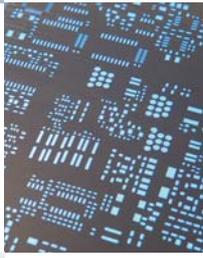


metaq®



RAL



KERAMAG
Part of the Sanitec Group



DANZERGROUP
getting closer



Westag & Getalit AG





BASF

The Chemical Company



HYDRO



VARICOR®
Ideen leben.



ThyssenKrupp DAVEX

Ein Unternehmen von ThyssenKrupp Steel



modulor
material total



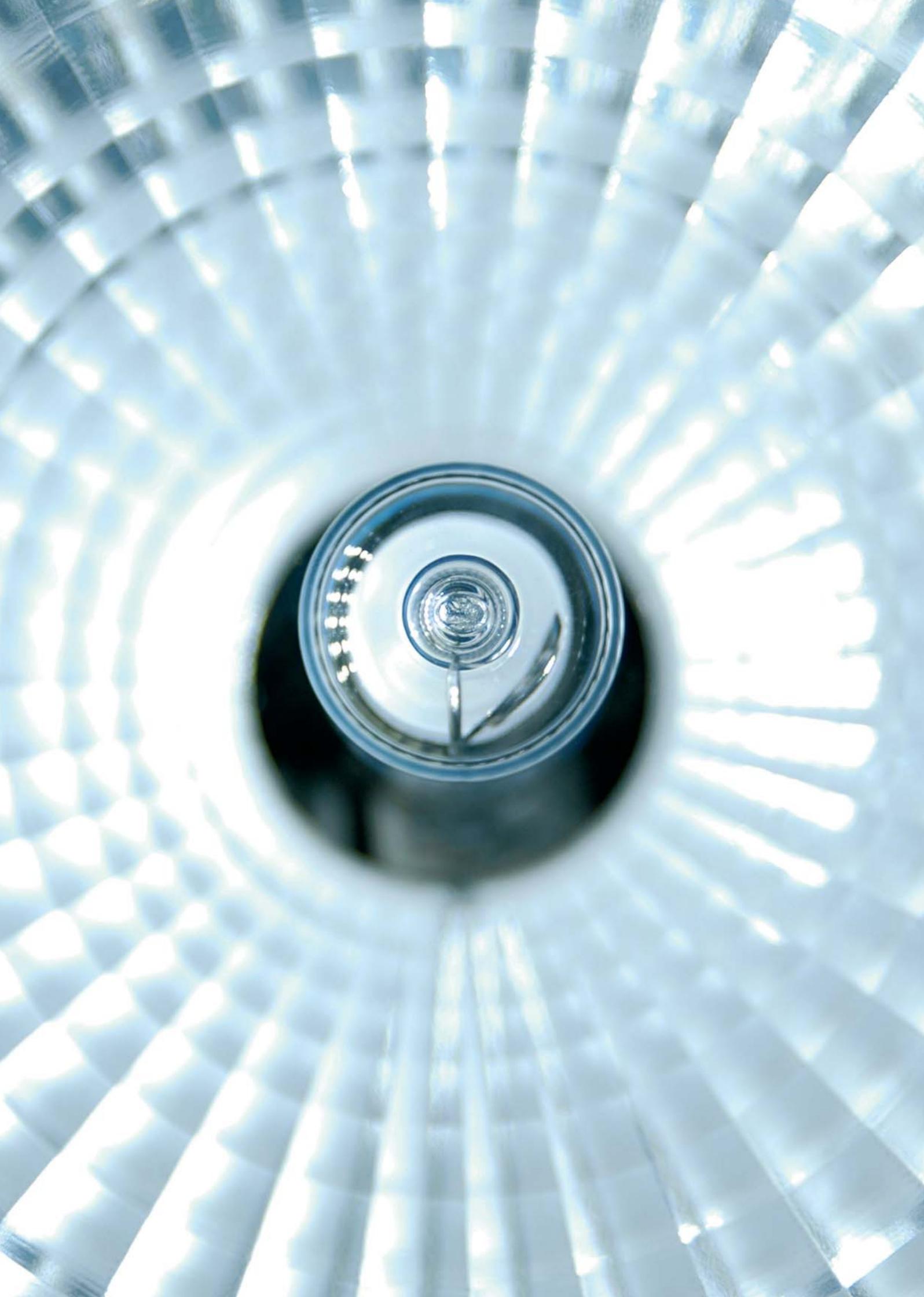
Handbuch für Technisches Produktdesign

Andreas Kalweit, Christof Paul, Dr. Sascha Peters, Reiner Wallbaum
Herausgeber

Handbuch für Technisches Produktdesign

Material und Fertigung
Entscheidungsgrundlagen für Designer und Ingenieure





IMPRESSUM

Herausgeber:

Dipl.-Ing. (FH), Dipl.-Des. Andreas Kalweit,
Dipl.-Des. Christof Paul,
Dr. phil. Dipl.-Ing. Dipl.-Des. (BA) Sascha Peters,
Reiner Wallbaum

Autor/ Text:

Dr. Sascha Peters

Autoren/ Bildhafte Darstellung:

Andreas Kalweit, Christof Paul, Reiner Wallbaum

Recherche, Didaktik und Redaktion:

Andreas Kalweit, Christof Paul, Dr. Sascha Peters,
Reiner Wallbaum

Buchidee:

Reiner Wallbaum

Lektorat:

Heinrich Wiede

Titelfoto:

Glasobjekt »waterbubble«
Dr. Sascha Peters

Layout und Grafik:

www.uniteddesignworkers.com

Dr. Sascha Peters

St. Pauli Straße 65
28203 Bremen
Germany
dr.peters@saschapeters.com

Andreas Kalweit,

Christof Paul,

Reiner Wallbaum

Schlossstraße 1a
44795 Bochum
Germany
andreas@uniteddesignworkers.com
paul@uniteddesignworkers.com
reiner@uniteddesignworkers.com

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

ISBN 10 3-540-21416-X Berlin Heidelberg New York

ISBN 13 978-3-540-21416-8 Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006

Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Einbandgestaltung: Frido Steinen-Broo, Girona

nach Vorschlägen von www.uniteddesignworkers.com

Satz: Digitale Druckvorlage der Herausgeber

Gedruckt auf säurefreiem Papier 68/3020/m - 5 4 3 2 1 0

VORWORTE

Innovationskultur

Unternehmen gelten in der Regel dann als erfolgreich, wenn sie mit ihren Produkten und Dienstleistungen in hart umkämpften Märkten bestehen oder gar neue Märkte generieren können. Als besonders erfolgreiche Beispiele seien hier Porsche mit dem 911er, Beck's Gold, der Mini von BMW sowie der iPod von Apple erwähnt.

Diese Erfolge sind Zeugnis einer Innovationskultur, die das besonders in Deutschland vorherrschende technologiegeprägte und auf eindimensionale Prozessketten zwischen Wissenschaft und Wirtschaft beschränkte Innovationsverständnis überwunden hat.

So belegen die oben genannten Beispiele einerseits den technologisch hohen Stand der jeweiligen Produktentwicklung. Die Innovationskraft liegt aber offensichtlich nicht allein in der Technologie, die »gefühlte Qualität« gewinnt zunehmend an Bedeutung. Ein folgerichtiger Vorgang jenseits der »Bedürfnisbefriedigung« vergangener Dekaden. Heute entscheiden die emotionale Aufladung und Bedeutung von Marken bis hin zur Mythenbildung stärker denn je über die Kaufentscheidungen von Menschen.

Der globale Wettbewerb wird zukünftig eine interdisziplinäre, rekursive Innovationskultur fordern, die nicht allein Technologien und Produkte entwickelt. Es sind die Lebensentwürfe, die Wünsche und Vorstellungen der Menschen sowie die Akzeptanz gegenüber neuen Technologien und Anwendungen gleichsam mit zu entwickeln. Bemerkenswert, dass in diesem Zusammenhang das Wirtschaftspotenzial der kreativen Dienstleister in Deutschland entweder gar nicht oder nur in geringem Umfang erkannt und entsprechend gefördert wird. Denn Disziplinen wie Design, Marketing, Werbung, PR, Medienwirtschaft, Fotografie, aber auch Architektur sind aufgrund ihrer Ausrichtung auf Nutzer und Märkte sowie durch die Entwicklung kreativer Methoden prädestiniert, entscheidende Impulsgeber für Innovationen zu sein.

Die Bremer Design GmbH fördert deshalb gezielt die Kreativen Industrien. Durch deren frühzeitige Einbindung und die strukturelle Verknüpfung der Bereiche Wissenschaft und Wirtschaft mit den Kreativen Industrien wird Bremen zum Modellstandort für eine neue Innovationskultur. Vor diesem Hintergrund stellt das vorliegende Handbuch für Ingenieure wie Designer mit seinem ebenso detaillierten wie fundierten Wissensfundus in einzigartiger Weise einen unverzichtbaren und längst fälligen Brückenschlag zwischen den Innovationsakteuren her.

Heinz-Jürgen Gerdes

*Geschäftsführer der Bremer Design GmbH
Leiter des Design Zentrum Bremen*

Interdisziplinarität schafft Innovationen

Die deutsche und europäische Hochleistungsmedizin genießt weltweit einen hervorragenden Ruf. Grundlage hierfür ist ihre Innovationsfähigkeit. Wichtige Entwicklungen der letzten Jahrzehnte stammen aus Deutschland, wie beispielsweise die Endoskopie, der Ballonkatheter und nicht zuletzt die Mikrotherapie. Auf dem Weltmarkt Gesundheit haben unsere Produkte gute Chancen, denn unsere Medizin hat hochwertige Ware zu bieten und der Bedarf danach wächst rasant. Wir sollten gerade diese Innovationsstärke erhalten und fördern, damit nicht auch künftig medizinische Neuerungen, wie die oben genannten, hier entwickelt werden, aber anderswo vermarktet. Jeder profitiert von Investitionen in die medizinische Forschung, denn letztlich sind wir alle irgendwann Patienten. Aber finanzieller Aufwand allein reicht nicht aus. Notwendig ist auch eine Vernetzung der verschiedenen Fachdisziplinen. Die Interdisziplinarität ist das Modell der Zukunft.

Viele Ideen und Innovationen verdanken ihre Entstehung dem Austausch von Wissen. Der neue Blick auf das eigene Fachgebiet und die Verbindung mit fachfremden Methoden führen oft fast automatisch zu innovativen Techniken. Auch die Verbindung von Medizin und Design bietet diese Chance. Wurden in der Vergangenheit medizinische Geräte meist nach funktionalen Gesichtspunkten entworfen, hat man heute die positive Wirkung des Designs entdeckt.

Design als strategisches Instrument und Wirtschaftsfaktor in einem Unternehmen kann einen Stellenwert einnehmen, der neue Entwicklungspotenziale aus den verschiedenen Disziplinen zusammenführend erschließen kann. Patienten können durch freundliche Form und Farbgebung beruhigt werden. Monströse Apparaturen sind oft schlecht handhabbar, können Angstgefühle hervorrufen und werden zunehmend aus modernen Praxen verschwinden, da sich mittlerweile hierfür eine Wahrnehmung entwickelt hat. So ergibt sich, bei gleicher Technik, aber anderem Erscheinungsbild, ein nicht zu unterschätzender Wettbewerbsvorteil. Es geht also nicht nur um Abbau von Ängsten. Qualitativ hochwertiges und ergonomisches Design ist zusätzlich im Hinblick auf die Benutzerfreundlichkeit und einfache Handhabbarkeit sehr wichtig, da die Behandlungsqualität erhöht werden kann. Auch die Wahl des Materials kann den positiven Einfluss des Design steigern. Zum Einsatz sollten vor allem Stoffe kommen, die den Körper des Patienten nicht zusätzlich belasten. Außerdem kann die verstärkte Verarbeitung von wiederverwertbaren Materialien in der Medizin, aber nicht nur dort, sondern auch in allen anderen Lebensbereichen, wesentlich zur Entlastung der Umwelt beitragen.

Prof. Dr. Dietrich Grönemeyer

Vorsitzender des Fachgebiets Medizintechnik im VDI



DIE IDEE ZU DIESEM BUCH...

