engineer, Ulrich Prahl</i>	
4.1	Erzeugung von Stahl	77
4.1.1	Primärmetallurgie	77
4.1.1.1	Hochofen- und Konverterroute	78
4.1.1.2	Rohstahlerzeugung durch Direktreduktion	79
4.1.1.3	Elektrolichtbogenofenroute	80
4.1.2	Sekundärmetallurgie	81
4.1.3	Reinigung des Stahls durch Umschmelzen	82
4.1.3.1	Elektroschlacke-Umschmelzverfahren (ESU)	82
4.1.3.2	Lichtbogen-Vakuum-Umschmelzverfahren (LBVU)	83
4.1.4	Vergießen von Stahl zu Halbzeug	83
4.1.4.1	Gießen in Strang und Block	84
4.1.4.2	Gießen in Formen	87
4.2	Herstellung von Halbzeug	88
4.2.1	Definition	88
4.2.2	Herstellen von Flacherzeugnissen	89
4.2.2.1	Warmwalzen von Blechen und Bändern	91
4.2.2.2	Kaltwalzen von Blechen	92
4.2.3	Herstellen von Langerzeugnissen	92
4.2.3.1	Warmgewalzter und warmgezogener Stabstahl und Draht (Walzdraht)	92
4.2.3.2	Kaltgewalzter und kaltgezogener Stabstahl und Draht	94

4.2.4	Herstellen von Rohren	96
4.2.5	Herstellen von Schmiedeteilen	97
4.2.6	Ringwalzen	98
4.3	Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Halbzeug	98
4.3.1	Ultraschallverfahren (US-Verfahren)	99
4.3.2	Durchstrahlungs- oder Röntgenstrahlprüfung	100
4.3.3	Elektromagnetische Prüfung	100
4.3.4	Penetrationsverfahren	100
4.3.5	Fazit	101
5	Verarbeitung von Stählen	103
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
5-1	Umformen und Schneiden von Blechbauteilen	105
	<i>Wolfram Volk, Christoph Hartmann, Maria Hiller, Daniel Opritescu, Annika Weinschenk, Martin Feistle, Michael Krinninger</i>	
5-1.1	Blechumformung	105
5-1.1.1	Bauteilspektrum und Prozesskette	105
5-1.1.2	Auslegung des Fertigungsprozesses	105
5-1.1.3	Verfahren der Blechumformung	108
5-1.1.4	Bewertungskriterien und Fehler in der Blechumformung	110
5-1.2	Schneiden von Blechen	117
5-1.2.1	Beschneideoperationen	117
5-1.2.2	Scherschneiden	118
5-1.2.3	Fehler und Qualitätskriterien beim Schneiden	128
5-2	Kaltmassivumformung von Stahl	130
	<i>Mathias Liewald, Alexander Felde, Robert Meißner</i>	
5-2.1	Einleitung	130
5-2.2	Kaltfließpressverfahren	131
5-2.2.1	Stauchen	132
5-2.2.2	Voll-Vorwärts-Fließpressen (VVFP)	133
5-2.2.3	Napf-Rückwärts-Fließpressen (NRFP)	134
5-2.2.4	Voll-Quer-Fließpressen (VQFP)	135
5-2.3	Tribologie	136
5-2.3.1	Konversionsschichten	136
5-2.3.2	Typische Schmierstoffe für Stahlwerkstoffe in der Kaltmassivumformung	137
5-2.4	Stähle für die Kaltmassivumformung	138
5-2.4.1	Allgemeines	138
5-2.4.2	Einsatzmöglichkeiten verschiedener Stahlsorten	139
5-2.4.2.1	Baustähle	140
5-2.4.2.2	Einsatzstähle	141
5-2.4.2.3	Vergütungsstähle	142
5-2.4.2.4	Nichtrostende Stähle	142
5-2.4.2.5	Bainitische Stähle	143
5-2.5	Wärmebehandlungsstrategien	143
5-2.5.1	Wärmebehandlung vor der Kaltmassivumformung	144
