

*Rainer Schwab*

***Werkstoffkunde  
und Werkstoffprüfung  
für Dummies***

*Fachkorrektur von  
Dr. Marianne Hammer-Altmann*

*2., erweiterte Auflage*

**WILEY**  
WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>23</b>
Über dieses Buch	23
Konventionen in diesem Buch	24
Was Sie nicht lesen müssen	24
Törichte Annahmen über den Leser	24
Wie dieses Buch aufgebaut ist	24
Teil I: Ausgewählte Grundlagen als Basis	25
Teil II: Die wichtigsten Methoden der Werkstoffprüfung	25
Teil III: Eisen und Stahl, noch lange kein Alteisen	25
Teil IV: Was es außer den Eisenwerkstoffen noch Hochinteressantes gibt	25
Teil V: Der Top-Ten-Teil	25
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden	25
Filme, die es zu diesem Buch gibt	26
Ein Buch, das es zu diesem Buch gibt	26
Wie es weitergeht	26
<b>Teil I</b>	
<b>Ausgewählte Grundlagen als Basis</b>	<b>27</b>
<b>Kapitel 1</b>	
<b>Von Atomen, Bindungen und Kristallen: Werkstoffe sind wunderschön</b>	<b>29</b>
Bindungen zwischen den Atomen, fast wie bei den Menschen	29
Atome im Werkstoff	30
Die Bindungskräfte	30
Das Besondere	32
Und das sind die Auswirkungen in der Praxis	33
Alles eine Frage der Ordnung: Die wichtigsten Atomanordnungen	33
Regellose Anordnung der Atome – es lebe das Chaos	33
Regelmäßige Anordnung der Atome – es lebe die Ordnung	34
Polymorphie bei Kristallen, die unglaublichen Vorgänge im Inneren	37
Kristallbaufehler: Nichts ist perfekt	40
Nulldimensionale (punktförmige) Kristallbaufehler	41
Eindimensionale (linienförmige) Kristallbaufehler	43
Zweidimensionale (flächenförmige) Kristallbaufehler	45
Einkristall und Vielkristall im Alltag	47

## **Kapitel 2**

### **Einige Eigenschaften von Werkstoffen, die Sie kennen sollten** **49**

Wärmeausdehnung, eine Frage der Temperatur	49
Schmieden Sie die Wärmeausdehnungsgleichung	50
Der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient	51
Die Logik dahinter	52
Die Bedeutung in der Praxis	53
Elektrische Leitfähigkeit, eine Frage des Durchkommens	54
Schmieden Sie das ohmsche Gesetz	55
Die elektrische Leitfähigkeit der metallischen Werkstoffe	57
Die Logik dahinter	58
Blick in die Praxis	59
Wärmeleitfähigkeit, auch eine Frage des Durchkommens	59
Mechanismus der Wärmeleitung	60
Schmieden Sie die Wärmeleitungsgleichung	61
Die Wärmeleitfähigkeit der metallischen Werkstoffe	62
Die Logik dahinter	63
Blick in die Praxis	64
Elastische Verformung, eine Frage des Federns	65
Das hookesche Gesetz, uralte und doch modern	65
Der Elastizitätsmodul	67
Praktische Bedeutung	70
Plastische Verformung, eine Frage bleibender Formänderung	70

## **Kapitel 3**

### **Manche mögen's heiß: Thermisch aktivierte Vorgänge** **73**

Werkstoffe, die wechselwarmen Tiere	73
So »denkt« die Natur	73
Die Sache mit der Aktivierungsenergie und der Temperatur	75
Ein bisschen Physik und Mathe	76
Freud und Leid	76
Diffusion: Und sie bewegen sich doch	76
Mechanismen der Diffusion – gewusst wie	77
Die praktische Bedeutung	78
Erholung und Rekristallisation: Der Werkstoff lebt	79
Vorgänge im Inneren	79
Etwas Wissenschaft muss sein	82
Warum es die Werkstoffe tun	82
Notwendige Bedingungen	83
Entscheidend ist, was hinten rauskommt ...	85
Praktische Bedeutung	87
Kriechen und Spannungsrelaxation: Nichts ist für die Ewigkeit	87
Jetzt geht's ans Kriechen	88
Spannungsrelaxation, die Entspannung naht	93