Kreative sind Seismographen für Themen und Bedürfnisse die nach Umsetzung verlangen. Meistens arbeiten sie an mehreren Projekten gleichzeitig und immer sind sie mit verschiedenen Ideen beschäftigt. Einige dieser Ideen verflüchtigen sich; andere hingegen bleiben beharrlich in den Köpfen, nehmen Gestalt an und warten auf die richtigen Bedingungen, umgesetzt zu werden.

Das hier vorliegende »Handbuch für Technisches Produktdesign« ist die Realisierung einer Idee, die aus den gewonnenen Erfahrungen in der Berufstätigkeit als Designer und Ingenieure in Produktentwicklung und Forschung entstanden ist. Als Weggefährtin der vier Herausgeber verfolgte ich die Umsetzung des Buches, welches ermöglicht, die Bereiche »Werkstoffe« und »Fertigungstechniken«, die oftmals getrennt thematisiert werden, vernetzt zu erfahren.

Ziel des Buches ist es, durch eine übersichtliche und verlinkte Darstellung der Inhalte einen effizienten Wissenserwerb zu unterstützen, der für die Entwicklung innovativer, technischer Produkte unabdingbar ist.

Hilfreich für den Leser ist, dass alle in dem Kompendium aufgeführten Themen mit einem Detaillierungsgrad aufbereitet werden: Neben einem fundierten theoretischen Basiswissen, wird der Praxisbezug durch Anwendungsbeispiele hergestellt und es wird ein Vergleich über die Wirtschaftlichkeit von Materialien und Fertigungstechniken gegeben. Die prägnante und ästhetische Darstellung ermöglicht eine gute Nachvollziehbarkeit komplexer Strukturen und Verfahren. Somit optimiert das »Handbuch für Technisches Produktdesign« den Rechercheaufwand und fungiert als Impulsgeber für alle an der Produktentwicklung beteiligten Professionen.

Dass es nicht nur bei dem Vorsatz geblieben ist, dieses Buchprojekt zu realisieren ist typisch für die Arbeitsweise der Herausgeber: Das Potenzial einer Idee zu erkennen und sich nicht von der Komplexität ihrer Umsetzung beeindrucken zu lassen; sondern vielmehr mit einer pragmatischen Professionalität an die Aufgabe zu gehen.

Dipl.-Des. Petra Gersch

*Institut für Ergonomie und Designforschung der
Universität Duisburg-Essen*



EINLEITUNG

Innovationen sind zum entscheidenden Schlüssel für Unternehmen in einer post-industriellen Gesellschaft geworden. Marktfähige Produkte entstehen heute aus einer Synthese von technologischem Wissen einerseits und der Fähigkeit zur frühzeitigen Identifikation sozioökonomischer Trends andererseits. Die Schnittstelle zwischen Design und Technik hat sich zum Inkubator für Produktideen entwickelt, von dem bedeutende Innovationsimpulse ausgehen.

Jede Produktentwicklung verlangt von den beteiligten Disziplinen umfangreiches Fachwissen. Kenntnisse über Materialien und Fertigung sind zentrale Themen, die vom Designer bis zum Ingenieur vorausgesetzt werden. Das vorliegende »Handbuch für Technisches Produktdesign« befasst sich mit diesen zwei Themenfeldern. Vertreter kreativer Disziplinen werden umfassend über technologisches Wissen zu den bedeutendsten Werkstoffgruppen und Produktionsmöglichkeiten informiert. Wichtige Zusammenhänge werden anschaulich und wissenschaftlich fundiert in Form eines umfassenden Nachschlagewerks aufbereitet. Die Informationen sind zahlreichen Veröffentlichungen entnommen und wurden um die Erfahrungen der Herausgeber ergänzt. Das Wissen ist dabei in einer Art präsentiert, die die Denkweise von Designern und Ingenieuren anspricht und unterstützt. Eine schnelle und umfassende Informationsaufnahme der technologischen Rahmenbedingungen für einen Produktentwurf wird auf diese Weise in kürzester Zeit möglich.

Das Buch gibt Anstoß, um über den eigenen Horizont hinauszublicken, kreativ mit Materialien und Fertigungsmethoden umzugehen, Belange anderer Disziplinen besser zu verstehen und der Forderung nach Innovation gerecht zu werden. Die umfangreiche und übersichtliche Sammlung von Informationen erweitert den Möglichkeitsspielraum bei der Produktentwicklung. Weitreichende Innovationen und wirtschaftlich erfolgreiche Produkte werden ebenso gefördert wie eine effiziente Kooperation zwischen Designern und Technologen.

Wir wünschen allen Lesern viel Freude bei einer Entdeckungsreise durch die Welt der Werkstoffe und Produktionstechniken und viel Erfolg bei der Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse im interdisziplinären Innovationsprozess!!

Die Herausgeber

Juni 2006

INHALT

IMPRESSUM.....	3
VORWORTE.....	4
EINLEITUNG.....	6
INHALTSVERZEICHNIS.....	8
MET	METALLE
	19
MET 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....
	21
MET 1.1	Zusammensetzung und Struktur.....
	21
MET 1.2	Physikalische Eigenschaften
	23
MET 1.3	Mechanische Eigenschaften
	23
MET 1.4	Chemische Eigenschaften
	23
MET 2	Prinzipien und Eigenheiten der Metallverarbeitung
	24
MET 3	Vorstellung einzelner Metallsorten
	25
MET 3.1	Eisenwerkstoffe
	26
MET 3.1.1	Eisenwerkstoffe – Gusseisen
	30
MET 3.1.2	Eisenwerkstoffe – Stahl
	31
MET 3.1.3	Eisenwerkstoffe – Edelstahl
	35
MET 3.2	Nichteisenleichtmetalle
	36
MET 3.2.1	Nichteisenleichtmetalle – Aluminiumlegierungen.....
	36
MET 3.2.2	Nichteisenleichtmetalle – Magnesiumlegierungen.....
	37
MET 3.2.3	Nichteisenleichtmetalle – Titanlegierungen.....
	38
MET 3.3	Nichteisenschwermetalle
	39
MET 3.3.1	Nichteisenschwermetalle – Kupferlegierungen.....
	39
MET 3.3.2	Nichteisenschwermetalle – Bronze.....
	41
MET 3.3.3	Nichteisenschwermetalle – Messing.....
	42
MET 3.3.4	Nichteisenschwermetalle – Zinklegierungen.....
	43
MET 3.3.5	Nichteisenschwermetalle – Zinnlegierungen.....
	44
MET 3.3.6	Nichteisenschwermetalle – Nickellegierungen.....
	45
MET 3.3.7	Nichteisenschwermetalle – Blei.....
	46
MET 3.3.8	Nichteisenschwermetalle – Chrom.....
	47
MET 3.4	Edelmetalle
	48
MET 3.4.1	Edelmetalle – Gold
	48
MET 3.4.2	Edelmetalle – Silber
	50
MET 3.4.3	Edelmetalle – Platin
	52
MET 3.5	Halbmetalle – Silizium
	53
MET 4	Eigenschaftsprofile der wichtigsten Metallwerkstoffe
	54
MET 5	Besonderes und Neuheiten im Bereich der Metalle.....
	56
MET 5.1	Metallschaum
	56
MET 5.2	Formgedächtnislegierungen (shape memory alloys).....
	57
MET 5.3	Metallische Gläser (amorphe Metalle).....
	58
MET	Literatur
	59
KUN	KUNSTSTOFFE
	61
KUN 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....
	63
KUN 1.1	Zusammensetzung und Struktur
	63
KUN 1.2	Einteilung der Kunststoffe
	64
KUN 1.3	Physikalische Eigenschaften
	65
KUN 1.4	Mechanische Eigenschaften
	66
KUN 1.5	Chemische Eigenschaften
	66
KUN 1.6	Additive und Faserzumischung
	66

KUN 2	Prinzipien und Eigenheiten der Kunststoffverarbeitung.....	69
KUN 2.1	Herstellung einer Silikonform	70
KUN 2.2	Verfahren zur Herstellung faserverstärkter Kunststoffe.....	71
KUN 2.3	Kunststoffrecycling	73
KUN 3	Kunststoffgerechte Konstruktion	75
KUN 4	Vorstellung einzelner Kunststoffe	77
KUN 4.1	Thermoplaste	77
KUN 4.1.1	Thermoplaste – Polyethylen (PE).....	77
KUN 4.1.2	Thermoplaste – Polypropylen (PP).....	78
KUN 4.1.3	Thermoplaste – Polystyrol (PS).....	79
KUN 4.1.4	Thermoplaste – Polycarbonat (PC).....	81
KUN 4.1.5	Thermoplaste – Polyvinylchlorid (PVC).....	82
KUN 4.1.6	Thermoplaste – Polyamid (PA).....	83
KUN 4.1.7	Thermoplaste – Polymethylmethacrylat (PMMA).....	84
KUN 4.1.8	Thermoplaste – Polyoxymethylen/ Polyacetal (POM).....	85
KUN 4.1.9	Thermoplaste – Fluorpolymere	86
KUN 4.1.10	Thermoplaste – Polyester	87
KUN 4.1.11	Thermoplaste – Zelluloseester	88
KUN 4.1.12	Thermoplaste – Polyimide	89
KUN 4.1.13	Thermoplaste – Polymerblends	92
KUN 4.2	Duroplaste	93
KUN 4.2.1	Duroplaste – Polyesterharze	93
KUN 4.2.2	Duroplaste – Epoxidharze (EP).....	94
KUN 4.2.3	Duroplaste – Phenolharze (PF).....	95
KUN 4.2.4	Duroplaste – Aminoplaste	96
KUN 4.2.5	Duroplaste/Elastomere – Polyurethan (PUR).....	97
KUN 4.3	Elastomere	98
KUN 4.3.1	Elastomere – Gummi-Elastomere	98
KUN 4.3.2	Elastomere – Silikone	101
KUN 4.3.3	Elastomere – Thermoplastische Elastomere (TPE).....	102
KUN 4.4	Polymerschäume	103
KUN 4.5	Faserverstärkte Kunststoffe	104
KUN 4.6	Teilchenverstärkte Kunststoffe	105
KUN 5	Eigenschaftsprofile der wichtigsten Kunststoffe	106
KUN 6	Besonderes und Neuheiten im Bereich der Kunststoffe.....	108
KUN 6.1	Elektrizität leitende Kunststoffe (Polymerelektronik).....	108
KUN 6.2	Biokompatible Kunststoffe	109
KUN 6.3	Biokunststoffe	110
KUN 6.4	Hochtemperaturbeständige Kunststoffe	111
KUN	Literatur	112
KER	KERAMIKEN	115
KER 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....	118
KER 1.1	Einteilung keramischer Werkstoffe	118
KER 1.2	Bindungstyp und Eigenschaftsprofil	121
KER 2	Prinzipien und Eigenheiten der Verarbeitung von Keramiken.....	122
KER 2.1	Aufbereitung der Ausgangsmaterialien	122
KER 2.2	Formen silikatkeramischer Tonmassen	122
KER 2.3	Formen pulverbasierter keramischer Ausgangsmassen	124
KER 2.4	Brandvorbereitung	125
KER 2.5	Hochtemperaturprozess	125
KER 2.6	Oberflächenveredelung	125
KER 2.7	Fügen keramischer Bauteile	127
KER 3	Keramikgerechte Gestaltung	128
KER 4	Vorstellung einzelner keramischer Werkstoffe.....	130
KER 4.1	Silikatkeramik – Porzellan.....	130