5-2.5.2	Wärmebehandlung nach der Kaltmassivumformung	144

5-3 Warmmassivumformung von Stahl	146
<i>Bernd-Arno Behrens, Anas Bouguecha, Jan Puppa</i>	
5-3.1 Einleitung	146
5-3.2 Verfahren der Warmmassivumformung	147
5-3.2.1 Walzen	147
5-3.2.2 Freiformen	149
5-3.2.3 Gesenkformen	150
5-3.3 Warmumformbarkeit von Stählen	152
5-3.3.1 Fließkurven	152
5-3.3.2 Formänderungsvermögen	155
5-4 Biegeumformung von Stählen	157
<i>Goran Grzancic, Christoph Becker, Sami Chatti, A. Erman Tekkaya</i>	
5-4.1 Einleitung	157
5-4.2 Grundlagen des Biegens	158
5-4.3 Blechbiegen	161
5-4.3.1 Blechbiegeverfahren mit geradliniger Werkzeugbewegung	161
5-4.3.2 Blechbiegeverfahren mit drehender Werkzeugbewegung	162
5-4.3.3 Fertigungsfehler und Gegenmaßnahmen beim (Blech-)Biegen	163
5-4.4 Rohr- und Profilbiegen	164
5-4.4.1 Formgebundenes Rohr- und Profilbiegen	164
5-4.4.2 Kinematisches Rohr- und Profilbiegen	165
5-4.4.3 Versagensfälle und Gegenmaßnahmen beim Rohr- und Profilbiegen	166
5-4.5 Spannungsüberlagerung zum Biegen hochfester Stähle	169
5-4.5.1 Streckbiegen	169
5-4.5.2 Freibiegen mit inkrementeller Druckspannungsüberlagerung	170
5-4.5.3 Inkrementelles Rohrumformen	171
5-5 Spanen und Abtragen	173
<i>Fritz Klocke, Guido Wirtz, Frederik Vits, Andreas Klink</i>	
5-5.1 Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide	173
5-5.1.1 Verfahrensgrundlagen	173
5-5.1.2 Zerspanbarkeit von Stählen	177
5-5.1.3 Technologiesteckbriefe	186
5-5.2 Zerspanung mit geometrisch unbestimmter Schneide	192
5-5.2.1 Verfahrensgrundlagen	193
5-5.2.2 Schleifbarkeit von Stählen	198
5-5.2.3 Technologiesteckbriefe	200
5-5.3 Abtragende Verfahren - Funkenerosion und elektrochemische Bearbeitung	204
5-5.3.1 Verfahrensgrundlagen und resultierende Werkstoffmodifikationen	205
5-5.3.2 Erodierbarkeit und elektrochemische Bearbeitbarkeit von Stahlwerkstoffen	210
5-5.3.3 Technologiedatenblätter	213
5-5.3.4 Zusammenfassung	221

5-6 Clinchen	223
<i>Bernd-Arno Behrens, Sven Hübner</i>	
5-7 Schweißen und Löten von Stählen	233
<i>Uwe Reisgen, Lars Stein</i>	
5-7.1 Fügen durch Schweißen	233
5-7.1.1 Schweißverfahren	235
5-7.1.2 Auswahl geeigneter Schweißparameter	252
5-7.1.3 Schweißen unterschiedlicher Stahlwerkstoffe	253
5-7.2 Fügen durch Löten	256
5-7.2.1 Lote und Lotklassen	258
5-7.2.2 Flussmittel als Hilfsstoffe	259
5-8 Metallkleben	262
<i>Uwe Reisgen, Lars Stein</i>	
5-8.1 Eigenschaften von Klebungen	263
5-8.2 Funktionen in den Klebverbindungen	264
5-8.3 Technische Klebstoffe	265
5-9 Thermisches Trennen von Stählen	269
<i>Uwe Reisgen, Lars Stein</i>	
5-9.1 Brennschneiden	269
5-9.2 Schmelzschnneiden	271
5-9.3 Sublimierschneiden	271
5-10 Wärmebehandlung von Stählen	272