## **Kapitel 4**

### **Legierungsbildung und Zustandsdiagramme: Berühmt, berüchtigt, gefürchtet 95**

Grundbegriffe: Die müssen sein	95
Der Begriff Legierung	95
Der Begriff chemische Zusammensetzung oder Konzentration	96
Der Begriff Phase	97
Der Begriff Mischkristall	98
Der Begriff Zustandsdiagramm	99
Das eine Extrem: Unlöslichkeit im flüssigen und festen Zustand	101
Ein konkretes Zustandsdiagramm als Beispiel	101
Eine ausgewählte Legierung	103
Hinweise für die Cracks	103
Die Anwendung ist hier selten	103
Das andere Extrem: Völlige Löslichkeit im flüssigen und festen Zustand	103
Wieder ein konkretes Zustandsdiagramm als Beispiel	104
Münzfälscher	106
Der Unterschied macht's	107
Ausbalanciert	108
Bis die Atome sichtbar werden	109
Praktische Bedeutung	112
Der Kompromiss:	
Völlige Löslichkeit im flüssigen, teilweise Löslichkeit im festen Zustand	112
Von Bekanntem zu Neuem	113
Wieder ein konkretes Zustandsdiagramm als Beispiel	115
Wie es weitergeht	120
Die Faszination und Anwendung der eutektischen Legierungen	121
Mut zur Lücke	121
Die Praxis: Beispiele von Zustandsdiagrammen	121
Ausblick	124

## **Kapitel 5**

### **Legierungssystem Eisen-Kohlenstoff, Basis für alle Eisenwerkstoffe 125**

Erst einmal reines Eisen	125
So kommt die Kohle ins Eisen	127
Die Lücken im krz-Gitter	127
Die Lücken im kfz-Gitter	128
Und das sind die Folgen	128
Und jetzt das berühmte Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm	128
Stabiles Legierungssystem	129
Metastabiles Legierungssystem	135

## **Teil II**

### **Die wichtigsten Methoden der Werkstoffprüfung 147**

#### **Kapitel 6**

#### **Anspruchsvoller, als viele glauben: Der Zugversuch 149**

So wird's gemacht	150
Schafft jeden Werkstoff: Die Prüfmaschine	150
Nicht ganz harmlos: Die Zugproben	151
Kraft-Verlängerungs-Diagramm und Spannungs-Dehnungs-Diagramm: Das Resultat	153
Die Kennwerte des Zugversuchs im Überblick	160
Stärke zählt: Die Festigkeitskennwerte	160
Formbarkeit zählt: Die Zähigkeitskennwerte	162
Elastizität zählt: Die elastischen Kennwerte	163
Ausblick und Schlusswort	163

#### **Kapitel 7**

#### **Hart, aber fair: Die Härteprüfung 165**

Ein paar Überlegungen vorweg	165
So funktioniert ein modernes Härteprüfgerät	166
Härteprüfung nach Brinell	167
So prüfen Sie	167
Der richtige Kugeldurchmesser	168
Die richtige Prüfkraft	168
Und so ermitteln Sie den Härtewert	170
Sechs Tipps zum Härtewert	171
Ein interessanter Zusammenhang	172
Härteprüfung nach Vickers	172
So prüfen Sie	173
Und so ermitteln Sie den Härtewert	173
Wieder ein paar Tipps zum Härtewert	174
Fazit	174
Härteprüfung nach Rockwell	175
So prüfen Sie	176
Und so erhalten Sie die Rockwellhärte	176
Noch ein paar Anmerkungen	177
Die Härteprüfverfahren im Vergleich	178

<b>Kapitel 8</b>	
<b>Das unbekannte Wesen: Die Kerbschlagbiegeprüfung</b>	<b>181</b>
Die Philosophie dahinter	181
Zäh heißt sicher	181
Einflüsse auf die Zähigkeit	183
Und jetzt der Schwenk zum Kerbschlagbiegeversuch	188
So sieht die Kerbschlagbiegeprobe aus	188
Versuchseinrichtung und -durchführung	189
So wirken sich Werkstoff und Temperatur auf die Kerbschlagarbeit aus	191
Bedeutung, Anwendung, Praxis	194
<b>Kapitel 9</b>	
<b>Unermüdlich: Die Schwingfestigkeitsprüfung</b>	<b>195</b>
Schon mit der Überschrift beginnt der Ärger	195
Das Phänomen	195
Das Problem mit dem Namen	197
Das passiert innen drin im Werkstoff	198
Die wichtigsten Grundbegriffe	200
Wöhlerkurve und Dauerfestigkeit	202
Was da noch zu beachten wäre	206
<b>Kapitel 10</b>	
<b>Blick ins Innerste: Die Metallografie</b>	<b>209</b>
Zuerst der Begriff	209
Fürs Grobe: Makroskopische Verfahren	210
So gehen Sie vor	210
Und das können Sie an geschliffenen Proben sehen	211
Das sehen Sie an polierten Proben	212
Richtig interessant wird es durch Ätzen	212
Die Lichtmikroskopie, faszinierend wie eh und je	214
Ohne gute Probenpräparation läuft gar nichts	214
So funktioniert das Lichtmikroskop	215
Und das erkennen Sie im Lichtmikroskop	216
Kann süchtig machen: Die Elektronenmikroskopie	220
So funktioniert ein Rasterelektronenmikroskop	220
Atome enttarnen: Die chemische Analyse	224
<b>Kapitel 11</b>	
<b>Macht nichts kaputt: Die zerstörungsfreie Prüfung</b>	<b>227</b>
Die Gedanken sind frei	227
Sicher ist sicher	228
Das soll die zerstörungsfreie Prüfung können	230
Die Kapillarverfahren	231
So funktioniert die Farbeindringprüfung	231

