

Karlheinz Schiebold

Zerstörende und Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Werkstoff- und Wärmebehandlungstechnik

Zerstörende und Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Karlheinz Schiebold

Zerstörende und Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Werkstoff- und
Wärmebehandlungstechnik

Ein Lehr- und Arbeitsbuch mit
165 Abbildungen und 30 Tabellen

 Springer Vieweg

Karlheinz Schiebold
Mülheim a.d.R., Deutschland

ISBN 978-3-662-57833-9
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57834-6>

ISBN 978-3-662-57834-6 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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 Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany



Dem Andenken meines Vaters

Prof. Dr.-phil. ERNST SCHIEBOLD

(1894 – 1963)

In dankbarer Verehrung gewidmet

Karlheinz Schiebold

Vorwort

Dieses Buch ist Bestandteil einer Reihe von Büchern über Zerstörungsfreie und Zerstörende Werkstoffprüfung. Wenn über die verschiedenen Prüfverfahren berichtet werden soll, ist es auch erforderlich, die Werkstoffe und ihre Eigenschaften, die Herstellungsverfahren, ihre Veränderungen durch die Wärmebehandlung und die metallurgischen Grundlagen zu beschreiben. Auch ist es notwendig, die Prüfergebnisse und ihre Dokumentation zu beschreiben. Das erfolgt im Buch über metallographische Werkstoffprüfung.

Ein kurzer Hinweis sei dem Konstrukteur großer Bauwerke gestattet. Seine Konstruktionen weisen Sicherheitsfaktoren auf, die im Laufe der Zeit, besonders aber in den letzten 50 Jahren stark reduziert worden sind, auch weil die Werkstoffe in ihren Eigenschaften immer belastbarer geworden sind. Leider zeigen sich damit in Verbindung zahlreiche Brüche an Gebäuden, Zügen, Brücken ect. Deshalb bleibt dem Konstrukteur nur der umfassendere Einsatz von Werkstoffprüfungen in definierten Zeitabständen, um entgegen zu wirken und die Sicherheit der Konstruktion einigermaßen zu erhalten. Es erscheint deshalb dem Verfasser notwendig, über die Werkstoff- und Wärmebehandlungstechnik und ihre richtige Anwendung zu berichten.

Das Buch soll insbesondere dem Vater des Autors, Prof. Dr.-phil. Ernst Schiebold gewidmet sein, einem Pionier der Werkstoffprüfung, dessen Aktivitäten zur Entwicklung der Werkstofftechnik Anfang der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts erstmals an die Öffentlichkeit kamen und der aus seiner Zeit in der damaligen Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft auch zur Entstehung der Gesellschaft zur Förderung Zerstörungsfreier Prüfverfahren und damit zur Gründung der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) beigetragen hat. Später war er als Direktor des Amtes für Material- und Warenprüfung (DAMW) in Magdeburg tätig.

Von 1953 bis 1963 hat Prof. Ernst Schiebold als ordentlicher Professor und Direktor des Instituts für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung an der Technischen Hochschule Magdeburg (heute Otto-von-Guericke Universität) in kurzer Zeit eine über die Landesgrenzen hinaus bekannte wissenschaftliche Schule mit dem Schwerpunkt Zerstörungsfreie Prüfung aufgebaut. Aus ihr ging auch sein Sohn Karlheinz hervor, der 1963 sein Studium der Werkstoffkunde und -prüfung abgeschlossen hat. Da zum damaligen Zeitpunkt keine Planstelle am Institut frei war, ging er in die Industrie und begann sein erstes Arbeitsleben im damaligen VEB Schwermaschinenbau Kombinat Ernst Thälmann Magdeburg (später SKET SMS GmbH), wo er in der komplexen Werkstoffprüfung über 28 Jahre tätig war.

Dort begann die Laufbahn von Karlheinz Schiebold als Gruppenleiter für Ultraschallprüfung und später als Abteilungsleiter für die Zerstörungsfreie (ZfP) und Zerstörende (ZP) Werkstoffprüfung sowie die Spektrometrie. Aufgrund der im SKET doch außerordentlich umfassend vorhandenen Metallurgie mit einem Stahlwerk, drei Eisengießereien, zwei Stahlgießereien, einer Großschmiede, zwei Stahlbaubetrieben und zahlreichen Maschinenbaubetrieben war ein umfangreiches Betätigungsfeld gegeben. Die Werkstoffprüfung gewann über die Jahre eine immer größere Bedeutung für die Untersuchung metallurgischer Produkte und vermittelte für ihn dadurch unschätzbare Erfahrungswerte. Schiebold war insgesamt 25 Jahre mit seinen Prüfern in den Betrieben unterwegs und bearbeitete zudem Forschungs- und Entwicklungsthemen für die Betriebe der Metallurgie.