<i>Jan Bültmann, Jan Hof, Ulrich Prahel</i>	
5-10.1 Glühen	274
5-10.1.1 Erholungsglühen	274
5-10.1.2 Spannungsarmglühen	274
5-10.1.3 Rekristallisationsglühen	274
5-10.1.4 Weichglühen oder GKZ-Glühen	279
5-10.1.5 Normalglühen	280
5-10.1.6 Patentieren	282
5-10.1.7 Grobkornglühen	282
5-10.1.8 Diffusionsglühen	283
5-10.1.9 Wasserstoffarmglühen	286
5-10.2 Härten	286
5-10.2.1 Durchgreifendes Härten	286
5-10.2.2 Randschichthärten	290
5-10.2.3 Bainitisieren	292
5-10.2.4 Presshärten	293
5-10.2.5 Öl-Schlussvergüten	294
5-10.3 Anlassen	295
5-10.4 Thermochemische Behandlung	297
5-10.4.1 Einsatzhärten	298
5-10.4.2 Aufkohlen	302
5-10.4.3 Karbonitrieren	303
5-10.4.4 Nitrieren	304

5-10.4.5 Nitrocarburieren	307
5-10.4.6 Borieren	309
5-10.4.7 Chromieren	313
5-10.5 Thermomechanische Behandlung	313
5-10.6 Fazit	318
5-11 Korrosion und Korrosionsschutz	320
<i>Elvira Moeller</i>	
5-11.1 Ursachen und Ablauf der Korrosion	320
5-11.1.1 Überblick	320
5-11.1.2 Korrosion und Korrosionssysteme	321
5-11.1.3 Einfluss von Medien auf das Korrosionsverhalten	321
5-11.1.4 Korrosionserscheinungen und Korrosionsarten	325
5-11.2 Prinzipien des Korrosionsschutzes und Verfahren zu deren Umsetzung	327
5-11.2.1 Verfahren und Materialien	327
5-11.2.2 Korrosionsschutzgerechte Gestaltung	330
5-11.2.3 Korrosionsschutz durch Beschichtungssysteme	330
5-11.2.4 Korrosionsschutz durch metallische Überzüge	330
5-11.2.5 Korrosionsschutz durch nicht-metallische anorganische Überzüge	331
5-11.2.6 Elektrochemischer Korrosionsschutz	331
5-11.2.7 Korrosionsschutz durch Inhibierung	332
5-11.2.8 Temporärer Korrosionsschutz	333
5-11.3 Genormter Korrosionsschutz	336
5-11.3.1 Spezifikationen für den Erstschutz	337
5-11.3.2 Beschreibung des Objektes und der Belastungen	338
5-11.3.3 Auswahl des Beschichtungssystems	339
5-11.3.4 Prüfung der Beschichtungssysteme	340
5-11.3.5 Spezifikationen für die Instandsetzung	340
5-11.4 Korrosionsschutz und Umweltschutz	342
6 Life Cycle Assessment	345
<i>Johannes Gediga</i>	
6.1 Einführung	345
6.2 Die LCA-Methode	345
6.3 LCA-Methode im Stahlsektor	347
6.4 Anwendungen von LCA in der Industrie	351
6.4.1 Interne Nutzung der Lebenszyklusanalyse in der Stahlindustrie	351
6.4.2 Interner Nutzen von Lebenszyklusanalysen bei Kunden der Stahlindustrie	352
6.4.3 Nutzen von LCA-Ergebnissen zur Kommunikation	353
6.5 Zusammenfassung und Ausblick	354

TEIL B**Stähle für unterschiedliche Anwendungsbereiche**

1	Stähle für das Bauwesen – Stahl für die Infrastruktur der Welt	359
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
1-1	Stähle für den Hoch- und Ingenieurbau	363
	<i>Sebastian Münstermann</i>	
1-1.1	Stähle für den Massivbau	363