KER 4.2	Silikatkeramik – Steinzeug und keramische Baustoffe.....	133
KER 4.3	Silikatkeramik – Irdenware.....	136
KER 4.4	Hochleistungssilikatkeramik	137
KER 4.5	Oxidkeramik – Aluminiumoxid.....	138
KER 4.6	Oxidkeramik – Zirkondioxid.....	139
KER 4.7	Nichtoxidkeramik – Siliziumkarbid.....	140
KER 4.8	Nichtoxidkeramik – Siliziumnitrid.....	141
KER 4.9	Keramische Beschichtungen	142
KER 5	Eigenschaftsprofile der wichtigsten Keramiken.....	143
KER 6	Besonderes und Neuheiten im Bereich keramischer Werkstoffe.....	144
KER 6.1	Keramikschaum	144
KER 6.2	Biokeramiken	145
KER 6.3	Biomorphe Keramik	146
KER 6.4	Porzellanfolien	147
KER	Literatur	148
HOL	HÖLZER	151
HOL 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....	153
HOL 1.1	Holzarten und deren Einteilung	153
HOL 1.2	Zusammensetzung und Struktur	153
HOL 1.3	Physikalische Eigenschaften.....	155
HOL 1.4	Mechanische Eigenschaften.....	156
HOL 2	Prinzipien und Eigenheiten der Holzverarbeitung.....	158
HOL 2.1	Materialaufbereitung.....	158
HOL 2.2	Fügen von Holz.....	159
HOL 2.3	Biegen von Holz	161
HOL 2.4	Oberflächenbehandlung	162
HOL 3	Holzwerkstoffe.....	164
HOL 3.1	Massivhölzer.....	164
HOL 3.2	Furniere.....	166
HOL 3.2.1	Besondere Furnierhölzer	167
HOL 3.3	Lagenholz	170
HOL 3.3.1	Lagenholz – Furnierplatten (Sperrholz).....	170
HOL 3.3.2	Lagenholz – Besondere Furnierplatten	171
HOL 3.3.3	Lagenholz – Schichtholz.....	172
HOL 3.3.4	Lagenholz – Besonderes Schichtholz	172
HOL 3.3.5	Lagenholz – Kunstharzpressholz.....	172
HOL 3.4	Verbundplatten	173
HOL 3.4.1	Besondere Verbundplatten	173
HOL 3.5	Holzspan- und Holzfaserplatten	174
HOL 3.5.1	Besondere Holzspan- und -faserplatten	175
HOL 3.6	Biegbare Werkstoffplatten.....	178
HOL 4	Vorstellung einzelner Holzarten	179
HOL 5	Ersatzholzarten und Besonderes im Bereich der Hölzer.....	184
HOL 5.1	Flüssigholz.....	184
HOL 5.2	Engineered Wood Products	185
HOL 5.3	Kork.....	186
HOL 5.4	Rindentuch.....	187
HOL	Literatur.....	188
PAP	PAPIERE	191
PAP 1	Charakteristika und Herstellungsprozess.....	193
PAP 1.1	Zusammensetzung und Struktur.....	193

PAP 1.2	Herstellungsprozess von Papier.....	194
PAP 1.3	Papiereigenschaften	197
PAP 1.3.1	Laufriechung	197
PAP 1.3.2	Hygroskopie	198
PAP 1.3.3	Festigkeit	198
PAP 1.3.4	Alterungsbeständigkeit	198
PAP 2	Prinzipien und Eigenheiten der Papierveredelung und -verarbeitung.....	199
PAP 2.1	Imprägnieren	199
PAP 2.2	Lackieren und Bedrucken	199
PAP 2.3	Kaschieren	199
PAP 2.4	Falzen	200
PAP 3	Vorstellung einzelner Papiere, Kartons und Pappen.....	200
PAP 4	Papierformate und Maßeinheiten.....	204
PAP 5	Besonderes und Neuheiten im Bereich von Papier, Karton und Pappe.....	205
PAP 5.1	Papiertextilien	205
PAP 5.2	Papier im Wohnbereich	206
PAP 5.3	Papier in der Architektur	207
PAP 5.4	Kartonage im Flugzeugbau.....	208
PAP 5.5	Papierschaum.....	208
PAP	Literatur.....	209
GLA	GLÄSER	211
GLA 1	Charakteristika und Herstellung	214
GLA 1.1	Struktur und Eigenschaften von Gläsern	214
GLA 1.2	Besondere Kenngrößen für Glaswerkstoffe.....	215
GLA 1.3	Einteilung der unterschiedlichen Glassorten.....	216
GLA 1.4	Zusammensetzung und Herstellung	217
GLA 2	Prinzipien und Eigenheiten der Glasherstellung- und verarbeitung.....	218
GLA 2.1	Verfahren der Glasherstellung	218
GLA 2.1.1	Floatverfahren	218
GLA 2.1.2	Gussglasverfahren	219
GLA 2.1.3	Ziehverfahren	220
GLA 2.1.4	Mundblasverfahren	220
GLA 2.1.5	Maschinelle Blasverfahren	221
GLA 2.1.6	Pressen	222
GLA 2.2	Prinzipien der Glasverarbeitung	222
GLA 2.2.1	Zerspanende Glasbearbeitung	222
GLA 2.2.2	Umformende Glasbearbeitung	224
GLA 2.2.3	Fügen	225
GLA 2.2.4	Oberflächenbehandlung und -beschichtung.....	226
GLA 2.2.5	Herstellung von Spiegelflächen	227
GLA 2.2.6	Entspiegelte Gläser	228
GLA 3	Vorstellung einzelner Glaswerkstoffe	229
GLA 3.1	Kalknatronglas	229
GLA 3.2	Borosilikatglas	230
GLA 3.3	Bleiglas	231
GLA 3.4	Kieselglas (Quarzglas)	232
GLA 3.5	Glaskeramik	233
GLA 3.6	Naturgläser	234
GLA 3.7	Obsidian	235
GLA 4	Spezialgläser	236
GLA 4.1	Sicherheitsgläser	236
GLA 4.2	Schutzgläser	238
GLA 4.3	Bauglas – Glasbausteine	240
GLA 4.4	Bauglas – Profilbaugläser	241

GLA 4.5	Bauglas – Glaswolle	242
GLA 4.6	Bauglas – Schaumglas	243
GLA 4.7	Glasfasern	244
GLA 5	Eigenschaftsprofile wichtiger Glaswerkstoffe.....	245
GLA 6	Besonderes und Neuheiten im Bereich der Gläser.....	246
GLA 6.1	Bioglas	246
GLA 6.2	Dünngläser	246
GLA 6.3	Selbstreinigende Gläser	248
GLA 6.3	Intelligente Gläser.....	249
GLA	Literatur.....	250
TEX	TEXTILIEN	253
TEX 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....	255
TEX 1.1	Einteilung textiler Werkstoffe.....	255
TEX 1.2	Eigenschaften textiler Werkstoffe.....	256
TEX 1.3	Internationale Größentabellen für Bekleidungen.....	257
TEX 1.4	Textilpflegekennzeichnung	257
TEX 2	Textilprodukte und ihre Herstellung	258
TEX 2.1	Fadenherstellung	258
TEX 2.2	Textile Flächen und Strukturen	262
TEX 2.2.1	Textile Flächen und Strukturen – Gewebe.....	264
TEX 2.2.2	Textile Flächen und Strukturen – Vlies, Filz.....	266
TEX 2.2.3	Textile Flächen und Strukturen – Maschenware	267
TEX 2.2.4	Textile Flächen und Strukturen – Nähwirkware, Tufting, Lamine.....	269
TEX 3	Prinzipien der Textilienveredelung	270
TEX 4	Vorstellung einzelner Textilfasern	273
TEX 4.1	Pflanzliche Naturfasern.....	273
TEX 4.1.1	Pflanzliche Naturfasern – Baumwolle.....	273
TEX 4.1.2	Pflanzliche Naturfasern – Kapok.....	273
TEX 4.1.3	Pflanzliche Naturfasern – Leinen (Flachs).....	274
TEX 4.1.4	Pflanzliche Naturfasern – Hanf.....	274
TEX 4.1.5	Pflanzliche Naturfasern – Jute.....	275
TEX 4.1.6	Pflanzliche Naturfasern – Ramie.....	275
TEX 4.1.7	Pflanzliche Naturfasern – Sisal.....	276
TEX 4.1.8	Pflanzliche Naturfasern – Manila.....	276
TEX 4.1.9	Pflanzliche Naturfasern – Kokos.....	277
TEX 4.2	Tierische Naturfasern	277
TEX 4.2.1	Tierische Naturfasern – Wolle	277
TEX 4.2.2	Tierische Naturfasern – Seide	279
TEX 4.3	Zellulosefasern	280
TEX 4.3.1	Zellulosefasern – Viskose, Modal	280
TEX 4.3.2	Zellulosefasern – Lyocell.....	280
TEX 4.3.3	Zellulosefasern – Cupro.....	281
TEX 4.3.4	Zellulosefasern – Acetat, Triacetat	281
TEX 4.4	Synthesefasern	282
TEX 4.4.1	Synthesefasern – Polyamid.....	282
TEX 4.4.2	Synthesefasern – Aramid.....	282
TEX 4.4.3	Synthesefasern – Polyester.....	283
TEX 4.4.4	Synthesefasern – Polyurethan.....	283
TEX 4.4.5	Synthesefasern – Polyacryl.....	284
TEX 4.4.6	Synthesefasern – Polytetrafluorethylen.....	284
TEX 4.4.7	Synthesefasern – Polyvinylchlorid.....	285
TEX 4.4.8	Synthesefasern – Polyolefine.....	285
TEX 4.5	Anorganische Chemiefasern	286
TEX 4.6	Hochleistungsfasern für technische Textilien	287
TEX 4.7	Leder.....	288
TEX 4.8	Pelz.....	289

TEX 5	Eigenschaftsprofile der wichtigsten Faserwerkstoffe und Verwendung.....	290
TEX 6	Verwendungsbereiche und Innovationsfelder technischer Textilien.....	292
TEX 6.1	Schutz- und Sicherheitstextilien.....	292
TEX 6.2	Intelligente Textilien (smart textiles).....	293
TEX 6.3	Sport- und Fahrzeugtextilien	294
TEX 6.4	Bautextilien	295
TEX 6.5	Medizintextilien.....	296
TEX	Literatur.....	297
MIN	MINERALISCHE WERKSTOFFE UND NATURSTEINE.....	299
MIN 1	Charakteristika und Materialeigenschaften.....	302
MIN 1.1	Zusammensetzung und Struktur	302
MIN 1.2	Eigenschaften.....	305
MIN 1.3	Einteilung natürlicher Gesteine.....	307
MIN 1.4	Industriesteine und Gesteinswerkstoffe.....	311
MIN 2	Prinzipien und Eigenheiten der Verarbeitung mineralischer Werkstoffe.....	312
MIN 3	Konstruktionsregeln für Natursteinmauerwerke.....	314
MIN 4	Vorstellung wichtiger Gesteinswerkstoffe	317
MIN 4.1	Mineralien	317
MIN 4.1.1	Mineralien – Siliziumdioxide	317
MIN 4.1.2	Mineralien – Silikate	318
MIN 4.1.3	Mineralien – Sulfate	320
MIN 4.1.4	Mineralien – Oxide	321
MIN 4.1.5	Mineralien – Karbonate	321
MIN 4.1.6	Mineralien – Ton	322
MIN 4.2	Magmages Steine	323
MIN 4.2.1	Magmages Steine – Tiefengesteine	323
MIN 4.2.2	Magmages Steine – Erdgussgesteine	324
MIN 4.3	Metamorphe Gesteine	325
MIN 4.3.1	Metamorphe Gesteine – Gneise, Serpentin, Dachschiefer.....	325
MIN 4.3.2	Metamorphe Gesteine – Marmor.....	326
MIN 4.4	Sedimentgesteine	327
MIN 4.4.1	Sedimentgesteine – Kalksteine, Dolomite, Kreide.....	327
MIN 4.4.2	Sedimentgesteine – Sandsteine.....	328
MIN 4.4.3	Sedimentgesteine – Lehm.....	330
MIN 4.5	Natursteine	332
MIN 4.5.1	Natursteine – Edel- und Schmucksteine.....	332
MIN 4.5.2	Natursteine – Kohlewerkstoffe.....	334
MIN 4.6	Mineralische Bindemittel	335
MIN 4.7	Mörtel	337
MIN 4.8	Beton	338
MIN 4.9	Bitumenhaltige Werkstoffe	340
MIN 4.10	Industriesteine mit mineralischem Binder.....	341
MIN 4.11	Harzgebundene Industriesteine	344
MIN 5	Eigenschaftsprofile wichtiger mineralischer Werkstoffe und Natursteine.....	345
MIN 6	Besonderes und Neuheiten im Bereich mineralischer Werkstoffe.....	346
MIN 6.1	Lichtdurchlässiger Beton	346
MIN 6.2	Synthetische Diamanten	347
MIN 6.3	Shimizu Megacity – Pyramidenstadt aus Grafit-Nanotubes.....	347
MIN	Literatur.....	348
VER	VERBUNDWERKSTOFFE.....	351
VER 1	Einteilung und Aufbau	352