Aus diesen Erfahrungswerten konnte er nach der Wende in seinem zweiten Arbeitsleben im aus der LVQ GmbH in Mülheim an der Ruhr (Lehr- und Versuchsgesellschaft für Qualität) ausgegründeten eigenen Unternehmen LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH und im Magdeburger von der Treuhand erworbenen Unternehmen LVQ-WP Prüflabor GmbH (ehemals das Laboratorium des VEB Schwermaschinenbau Karl Liebknecht Magdeburg) schöpfen und

manchmal unter großem Zeitdruck Unterrichtsmaterialien, wie Skripte, Übungen, Wissensteste und teilweise auch Prüfungen verfassen.

Durch die Anerkennung der Firma LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH als Ausbildungsstätte der DGZfP sind solche Unterlagen in der ZfP in sechs Prüfverfahren und 3 Qualifikationsstufen entstanden und in der ZP in Zusammenarbeit mit dem DVM in 9 Prüfverfahren über fast zwanzig Jahre erfolgreich zur Weiterbildung von Werkstoffprüfern verwendet worden. Die so verfassten Skripte ergänzt durch ausgewählte Inhalte von Beiträgen auf den Jahrestagungen des Deutschen Verbandes für Materialprüfung, bilden eine wesentliche Grundlage für dieses Buch, das somit auch eine willkommene Hilfe bei der Ausbildung von Werkstoffprüfern sein kann.

Leider ist es in einem solchen Fachbuch nicht möglich, sämtliche Techniken und Anwendungen der Werkstoff- und Wärmebehandlungstechnik zu beschreiben. So wird auf theoretische Ableitungen, mathematische Methoden, Modellierungen und bruchmechanische Bewertungen verzichtet.

Allen am Entstehen des Buches Beteiligten sei an dieser Stelle gedankt. Besonderer Dank gilt meiner lieben Frau Angelika und natürlich auch allen Firmen und Personen, von denen ich bei der Vorbereitung und Ausgestaltung dieses Buches Unterstützung erhielt, und insbesondere den Sponsoren, die zum Entstehen und Gelingen des Werkes beigetragen haben. Dem Springer-Verlag danke ich für die bei der Herausgabe des Buches stets gute Zusammenarbeit.

Mülheim an der Ruhr, Frühjahr 2018

Prof. Dr.-Ing. Karlheinz Schiebold



Benutzungshinweise

Bilder, Tabellen, Gleichungen und Literaturzitate werden jeweils *innerhalb eines Kapitels* fortlaufend gezählt, z.B. Bild 1.24 = 24. Bild im Kapitel 1; oder [7] = 7. Literaturzitat im Literaturverzeichnis am Ende des Buches.

In diesem Buch werden die *Maßeinheiten* des Internationalen Einheitensystems (SI) einschließlich der daraus abgeleiteten dezimalen Vielfachen und Teile wie Milli, Mega usw. verwendet.