1-1.2	Stähle für den Skelett- und Fachwerkbau	364
1-1.2.1	Typische Werkstoffkonzepte	364
1-1.2.2	Anforderungen an die Festigkeit	368
1-1.2.3	Anforderungen an die Zähigkeit	369
1-1.2.4	Anforderungen an die Verfestigung	371
1-1.2.5	Anforderungen an die Festigkeit bei zyklischer Beanspruchung	371
1-1.2.6	Anforderungen an das Verarbeitungs- und Gebrauchsverhalten	374
1-1.2.7	Etablierte Stahlkonzepte für den Skelett- und Fachwerkbau	375
1-1.3	Stähle für den Verbundbau	380
1-1.4	Stähle für Verbindungselemente	381
1-1.5	Ausblick	382
1-2	Stähle für Drahtseile	383
	<i>Peter Janßen</i>	
1-2.1	Drahtseile für das Bauwesen	383
1-2.2	Drahtseile als Aufzug- und Kranseile	384
1-2.3	Drahtseile im Brückenbau	385
1-2.4	Einsatz in Drahtseilbahnen	385
1-2.5	Hochfeste Drahtseile zur Befestigung von Offshore-Förderplattformen	386
1-2.6	Sonstige Anwendungen	387
1-2.7	Zukunftschancen für Drahtseile	387
1-3	Stahl im Erd- und Grundbau	388
	<i>Hans-Uwe Kalle, Oliver Hechler</i>	
1-3.1	Stahlspundwände	388
1-3.2	Lieferformen und Rammelemente	388
1-3.3	Normative Regelungen zu Spundbohlen	389
1-3.4	Ausführung von Spundwandkonstruktionen	390
1-3.5	Einbringen von Stahlspundwänden	391
1-3.6	Beanspruchung und Bemessung von Stahlspundwänden	392
1-3.7	Besondere Stahlwandkonstruktionen – Stahlträger für Verbauwände	392
1-3.8	Verankerungen von Stahlspundwänden – Stahlzugelemente	393
1-3.9	Anwendungsmöglichkeiten von Stahlspundwänden	395
1-3.10	Einsatz von Spundwänden für Brückenwiderlager (Saale-Elster-Talbrücke)	397
1-4	Stähle für die Gebäudehülle	399
	<i>Markus Kuhnhenne, Ralf Podleschny</i>	
1-4.1	Allgemeines	399
1-4.2	Trapez- und Wellprofile, Sandwichelemente und Paneelprofile	399
1-4.3	Feuerverzinkte Bauelemente	400

1-4.4	Bauelemente aus nichtrostendem Stahl	4
1-4.5	Bauelemente aus wetterfestem Baustahl	4
1-4.6	Nachhaltigkeitsaspekte im Stahlleichtbau	4
1-5	Stähle für den Kran- und Kranbahnbau	40
	<i>Markus Feldmann, Sandro Citarelli</i>	
1-5.1	Einleitung	40
1-5.2	Entwurf und Bemessung	40
1-5.2.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit	40
1-5.2.2	Ermüdung und Betriebsfestigkeit	4
1-5.2.3	Wahl der Stahlsorte	4
1-5.3	Ausblick	40
1-6	Nichtrostende Langprodukte im Bauwesen	41
	<i>Frank Wilke</i>	
1-7	Nichtrostender Betonstahl	41
	<i>Frank Wilke</i>	
1-8	Feuerverzinkter Betonstahl	41
	<i>Holger Glinde</i>	
1-9	Brücken aus feuerverzinktem Stahl	41
	<i>Holger Glinde</i>	
2	Stähle für den Anlagen- und Apparatebau – <i>Werkstoffe in extremer Umgebung</i>	41
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
2-1	Stähle für den Kessel- und Druckbehälterbau	42
	<i>Andreas Kern, Esther Pfeiffer, Sebastian Münstermann</i>	
2-1.1	Allgemeines	42
