

Wolfgang Bleck
Elvira Moeller

Handbuch Stahl

Auswahl, Verarbeitung, Anwendung



HANSER

Wolfgang Bleck

Elvira Moeller

Handbuch Stahl

**Auswahl, Verarbeitung,
Anwendung**

HANSER

Die Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck ist Leiter des Instituts für Eisenhüttenkunde der RWTH Aachen University.

Dipl.-Chem. Elvira Moeller ist Herausgeberin und Autorin technisch-wissenschaftlicher Publikationen. Sie ist freiberuflich für Verlage und Institutionen tätig.

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-446-44961-9

E-Book-ISBN: 978-3-446-44962-6

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2018 Carl Hanser Verlag, München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Cornelia Rothenaicher

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, Rebranding, München, Germany

Titelfoto: Saarpolygon Panorama, Fotolia

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: FIRMENGRUPPE APPL, aprinta druck GmbH, Wemding

Printed in Germany

Vorwort

Noch ein Buch über Stahl! Ja, denn dieses Buch ist besonders.

Wir sind angetreten, als Praktiker für Praktiker einen Leitfaden durch die verwirrende Vielfalt der Stähle und ihrer Nutzung zu entwickeln. Ausgehend vom Anwendungsbeispiel werden die Anforderungen an den Werkstoff, die bewährten Werkstofflösungen und schließlich Hintergrund-Informationen zur Bereitstellung und Charakterisierung der Werkstoffe gegeben. Bewusst wird dabei die Perspektive des Nutzers von Stahl gewählt, ebenso bewusst haben wir die Themenauswahl beschränkt, um nicht die Übersicht in der Informationsflut über Bauteile und Anwendungsbereiche bei mehr als 2500 genormten Werkstoffen auf Eisenbasis zu verlieren. Gusseisen mit seinen vielfältigen Verarbeitungs- und Anwendungsformen wird ausgeklammert, einige Randbereiche der Stahlanwendung wie die Pulvermetallurgie werden nur gestreift.

Dieses Grundkonzept stößt allerdings an viele Grenzen, die es zu überwinden galt. Ein spezieller Stahl kann in verschiedenen Produktformen für viele Anwendungsbereiche diskutiert werden. Manche Anwendungsbereiche lassen sich nicht deutlich voneinander abgrenzen. Schließlich kommt auch ein Buch für Praktiker nicht ohne die Bereitstellung von Grundlagen aus. Ein widerspruchsfreies, eindeutiges Konzept für unser Unterfangen gibt es nicht, aber wir haben – nach unserer Meinung – eine akzeptable Lösung gefunden.

Im Teil A des Buches werden die Grundlagen zu den Stählen, ihren physikalischen, chemischen und technologischen Eigenschaften, ihrer Herstellung, Verarbeitung und Normung in kondensierter Form zusammengestellt. Der Teil B gliedert sich in 10 anwendungsbezogene Kapitel, die von einem Konsortium von Fachleuten zusammengestellt wurden. Angesichts der Vielfalt der Stähle und der Verschiedenartigkeit ihrer Anwendungen ist die Zahl der Autoren sehr groß geworden; unterschiedliche Stile der Darstellung und verschie-

dene Schwerpunktsetzungen sind so vorgegeben. Neben der Beschreibung des Standes der Technik wird häufig auf die absehbaren Zukunftsentwicklungen eingegangen.

Anhand vieler Anwendungsbeispiele und der Konzentration auf die jeweils bedeutendsten für ein bestimmtes Anwendungsgebiet genutzten Stahlsorten wird ein Leitfaden erstellt, der konzentriert, detailreich und – hoffentlich – auch unterhaltsam in die Welt der Stähle und ihrer Nutzung einführt. Uns ist bewusst, dass die Darstellung viele Lücken aufweist, viele Themen sind bei weitem nicht vollständig behandelt. Gleichwohl bieten wir dem Leser eine Reise von der Bauteilanforderung zur Werkstoffwahl und selbstverständlich auch umgekehrt vom Werkstoff über die Verarbeitung zum Produkt mit definierten Eigenschaften.