INHALTSVERZEICHNIS

Lfd.-Nr.	Inhalt	Seite
0.	Einführung	14
1.	Werkstofftechnik	16
1.1	Einteilung der Werkstoffe	16
1.2	Aufbau der Werkstoffe	17
1.3	Werkstoffeigenschaften	21
1.3.1	Elektrische Leitfähigkeit	21
1.3.2	Dichte	21
1.3.3	Schmelztemperatur	22
1.3.4	Wärmeleitfähigkeit	22
1.3.5	Mechanische Eigenschaften	22
1.3.6	Chemische Eigenschaften	22
1.3.7	Technologische Eigenschaften	23
1.4	Metalle	23
1.4.1	Der kristalline Aufbau	23
1.4.2	Kristallbaufehler	24
1.4.3	Verformung	26
1.4.4	Legierungsbildung	27
1.4.5	Metallgefüge	27
1.5	Eisen und Stahl	28
1.5.1	Einteilung der Eisenwerkstoffe	28
1.5.2	Roheisen	29
1.5.2.1	Roheisenerzeugung im Hochofen	29
1.5.2.1.1	Aufbau des Hochofens	29
1.5.2.1.2	Hochofenerzeugnisse	30
1.6	Stahlherstellung	31
1.6.1	Roheisenmischer	31
1.6.2	Stahlherstellungsverfahren	31
1.6.2.1	Allgemeine Grundlagen	31
1.6.2.2	Blasstahlverfahren	32
1.6.2.3	Desoxidieren und Vergießen des Stahls	34
1.6.2.3.1	Desoxidation	34
1.6.2.3.2	Unberuhigtes Vergießen	34
1.6.2.3.3	Beruhigtes Vergießen	34
1.6.2.4	Wirkung der Eisenbegleiter	35
1.7	Einteilung und Kennzeichnung der Stähle	38
1.7.1	Einteilung der Stähle	38
1.7.2	Kennzeichnung der Stähle	39
1.7.3	Anwendung von Stählen und Gusseisenwerkstoffen	43
1.7.3.1	Anwendungsgebiete wichtiger Stahlgruppen	43
1.7.3.2	Einsatz von Gusseisen	46
1.8	Stahlformgebungsverfahren	48
1.8.1	Urformen	48
1.8.1.1	Gießen als Herstellungsverfahren	48
1.8.1.2	Technische Gießverfahren	51
1.8.1.2.1	Blockguss	51
1.8.1.2.2	Strangguss	52
1.8.1.2.3	Sandguss	53

Lfd.-Nr.	Inhalt	Seite
1.8.1.2.4	Schleuderguss	53
1.8.1.3	Gussfehler	54
1.8.1.3.1	Lunker	54
1.8.1.3.2	Warmrisse	56
1.8.1.3.3	Poren	56
1.8.1.3.4	Sand- und Schlackeneinschlüsse	57
1.8.1.2.5	Kernstützen	57
1.9	Umformen	57
1.9.1	Warmformgebung	57
1.9.1.1	Freiformschmieden	58
1.9.1.2	Gesenkschmieden	59
1.9.1.3	Warmwalzen	59
1.9.2	Kaltformgebung	60
1.9.2.1	Kaltwalzen	60
1.9.2.2	Tiefziehen	60
1.9.3	Fehler beim Umformen	61
1.9.3.1	Fehler beim Walzen	61
1.9.3.2	Fehler beim Schmieden	61
1.10	Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	65
1.10.1	Einteilung und Bezeichnung	65
1.10.2	Aluminium und Aluminiumlegierungen	66
1.10.2.1	Rein- und Reinstaluminium	66
1.10.2.2	Aluminiumlegierungen	68
1.10.3	Magnesium und Magnesiumlegierungen	71
1.10.3.1	Reinmagnesium	71
1.10.3.2	Magnesiumlegierungen	71
1.10.4	Titan und Titanlegierungen	72
1.10.5	Kupfer und Kupferlegierungen	73
1.10.5.1	Reines Kupfer	73
1.10.5.2	Kupferlegierungen	73
1.10.6	Nickel, Zink, Blei und ihre Legierungen	76
1.10.7	Weitere Nichteisenmetalle	77
1.11	Kunststoffe	77
1.11.1	Spezifische Eigenschaften	77
1.11.2	Aufbau und Herstellung	78
1.11.3	Einteilung	80
1.11.3.1	Plastomere	81
1.11.3.2	Elastomere	81
1.11.3.3	Duromere	81
1.12	Verbundwerkstoffe	82
1.12.1	Definition und Wirkungsmechanismus	82
1.12.2	Herstellung	83
1.12.3	Anwendungen	84
1.12.3.1	Faserverbundwerkstoffe	84
1.12.3.2	Teilchenverbundwerkstoffe	85
1.12.3.3	Schichtverbunde	85
1.12.3.4	Fehler in plattierten Bauteilen	85
1.13	Keramik	87
1.13.1	Eigenschaften	87
1.13.2	Herstellungsverfahren	90
1.13.3	Formgebungsverfahren	91