2-1.2	Anforderungen an Druckgeräte	42
2-1.2.1	Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften	42
2-1.2.1.1	Anforderungen an die Festigkeit	42
2-1.2.1.2	Anforderungen an die Verfestigung	42
2-1.2.1.3	Anforderungen an die Zähigkeit	42
2-1.2.2	Anforderungen an das Verarbeitungs- und Gebrauchsverhalten	43
2-1.3	Herstellung und Eigenschaften	43
2-1.3.1	Stahlerstellung	43
2-1.3.2	Walzen und Wärmebehandlung	43
2-1.3.3	Charakteristische Eigenschaften von Behälterstählen	43
2-1.3.3.1	Unlegierte Behälterstähle	43
2-1.3.3.2	Kaltzähe Behälterstähle	43
2-1.4	Wichtige Stahlgüten für den Behälterbau	43
2-1.4.1	Unlegierte Behälterstähle	43
2-1.4.2	Kaltzähe Behälterstähle	43
2-1.5	Künftige Entwicklungen	43

2-2	Werkstoffauswahl für den Bau chemischer Anlagen	462
	<i>Jürgen Korkhaus</i>	
2-2.1	Einleitung	462
2-2.2	Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl beim Bau von Chemieanlagen	463
	2-2.2.1 Sicherheit chemischer Anlagen	463
	2-2.2.2 Wirtschaftlichkeit für Anlagenbau und -instandhaltung	464
2-2.3	Metallische Werkstoffe für Chemieanlagen	467
2-2.4	Einsatztemperaturen und Anwendungsgebiete metallischer Werkstoffe	468
2-2.5	Korrosionsbeständigkeit als Auswahlkriterium	474
2-2.6	Die Auslegung von Chemieapparaten	482
2-2.7	Sonderausführungen von Behältern	483
2-3	Getränkeabfüllmaschinen aus nichtrostendem Stahl	485
	<i>Frank Wilke</i>	
2-4	Einsatz von Stahl in Abwasserbehandlungsanlagen	487
	<i>Wolfgang Branner</i>	
2-4.1	Abwasseranfall und -zusammensetzung	487
2-4.2	Funktionsweise einer Abwasserbehandlungsanlage	487
2-4.3	Werkstoffe und deren Eigenschaften	488
2-4.4	Abmessungen	490
2-4.5	Herstellungsprozesse	490
2-4.6	Perspektiven/Alternativen	491
3	Stähle für den Maschinenbau – <i>Werkstoffvielfalt für höchste Beanspruchungen</i>	493
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
3-1	Stähle für Maschinenelemente	497
	<i>Klaus Brökel</i>	
3-1.1	Systematik der Maschinen- und Konstruktionselemente	497
3-1.2	Mechanische Verbindungselemente	498
	3-1.2.1 Stift- und Bolzenverbindungen	498
	3-1.2.2 Schraubenverbindungen	500
3-1.3	Elastische Elemente	504
	3-1.3.1 Funktionen und Wirkungen von Federn	504
	3-1.3.2 Systematik der Federn	504
3-1.4	Lager- und Führungselemente	507
	3-1.4.1 Wälzlager	507
	3-1.4.2 Gleitlager	511
3-1.5	Achsen und Wellen	512
3-1.6	Welle-Nabe-Verbindungen	513
3-1.7	Gleichförmig übersetzende Getriebe	514
3-1.8	Zusammenfassung	516
3-2	Stähle für Zahnräder	517
	<i>Karsten Stahl, Thomas Tobie, Florian Dobler</i>	
3-2.1	Einleitung	517
3-2.2	Grundlagen der Zahnradbeanspruchung und der Tragfähigkeitsrechnung	518
3-2.3	Überblick über typische Zahnradchadensarten und Mechanismen	520