Die Beiträge wurden von zahlreichen Fachleuten aus Industrie und Forschung in Eigenverantwortung geschrieben; Redundanzen lassen sich nicht immer vermeiden. Trotz aller Sorgfalt mögen sich Fehler oder Ungenauigkeiten eingeschlichen haben; die Herausgeber sind für Verbesserungsvorschläge und Anregungen dankbar.

Wir danken unseren vielen Autorinnen und Autoren, die sich in dem dreijährigen Entstehungsprozess dieses Buches engagiert haben. Das Autorenverzeichnis weist auf den jeweiligen industriellen oder wissenschaftlichen Hintergrund hin. Wir danken den Firmen und Organisationen, die Abbildungen und Informationen zu Verfügung gestellt haben. Ein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Volker Herzberg vom Carl Hanser Verlag, der den Anstoß am Anfang und die vielen notwendigen Anstöße unterwegs für dieses Buch gab.

Unseren Lesern wünschen wir eine anregende Lektüre

Wolfgang Bleck Elvira Moeller

im August 2017

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	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	Stauhen	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 Grzanic, 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 Prah</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	357
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	401
1-4.5	Bauelemente aus wetterfestem Baustahl	402
1-4.6	Nachhaltigkeitsaspekte im Stahlleichtbau	403
1-5	Stähle für den Kran- und Kranbahnbau	404
	<i>Markus Feldmann, Sandro Citarelli</i>	
1-5.1	Einleitung	404
1-5.2	Entwurf und Bemessung	406
1-5.2.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit	406
1-5.2.2	Ermüdung und Betriebsfestigkeit	407
1-5.2.3	Wahl der Stahlsorte	407
1-5.3	Ausblick	409
1-6	Nichtrostende Langprodukte im Bauwesen	410
	<i>Frank Wilke</i>	
1-7	Nichtrostender Betonstahl	414
	<i>Frank Wilke</i>	
1-8	Feuerverzinkter Betonstahl	416
	<i>Holger Glinde</i>	
1-9	Brücken aus feuerverzinktem Stahl	418
	<i>Holger Glinde</i>	
2	Stähle für den Anlagen- und Apparatebau – Werkstoffe in extremer Umgebung	421
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
2-1	Stähle für den Kessel- und Druckbehälterbau	423
	<i>Andreas Kern, Esther Pfeiffer, Sebastian Münstermann</i>	
2-1.1	Allgemeines	423
2-1.2	Anforderungen an Druckgeräte	424
2-1.2.1	Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften	424
2-1.2.1.1	Anforderungen an die Festigkeit	424
2-1.2.1.2	Anforderungen an die Verfestigung	425
2-1.2.1.3	Anforderungen an die Zähigkeit	427
2-1.2.2	Anforderungen an das Verarbeitungs- und Gebrauchsverhalten	430
2-1.3	Herstellung und Eigenschaften	434
2-1.3.1	Stahlherstellung	434
2-1.3.2	Walzen und Wärmebehandlung	438
2-1.3.3	Charakteristische Eigenschaften von Behälterstählen	439
2-1.3.3.1	Unlegierte Behälterstähle	440
2-1.3.3.2	Kaltzähe Behälterstähle	445
2-1.4	Wichtige Stahlgüten für den Behälterbau	452
2-1.4.1	Unlegierte Behälterstähle	452
2-1.4.2	Kaltzähe Behälterstähle	455
2-1.5	Künftige Entwicklungen	457

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 – Werkstoffvielfalt für höchste Beanspruchungen	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 – Qualität und Quantität in höchster Perfektion	551
	<i>Wolfgang Bleck</i>	
4-1	Stähle für Pkw-Karosserien	555
	<i>Mingxuan Lin, Maria Zielesnik, Ulrich Prahl</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