Lfd.-Nr.	Inhalt	Seite
1.13.4	Einteilung keramischer Werkstoffe	91
1.13.4.1	Kristalline Oxidkeramik	91
1.13.4.2	Einatomare keramische Stoffe	93
1.13.4.3	Nichtoxidische Hartstoffe	94
1.13.4.4	Hydratisierbare Silikate	94
1.13.4.5	Anorganische Gläser	94
1.14	Prüfverfahren für Kunststoffe und Keramikwerkstoffe	95
1.14.1	Prüfverfahren für Kunststoffe	95
1.14.1.1	Zugversuch an Kunststoffen	95
1.14.1.2	Schlagbiegeversuch	95
1.14.1.3	Härteprüfung durch Eindruckversuch	96
1.15	Prüfverfahren für Keramikwerkstoffe	97
2.	Wärmebehandlungstechnik	98
2.1	Physikalische Grundlagen der Wärmebehandlung	98
2.1.1	Phasenumwandlungen	98
2.1.1.1	Primärkristallisation	99
2.1.1.1.1	Keimbildung	99
2.1.1.1.2	Kristallwachstum	100
2.1.1.2	Einfluss der Korngrenzen	100
2.1.1.3	Umwandlungen im festen Zustand	101
2.1.1.4	Erhitzungs- und Abkühlungskurven	101
2.1.2	Thermisch aktivierte Vorgänge	103
2.1.2.1	Diffusion und Diffusionsgesetze	103
2.1.2.2	Platzwechselmechanismen	105
2.1.3	Ausheilen von Defekten	106
2.1.4	Kriechvorgänge und Spannungsrelaxation	107
2.2	Gefügearten	108
2.3	Die Grundtypen der Zustandsdiagramme	111
2.3.1	Eutektisches System	111
2.3.2	Vollständige Löslichkeit im festen Zustand	112
2.3.3	Peritektisches System	114
2.3.4	Eutektoides System	114
2.3.5	Ausscheidungen	115
2.3.6	Intermetallische Verbindung	116
2.3.7	Hebelgesetz	116
2.4	Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	117
2.4.1	Das Teildiagramm Eisen-Zementit	118
2.4.1.1	Umwandlungstemperaturen	118
2.4.1.2	Phasen bei reinem Eisen	118
2.4.1.3	Erläuterungen zum Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	119
2.4.2	Das System Eisen-Graphit	121
2.5	ZTU- und ZTA-Schaubilder	125
2.5.1	ZTU-Schaubilder	125
2.5.1.1	Die Bildung von Perlit, Bainit und Martensit	125
2.5.1.2	ZTU-Schaubilder für isotherme Umwandlungsvorgänge	129
2.5.1.3	ZTU-Schaubilder für kontinuierliche Umwandlungsvorgänge	130
2.5.1.4	Einfluss der Legierungselemente auf das Umwandlungsverhalten	131
2.5.1.5	Einfluss der Austenitisierungstemperatur	132
2.5.1.6	Grundsätzliche Formen der ZTU-Schaubilder	133

Lfd.-Nr.	Lfd.-Nr.	Inhalt
2.5.2	ZTA-Schaubilder	134
2.5.2.1	ZTA-Schaubilder für kontinuierliches Erwärmen	134
2.5.2.2	ZTA-Schaubilder für isothermes Erwärmen	135
2.6	Wärmebehandlung des Stahls	136
2.6.1	Einrichtungen zum Erwärmen der Werkstücke	136
2.6.2	Mittel zum Erwärmen der Werkstücke	142
2.6.3	Einrichtungen zum Abkühlen der Werkstücke	142
2.6.4	Mittel zum Abkühlen der Werkstücke	142
2.6.5	Chargieren der Werkstücke	144
2.7	Glühen des Stahls	144
2.8	Härten des Stahls	149
2.9	Vergüten des Stahls	150
2.10	Wärmebehandlungsfehler	152
2.10.1	Fehler beim Glühen	154
2.10.2	Fehler beim Härten	154
2.10.3	Fehler beim Anlassen	158
2.10.4	Fehler beim Vergüten	158
2.10.5	Maß- und Formänderungen infolge Wärmebehandlung von Stählen	159
2.11	Fehler bei der mechanischen Bearbeitung	160
2.12	Fehler durch Betriebsbeanspruchung	161
2.13	Erzeugungsfehler	162
2.14	Falsche Auswahl und Behandlung des Werkstoffs	163
3.	Literaturverzeichnis	164
4.	Sachwortverzeichnis	168

