

# Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	9
Danksagung	9

## **Einleitung** **23**

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: Ein paar ausgewählte Grundlagen als Basis	24
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
Los geht's	26

## **Teil I**

### **Ein paar ausgewählte Grundlagen als Basis** **27**

#### **Kapitel 1**

#### **Von Atomen, Bindungen und Kristallen: Werkstoffe sind wunderschön** **29**

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	32
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	33
Polymorphie bei Kristallen, die unglaublichen Vorgänge im Inneren	37
Kristallbaufehler: nichts ist perfekt	39
Nulldimensionale (punktförmige) Kristallbaufehler	40
Eindimensionale (linienförmige) Kristallbaufehler	42
Zweidimensionale (flächenförmige) Kristallbaufehler	44
Einkristall und Vielkristall im Alltag	46

**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	56
Die Logik dahinter	58
Blick in die Praxis	58
Wärmeleitfähigkeit, auch eine Frage des Durchkommens	59
Mechanismus der Wärmeleitung	59
Schmieden Sie die Wärmeleitungsgleichung	60
Die Wärmeleitfähigkeit der metallischen Werkstoffe	62
Die Logik dahinter	63
Blick in die Praxis	63
Elastische Verformung, eine Frage des Federns	64
Das Hookesche Gesetz, uralte und doch modern	64
Der Elastizitätsmodul	66
Praktische Bedeutung	68
Plastische Verformung, eine Frage bleibender Formänderung	69

**Kapitel 3**

***Manche mögen's heiß: thermisch aktivierte Vorgänge***

**71**

Werkstoffe, die wechselwarmen Tiere	71
So »denkt« die Natur	71
Die Sache mit der Aktivierungsenergie und der Temperatur	73
Ein bisschen Physik und Mathe	73
Freud und Leid	74
Diffusion: Und sie bewegen sich doch	74
Mechanismen der Diffusion – gewusst wie	75
Die praktische Bedeutung	76
Erholung und Rekristallisation: Der Werkstoff lebt	76
Vorgänge im Inneren	76
Etwas Wissenschaft muss sein	79
Warum es die Werkstoffe tun	79
Notwendige Bedingungen	80
Entscheidend ist, was hinten rauskommt ...	82
Praktische Bedeutung	83
Kriechen und Spannungsrelaxation: Nichts ist für die Ewigkeit	84
Jetzt geht's ans Kriechen	85
Spannungsrelaxation, die Entspannung naht	89

**Kapitel 4**

**Legierungsbildung und Zustandsdiagramme: berühmt, berüchtigt, gefürchtet**

91

Grundbegriffe: die müssen sein	91
Der Begriff Legierung	91
Der Begriff chemische Zusammensetzung oder Konzentration	92
Der Begriff Phase	93
Der Begriff Mischkristall	93
Der Begriff Zustandsdiagramm	95
Das eine Extrem: Unlöslichkeit im flüssigen und festen Zustand	96
Ein konkretes Zustandsdiagramm als Beispiel	97
Eine ausgewählte Legierung	98
Hinweise für die Cracks	98
Die Anwendung ist hier selten	98
Das andere Extrem: völlige Löslichkeit im flüssigen und festen Zustand	99
Wieder ein konkretes Zustandsdiagramm als Beispiel	99
Münzfälscher	101
Der Unterschied macht's	103
Ausbalanciert	104
Bis die Atome sichtbar werden	105
Praktische Bedeutung	107
Der Kompromiss: völlige Löslichkeit im flüssigen, teilweise Löslichkeit im festen Zustand	108
Von Bekanntem zu Neuem	108
Wieder ein konkretes Zustandsdiagramm als Beispiel	110
Wie es weitergeht	115
Die Faszination und Anwendung der eutektischen Legierungen	116
Mut zur Lücke	116
Die Praxis: Beispiele von Zustandsdiagrammen	116
Ausblick	119

**Kapitel 5**

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

121

Erst mal reines Eisen	121
So kommt die Kohle ins Eisen	123
Die Lücken im krz-Gitter	123
Die Lücken im kfz-Gitter	124
Und das sind die Folgen	124
Und jetzt das berühmte Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm	124
Stabiles Legierungssystem	125
Metastabiles Legierungssystem	130

## **Teil II**

### **Die wichtigsten Methoden der Werkstoffprüfung 141**

#### **Kapitel 6**

#### **Anspruchsvoller, als viele glauben: der Zugversuch 143**

So wird's gemacht	143
Schafft jeden Werkstoff: die Prüfmaschine	144
Nicht ganz harmlos: die Zugproben	145
Kraft-Verlängerungs-Diagramm und Spannungs-Dehnungs-Diagramm: das Resultat	147
Die Kennwerte des Zugversuchs im Überblick	154
Stärke zählt: die Festigkeitskennwerte	154
Formbarkeit zählt: die Zähigkeitskennwerte	155
Elastizität zählt: die elastischen Kennwerte	156
Ausblick und Schlusswort	156

#### **Kapitel 7**

#### **Hart, aber fair: die Härteprüfung 159**

Ein paar Überlegungen vorneweg	159
So funktioniert ein modernes Härteprüfgerät	160
Härteprüfung nach Brinell	161
So prüfen Sie	161
Der richtige Kugeldurchmesser	162
Die richtige Prüfkraft	162
Und so ermitteln Sie den Härtewert	163
Sechs Tipps zum Härtewert	165
Ein interessanter Zusammenhang	165
Härteprüfung nach Vickers	166
So prüfen Sie	166
Und so ermitteln Sie den Härtewert	167
Wieder ein paar Tipps zum Härtewert	168
Fazit	168
Härteprüfung nach Rockwell	169
So prüfen Sie	169
Und so erhalten Sie die Rockwellhärte	170
Noch ein paar Anmerkungen	171
Die Härteprüfverfahren im Vergleich	171