Die Vor- und Nachteile im Überblick	233
Die magnetischen Verfahren	233
So funktioniert die Magnetpulverprüfung	233
Ein paar Anmerkungen dazu	234
Richtig magnetisiert ist halb geprüft – die Magnetisierungsmethoden in der Praxis	235
Die induktiven Verfahren	236
So funktioniert die Wirbelstromprüfung	236
Ein Blick in die Praxis	238
Die Schallverfahren	239
Ausgewählte Grundlagen der Ultraschallprüfung	239
Die Praxis der Ultraschallprüfung	247
Die Strahlenverfahren	249
So erzeugen Sie Röntgen- und Gammastrahlen	249
Und so prüfen Sie Werkstücke grundsätzlich	251

### **Teil III**

## **Eisen und Stahl, noch lange kein Alteisen** **255**

### **Kapitel 12**

#### **Stahlherstellung – der Weg vom Erz zum Stahl** **257**

Das Ziel im Blick	257
Der erste Schritt: Vom Erz zum Roheisen	258
Die richtigen Zutaten	258
Rein in den Ofen	258
Die chemischen Reaktionen	259
Großtechnisch umgesetzt	260
Und so wird aus Roheisen Stahl – der zweite Schritt	260
Die Grundidee	261
Das Sauerstoffaufblasverfahren	261
Das Elektrostahlverfahren	262
Die Nachbehandlung	263
Das Finale	263

### **Kapitel 13**

#### **Nomen est omen: Die normgerechte Bezeichnung der Eisenwerkstoffe** **265**

Die Philosophie und Systematik dahinter	265
Kennzeichnung mit Kurznamen, die persönliche Methode	267
Wenn der Kurzname einen Hinweis auf Verwendung und Eigenschaften enthalten soll	267
Wenn der Kurzname einen Hinweis auf die chemische Zusammensetzung enthalten soll	270
Kennzeichnung mit Werkstoffnummern, die sichere Methode	273
Testen Sie sich	273

**Kapitel 14**

**Von heißen Öfen und kühlen Bädern: Die Wärmebehandlung der Stähle 275**

Ziel der Wärmebehandlung oder warum die Werkstoffleute das tun	275
Temperaturführung, gezieltes Auf und Ab	276
Die berühmten Glühbehandlungen	277
Das Normalglühen	279
Das Weichglühen	282
Das Spannungsarmglühen	284
Weitere Glühbehandlungen	286
Noch ein Tipp	286
Alles, was hart macht: Das Härten	287
Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit	287
Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramm, nicht ganz einfach	290
Die Härteverfahren	305
Vergüten – in den guten Zustand bringen	309
Harte Schale, weicher Kern: Das Randschichthärten	311

**Kapitel 15**

**Stahlgruppen, die unendliche Vielfalt 317**

Kohlenstoff und Legierungselemente, die Gewürze und Zutaten im Stahl, wie sie schmecken und was sie so anrichten	317
Die Eigenschaften der unlegierten Stähle	317
Der Reiz der niedriglegierten Stähle	321
Das Gefüge der hochlegierten Stähle	322
Die Grundgerichte: Unlegierte Baustähle	328
Die Wunschliste bei den Baustählen	328
Und das sind ihre Eigenschaften	329
Haute Cuisine: Schweißgeeignete Feinkornbaustähle	332
Der Reiz der Festigkeit	332
Das Geheimnis der feinen Körner	333
Die konkreten Feinkornbaustähle	334
Einige Fragen und Anmerkungen dazu	335
Ein Blick auf die Anwendung	336
Gezielter Ofeneinsatz: Vergütungsstähle	336
Brennen nicht so schnell an: Warmfeste und hitzebeständige Stähle	340
Warmfeste Stähle	340
Hitzebeständige Stähle	345
Schmecken auch kalt: Kaltzähe Stähle	347
Halten sich lang: Nichtrostende Stähle	348
Die ferritischen Stähle	351
Die martensitischen Stähle	352
Austenitische Stähle	354
Austenitisch-ferritische Stähle	356
Korrosionsarten, die es eigentlich gar nicht geben dürfte	358
Ein paar abschließende Bemerkungen zu den rostbeständigen Stählen	362