VER 2	Vorstellung einzelner Verbundwerkstoffe	353
VER 2.1	Hartmetalle	353
VER 2.2	Bimetalle	354
VER 2.3	Verbundrohre	354
VER 2.4	Getränkeverbundverpackung	355
VER	Literatur	355
FOR	FORMEN UND GENERIEREN	359
FOR 1	Urformen – Gießen	361
FOR 1.1	Gießen – Gestaltungsregeln	364
FOR 1.2	Gießen – Spritzgießen	367
FOR 1.3	Gießen – Feingießen	371
FOR 1.4	Gießen – Druckgießen	372
FOR 1.5	Gießen – Gießen unter Vakuum	373
FOR 1.6	Gießen – Schleuder- und Rotationsgießen	374
FOR 1.7	Gießen – Stranggießen	375
FOR 1.8	Gießen – Polymergießen	376
FOR 2	Urformen – Sintern	376
FOR 2.1	Sintern – Gestaltungsregeln	378
FOR 3	Urformen – Schäumen	379
FOR 4	Urformen – Extrudieren	380
FOR 4.1	Extrudieren – Gestaltungsregeln	382
FOR 5	Urformen – Blasformen	382
FOR 5.1	Blasformen – Gestaltungsregeln	384
FOR 5.2	Blasformen – Maschinelles Glasblasformen	385
FOR 5.3	Blasformen – polymerer Werkstoffe	386
FOR 6	Druckumformen	387
FOR 6.1	Druckumformen – Einpressen	387
FOR 6.2	Druckumformen – Walzen	387
FOR 6.3	Druckumformen – Schmieden	389
FOR 6.3.1	Schmieden – Gestaltungsregeln	390
FOR 6.4	Druckumformen – Pressformen	392
FOR 6.5	Druckumformen – Fließpressen	393
FOR 6.6	Druckumformen – Strangpressen	396
FOR 7	Zugdruckumformen	397
FOR 7.1	Zugdruckumformen – Tiefziehen	397
FOR 7.2	Zugdruckumformen – Durchziehen	399
FOR 7.3	Ziehen – Gestaltungsregeln	400
FOR 7.4	Zugdruckumformen – Innenhochdruckformen	401
FOR 7.5	Zugdruckumformen – Drücken	402
FOR 7.6	Zugdruckumformen – Wölbstrukturieren	403
FOR 8	Zugumformen – Streckziehen	404
FOR 9	Biegen	405
FOR 9.1	Biegen – Gestaltungsregeln	407
FOR 10	Generative Verfahren	408
FOR 10.1	Gestaltungsregeln und Prototypenarten	409
FOR 10.2	Generative Verfahren – Stereolithographie (SL)	411
FOR 10.3	Generative Verfahren – Lasersintern (LS)	412
FOR 10.4	Generative Verfahren – Laminat-Verfahren	413
FOR 10.5	Generative Verfahren – Extrusionsverfahren	414
FOR 10.6	Generative Verfahren – 3D-Printing (3D-P)	415
FOR 10.7	Auswahl generativer Techniken	416

FOR	Literatur	418
TRE	TRENNEN UND SUBTRAHIEREN	421
TRE 1	Zerspanen	423
TRE 1.1	Zerspanen – Strahlen	426
TRE 1.2	Zerspanen – Schleifen	427
TRE 1.2.1	Schleifen – Gestaltungsregeln	430
TRE 1.3	Zerspanen – Polieren	431
TRE 1.4	Zerspanen – Sägen	432
TRE 1.5	Zerspanen – Drehen	433
TRE 1.5.1	Drehen – Gestaltungsregeln	435
TRE 1.6	Zerspanen – Fräsen	436
TRE 1.6.1	Fräsen – Gestaltungsregeln	439
TRE 1.7	Zerspanen – Bohren	440
TRE 1.7.1	Bohren – Gestaltungsregeln	443
TRE 1.8	Zerspanen – Räumen, Hobeln, Stoßen	444
TRE 1.8.1	Räumen, Hobeln, Stoßen – Gestaltungsregeln	444
TRE 1.9	Zerspanen – Honen	446
TRE 1.10	Zerspanen – Läppen	447
TRE 2	Schneiden	448
TRE 2.1	Schneiden – Scherschneiden	448
TRE 2.1.1	Scherschneiden, Stanzen – Gestaltungsregeln	450
TRE 2.2	Schneiden – Strahlschneiden	452
TRE 2.3	Schneiden – Thermoschneiden	454
TRE 3	Abtragen	455
TRE 3.1	Abtragen – Funkenerosives Abtragen (EDM)	458
TRE 3.2	Abtragen – Laserabtragen und -strukturieren	459
TRE 3.3	Abtragen – Chemisches Abtragen (Ätzen)	461
TRE 3.4	Abtragen – Beizen	462
TRE 3.5	Abtragen – Elektrochemisches Abtragen (ECM)	463
TRE	Literatur	464
FUE	FÜGEN UND VERBINDEN	467
FUE 1	An-/Einpress- und Schnappverbindungen	469
FUE 1.1	An-/Einpress- und Schnappverbindungen – Pressverbindungen	469
FUE 1.2	An-/Einpress- und Schnappverbindungen – Schnappverbindungen	470
FUE 1.2.1	Schnappverbindungen – Gestaltungsregeln	471
FUE 1.3	An-/Einpress- und Schnappverbindungen – Nieten	472
FUE 1.3.1	Nieten – Gestaltungsregeln	473
FUE 1.4	An-/Einpress- und Schnappverbindungen – Schrauben	474
FUE 1.4.1	Schrauben – Gestaltungsregeln	475
FUE 2	Fügen durch Einbetten und Ausgießen	477
FUE 3	Fügen durch Umformen	480
FUE 4	Kleben	481
FUE 4.1	Klebstoffarten	482
FUE 4.2	Kleben – Gestaltungsregeln	485
FUE 5	Schweißen	486
FUE 5.1	Schweißen – Gestaltungsregeln	487
FUE 5.2	Schweißen – Widerstandspunktschweißen	489
FUE 5.3	Schweißen – Lichtbogenhandschweißen	490
FUE 5.4	Schweißen – Schutzgasschweißen	491
FUE 5.5	Schweißen – Gasschmelzschweißen	492
FUE 5.6	Schweißen – Warmgasschweißen	493
FUE 5.7	Schweißen – Laserschweißen	494

FUE 5.8	Schweißen – Reibschweißen	495
FUE 5.9	Schweißen – Ultraschallschweißen	496
FUE 5.10	Schweißen – Heizelementeschweißen	497
FUE 6	Löten	498
FUE 6.1	Löten – Lötverfahren	499
FUE 6.2	Löten – Gestaltungsregeln	501
FUE 7	Nähen, Stricken, Weben	502
FUE 8	Wirtschaftlichkeit verschiedener Fügeverfahren und deren Kombinationen.....	503
FUE	Literatur	504
BES	BESCHICHTEN UND VEREDELN	507
BES 1	Beschichten aus flüssigem Zustand	509
BES 1.1	Beschichten aus flüssigem Zustand – Spritzen.....	509
BES 1.2	Beschichten aus flüssigem Zustand – Elektrostatisches Lackieren.....	510
BES 1.3	Beschichten aus flüssigem Zustand – Tauchen.....	511
BES 1.4	Beschichten aus flüssigem Zustand – Siebdruck.....	512
BES 1.5	Beschichten aus flüssigem Zustand – Tampondruck.....	516
BES 1.6	Beschichten aus flüssigem Zustand – Emaillieren (Glasieren).....	517
BES 2	Dekorationsverfahren	518
BES 2.1	Dekorationsverfahren – Wassertransferdruck	518
BES 2.2	Dekorationsverfahren – Heißprägen.....	519
BES 2.3	Dekorationsverfahren – In-Mold Decoration.....	520
BES 3	Beschichten aus breiigem Zustand – Putzen.....	521
BES 4	Beschichten aus festem Zustand	522
BES 4.1	Beschichten aus festem Zustand – Thermisches Spritzen.....	522
BES 4.2	Beschichten aus festem Zustand – Pulverbeschichten.....	523
BES 4.3	Beschichten aus festem Zustand – Elektrostatisches Pulverbeschichten.....	524
BES 4.4	Beschichten aus festem Zustand – Wirbelsintern	525
BES 5	Beschichten durch Schweißen und Löten	526
BES 5.1	Beschichten durch Schweißen und Löten – Auftragschweißen	526
BES 5.2	Beschichten durch Schweißen und Löten – Auftragslöten.....	527
BES 6	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand	528
BES 6.1	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – PVD-Verfahren.....	528
BES 6.2	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – CVD-Verfahren.....	529
BES 6.3	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – Elektrolyt. Abscheiden.....	530
BES 6.4	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – Chemisches Abscheiden.....	531
BES 6.5	Beschichten aus gasförmigem und ionisiertem Zustand – Anodisieren.....	532
BES 7	Diffusionsschichten.....	533
BES 8	Beschichten – Gestaltungshinweise.....	534
BES	Literatur	535
GES	KOSTENREDUZIERENDES GESTALTEN UND KONSTRUIEREN	537
GES 1	Fertigungsgerechte Gestaltung	539
GES 2	Montagegerechte Gestaltung.....	542
GES 3	Materialkosten reduzierende Gestaltung	544
GES 4	Recycling- und entsorgungsgerechte Gestaltung.....	545

GES 5	Lager- und transportkostengerechte Gestaltung	546
GES	Literatur.....	547
KEN	WERKSTOFFKENNWERTE	548
	SACHWORTVERZEICHNIS.....	550
	ADRESSENVERZEICHNIS.....	564
	VITAE.....	570
	NACHWORT.....	571
	DANKE SCHÖN.....	571