4-5 Präzisionsstahlrohre im Automobilbau	654
<i>Steffen Zimmermann, Jürgen Klabbers-Heimann</i>	
4-5.1 Eigenschaften und Fertigung von Präzisionsstahlrohren	654
4-5.2 Beispiele für Präzisionsstahlrohre im Automobilbau	658
4-5.2.1 Einspritzleitungen für Dieselmotoren (DEL)	658
4-5.2.2 Stabilisatoren als Beitrag zum Fahrkomfort	660
4-5.2.3 Wellen in der Antriebstechnik	662
4-5.2.4 Airbag dient der Sicherheit	662
4-5.3 Zusammenfassung und Ausblick	663
4-6 Stähle für den Schienenfahrweg	665
<i>Albert Jörg</i>	
4-6.1 Einleitung	665
4-6.2 Aufgaben der Schiene	666
4-6.3 Anforderungen an das Schienenprofil	667
4-6.4 Anforderungen an die Schienenlänge	668
4-6.5 Anforderungen an die Werkstoffe	669
4-6.6 Bewährte Stähle und deren Herstellungskonzepte	671
4-6.6.1 Anwendung der Legierungstechnik	671
4-6.6.2 Anwendung der Wärmebehandlung	672
4-6.7 Bemessung von Schienenstählen	675
4-6.8 Betriebsverhalten von Schienenstählen	675
4-6.9 Fazit	678
4-7 Nichtrostende Federn	679
<i>Frank Wilke</i>	
4-8 Zahnstangen für Lenkungen	681
<i>Frank Wilke</i>	
4-9 Achsen für Eisenbahnen und Straßenbahnen	683
<i>Frank Wilke</i>	
4-10 Stähle für Auspuff-Flansche von Kraftfahrzeugen	685
<i>Frank Wilke</i>	
4-11 Einsatzstähle für Kolbenbolzen in Verbrennungsmotoren	686
<i>Frank Wilke</i>	
4-12 Gebaute Nockenwelle für die Motorsteuerung	687
<i>Frank Wilke</i>	
4-13 Motorventile aus Edelstahl	688
<i>Frank Wilke</i>	
4-14 Vorgelegewelle als Teil des Fahrzeuggetriebes	691
<i>Frank Wilke</i>	

4-15 Exzenterwelle für die Motorsteuerung	694
<i>Frank Wilke</i>	
4-16 Benzinverteilerleiste in Pkw-Motoren	696
<i>Frank Wilke</i>	
4-17 Kolben für Anwendung in der Servo-Hydraulik	698
<i>Frank Wilke</i>	
4-18 Edelstähle für die Luftfahrt	699
<i>Frank Wilke</i>	
5 Stähle für Offshore-Anwendungen und den Stahlwasserbau – Stähle erschließen die maritime Welt	701
<i>Wolfgang Bleck</i>	
5-1 Stähle für Offshore-Bauwerke	705
<i>Andreas Thieme</i>	
5-1.1 Entwicklung der Offshore-Technologie	705
5-1.2 Offshore-Bauten zur Öl- und Gasförderung	706
5-1.2.1 Arbeitsplattformen	706
5-1.2.2 Gründungsstrukturen	707
5-1.2.3 Schwimmende Konstruktionen	709
5-1.2.4 Spezielle Formen der Plattform	711
5-1.2.5 Unterwassertechnologie	714
5-1.2.6 Transport von und zur Plattform	715
5-1.2.7 Installation und Instandhaltung	716
5-1.3 Offshore-Bauten zur Gewinnung regenerativer Energien	717
5-1.3.1 Offshore-Windkraftanlagen	717
5-1.3.2 Gewinnung von Strömungs-, Wellen- und Gezeitenenergie	720
5-1.4 Stahl für den Offshore-Bereich	720
5-1.4.1 Anforderungen an Stahl für Offshore-Anwendungen	721
5-1.4.2 Herstellung von Stahl für Offshore-Anwendungen	722
5-1.4.3 Internationale Normung der Stahlgüten	723
5-1.5 Stahlbedarf für den Offshore-Bereich in der Praxis	727
5-2 Stähle für Hubketten im Stahlwasserbau	729
<i>Thomas Hesse, Ulrike Gabrys</i>	
5-3 Stähle für Stahlwasserbauverschlüsse	731
<i>Thomas Hesse, Ulrike Gabrys</i>	
5-4 Nichtrostende Stähle im Flusswasserbau	734
<i>Frank Wilke</i>	
5-5 Stähle für den Hafenausbau	736
<i>Oliver Hechler, Hans-Uwe Kalle</i>	
5-5.1 Hafen Hamburg	736