Messer und Gabel: Werkzeugstähle	362
Die Wunschliste bei den Werkzeugstählen	362
Anlassbeständigkeit und Einteilung der Werkzeugstähle	363
Für maßvolle Temperaturen: Die Kaltarbeitsstähle	365
Wenn's heiß hergeht: Die Warmarbeitsstähle	366
Wenn's schnell gehen muss: Die Schnellarbeitsstähle	366
Stähle, von denen ich Ihnen nichts erzähle	368

## **Kapitel 16**

### **Eisengusswerkstoffe, genauso vielfältig wie die Stähle 369**

Worin sich Stahl, Stahlguss und Gusseisen unterscheiden	369
Stahlguss, in Formen gegossener Stahl	371
Gusseisen, der landläufige »Guss«	372
Gefügeausbildung oder was innen drin ist	372
Hart und verschleißfest: Hartguss	376
Der Klassiker: Gusseisen mit Lamellengrafit	377
Ganz schön zäh: Gusseisen mit Kugelgrafit	382
Der Kompromiss: Gusseisen mit Vermiculargrafit	384
Der Besondere: Temperguss	385

## **Teil IV**

### **Was es außer den Eisenwerkstoffen noch Hochinteressantes gibt 387**

## **Kapitel 17**

### **Nichteisenmetalle 389**

Auch Nichteisenmetalle werden sinnvoll bezeichnet	389
Ein Beispiel für einen Kurznamen	390
Und so ist die Werkstoffnummer aufgebaut	391
Der edel aussehende Werkstoff: Aluminium und Aluminiumlegierungen	392
Die Herstellung ist gar nicht so einfach	392
Einige typische Eigenschaften	392
Warum das reine Aluminium so weich ist	394
Wie Sie das Aluminium fest bekommen	395
Die Aluminiumlegierungen in der Praxis	401
Der bunte Werkstoff: Kupfer und Kupferlegierungen	406
Herstellung mit langer Tradition	406
Einige charaktervolle Eigenschaften	407
Reinkupfersorten, charmant und variantenreich	408
Kupferlegierungen in der Praxis	412
Weitere Nichteisenmetalle und -legierungen, da ist noch Musik drin	412

**Kapitel 18**

**Anorganische nichtmetallische Werkstoffe und was sich dahinter verbirgt 415**

Glas, klar doch	415
Ein bisschen Grundlegendes	416
Ein paar Eigenschaften	418
Keramiken, traditionell bis hochmodern	419
Herstellung – mehr als Töpfern	419
Der Charakter der Keramiken	424
Die konkreten Keramiken	425
Weitere anorganische nichtmetallische Werkstoffe	432

**Kapitel 19**

**Nicht mehr wegzudenken: Die Kunststoffe 433**

Um was es sich bei den Kunststoffen überhaupt handelt	433
Viele Wege zum Ziel: Die Herstellung der Kunststoffe	434
Die Additionspolymerisation	435
Die Kondensationspolymerisation	439
Die Eigenschaften der Kunststoffe ganz pauschal	440
Wie es innen aussieht: Der Aufbau der Kunststoffe	442
Die mechanischen Eigenschaften der Kunststoffe	443
Wie sich die Thermoplaste verhalten	444
Wie sich die Elastomere verhalten	447
Wie sich die Duroplaste verhalten	448
Frage und Antwort	449
In Form gebracht: Die Verarbeitung	450

**Teil V**

**Der Top-Ten-Teil 453**

**Kapitel 20**

**Zehn Tipps für ein erfolgreiches Studium 455**

Das Studium ernst nehmen	455
Ausgeruht und pünktlich antreten	455
Aktiv in Vorlesungen, Übungen und im Labor mitarbeiten	456
Sofort nachhaken	456
Vor- und nacharbeiten	456
Üben, üben, üben	456
Ein Buch lesen	457
Miteinander reden	457
Niemals aufschieben	457
Das Leben ist nicht nur Studium	458

**Glossar 459**

**Stichwortverzeichnis 483**