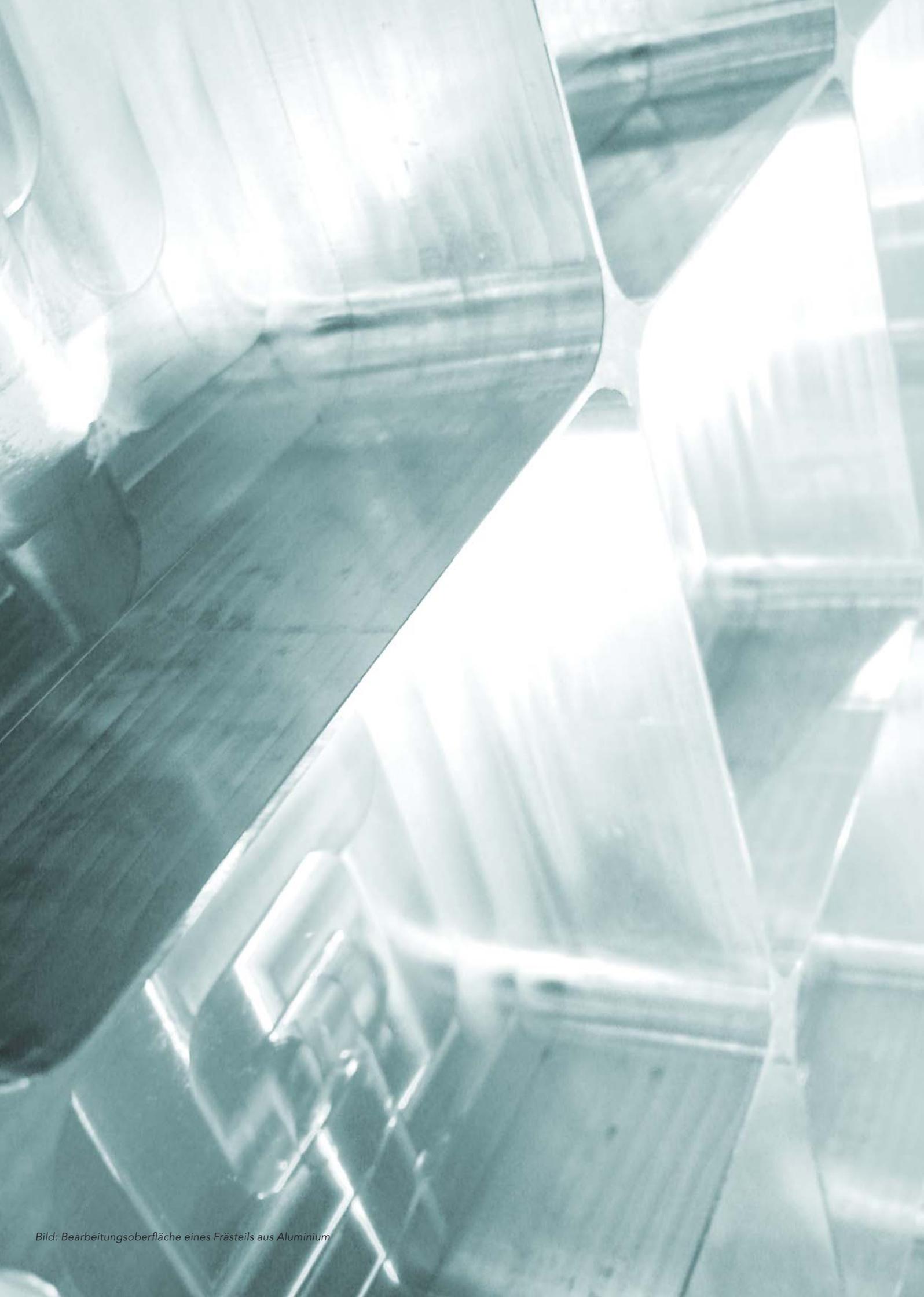


Bild: Bearbeitungsfläche eines Frästeils aus Aluminium

MET METALLE

Abkantbank, Amboss, Anker, Antenne, Armatur, Armreif, Axt, Backform, Baggerarm, Bahnwaggon, Batterie, Beil, Besteck, Bleischürze, Bohrer, Bohrin-
 sel, Bolzen, Bolzenschneider, Brieföffner, Brillenge-
 stell, Brücke, Büchse, Bügeleisen, Campingkocher,
 Computerchip, Container, Dachbelag, Dampfma-
 schine, Dart, Degen, Diskus, Dolch, Dosenöffner,
 Drahtbürste, Drehverschluss, Drehmaschine,
 Dreirad, Druckkessel, Düse, Eisenbahnwaggon,
 Eisenwolle, Elektromagnet, Elektrozaun, Fahrrad-
 rahmen, Federgabel, Feile, Felge, Fenstergriff,
 Flaschenöffner, Fräser, Füllfeder, Gabel, Gabel-
 stapler, Gastank, Gasturbine, Gartenzaun, Gelenk-
 prothese, Gepäckträger, Getreidesilo, Getriebe,
 Gewehr, Gewinde, Gewindestange, Gitter, Glocke,
 Golfschläger, Granate, Grillrost, Gully, Gürtelschnal-
 le, Haarspange, Haarnadel, Hammer, Handschelle,
 Hantel, Harpune, Heftklammer, Heftzwecke, Heiz-
 körper, Hochspannungsmast, Hubwagen, Hufeisen,
 Imbuss, Implantat, Käsereibe, Kanaldeckel, Kanone,
 Karabinerhaken, Karosserie, Kartoffelmesser,
 Kartusche, Kelch, Kette, Kessel, Kerzenständer,
 Klangkugel, Kleiderhaken, Klettergerüst, Knochen-
 nagel, Kochplatte, Konservendose, Korkenzieher,
 Kran, Krawattennadel, Kronkorken, Küchenwaage,
 Kühlschlange, Kugellager, Kufe, Kupplung, Lan-
 ze, Lampenschirm, Laternenpfahl, Lavinenschutz,
 Leiterbahn, Löffel, Lüfterrad, Manschettenknopf,
 Maschendraht, Medaille, Meißel, Messer, Mess-
 schieber, Messschraube, Mistgabel, Motorblock,
 Münze, Nadel, Nagel, Nasenring, Niete, Nocken-
 welle, Nussknacker, Öllampe, Orgelpfeife, Panzer-
 tür, Pfanne, Pigment, Pinzette, Pistole, Planierraupe,
 Pleuel, Pokal, Posaune, Presse, Propeller, Prothe-
 se, Pumpengehäuse, Quirl, Rasierklinge, Rakete,
 Reflektor, Regenrinne, Reibe, Reißverschluss,
 Rohrsystem, Rolltreppe, Rutsche, Säbel, Sägeblatt,
 Satellit, Saxophon, Scharnier, Schaufel, Schere,
 Schiene, Schild, Schlüssel, Schmuck, Schneepflug,
 Schneeschippe, Schranke, Schraube, Schraubendre-
 her, Schraubenschlüssel, Schraubstock, Schubkarre,
 Schusswaffe, Schutzhelm, Schutzschild, Schwert,
 Sense, Sicherheitsnadel, Sieb, Skalpell, Skulptur, So-
 larpanel, Spaten, Speer, Speiche, Spindel, Spirale,
 Spritzgusswerkzeug, Spule, Stacheldraht, Strahl-
 triebwerk, Straßenschild, Stromkabel, Suppenkelle,
 Tanker, Taschenmesser, Thermoskanne, Toaster,
 Topf, Treppengeländer, Tresor, Triangel, Triebwerk,
 Trompete, Türklinke, Turbinenschaufel, Uhrwerk,
 Unterlegscheibe, Unterwasserseeboot, Ventil, Ven-
 tilator, Vogelkäfig, Wagenheber, Walze, Wälzlager,
 Wärmeschutzschicht, Wärmetauscher, Wäschetrom-
 mel, Wasserhahn, Wasserturbine, Wippe, Wohnmo-
 bil, Wok, Xylofon, Ytterbium, Zahnersatz, Zahnfül-
 lung, Zahnrad, Zange, Zinnsoldat, Zylinder

Der Zustand eines aufgeblasenen Körpers ist aus dem Sport- und Freizeitsektor bei Fußbällen oder Luftmatratzen schon lange bekannt. In der Regel kommen Kunststoffe zum Einsatz, die über elastische Eigenschaften verfügen und vor allem den Eindruck von Flexibilität vermitteln. Dass sich dieser auch mit üblicherweise festen Materialien realisieren lässt, ist zunächst erstaunlich, zeigt aber, welche vielfältigen Eigenschaften Metalle aufweisen können. Im vorliegenden Fall wird ein anfänglich gerades Stahlrohr durch hohen Druck einer Flüssigkeit in eine vorgegebene geometrische Form »geblasen«.



Bild: Bauteilherstellung mit dem Innenhochdruckformverfahren [FOR 7.4](#).

Dies ist nur ein Beispiel von vielen, das zeigt, wie durch Weiterentwicklungen im Bereich der Verarbeitung immer wieder neue Anwendungsoptionen für Metalle erschlossen werden. Die logische Kopplung von technologischem Fortschritt und Produktinnovation ist evident und kann schon seit etwa 10000 Jahren beobachtet werden. Damals wurden im nördlichen Persien auf dem Gebiet des heutigen Iran die ersten metallurgischen Verfahrensprinzipien entdeckt. In primitiven Holzöfen schmolz man **Malachit**, ein kupferhaltiges Mineral, und goss erste Gegenstände und Waffen aus dem metallischen Werkstoff. Durch Handel und Auswanderungen verbreiteten sich die Schmelztechniken zunächst unter den Hochkulturen des Zweistromlandes. Über Ägypten und Nordafrika sowie Vorderasien und Griechenland kamen die Technologien schließlich nach Spanien und ins mittlere Europa. Die kulturelle Entwicklung menschlicher Zivilisation ist folglich eng mit technologischen Neuerungen gerade im Bereich der Metallurgie verbunden. Das gesellschaftliche Fundament basiert förmlich auf den Gebrauchsoptionen metallischer Werkstoffe. So wird die militärische Überlegenheit der alten Römer mit dem systematischen Einsatz von Waffen aus Eisen zu einer Zeit begründet, in der andere Völker immer noch das weichere Bronze, eine Kupfer-Legierung [MET 3.3.2](#), verwendeten.

Die nächsten Entwicklungsschritte von Metallen konzentrierten sich auf Eisenwerkstoffe. So war die wirtschaftliche Erschließung des amerikanischen Kontinents gekoppelt an die Entdeckung einer Möglichkeit zur Stahlproduktion. Die ersten Eisenbahnen wurden gebaut. Sie ermöglichten den schnellen und unkomplizierten Transport von Gütern von der Ostküste bis tief in den mittleren Westen. Zudem führte die Entwicklung von Stahlbeton [MIN 4.8](#) zum Bau von sehr hohen Gebäuden wie dem Kölner Dom und Wolkenkratzern in Städten mit einer schnell steigenden Bevölkerungsdichte (z.B. New York). Immer vielfältigere Legierungsformen [MET 1.1](#) der Metalle und die Entdeckung neuer Elemente in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts brachten weitere Erfindungen hervor und beschleunigten die zivilisatorische Entwicklung bis in unsere heutige Gesellschaft. Obwohl die Bedeutung metallischer Werkstoffe seit dem Aufkommen keramischer und polymerer Werkstoffe leicht rückläufig zu sein scheint, zeigen aktuelle Fortschritte, dass das Gebrauchspotenzial metallischer Werkstoffe noch immer nicht vollständig ausgeschöpft ist. Besonders hervorzuheben seien an dieser Stelle die Entwicklungsfortschritte schichtweise generativer Verfahren zur Herstellung individuellen Zahnersatzes [MET 3.4.1](#), die Qualifizierung hochfester MMC (Metal Matrix Composites [VER 1](#)) oder die seit nunmehr einer Dekade entwickelte Option zum Schäumen von Metallen [MET 5.1](#). Im Hochtemperaturbereich versucht man durch die Entwicklung von Superlegierungen [MET 3.3.6](#) neue Optionen für die Luft- und Raumfahrt zu schaffen. Weitere Entwicklungspotenziale bestehen für metallische Gläser [MET 5.3](#) und Formgedächtniswerkstoffe [MET 5.2](#).



Bild: Edelstahlfassade des »Neuen Zollhofes« im Düsseldorfer Hafen./ Architekt: Frank O. Gehry

MET 1

Charakteristika und Materialeigenschaften

Mit einem Anteil von 75% weisen die meisten Elemente im Periodensystem (PSE) metallische Charakteristika auf. Die Eigenschaften von Metallen und das entsprechende Verhalten während der Verarbeitung sind auf den kristallinen Aufbau und die in der Struktur frei beweglichen Elektronen zurückzuführen.

MET 1.1

Zusammensetzung und Struktur

Vergrößert man mit einem Mikroskop die Bruchstellen von metallischen Werkstoffen deutlich, so lassen sich einzelne Körner erkennen, die einer räumlichen Ordnung folgen und ein regelmäßiges Gefüge bilden. Die Anordnung erfolgt auf Basis eines *Raum-* oder *Kristallgitters* (Hornbogen 2002).

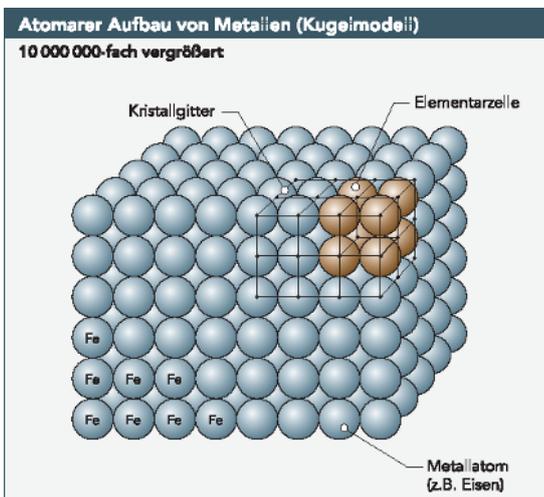


Abb. 1: nach [8]

Ein Werkstoff mit einer unregelmäßigen und willkürlichen Anordnung von Molekülen und Atomen wird als *amorph* bezeichnet. Hierzu zählen beispielsweise Glas [GLA 1.1](#), Flüssigkeiten und Kunststoffe [KUN 1.1](#), die sich daher klar von der Gruppe der Metalle abgrenzen lassen.