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>Winfried 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 Feindraht	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

Autorenverzeichnis

Dr.-Ing. Frank Baumgärtner

SchUNK Sintermetalltechnik GmbH, Heuchelheim
Frank.Baumgaertner@schunk-group.com
Kapitel: B 3-9

Dr.-Ing. Christoph Becker

Institut für Umformtechnik und Leichtbau
Technische Universität Dortmund
christoph2.becker@tu-dortmund.de
Kapitel: A 5-4

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen
(IFUM), Leibniz Universität Hannover
behrens@ifum.uni-hannover.de
Kapitel: A 5-3, A 5-6

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck

Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
RWTH Aachen
Wolfgang.Bleck@iehk.rwth-aachen.de
Kapitel: A 1, A 3, B 8-3, B 9-1, B 10-1, B 10-3,
alle Zwischentexte

Dipl.-Ing. Wolfgang Branner

HUBER SE
Berching
Wolfgang.Branner@huber.de
Kapitel: B 2-5

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Brill

Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
RWTH Aachen
u.brill@t-online.de
Kapitel: B 8-1

Prof. Dr.-Ing. habil., Prof. E. h. em. Klaus Brökel

Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Universität Rostock
klaus.broekel@uni-rostock.de
Kapitel: B 3-1

Dipl.-Ing. Jan Bültmann

ehem. IEHK Aachen
Kapitel: A 5-10

M. Sc. Sandro Citarelli

Institut für Stahlbau und Lehrstuhl für Stahlbau und
Leichtmetallbau
RWTH Aachen
s.citarelli@stb.rwth-aachen.de
Kapitel: B 1-5

Dr.-Ing. habil. Sami Chatti

ehem. Institut für Umformtechnik und Leichtbau
Technische Universität Dortmund
sami.chatti@tu-dortmund.de
Kapitel: A 5-4

Dr.-Ing. Uwe Diekmann

MATPLUS GmbH
Kamen
uwe.diekmann@matplus.de
Kapitel: A 2

Dipl.-Ing. Florian Dobler

ehem. FZG München
Kapitel: B 3-2

Dr.-Ing. Serosh Engineer

EZM EdelstahlZieherei Mark GmbH
Wetter
s.engineer@ezm-mark.de
Kapitel: A 4, B 3-5 bis B 3-8, B 4-3, B 10-2

Christian-Simon Ernst

Kapitel: B 4-4

Dipl.-Ing. Martin Feistle

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen,
Technische Universität München, Garching
martin.feistle@utg.de

Kapitel: A 5-1.2

Dr.-Ing. Alexander Felde

Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart
alexander.felde@ifu.uni-stuttgart.de

Kapitel: A 5-2

Prof. Dr.-Ing. Markus Feldmann

Institut für Stahlbau und Lehrstuhl für Stahlbau
und Leichtmetallbau

RWTH Aachen

feldmann@stb.rwth-aachen.de

Kapitel: B 1-5

Dr.-Ing. Johannes Gediga

Thinkstep

Leinfelden-Echterdingen

johannes.gediga@thinkstep.com

Kapitel: A 6

Dipl.-Ing. Ulrike Gabrys

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Karlsruhe

ulrike.gabrys@baw.de

Kapitel: B 5-2, B 5-3

Dipl.-Kfm. Holger Glinde

Institut Feuerverzinken GmbH

Düsseldorf

holger.glinde@feuerverzinken.com

Kapitel: B 1-8, B 1-9

Dipl.-Ing. Goran Grzancic

Institut für Umformtechnik und Leichtbau

Technische Universität Dortmund

goran.grzancic@tu-dortmund.de

Kapitel: A 5-4

Dr.-Ing. Christian Haase

Inst. für Eisenhüttenkunde (IEHK)