0. Einführung

Im Vorwort zu diesem Buch wurde bereits ein Hinweis zu den Konstruktionen großer Bauwerke gegeben, der auf die Problematik der über Jahrzehnte herabgestuften Sicherheitsfaktoren aufmerksam machen sollte. In der Gegenwart stellt man in zunehmendem Maße Unglücke fest, die wahrscheinlich auch auf zu geringe Sicherheiten zurückzuführen sind. Zu Beginn des vorigen Jahrhunderts sind Sicherheitsfaktoren von 2, d. h. Bauwerke mit doppelter Wanddicke, keine Seltenheit gewesen. Dagegen sind in der Gegenwart, auch durch die Auswertung von Unglücksfällen, die Anstrengungen zur ständigen Werkstoffprüfung an den betreffenden Komponenten wesentlich verstärkt worden. Beispielsweise werden heute Schienenprüfzüge und Radsatzprüfungen mit Ultraschall ständig eingesetzt, um z. B. Schäden an den Schienen und Radsätzen vorbeugend festzustellen.

Von der Vielzahl der Unglücksfälle mit zahlreichen Todesopfern sollen nachfolgend nur einige wenige beschrieben werden, um den Zusammenhang zwischen zu geringen Sicherheitsfaktoren, den Werkstoffprüfungen und den Unglücksfällen besser zu verstehen.

Ein charakteristischer Fall war das schwere Eisenbahnunglück bei Eschede, bei dem 101 Menschen ums Leben kamen und 88 schwer verletzt wurden. Am 3. Juni 1998 entgleiste der ICE „Wilhelm Conrad Röntgen“ mit Tempo 200 km/h und prallte gegen eine Brücke. Eine Auswirkung dieses Unfalls zeigt Bild 0.1 [1].



Bild 0.1 Ansicht vom schwersten Zugunglück der deutschen Nachkriegsgeschichte

Ursache des Unglücks war offensichtlich ein gebrochener Radreifen, der sich vom Radkörper löste und den Zug zum Entgleisen brachte. Umfangreiche Verhandlungen folgten und erbrachten die Erkenntnis, dass die Deutsche Bahn schwere Versäumnisse bei der Zulassung und Wartung der Radreifen zu verantworten hatte. Es ist zu vermuten, dass der zum Bruch führende Anriss im Radreifen nicht erst beim Unglück entstanden ist, sondern schon einige Zeit vorhanden war. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass auch die Wartungsintervalle nicht eingehalten wurden. Bei den Verhandlungen wurde auch deutlich, dass die Deutsche Bahn nicht ausreichend für die erforderlichen Ultraschallgeräte zur Prüfung auf Anrisse gesorgt hatte.

Ein weiteres Zugunglück, das die Vermutungen zur Vernachlässigung der vorbeugenden Wartung der Radsätze an ICE-Zügen bestätigte, war der Fall des ICE-Unfalls im Kölner Hauptbahnhof. Dieser Zug ist nach Einschätzung des Eisenbahnbundesamtes knapp einer

Katastrophe entgangen, da der Unfall sich bei Schrittgeschwindigkeit ereignet habe. Die Bundesbahn übergab die Klärung der Ursachen der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin (BAM). Herr Dr. Klinger berichtete über seine Untersuchungen auf einer Eisenbahn-Fachtagung der DGZfP in Wittenberge [3]. Er kam zu dem Ergebnis, dass erstens der Radsatz nicht erst in Köln zerbrochen war, sondern bereits ca. 200 km vor Köln bei voller Geschwindigkeit des Zuges (bis zu 300 km/h) und dass das Entgleisen des Zuges wohl deshalb zu diesem Zeitpunkt noch nicht eingetreten war, weil es bis zum Hauptbahnhof in Köln nur sehr wenige Weichen gab, die der Zug passieren musste. Erst beim Herausfahren des Zuges aus dem Bahnhof gab es sehr viele Weichen, die dann wohl zum Entgleisen führten. Ein ganz besonderes Merkmal dieses Unglücksfalles war jedoch, dass festgestellt wurde, dass der Sicherheitsfaktor auf dem gebrochenen Radsatz nur 1,002 betrug, d. h. dass der Konstrukteur keinesfalls einen Fehler in seiner Konstruktionsberechnung haben durfte.