Die *Kristallstruktur* von Metallen wird auf atomarer Ebene durch die Zusammenhaltkräfte zwischen den einzelnen Teilchen bestimmt. Die *metallische Bindung* entsteht während der Metallgewinnung durch Erstarrung aus der Schmelze. Metallatome neigen zur Abgabe von negativ geladenen Elektronen. *Metallionen* mit positiver Ladung bilden sich, die durch dazwischen liegende, frei bewegliche Elektronen zusammengehalten werden. Die metallische Kristallstruktur mit hoher Festigkeit entsteht, wobei die *Elektronenwolke* die Weiterleitung von Wärme und elektrischen Strömen fördert. In der Werkstoffkunde wurden die drei Grundgittertypen *kubisch-raumzentriert* (krz), *kubisch-flächenzentriert* (kfz) und *hexagonal* (hdp) identifiziert, wonach sich die einzelnen Metalle in ihrer Kristallstruktur unterscheiden lassen.

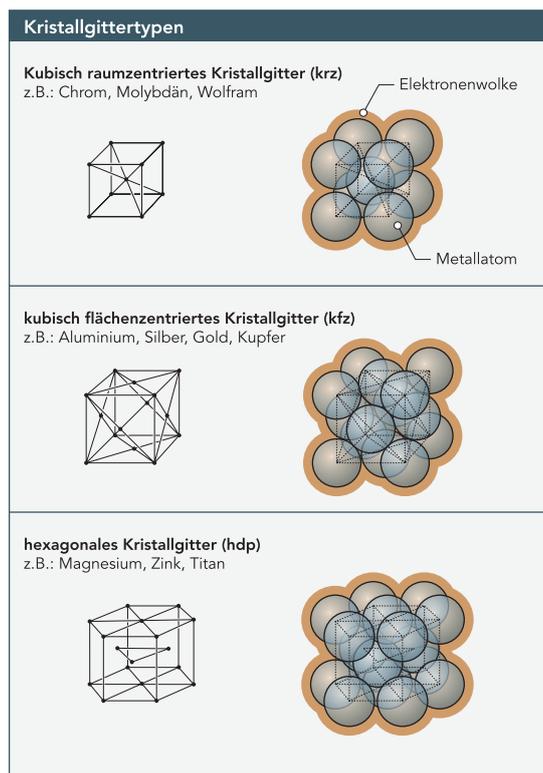


Abb. 2: nach [15]

Während der Abkühlung der Metallschmelze geht das flüssige Material nicht plötzlich in einen starren Zustand über. Vielmehr ist ein sich langsam abzeichnender Verdichtungsprozess erkennbar. *Kornbildung* und Kristallgitterentstehung lassen sich entlang des Erstarrungsprozesses in vier Phasen aufteilen (Dobler et al. 2003):

1. Die erste Abkühlungsstufe ist gekennzeichnet durch eine langsamer werdende Bewegung der frei in der Schmelze vorliegenden Metallatome.

2. Die Bildung von Kristallen setzt bei der für jedes Metall spezifischen Erstarrungstemperatur (Eisen: 1536°C) ein. Metallatome ordnen sich entsprechend eines Gittertyps an. Erste Verbünde entstehen, und Kristallisationskeime bilden sich.

3. Ausgehend von der ersten Keimbildung wachsen die Kristallstrukturen durch die immer weiter fortschreitende Anordnung von Einzelatomen an. Die Kristalle oder Körner werden größer und stoßen bei geringer werdender Schmelze an ihren Grenzen aneinander. Die Temperatur bleibt während dieses Prozesses konstant. Restatome zwischen den *Korngrenzen*, die in keine Kristallstruktur aufgenommen werden konnten, setzen sich als Fremdatome zwischen die Kornstruktur und bilden so genannte Korngrenzen.

4. Nachdem alle Atome in der Gefügestruktur angeordnet sind und nicht mehr frei beweglich in der Schmelze vorkommen, nimmt die Temperatur durch Wärmeentzug schnell ab. Das Metall ist vollkommen erstarrt. Korngrenzen haben sich vollständig ausgebildet.

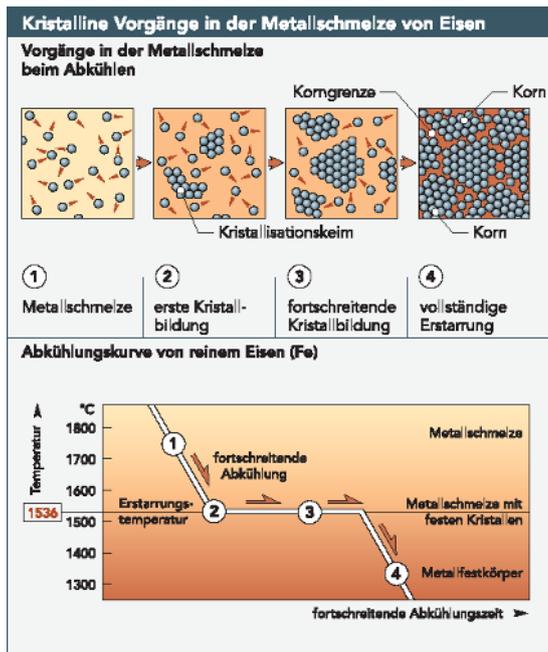


Abb. 3: nach [8]

Die Werkstoffeigenschaften werden durch die Eigenheiten des kristallinen Aufbaus beeinflusst. So weist beispielsweise ein Werkstoff mit einem feinen Gefüge und kleinen Korngrößen höhere Festigkeitswerte und eine günstigere Dehnfähigkeit auf als Strukturen mit grober Körnung. Zur Verbesserung der Bearbeitung oder Steigerung der Festigkeitseigenschaften kann die Gefügestruktur durch eine nachträgliche Wärmebehandlung (Glühen) beeinflusst werden.



Glühen

ist eine Wärmebehandlung, bei der das Werkstück zuerst erwärmt, dann auf Glühetemperatur gehalten und anschließend langsam wieder abgekühlt wird.

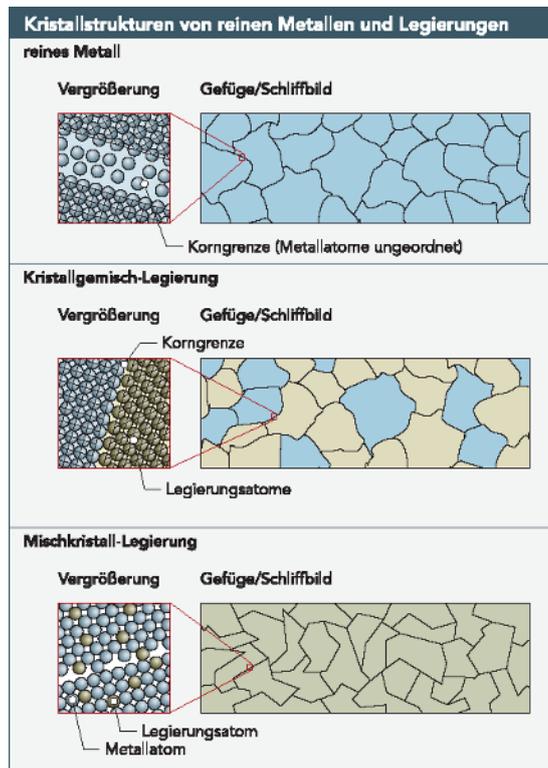


Abb. 4: nach [8]

Des Weiteren bewirkt eine umformende Bearbeitung (z.B. Walzen) unter Wärme oder das Zulegieren anderer Werkstoffe Veränderungen der Eigenschaften. **Legierungen** sind folglich Mischungen zwischen Metallen oder auch Metallen mit Nichtmetallen, wobei die heterogene Kristallstruktur eine zielgerichtete Eigenschaftsverbesserung ermöglicht.

Alle Metalle sind schmelzbar und können im flüssigen Zustand miteinander vermischt werden. Für technische und industrielle Anwendungen werden in der Regel Legierungen reinen metallischen Werkstoffen vorgezogen, da ein meist besseres Korrosionsverhalten, höhere Festigkeiten oder günstigere Härtewerte erreicht und die Eigenschaften je nach Anwendung gezielt beeinflusst werden können.

Beispiele für einige Legierungen		
Name	Bestandteile	Anwendungsbeispiele
Amalgam	Quecksilberlegierung	Zahnfüllung
Aluminiumlegierung	Aluminium, Kupfer	Fahrräder, Fenster, Möbel
Bronze	Kupfer mit Zinn oder Zink	Denkmäler, Architektur, Siebdrähte, Armaturen, Glocken, Medaillen
Britannia-Metall	Zinn, Antimon	Tafelgeschirr, Kunstgegenstände
Constantan®	Kupfer, Nickel	Schaltkreise, Münzen
Duralumin®	Aluminium, Kupfer, Magnesium, Mangan, Silizium	Transportbehälter, Konstruktionsteile
Invar	Eisen, Nickel	Bimetalle, Uhren
Messing	Kupfer, Zink	Schmuck, Musikinstrumente, Armaturen im Sanitärbereich
Neusilber	Kupfer, Nickel, Zink	Kontaktverbinder in der Elektroindustrie, Feinmechanische Geräte, Untergrundmaterial für Besteck
Lötzinn	Blei, Zinn	Lötmaterial in der Elektroindustrie
Rotguss	Kupfer, Zinn, Zink, Blei	Gleitlager
Silberlot	Kupfer, Zink, Silber	Lötverbindungen von Kupferrohren
Silumin	Aluminium-Silizium-Legierung	Motor- und Fahrzeugbau
Widia	Wolfram, Kobalt, Titan, Kohlenstoff	Werkzeugschneidplatten, Bauteile in der Umformtechnik
Weißgold	Gold, Palladium, Kupfer, Zink	Schmuck, Kunst
Zinnbronze	Kupfer, Zinn	Glocken, Zahnräder, Turbinen

Abb. 5



Bild: Glühende Bramme./ Foto: Stahl-Zentrum

MET 1.2

Physikalische Eigenschaften

Insbesondere die physikalischen Eigenschaften metallischer Werkstoffe und Legierungen werden durch die Besonderheit und Stärke der metallischen Bindung beeinflusst. Bedingt durch die frei beweglichen, delokalisierten Elektronen der **Metallbindung** (Elektronengas), sind Metalle gute Leiter für Wärme und elektrischen Strom. Kupfer und Silber sollten in diesem Zusammenhang als die Metalle mit den besten leitenden Eigenschaften besondere Erwähnung finden. Im Vergleich weisen nichtmetallische Werkstoffe, wie Glas oder Kunststoffe sehr schlechte Leiteigenschaften auf.

Weitere typische physikalische Eigenschaften sind der metallische Glanz (im polierten Zustand) und die gute Reflexionsfähigkeit für Licht, die hohen Schmelzpunkte sowie die durch die komprimierte Atompackung hervorgerufene meist hohe Dichte und Festigkeit. Maßabweichungen durch thermische Längenausdehnung sollten vor allem dann berücksichtigt werden, wenn bei der Bearbeitung metallischer Werkstoffe hohe Wärmebelastungen zu erwarten sind (z.B. beim Schweißen), aber dennoch präzise Maße mit hohen Toleranzen eingehalten werden sollen. Die Schmelzpunkte von Metallen sind im Vergleich zu anderen Werkstoffen sehr hoch und liegen für besonders hochtemperaturbeständige Superlegierungen bei Werten über 1500°C. Einige Metalle wie Stahl- oder Eisenwerkstoffe besitzen magnetische Eigenschaften.