3-2.4	Anforderungen an die Eigenschaften von Zahnradstählen	522
3-2.4.1	Einsatzstähle	524
3-2.4.2	Nitrierstähle	527
3-2.4.3	Stähle zum Randschichthärten	528
3-2.4.4	Vergütungsstähle	529
3-2.5	Zusammenfassung und Ausblick	529
3-3	Zähne für eine Baggerschaufel	531
	<i>Frank Wilke</i>	
3-4	Wälzlager für verschiedene Bereiche	532
	<i>Frank Wilke</i>	
3-5	Auswerferstifte	534
	<i>Serosh Engineer</i>	
3-6	Linearführungssysteme aus Blankstahl	536
	<i>Serosh Engineer</i>	
3-7	Klemmkörperprofile für Freiläufe	538
	<i>Serosh Engineer</i>	
3-8	Rakelwellen für Auftragssysteme für das Streichen von Papier und Karton	540
	<i>Serosh Engineer</i>	
3-9	Pulvermetallurgische Werkstoffe	541
	<i>Frank Baumgärtner, Ingolf Langer</i>	
3-9.1	Axiale Presstechnik	541
3-9.1.1	Werkstoffe und deren Eigenschaften	542
3-9.1.2	Herstellungsverfahren	543
3-9.1.3	Eigenschaften der Formteile und Perspektiven	544
3-9.2	Pulvermetallurgisches Spritzgießen (metal injection moulding – MIM)	545
3-9.3	Perspektiven	548
4	Stähle für die Verkehrstechnik – <i>Qualität und Quantität in höchster Perfektion</i>	551
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
4-1	Stähle für Pkw-Karosserien	555
	<i>Mingxuan Lin, Maria Zielesnik, Ulrich Prah</i>	
4-1.1	Einleitung	555
4-1.2	Terminologie und Klassifizierung	559
4-1.3	Metallurgische Betrachtungen	563
4-1.4	Korrosionsschutz	564
4-1.5	Stähle im Einzelnen	565
4-1.5.1	DDQ – weiche Tiefziehstähle	565
4-1.5.2	IF- und IF-HS-Stähle	566
4-1.5.3	BH-Stähle	569
4-1.5.4	HSLA-Stähle	572

4-1.5.5	FB-Stähle	574
4-1.5.6	DP- und DH-Stähle	575
4-1.5.7	CP-Stähle	579
4-1.5.8	TRIP-Stähle	581
4-1.5.9	MS-Stähle	584
4-1.5.10	LH-Stähle	585
4-1.5.11	PH-Stähle	587
4-1.5.12	TWIP-Stähle	589
4-1.6	Abschließende Betrachtung	591
4-2	Stähle für den Nutzfahrzeugbau	593
	<i>Andreas Kern</i>	
4-2.1	Allgemeines	593
4-2.2	Anforderungen	596
4-2.3	Anforderungen an das Verarbeitungs- und Gebrauchsverhalten	598
4-2.3.1	Herstellung und Eigenschaften	601
4-2.3.1.1	Stahlherstellung	602
4-2.3.1.2	Walzen und Wärmebehandlung	603
4-2.3.1.3	Charakteristische Eigenschaften	606
4-2.3.2	Hochfeste verschleißbeständige Baustähle	616
4-2.3.3	Wichtige Stahlgüten für den Nutzfahrzeugbau	620
4-2.3.4	Künftige Entwicklungen	621
4-3	Stähle für das Fahrwerk und den Antriebsstrang in der Automobiltechnik	624
	<i>Peter Janßen, Serosh Engineer</i>	
4-3.1	Federstähle	624
4-3.2	Stähle für Schrauben und Verbindungselemente	627
4-3.3	Schmiedestähle für Kurbelwellen, Antriebswellen, Achsen und Achsschenkel	629
4-3.4	Stähle für Wellen in Hilfsaggregaten	631
4-3.5	Stähle für zerspanend hergestellte Teile	632
4-3.6	Stähle für Lenkungsteile	634
4-3.7	Stähle für Reifeneinlegedrähte (Stahlkord)	634