RWTH Aachen

Christian.Haase@iehk.rwth-aachen.de

Kapitel: B 10-5

M. Sc. Christoph Hartmann

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen

Technische Universität München, Garching

christoph.hartmann@utg.de

Kapitel: A 5-1.1

Dr.-Ing. Oliver Hechler

ArcelorMittal Sheet Piling,

Esch-sur-Alzette (Luxembourg)

oliver.hechler@arcelormittal.com

Kapitel: B 1-3, B 5-5

Dr.-Ing. Winfried Heimann

Krefeld

winfried.heimann@web.de

Kapitel B 8-2

Dipl.-Ing. Thomas Hesse

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Karlsruhe

thomas.hesse@baw.de

Kapitel: B 5-2, B 5-3

Dipl.-Ing. Maria Hiller

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen,

Technische Universität München, Garching

maria.hiller@utg.de

Kapitel: A 5-1.1

B. Sc. Jan Hof

ehem. IEHK Aachen

Kapitel: A 5-10

Dr.-Ing. Sven Hübner

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

(IFUM), Leibniz Universität Hannover

huebner@ifum.uni-hannover.de

Kapitel: A 5-6

Dr.-Ing. Peter Janßen

Muhr und Bender KG, Attendorn

stahlpeter64@web.de

Kapitel: B 1-2, B 4-3

Dr.-Ing., Dr. techn. Albert Jörg

voestalpine Schienen GmbH
Leoben (Österreich)
albert.joerg@voestalpine.com
Kapitel: B 4-7

Dipl.-Ing. Hans-Uwe Kalle

ArcelorMittal Sheet Piling,
Esch-sur-Alzette (Luxembourg)
uwe.kalle@arcelormittal.com
Kapitel: B 1-3, B 5-5

Prof. Dr.-Ing. Andreas Kern

thyssenkrupp Steel Europe, Technology and
Innovation – Hot Rolled Products Duisburg
andreas.kern@thyssenkrupp.com
Kapitel: B 2-1, B 4-2

Dr.-Ing. Jürgen Klabbers-Heimann

Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg
j.klabbers-heimann@du.szmf.de
Kapitel: B 4-5

Dr.-Ing. Andreas Klink

Werkzeugmaschinenlabor der
RWTH Aachen University
A.Klink@wzl.rwth-aachen.de
Kapitel: A 5-5.3

**Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Dr. h. c., Dr. h. c.
Fritz Klocke**

Werkzeugmaschinenlabor der
RWTH Aachen University
F.Klocke@wzl.rwth-aachen.de
Kapitel: A 5-5.1, A 5-5.2, A 5-5.3

Dr.-Ing. Jürgen Korkhaus

ehem. Werkstofftechnik BASF SE Ludwigshafen
Juergen.Korkhaus@gmail.com
Kapitel: B 2-2

Dipl.-Ing. Michael Krinninger

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen
Technische Universität München, Garching
michael.krinninger@utg.de
Kapitel: A 5-1.2

Prof. Dr.-Ing. Markus Kuhnhenne

Lehr- und Forschungsgebiet Nachhaltigkeit
im Metalleichtbau
RWTH Aachen University
mku@stb.rwth-aachen.de
Kapitel: B 1-4

Dr. mont. Axel Kulgemeyer

Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg
a.c.kulgemeyer@du.szmf.de
Kapitel: B 6

Dipl.-Ing. Ingolf Langer

Schunk Sintermetalltechnik GmbH, Thale
Ingolf.Langer@schunk-group.com
Kapitel: B 3-9

Prof. Dr.-Ing. Mathias Liewald

Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart
mathias.liewald@ifu.uni-stuttgart.de
Kapitel: A 5-2

M. Sc. Mingxuan Lin

Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
RWTH Aachen
Mingxuan.Lin@iehk.rwth-aachen.de
Kapitel: B 4-1

Dipl.-Ing. Jörg Maffert

Rehlingen-Siersburg
p.j.maffert@t-online.de
Kapitel: B 5-5

M. Sc. Robert Meißner

Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart
mathias.liewald@ifu.uni-stuttgart.de
Kapitel: A 5-2

Dr.-Ing. Juliane Mentz

Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg
j.mentz@du.szmf.de
Kapitel: B 6

Dipl.-Chem. Elvira Moeller

Leinfelden-Echterdingen
elvira.moeller@t-online.de
Kapitel: A 5-11

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Münstermann

Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
RWTH Aachen
muenstermann@iehk.rwth-aachen.de
Kapitel: B 1-1, B 2-1