MET 1.3

Mechanische E

Die mechanisch differenziert in auszustellen. D wie **Federstahl** nach einer Form äußeren Kraft die che Gestalt an

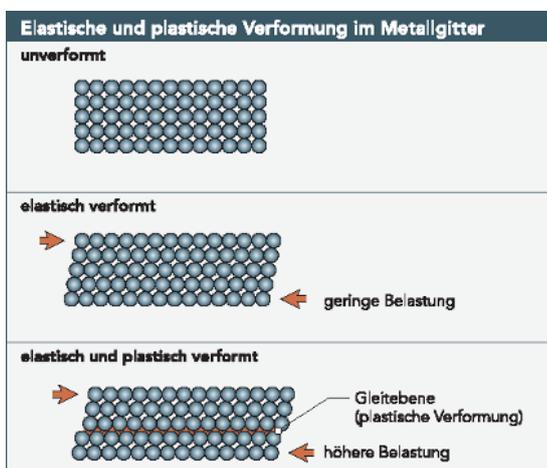


Abb. 6

Andere Metalle wie Blei weisen ein rein plastisches Verhalten auf. Der Werkstoff wird bleibend verformt und federt nicht zurück. Die meisten Metalle und Legierungen sind durch ein kombiniertes elastisch-plastisches Verhalten geprägt. Bei geringer Krafteinwirkung werden zunächst elastische Änderungen erkennbar, die mit größer werdender Belastung in einer plastischen Verformung münden. Auf kristalliner Ebene ist zunächst nur ein leichtes Rutschen der Atome auszumachen. Erst bei größeren Kräften wird eine ständige Verschiebung ganzer atomarer Lagen erreicht, womit das Bauteil in der Regel bleibende Schäden aufweist.

MET 1.4

Chemische Eigenschaften

Metalle können gute bis sehr gute Beständigkeit gegen atmosphärische Einflüsse oder chemische Substanzen aufweisen, was unter dem Begriff der **Korrosionsbeständigkeit** zusammengefasst wird. Die rein mechanische Interaktion einer metallischen Oberfläche mit der Umgebung wird als **Verschleiß** bezeichnet und zählt nicht zur **Korrosion** (Bargel, Schulze 2004). Während unlegierte Eisenwerkstoffe unter Einfluss von Feuchte oxidieren und Rost bilden, verfügen vor allem Kupfer- oder Aluminiumwerkstoffe über eine gute Korrosionsbeständigkeit. Hohe Temperaturen regen die Ausprägung von Oxidschichten an. **Edelmetalle** wie Gold, Silber oder Platin gehen fast gar keine Reaktion mit Substanzen der Umgebung ein, womit der reine Glanz zu begründen ist. Der Name »edel« ist aus dieser besonderen Eigenschaft abgeleitet. Um die Beständig edlen Metallen und Legierungen (z.B. unlegierte Stähle), können sie mit tändigeren Werkstoffen wie Chrom beschichtet oder legiert werden.

werkstoffe und -legierungen wirken auf die Umwelt und gesundheitsschädlichen Organismus aus. Zu beispielsweise Blei, Cadmium und Das Einatmen von Feinstaub aus Bleisilberdämpfen sollte vermieden ommen unbedenkliche Metalle sind sen oder Stahl.

MET 2 Prinzipien und Eigenheiten der Metallverarbeitung

Nahezu alle heute bekannten Fertigungstechnologien sind auf Grund der vielfältigen Anwendungsoptionen für Metalle und deren Legierungen in den letzten beiden Jahrhunderten entwickelt worden. Da die detaillierte Erläuterung der einzelnen Verfahren in den Technologie-Kapiteln folgt, soll hier lediglich ein Überblick über die bestehenden Bearbeitungsmöglichkeiten gegeben werden.



Härten

ist eine Wärmebehandlung, die Stahlbauteile hart und widerstandsfähig bzw. verschleißfest macht.

Härten besteht aus den Arbeitsschritten: Erwärmen, Abschrecken und Anlassen.

Abschrecken

ist das rasche Abkühlen mit Wasser, Öl oder Luft der auf Härtetemperatur erwärmten Stahlbauteile. Nach dem Abschrecken ist der Stahl sehr spröde und hart.

Anlassen

Nach dem Abschrecken werden die gehärteten Bauteile nochmals auf Anlasstemperatur (niedrigere Temperatur als beim Härten) erwärmt. Dadurch wird die Sprödigkeit des Stahls vermindert. Die Härte nimmt hierbei nur geringfügig ab.

Vergüten

Das Anlassen gehärteter Stähle nennt man auch Vergüten.



Bild: Materialabtrag beim Fräsen.

Aufbereitung und zerspanender Materialabtrag

Metallische Werkstoffe sind als Halbzeuge in Form von Profilen, Platten oder als Stangen bzw. Drähte im Handel erhältlich. Diese müssen für die Weiterverarbeitung meist vorbehandelt werden.

Es stehen eine Vielzahl vor allem Span abhebender Verfahren ^{▲ TRE 1} wie Sägen, Fräsen, Drehen, Räumen und Schleifen oder ätzende Substanzen (z.B. verdünnte Schwefelsäure) zur Verfügung, um die Metalloberflächen von unschönen Korrosionsschichten zu befreien und einen Zuschnitt in den gewünschten Maßen zu realisieren. Zudem werden Metalloberflächen zur Beschichtung oder Veredelung mit Material abtragenden Verfahren vorbereitet (z.B. Sandstrahlen) ^{▲ TRE 1.1}, oder es wird eine Endbearbeitung durch Polieren bzw. Läppen durchgeführt ^{▲ TRE 1.10}.

Urformen und Umformen

Neben der Option zur Formgebung metallischer Bauteile durch eine zerspanende, Material abhebende Bearbeitung stehen gießtechnische Verarbeitungsmethoden zur Verfügung, mit denen metallische Werkstoffe direkt aus der Schmelze in die endformgenaue Kontur überführt werden können. Hierfür eignet sich das Sand- ^{▲ FOR 1} und Feingießen ^{▲ FOR 1.3} für die Einzelfertigung komplexer Formgeometrien. Druck- ^{▲ FOR 1.4} und Stranggießen ^{▲ FOR 1.7} sind Verfahren der Massenproduktion. Außerdem kann, ausgehend von Metallpulvern, eine Formgebung innerhalb der pulvermetallurgischen Prozesskette durch Sintervorgänge ^{▲ FOR 2} erfolgen.

Auf Grund der plastischen Verformungsmöglichkeiten haben sich für Metalle eine Reihe umformender Technologien entwickelt. So können Metalle durch Biegen ^{▲ FOR 9}, Ziehen ^{▲ FOR 8} und Drücken ^{▲ FOR 7} geformt werden. Druckumformtechnologien wie Walzen, Fließ- oder Strangpressen und Schmieden ^{▲ FOR 6} dienen vor allem zur Weiterverarbeitung metallischer Bauteile in großen Serien.

Fügen

Schweißen und Löten ^{▲ FUE 5, FUE 6} sind die für Metalle üblichen Fügeverfahren zur Herstellung unlöslicher Verbindungen. In jüngster Vergangenheit konnte zudem die Klebtechnologie für eine Vielzahl von Anwendungen entwickelt werden und die das Bauteil thermisch belastenden Verfahren teilweise ersetzen. Lösliche Verbindungen werden in aller Regel mit Schrauben, Nieten oder Passfedern hergestellt.

Beschichtung und Veredelung

Zur Verbesserung der optischen Eigenschaften, der ästhetischen Qualität, der Korrosionseigenschaft und des Verschleißschutzes werden metallische Werkstoffe beschichtet. Die hierfür zur Verfügung stehenden Verfahren reichen vom einfachen Spritz- und Tauchlackieren ^{▲ BES 1.1, BES 1.2, BES 1.3} über das elektrostatische Pulverbeschichten ^{▲ BES 4.3}, Wirbelsintern ^{▲ BES 4.4} und Auftragschweißen bis hin zu CVD-, PVD- und galvanischen Verfahren zum Aufbringen besonders dünner Beschichtungen ^{▲ BES 6}. Außerdem können die Eigenschaften der Oberflächenrandzone durch Diffusionsvorgänge optimiert werden. Hier sind vor allem das Aufkohlen, Glühen, Härten, Vergüten, Nitrieren, Phosphatieren und Chromatisieren zu nennen ^{▲ BES 7}.

MET 3

Vorstellung einzelner Metallsorten

Metalle werden auf Grund der großen Bedeutung der Eisenlegierungen in **Eisen-** und **Nichteisenwerkstoffe** eingeteilt. Eisenwerkstoffe sind Eisenguss- und Stahllegierungen, deren Hauptbestandteil Eisen ist. Nichteisenmetalle werden unterteilt in Leichtmetalle mit einer Dichte von weniger als 5 kg/dm^3 und Schwermetalle mit einer Dichte von mehr als 5 kg/dm^3 . Als **Edelmetalle** werden metallische Werkstoffe bezeichnet, die besonders widerstandsfähig sind und in der atmosphärischen Umgebung nur unwesentlich oxidieren oder anlaufen. Sie weisen eine geringe Neigung zur chemischen Reaktion mit Säuren, Basen oder Salzen auf. Zu Ihnen zählen Silber, Gold und die Metalle der Platingruppe. **Gold** ist das edelste Metall. Es lässt sich lediglich mit Königswasser, einem Gemisch aus Salpeter- und Salzsäure, lösen. Edelmetalle und deren Legierungen werden wegen ihres metallischen Glanzes und der guten Hautverträglichkeit vielfach als Schmuckwerkstoffe genutzt und zählen zu den Schwermetallen (Brepohl 1998).

Übersicht der Werkstoffe			
METALLE	Eisenwerkstoffe	Stähle	z.B. Baustahl, Werkzeugstahl
		Eisen-Guss-Werkstoffe	z.B. Gusseisen, Temperguss, Stahlguss
	Nichteisenmetalle	Schwermetalle $\rho > 5 \text{ kg/dm}^3$	z.B. Kupfer, Zink, Blei
		Leichtmetalle $\rho < 5 \text{ kg/dm}^3$	z.B. Aluminium, Magnesium, Titan
NICHT-METALLE	Naturwerkstoffe	z.B. Granitstein, Grafit, Holz	
	synthetische Werkstoffe	z.B. Kunststoffe, Glas, Keramik	
VERBUND-WERKSTOFFE		z.B. verstärkte Kunststoffe, Hartmetalle	
HALB-METALLE	können von der elektrischen Leitfähigkeit und vom Aussehen her weder den Metallen noch den Nichtmetallen zugeordnet werden, z.B. Bor, Silizium, Germanium, Arsen, Selen, Antimon, Tellur...		

Abb. 7: nach [8]

Die Eigenschaft zur Leitung elektrischen Stroms ist ein charakteristisches Merkmal, mit dem sich Metalle von Nichtmetallen unterscheiden. Das Eigenschaftsprofil von Halbmetallen befindet sich in einem dazwischen liegenden Grenzbereich. Sie weisen eine nur geringe Leitfähigkeit auf, die mit zunehmender Erwärmung allerdings gesteigert werden kann. Durch die gezielte Einlagerung von Fremdatomen (Dotierung) können sie als Leiter genutzt werden. Die große technische Bedeutung von Silizium [MET 3.5](#) für die Halbleiterindustrie ist vor diesem Hintergrund zu verstehen.

Die Kurznamen von Leicht- und Schwermetallen (außer Aluminium) bestehen aus Informationseinheiten zur chemischen Zusammensetzung, zum Gießverfahren sowie Angaben zum Werkstoffzustand oder zur Festigkeit. Des Weiteren werden Werkstoffnummern benutzt, die Tabellenbüchern entnommen werden können.

Die Bezeichnung von Aluminiumwerkstoffen weicht ein wenig ab. Es wird zwischen Aluminiumhalbzeugen und -gussteilen unterschieden. Der Werkstoffzustand bzw. Gusszustand ist gesondert ausgewiesen.

Bezeichnungssystem von Leicht- und Schwermetallen			
Gießverfahren (Bsp.)		Chemische Zusammensetzung (Bsp.)	
G	Sandguss	CuZn13	13% Zn, Rest Cu
GD	Druckguss	ZnAl4Cu1	4% Al, 1% Cu, Rest Zn
GK	Kokillenguss	CuAl10Ni	10% Al, Ni nicht angegeben, Rest Cu
GZ	Schleuderguss		
Festigkeit (Bsp.)		Werkstoffzustand (nur Cu+Leg.; Bsp.)	
F20	Zugfestigkeit $R_m = 20 \times 10 = 200 \text{ N/mm}^2$	D	gezogen
		R620	Zugfestigkeit $R_m = 620 \text{ N/mm}^2$
Beispiele		Erläuterung	
CuZn28R310		Kupfer-Zink-Legierung mit 28% Zink, $R_m = 310 \text{ N/mm}^2$	
G-CuSn12Pb		Sandguss, Kupfer-Zinn-Legierung mit 12% Zinn und etwas Blei	
<p>EN AW-Al MgSiCu-H111 Kurznamen einer Al-Knetlegierung</p> <p>Europäische Norm Aluminium-Halbzeug Aluminium Legierungselemente Werkstoffzustand</p>			
<p>EN AC-Al Mg5 KF Kurznamen einer Al-Gusslegierung</p> <p>Europäische Norm Aluminium-Gussstück Aluminium Legierungselemente Kokillenguss Gusszustand</p>			

Abb. 8: nach [8]

Die Bezeichnung von Edelmetalllegierungen erfolgt nach dem Gehalt der edlen Komponente in Promille. Darüber hinaus existieren Sonderbezeichnungen für Silber und Gold, die in den Materialkapiteln vorgestellt werden. Das Bezeichnungssystem von Stahlwerkstoffen wird im Abschnitt Eisenwerkstoffe erläutert [MET 3.1](#).