4-3.8	Stähle für Stabilisatoren	635
4-3.9	Stähle für Pleuel	636
4-3.10	Stähle für Einspritzsysteme in Dieselmotoren	636
4-3.11	Erwartete Entwicklungen für Langprodukte in der Antriebstechnik für den Automobilbau	638
4-4	Leichtbau mit massivumgeformten Komponenten in der Automobilindustrie	640
	<i>Hans-Willi Raedt, Frank Wilke, Christian-Simon Ernst</i>	
4-4.1	Motivation für Leichtbau	640
4-4.2	Massivumformung im Automobilbau	640
4-4.3	Prozesse der Massivumformung	641
4-4.4	Übersicht über die verwendeten Werkstoffe	642
4-4.5	Weiterveredlung	643
4-4.6	Ideen mit Leichtbaupotenzial	644
4-4.7	Stärkere Stähle - leichtere Getriebe und andere Verzahnungsanwendungen	652
4-4.8	Fazit und Ausblick	653

5-5.2	Eurogate-Containerterminal Predöhlkai	736
5-5.3	Schleusenkanal Langwedel	738
5-5.4	Donauhafen Straubing-Sand	739
5-6	Grobbleche aus hochfesten Stählen für den Schiffbau	741
	<i>Jörg Maffert</i>	
6	Stähle für Leitungsrohre – Stahl für die unsichtbare Transport-Infrastruktur	743
	<i>Wolfgang Bleck, Juliane Mentz, Axel Kulgemeyer</i>	
6.1	Anwendung von Leitungsrohren	747
6.1.1	Einsatz von Leitungsrohren	747
6.1.2	Normenbasis	750
6.1.3	Typen, Abmessungen und Herstellprozesse von Leitungsrohren	752
6.1.4	Historie	757
6.2	Anforderungen an Leitungsrohre	760
6.2.1	Mechanische Kennwerte und deren Bestimmung	760
6.2.2	Widerstand gegen langlaufende Risse	762
6.2.3	Offshore-Pipelines – mechanisch-technologische Anforderungen	763
6.2.4	Schweißverhalten	765
6.2.5	Korrosionseigenschaften	766
6.2.6	Beschichtungen	769
6.3	Eingesetzte Stähle	770
6.3.1	Stähle für längsnahtgeschweißte Leitungsrohre	770
6.3.2	Stähle für nahtlose Leitungsrohre	772
6.4	Schlussbemerkungen	773
7	Stähle für den Werkzeugbau – Unverzichtbare Werkstoffe für agrarische und industrielle Gesellschaften	777
	<i>Wolfgang Bleck, Evelin Ratte</i>	
7.1	Eigenschaften von Werkzeugstählen	779
7.1.1	Härte	779
7.1.2	Zähigkeit	780
7.1.3	Verschleißbeständigkeit	781
7.2	Einteilung der Werkzeugstähle	781
7.2.1	Kaltarbeitsstähle	782
7.2.2	Warmarbeitsstähle	783
7.2.3	Schnellarbeitsstähle	784
7.3	Einsatzbereiche für Werkzeugstähle	784
7.3.1	Stähle für Schneid- und Stanzwerkzeuge	784
7.3.2	Stähle für Druckgussformen	787
7.3.3	Stähle für Walzen	788
7.3.4	Stähle für die Kunststoffverarbeitung	789
7.3.5	Werkzeuge zur Warmumformung	792
7.3.6	Zerspanungswerkzeuge	794
7.4	Zusammenfassung	795

8	Stähle für die Energietechnik – Hochwarmfeste Stähle für die ressourcenschonende Stromerzeugung	797
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
8-1	Thermische Kraftwerke	801
	<i>Ulrich Brill</i>	
8-1.1	Einleitung	801
8-1.2	Anforderungen an Werkstoffe für die Kraftwerkstechnik	803