Aber nicht nur Eisenbahnunglücksfälle sind charakteristisch. Auch die in letzter Zeit aufgetretenen Schäden durch Erdbeben (Mexiko) oder Wirbelstürme (USA) stimmen bedenklich [2]. Bei diesen Ereignissen hat man erkennen können, dass die betroffenen Gebäude vielfach zu geringe Wandstärken hatten oder gar aus Holz gebaut wurden und nicht gegen Erdbeben oder Wirbelstürme sicher waren. Es lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Energiewende und die Werkstoffprüfung durchaus zusammenhängen, d. h. dass die Werkstoffprüfungen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Zukunft wird zeigen, ob man aus den vielen Unglücksfällen gelernt hat und den Zusammenhang zwischen der Energiewende, den Sicherheitsfaktoren auf den Konstruktionen und der Werkstoffprüfung beachten will.

Es gibt eine Vielzahl von Werkstoffen, die zum überwiegenden Teil hier beschrieben werden. Natürlich kann diese Aufzählung nicht vollständig sein, aber sie ist erforderlich, weil die Werkstoffe erklärt sein müssen, ehe man sie prüft. Wärmebehandlungen verändern die Werkstoffe und müssen bei der Betrachtung der Prüfverfahren berücksichtigt werden. Das ist nicht leicht, weil es praktisch kein Wärmebehandlungsverfahren gibt, das in allen Fällen und speziell den Erfordernissen der Verwendung entspricht.



1. Werkstofftechnik

1.1 Einteilung der Werkstoffe

Werkstoffe sind für die Konstruktion nützliche, feste Stoffe. Man kann sie in folgende Gruppen einteilen [4], [12]:

- ◆ Metalle als gute elektrische Leiter, auch bei tiefen Temperaturen plastisch verformbar, chemisch nicht immer sehr beständig
- ◆ Keramische Werkstoffe als schlechte elektrische Leiter, nicht plastisch verformbar, chemisch sehr beständig
- ◆ Kunststoffe als schlechte elektrische Leiter, bei erhöhter Temperatur plastisch verformbar, chemisch an Luft bei Raumtemperatur beständig, geringe Dichte, nicht sehr hitzebeständig
- ◆ sonstige Werkstoffe: Gläser, Holz, Papier, Leder, Baustoffe.

Als weitere Werkstoffgruppe kommen die Verbundwerkstoffe hinzu, die sich aus der Kombination von mindestens zwei Werkstoffen mit verschiedenen Eigenschaften zusammensetzen.

Die wichtigste Werkstoffgruppe ist die der Metalle. Diese kann man nochmals unterteilen in

◆ Eisenwerkstoffe

Reineisen,
Stähle,
Gusseisen.

und

◆ Nichteisenmetalle

Aluminium und seine Legierungen,
Titan und seine Legierungen,
Magnesium und seine Legierungen,
Kupfer und seine Legierungen,
Zinn, Blei u a. (Weißmetalle).

Von den chemischen Elementen im Periodensystem besitzen über 60 % Metallcharakter. Metalle kommen in der Natur in Form von Erzen und Gesteinen vor. Diese sind meist leicht abbaubar, ähnlich dem Kohleabbau. Kunststoffe jeder Art müssen dagegen durch komplizierte chemische Verfahren hergestellt werden. Daher spielen sie erst seit den letzten Jahrzehnten eine wichtige Rolle. Metalle und hier besonders Eisen und Stahl konnte man schon im vorigen Jahrhundert herstellen.

Welcher Werkstoff wofür eingesetzt wird, richtet sich zunächst nach den technischen Eigenschaften, die er erfüllen muss. Darüber hinaus ist aber auch die Verarbeitbarkeit von großer Bedeutung, damit das Werkstück überhaupt hergestellt werden kann und nicht zuletzt die Wirtschaftlichkeit. Auch der Umweltaspekt, insbesondere die Wiederverwertbarkeit, spielt eine zunehmende Rolle.

1.2 Aufbau der Werkstoffe [21], [22], [26], [27], [34]

Alle Stoffe setzen sich aus einzelnen Atomen zusammen. Diese Atome setzen sich wiederum aus einer gewissen Anzahl an Protonen, Neutronen und Elektronen zusammen. Diese Anzahl bestimmt das jeweilige Element, das man dem Periodensystem der Elemente (Bild 1.1) entnehmen kann [57]. So hat beispielsweise Eisen (Fe) 26 Protonen (und damit auch 26 Elektronen) und $54 - 26 = 28$, $56 - 26 = 30$ oder $57 - 26 = 31$ Neutronen (Die Zahl 55,847 gibt den Mittelwert an). Dem Periodensystem können noch einige weitere wichtige Eigenschaften des jeweiligen Elements entnommen werden, wie die Dichte oder der Schmelzpunkt.