Dipl.-Math. Daniel Opritescu

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen
Technische Universität München, Garching
daniel.opritescu@utg.de
Kapitel: A 5-1.1

Dipl.-Kffr. Esther Pfeiffer

thyssenkrupp Steel Europe – Quality Management
Heavy Plate, Duisburg
esther.pfeiffer@thyssenkrupp.com
Kapitel: B 2-1

Dr.-Ing. Ralf Podleschny

Internationaler Verband für den Metalleichtbau
(IFBS)
Krefeld
ralf.podleschny@ifbs.eu
Kapitel: B 1-4

Dr.-Ing. Ulrich Prah

Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
RWTH Aachen
Ulrich.Prah@iehk.rwth-aachen.de
Kapitel: A 4, A 5-10, B 4-1

Dipl.-Ing. Jan Pupp

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen
(IFUM), Leibniz Universität Hannover
massivumformung@ifum.uni-hannover.de
Kapitel: A 5-3

Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt

Vice President Advanced Engineering
Hirschvogel Automotive Group
Denklingen
HHG@Hirschvogel.com
Kapitel: B 4-4

Dr.-Ing. Evelin Ratte

Carpenter Technology Europe
erate@cartech.com
Kapitel: B 7

Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen

Institut für Schweißtechnik und Füge-technik (ISF)
der RWTH Aachen
office@isf.rwth-aachen.de
Kapitel: A 5-7, A 5-8, A 5-9

M. Sc. Markus Schulte

Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
RWTH Aachen
Markus.Schulte@iehk.rwth-aachen.de
Kapitel: B 10-1

M. Sc. Hannah Schwich

Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
RWTH Aachen
Hannah.Schwich@iehk.rwth-aachen.de
Kapitel: A 4

Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl

Lehrstuhl für Maschinenelemente (FZG),
Technische Universität München, Garching
stahl@fzg.mw.tum.de
Kapitel: B 3-2

Dr.-Ing. Lars Stein

Institut für Schweißtechnik und Füge-technik (ISF)
der RWTH Aachen
stein@isf.rwth-aachen.de
Kapitel: A 5-7, A 5-8, A 5-9

Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. A. Erman Tekkaya

Institut für Umformtechnik und Leichtbau,
Technische Universität Dortmund
erman.tekkaya@iul.tu-dortmund.de
Kapitel: A 5-4

Dipl.-Ing. Andreas Thieme

Rehlingen-Siersburg
andreas.thieme1962@gmail.com
Kapitel: B 5-1

Dr.-Ing. Thomas Tobie

Lehrstuhl für Maschinenelemente (FZG),
Technische Universität München, Garching
Tobie@fzg.mw.tum.de
Kapitel: B 3-2

M. Sc. Frederik Vits

Werkzeugmaschinenlabor der
RWTH Aachen University
F.Vits@wzl.rwth-aachen.de
Kapitel: A 5-5.2

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen
Technische Universität München, Garching
wolfram.volk@utg.de
Kapitel: A 5-1.1, A 5-1.2

Dipl.-Ing. Annika Weinschenk

Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen
Technische Universität München, Garching
annika.weinschenk@utg.de
Kapitel: A 5-1.1

Dipl.-Ing. Frank Wilke

ehem. Deutsche Edelstahlwerke GmbH
frank.wilke@dew-stahl.com
Kapitel: B 2-3, B 3-3, B 3-4, B 4-7 bis B 4-18, B 5-4,
B 8-4, B 10-4

Dr.-Ing. Guido Wirtz

Werkzeugmaschinenlabor der
RWTH Aachen University
G.Wirtz@wzl.rwth-aachen.de
Kapitel: A 5-5.1

Dipl.-Ing. Maria Zielesnik

Inst. für Eisenhüttenkunde (IEHK)
RWTH Aachen
Maria.Zielesnik@iehk.rwth-aachen.de
Kapitel: B 4-1

Dr.-Ing. Steffen Zimmermann

Salzgitter Mannesmann Precision GmbH
Mülheim/Ruhr
Steffen.Zimmermann@smp-tubes.com
Kapitel: B 4-5