8-1.3	Hochtemperaturwerkstoffe	806
8-1.4	Nasskorrosionswerkstoffe	814
8-1.5	Zusammenfassung und Ausblick	817
8-2	Stähle für eine Rauchgasentschwefelungsanlage	820
	<i>Wilfried Heimann</i>	
8-3	Kesselrohre für den Kraftwerksbau	823
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
8-3.1	Einleitung	823
8-3.2	Anforderungen an die Werkstoffe	824
8-3.3	Bewährte Stähle	825
8-3.4	Mechanische Eigenschaften bei hohen Temperaturen	825
8-3.5	Einflussgrößen auf die Kriecheigenschaften	828
8-3.6	Zukünftige Entwicklungen	829
8-4	Nichtrostende Rohr-Abhänger für Kraftwerke	830
	<i>Frank Wilke</i>	
9	Stähle für Anwendungen im Haushalt, in der Medizintechnik und im Sportbereich – Der Mensch im Mittelpunkt	831
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
9-1	Stähle für Anwendungen im Haushalt	833
	<i>Wolfgang Bleck, Frank Wilke</i>	
9-1.1	Haushaltsgeräte	833
9-1.2	Haushaltswaren	839
9-1.2.1	Kochgeschirr	839
9-1.2.2	Essbesteck und andere Messer	840
9-2	Stähle für die Medizintechnik	844
	<i>Frank Wilke</i>	
9-2.1	Chirurgische Instrumente	844
9-2.2	Implantate	845
9-3	Stähle für Anwendungen im Spiel- und Sportbereich	847
	<i>Wolfgang Bleck, Frank Wilke</i>	
9-3.1	Spiel- und Sportgeräte	847
9-3.2	Funktionselemente im Sport	848

10	Stähle für Sonderanwendungen – Attraktive Kombination von funktionellen und strukturellen Eigenschaften	851
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
10-1	Stähle für die Elektrotechnik	855
	<i>Wolfgang Bleck, Markus Schulte, Frank Wilke</i>	
10-1.1	Weichmagnetische Stähle	855
10-1.1.1	Nicht kornorientiertes Elektroblech und -band	857
10-1.1.2	Kornorientiertes Elektroblech und -band	860
10-1.1.3	Nichtrostende weichmagnetische Stähle	862
10-1.2	Hartmagnetische Stähle – Dauermagnetwerkstoffe	864
10-1.3	Nichtmagnetisierbare Stähle	865
10-1.4	Stähle mit guter elektrischer Leitfähigkeit	866
10-2	Stähle und Legierungen für Heizleiter	868
	<i>Serosh Engineer</i>	
10-3	Stähle mit definierter Wärmeausdehnung	872
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
10-4	Stähle für die Sicherheitstechnik	874
	<i>Frank Wilke</i>	
10-4.1	Bügelschlösser – Bauteile für die Sicherheit	874
10-4.2	Feindraht für Schutzkleidung	875
10-4.3	Nichtrostender Feinstdraht	876
10-4.4	Hitzebeständige Ketten für Zement-Drehrohröfen	876
10-5	Additive Fertigung von Bauteilen aus Stahl	879
	<i>Christian Haase</i>	
10-5.1	Einleitung	879
10-5.2	Verfahren zur additiven Fertigung	880
10-5.3	Prozessbedingte Besonderheiten	881
10-5.4	Eingesetzte Stähle und ihre Anwendungen	882
	Zu guter Letzt – Sprüche, Weisheiten, Dummheiten, Mythen zu Eisen und Stahl	885
ANHANG		
	Verzeichnis der im Buch erwähnten Normen	889
	Stichwortverzeichnis	897