Periodensystem der Elemente

1																	18	
1	1.01 H Wasserstoff											4.00 He Helium						
2	6.94 Li Lithium	9.01 Be Beryllium											10.81 B Bor	12.01 C Kohlenstoff	14.01 N Stickstoff	15.999 O Sauerstoff	18.998 F Fluor	20.18 Ne Neon
3	22.99 Na Natrium	24.31 Mg Magnesium											26.98 Al Aluminium	28.09 Si Silicium	30.97 P Phosphor	32.07 S Schwefel	35.45 Cl Chlor	39.95 Ar Argon
4	39.10 K Kalium	40.08 Ca Calcium	44.96 Sc Scandium	47.88 Ti Titan	50.94 V Vanadium	52.00 Cr Chrom	54.94 Mn Mangan	55.85 Fe Eisen	58.93 Co Cobalt	58.70 Ni Nickel	63.55 Cu Kupfer	65.38 Zn Zink	69.72 Ga Gallium	72.61 Ge Germanium	74.92 As Arsen	78.96 Se Selen	79.90 Br Brom	83.80 Kr Krypton
5	85.47 Rb Rubidium	87.52 Sr Strontium	88.91 Y Yttrium	91.22 Zr Zirkon	92.91 Nb Niobium	95.94 Mo Molybdän	98 Tc Technetium	101.07 Ru Ruthenium	102.91 Rh Rhodium	106.42 Pd Palladium	107.87 Ag Silber	112.41 Cd Cadmium	114.82 In Indium	118.71 Sn Zinn	121.76 Sb Antimon	127.60 Te Tellur	126.90 I Iod	131.29 Xe Xenon
6	132.91 Cs Cäsium	137.33 Ba Barium	La-Lu	178.49 Hf Hafnium	180.95 Ta Tantal	183.84 W Wolfram	186.21 Re Rhenium	190.23 Os Osmium	192.22 Ir Iridium	195.08 Pt Platin	196.97 Au Gold	200.59 Hg Quecksilber	204.38 Tl Thallium	207.2 Pb Blei	208.98 Bi Bismut	[209] Po Polonium	[210] At Astat	[222] Rn Radon
7	[223] Fr Francium	[226] Ra Radium	Ac-Lr	[261] Rf Rutherfordium	[262] Db Dubnium	[263] Sg Seaborgium	[262] Bh Bohrium	[265] Hs Hassium	[266] Mt Meitnerium	[269] Ds Darmstadtium								

©Peter Wch - Experimenta!chemie.de - Chemie erleben!

136.91 La Lanthan	140.12 Ce Cer	144.24 Pr Praseodym	144.24 Nd Neodym	[145] Pm Promethium	150.36 Sm Samarium	151.97 Eu Europium	157.25 Gd Gadolinium	158.93 Tb Terbium	162.50 Dy Dysprosium	164.93 Ho Holmium	167.26 Er Erbium	168.93 Tm Thulium	173.04 Yb Ytterbium	174.97 Lu Lutetium
227.03 Ac Actinium	232.04 Th Thorium	231.04 Pa Protactinium	238.03 U Uran	[237] Np Neptunium	[244] Pu Plutonium	[243] Am Americium	[247] Cm Curium	[247] Bk Berkelium	[251] Cf Californium	[252] Es Einsteinium	[257] Fm Fermium	[258] Md Mendelevium	[259] No Nobelium	[260] Lr Lawrencium

Bild 1.1 Periodensystem der Elemente [35]

Die Werkstoffgruppen unterscheiden sich in der Art der Anordnung der Atome. Alle festen Metalle weisen eine systematische Anordnung der Atome auf. Verbindet man die Mittelpunkte der Atome durch Linien miteinander, so erhält man räumliche Figuren. Diese gesetzmäßige Anordnung bezeichnet man als Rauggitter oder auch Kristallsystem [60]. Bild 1.2 zeigt Beispiele von Kristallsystemen. Die meisten Metalle kristallisieren zu hexagonalen oder zu kubischen Rauggittern, wobei die größere Bedeutung dem kubischen Gitter zukommt. Viele Metalle, wie z. B. Eisen, haben ein Würfelgitter. Der Grundtyp dieses Gitters wird aus 8 Atomen gebildet. Auf jeder Würfecke sitzt ein Atom. Hierbei unterscheidet man zwischen dem kubisch-raumzentrierten und dem kubisch-flächenzentrierten Gitter.