Stahl – eine Werkstoffgruppe mit Zukunft

Wolfgang Bleck

Am Anfang war die industrielle Revolution. Nach Jahrtausenden handwerklicher Tradition mit vorwiegend mündlicher Wissensvermittlung und Herstellung in kleinen Mengen begann für Stahl in der zweiten Hälfte der 18. Jahrhunderts die industrielle Massenfertigung. Neue Rohstoffe, wie beispielsweise höherwertige Eisenerze und die Verwendung von Koks als Reduktionsmittel, neue metallurgische Herstellprozesse und neue Verfahren der Weiterverarbeitung ermöglichten die Fertigung von Stahlprodukten mit bis dato unbekannter Qualität zu niedrigen Kosten. Dies war gleichermaßen die Voraussetzung für moderne Maschinen und eine moderne Verkehrsinfrastruktur. Stahl wurde zum wichtigsten industriellen Werkstoff überhaupt.

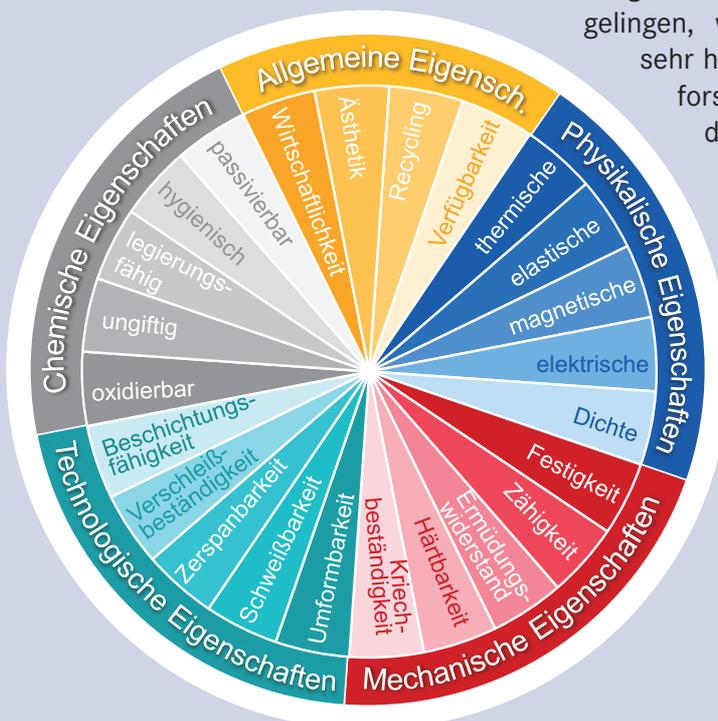
Ging es zunächst um die Menge des verfügbaren Stahls, kamen doch schon frühzeitig auch qualitative Anforderungen hinzu. Die Verwendung von Stahl in Dampfkesseln erforderte das Verständnis der mechanischen Eigenschaften in Gegenwart hoher Drucke und schneller Druckänderungen.

Die Nutzung von Stählen im Eisenbahnwesen konnte nur gelingen, weil die Werkstoffeigenschaften bei

sehr hohen zyklischen Beanspruchungen erforscht wurden und für die Entwicklung

der chemischen Industrie waren Korrosionsbeständigkeit und das Verhalten bei hohen Temperaturen von außerordentlicher Bedeutung. Es war deshalb nur logisch, wenn nach einer Phase der Produktionssteigerung die Aufmerksamkeit vermehrt auf die Qualität der Stahlprodukte und die gezielte Entwicklung von für bestimmte Anwendungen optimierten Stählen gerichtet wurde.

Im Jahr 1860 wurde der Technische Verein für das Eisenhüttenwesen, der spätere Verein Deutscher Eisenhüttenleute VDEh, gegründet, seit 1861 erscheint die Zeitschrift „Stahl und Eisen“, seit 1927 die Zeitschrift „Archiv für das Eisenhüttenwesen“, die heutige „Steel



Stähle bieten mit ihrer Vielfalt an Legierungen ein außerordentlich breites Eigenschaftsspektrum