MET 3.1 Eisenwerkstoffe

Die Nutzung von Eisenwerkstoffen machte den Menschen wesentlich mehr Schwierigkeiten als die Verwendung der weicheren Metalle Gold, Silber, Kupfer, Blei oder Zinn. Die Eisenzeit setzte deshalb erst im zweiten Jahrtausend vor Christus ein. Das bis dahin vorrangig verwendete Bronze wurde nach und nach durch das wesentlich härtere Eisen ersetzt. Vor allem die Römer setzten bei ihrer Waffenproduktion auf den Werkstoff und wurden zur technisch weit überlegenen Militärmacht. Die Roheisengewinnung erfolgte in primitiven, mit Holzkohle befeuerten Öfen. Mit Beginn der industriellen Revolution seit dem 18. Jahrhundert konnte durch Optimierung der Schmelztechnologie und Ersetzen der Holzkohle durch Steinkohle und Koks die wirtschaftliche Bedeutung von Eisen enorm gesteigert werden. Die gezielte Verwendung von Eisenwerkstoffen machte in der Folge den Bau von Eisenbahnen und Schienenstrecken, von Hochhäusern und Brücken sowie großvolumigen Frachtschiffen erst möglich. Vor allem die Kombination der Materialien Stahl und Glas ermöglichte im Bereich der Gestaltung und Architektur völlig neue Möglichkeiten und erlaubte den Bau überdachter Einkaufspassagen (z.B. Galleria Vittorio Emanuele II in Mailand) oder lichten Ausstellungshallen wie dem Kristallpalast zur ersten Weltausstellung 1851 in London.



Bild: Dachkonstruktion./ Olympiagelände in Montreal

Da Eisenlegierungen und Stahl sehr preisgünstig verarbeitet, die Eigenschaften anwendungsspezifisch durch Zulegieren oder Wärmebehandlung beeinflusst und die Rohstoffe aus Eisenschrott leicht zurückgewonnen werden können, kommen sie heute bei über 90% aller Metallanwendungen auf der ganzen Welt zum Einsatz (Hornbogen, Warlimont 1996). In den letzten Jahren ist durch die steigende Bedeutung von Umweltaspekten aber eine zunehmende Ablösung von Eisen- und Stahlerzeugnissen durch leichtere Bauteile aus Kunststoffen, Magnesium und Aluminium oder Verbundkonstruktionen zu erkennen.

Der heute übliche Weg der Eisen- und Stahlerzeugung findet seinen Anfang bei der Roheisenherstellung aus Eisenerzen im **Hochofen**. Dieser erreicht heute eine Höhe von etwa 50 Metern und einen Durchmesser von 10 Metern. Der über eine durchschnittliche Dauer von 10 Jahren im Betrieb befindliche Hochofen wird kontinuierlich schichtweise mit Eisenerzen, weiteren Zuschlägen und **Koks** befüllt (beschicken). Von unten wird heiße Luft mit einer Temperatur zwischen 1000°C und 1300°C einblasen. Der Koks verbrennt, und die steigenden Temperaturen (etwa 1600°C) bewirken das Schmelzen der Bestandteile einer ganzen Schichtbefüllung. **Roheisen** wird aus dem Erz gewonnen (reduziert) und nimmt bis zu 4,3% Kohlenstoff auf. Dadurch verringert sich der Schmelzpunkt des Metalls auf etwa 1150°C. Das Roheisen verflüssigt sich und kann aus dem Ofen abgeführt werden.

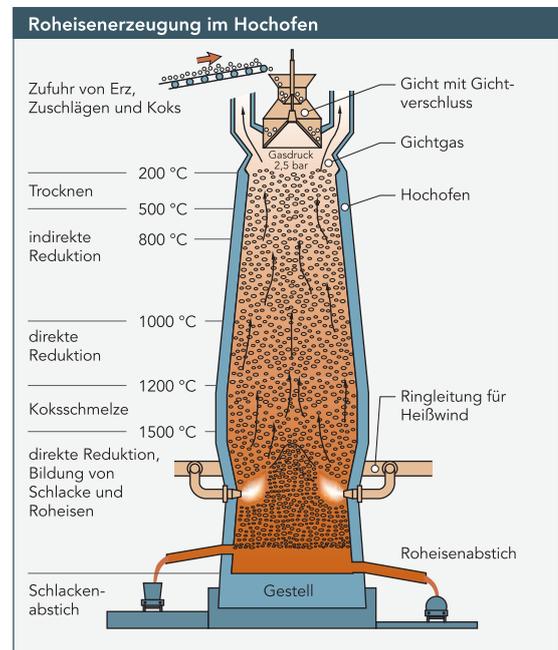


Abb. 9: nach [8]

Roheisen enthält neben Kohlenstoff eine Vielzahl von Fremdbestandteilen wie Silizium, Mangan, Schwefel oder Phosphor, die eine umformende Verarbeitung behindern und somit die industrielle Nutzung des Werkstoffs erschweren. Eisen ist in dieser rohen Form spröde und würde auf Grund des hohen Kohlenstoffgehalts unmittelbar nach Erwärmen erweichen. Zur Erzeugung verwertbaren Stahls müssen folglich der Kohlenstoffgehalt herabgesetzt und die Anzahl der störenden Elemente erheblich reduziert werden. Dieser Prozess wird als **Frischen** bezeichnet (Bargel, Schulze 2004). Hier gehören das Sauerstoffaufblas- und das Elektrolichtbogenverfahren zu den bedeutendsten Techniken.

Das **Aufblasverfahren** kommt vor allem zur Herstellung unlegierter Stähle im Anschluss an einen Hochofenprozess zum Einsatz. Auch kann ein geringer Anteil Eisenschrott der Schmelze beigemischt werden. Sauerstoff wird in das flüssige Roheisen geblasen und bewirkt eine Reaktion mit den unerwünschten Bestandteilen der Metallschmelze. Die Masse beginnt wegen des Aufsteigens der durch die Reaktion aufsteigenden Gase zu kochen. Durch Zuführung von Kalk werden diese an der Oberfläche in einer flüssigen Schlacke gebunden. Diese lässt sich leicht vom Stahlmaterial trennen. Während des Blasprozesses oxidiert der größte Teil des Kohlenstoffs (C) zu Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂). Die Gase verflüchtigen sich über die Abzugseinheit und der Kohlenstoff-Gehalt sinkt in der Folge auf weniger als 0,05%. Vor dem Abgießen des Stahls können die für den jeweiligen Einsatzfall benötigten Eigenschaften durch Zugabe entsprechender Legierungselemente beeinflusst werden. Die Effekte der einzelnen Legierungs- und Begleitelemente auf das Eigenschaftsprofil des Stahls können der Tabelle auf der folgenden Seite entnommen werden.

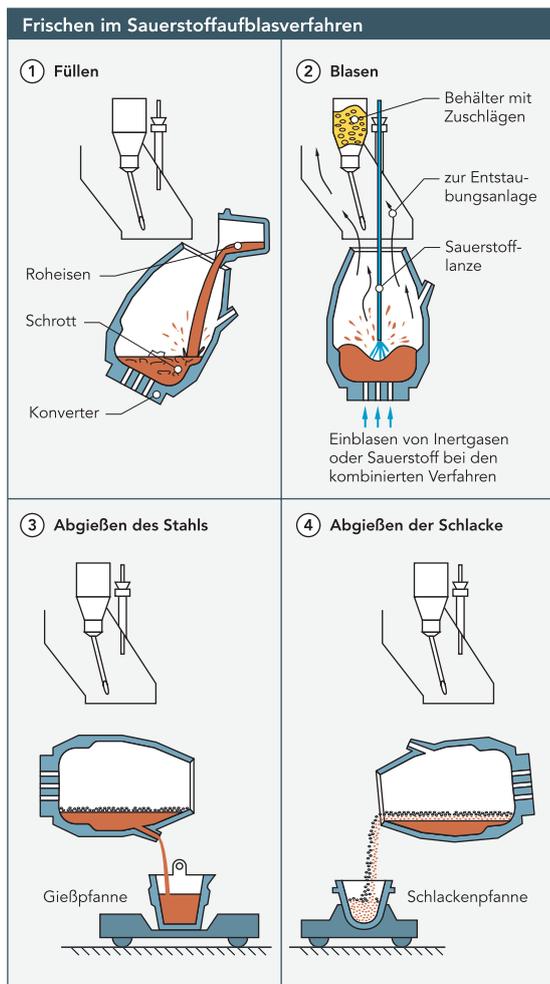


Abb. 10: nach [8]

Das **Elektrolichtbogenverfahren** dient in der Hauptsache zum Einschmelzen von Stahl- und Eisenschrott. Zudem wird auf in Schachttöfen produzierten **Eisenschwamm** zurückgegriffen. Elektroden ragen in das Kesselinnere und erzeugen auf elektro-induktivem Weg die Energie zum Schmelzen der Ausgangsmaterialien. Da Temperaturen von annähernd 3500°C erreicht werden können, eignet sich die Technologie auch zur Verarbeitung von Edelmetallen und Legierungsmetallen mit besonders hohen Schmelztemperaturen wie Wolfram oder Molybdän. Wie beim Blasverfahren wird Kalk zur Schlackenbildung beigeführt. Auf Grund der guten Steuerbarkeit des Verfahrens und der Möglichkeit zur Einstellung der Schmelztemperaturen lassen sich mit dem Elektrostahlverfahren nahezu alle Stahlsorten herstellen.

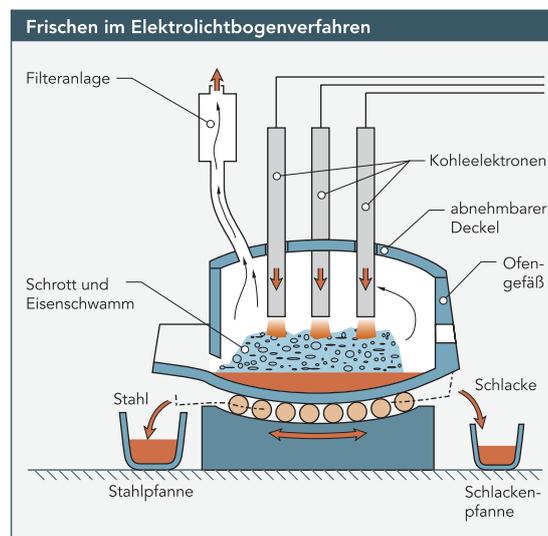


Abb. 11: nach [8]

Zur Optimierung der Materialeigenschaften wird der Stahl nach dem Frühen in der Regel einer Nachbehandlung unterzogen. Hier haben sich Vakuumbehandlungen, Umschmelz- und Spülverfahren entwickelt, um die Bildung eines homogenen Materialgefüges zu unterstützen, Blasenbildung durch Gaseinschlüsse zu vermeiden und letzte Verunreinigungen zu beseitigen.



Bild: Blasstahlwerk./ Foto: Stahl-Zentrum



Eisenschwamm

ist ein festes Produkt der Direktreduktion. Die Reduktion des Eisenerzes mit den Gasen Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff ergibt ein schwammartiges Produkt mit großem Porenvolumen. Eisenschwamm weist eine hohe Reinheit auf und wird im Elektrolichtbogenofen weiterverarbeitet. Es lassen sich qualitativ sehr hochwertige Stahlsorten herstellen.