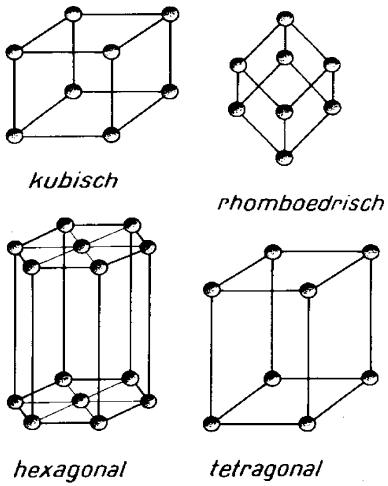


Bild 1.2 Beispiele von Kristallsystemen [4]

Im kubisch-raumzentrierten Gitter befindet sich außer an den Ecken noch 1 Atom im Zentrum des Würfels (Bild 1.3)

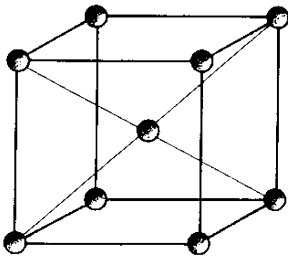


Bild 1.3 Kubisch-raumzentriertes Gitter [4]

Beim kubisch-flächenzentrierten Gitter befinden sich die Atome an den Ecken und im Mittelpunkt einer jeden Fläche. Der Raum dieses Gitters ist frei von Atomen (Bild 1.4).

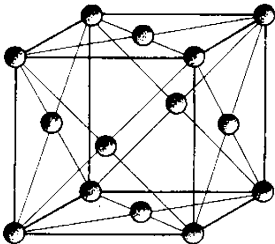


Bild 1.4 Kubisch-flächenzentriertes Gitter [4]

Um den geometrischen Aufbau der Gitter besser darstellen zu können, werden nur die Atom-
schwerpunkte in den Zeichnungen wiedergegeben. Die Abstände zwischen zwei Atomen sind
in den Darstellungen gegenüber dem Durchmesser erheblich vergrößert. In Wirklichkeit sind
die Abstände der Atome im Gitter nur sehr gering. Das Verhältnis zwischen Atomdurchmes-
ser und Atomabstand soll die nebenstehende maßstäbliche Darstellung verdeutlichen
(Bild 1.5).

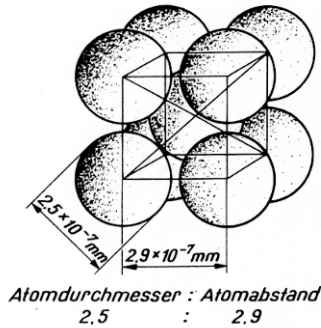


Bild 1.5 Größenverhältnis von Atomdurchmesser und Atomabstand [4]

Stoffe sind in der Regel nicht nur aus einem Raumgitter aufgebaut, sondern eine Vielzahl die-
ser Kristallsysteme eines Stoffes sind durch Körner aufgebaut. Die Körner, auch Kristallite
genannt, haben eine Größe zwischen 0,01 und 10 mm. Ein Stück Metall besteht aus vielen
Körnern. 3 bis 3,5 Millionen aneinandergereihte Gitter ergeben z. B. bei Eisen eine Länge von
1 Millimeter. Das nachstehende Bild 1.6 zeigt schematisch ein Aufbausystem, wobei die
Punkte die Lage der Atomschwerpunkte andeuten.

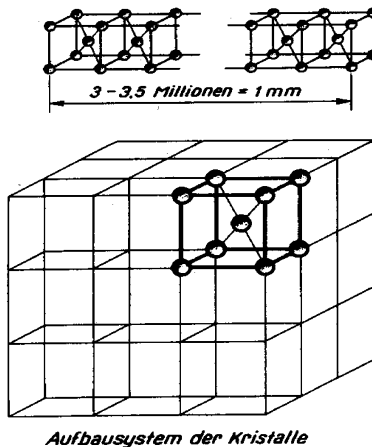


Bild 1.6 Aufbausystem der Kristalle [4]

Keramische Stoffe bestehen aus anorganischen Verbindungen, häufig Metall-Sauerstoff-
Verbindungen, wie z. B. SiO_2 (Quarz). Diese sind wie bei den Metallen regelmäßig angeord-
net (Bild 1.7) und können manchmal auch sehr komplizierte Strukturen annehmen.