#### **Kapitel 8**

#### **Das unbekannte Wesen: die Kerbschlagbiegeprüfung 175**

Die Philosophie dahinter	175
Zäh heißt sicher	175
Einflüsse auf die Zähigkeit	177
Und jetzt der Schwenk zum Kerbschlagbiegeversuch	181

So sieht die Kerbschlagbiegeprobe aus	182
Versuchseinrichtung und -durchführung	182
So wirken sich Werkstoff und Temperatur auf die Kerbschlagarbeit aus	185
Bedeutung, Anwendung, Praxis	187
<b>Kapitel 9</b>	
<b><i>Unermüdlich: die Schwingfestigkeitsprüfung</i></b>	<b>189</b>
Schon mit der Überschrift beginnt der Ärger	189
Das Phänomen	190
Das Problem mit dem Namen	191
Das passiert innen drin im Werkstoff	192
Die wichtigsten Grundbegriffe	194
Wöhlerkurve und Dauerfestigkeit	196
Was da noch zu beachten wäre	200
<b>Kapitel 10</b>	
<b><i>Blick ins Innerste: die Metallografie</i></b>	<b>201</b>
Zuerst der Begriff	201
Fürs Grobe: makroskopische Verfahren	202
So gehen Sie vor	202
Und das können Sie an geschliffenen Proben sehen	203
Das sehen Sie an polierten Proben	204
Richtig interessant wird es durch Ätzen	204
Die Lichtmikroskopie, faszinierend wie eh und je	205
Ohne gute Probenpräparation läuft gar nichts	206
So funktioniert das Lichtmikroskop	207
Und das erkennen Sie im Lichtmikroskop	208
Kann süchtig machen: die Elektronenmikroskopie	211
So funktioniert ein Rasterelektronenmikroskop	212
Atome enttarnen: die chemische Analyse	215
<b>Kapitel 11</b>	
<b><i>Macht nichts kaputt: die zerstörungsfreie Prüfung</i></b>	<b>219</b>
Die Gedanken sind frei	219
Sicher ist sicher	220
Das soll die zerstörungsfreie Prüfung können	222
Die Kapillarverfahren	223
So funktioniert die Farbeindringprüfung	223
Die Vor- und Nachteile im Überblick	225
Die magnetischen Verfahren	225
So funktioniert die Magnetpulverprüfung	225
Ein paar Anmerkungen dazu	226
Richtig magnetisiert ist halb geprüft – die Magnetisierungsmethoden in der Praxis	227

## *Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung für Dummies*

Die induktiven Verfahren	228
So funktioniert die Wirbelstromprüfung	228
Ein Blick in die Praxis	230
Die Schallverfahren	231
Ausgewählte Grundlagen der Ultraschallprüfung	231
Die Praxis der Ultraschallprüfung	238
Die Strahlenverfahren	241
So erzeugen Sie Röntgen- und Gammastrahlen	241
Und so prüfen Sie Werkstücke grundsätzlich	242
<b>Teil III</b>	
<b><i>Eisen und Stahl, noch lange kein Alteisen</i></b>	<b>247</b>
<b>Kapitel 12</b>	
<b><i>Stahlherstellung – der Weg vom Erz zum Stahl</i></b>	<b>249</b>
Das Ziel im Blick	249
Der erste Schritt: vom Erz zum Roheisen	250
Die richtigen Zutaten	250
Rein in den Ofen	250
Die chemischen Reaktionen	251
Großtechnisch umgesetzt	252
Und so wird aus Roheisen Stahl, der zweite Schritt	252
Die Grundidee	252
Das Sauerstoffaufblasverfahren	253
Das Elektrostahlverfahren	254
Die Nachbehandlung	254
Das Finale	255
<b>Kapitel 13</b>	
<b><i>Nomen est omen: die normgerechte Bezeichnung der Eisenwerkstoffe</i></b>	<b>257</b>
Die Philosophie und Systematik dahinter	257
Kennzeichnung mit Kurznamen, die persönliche Methode	259
Wenn der Kurzname einen Hinweis auf Verwendung und Eigenschaften enthalten soll	259
Wenn der Kurzname einen Hinweis auf die chemische Zusammensetzung enthalten soll	262
Kennzeichnung mit Werkstoffnummern, die sichere Methode	265
Testen Sie sich	265
<b>Kapitel 14</b>	
<b><i>Von heißen Öfen und kühlen Bädern: die Wärmebehandlung der Stähle</i></b>	<b>267</b>
Ziel der Wärmebehandlung oder warum die Werkstoffleute das tun	268
Temperaturführung, gezieltes Auf und Ab	268
Die berühmten Glühbehandlungen	269

Das Normalglühen	271
Das Weichglühen	274
Das Spannungsgarmglühen	276
Weitere Glühbehandlungen	277
Noch ein Tipp	278
Alles, was hart macht: das Härten	278
Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit	279
Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramm, nicht ganz einfach	282
Die Härteverfahren	296
Vergüten – in den guten Zustand bringen	300
Harte Schale, weicher Kern: das Randschichthärten	302

### **Kapitel 15**

### **Stahlgruppen, die unendliche Vielfalt** **307**

Kohlenstoff und Legierungselemente, die Gewürze und Zutaten im Stahl, wie sie schmecken und was sie so anrichten	307
Die Eigenschaften der unlegierten Stähle	307
Der Reiz der niedriglegierten Stähle	310
Das Gefüge der hochlegierten Stähle	311
Die Grundgerichte: unlegierte Baustähle	318
Die Wunschliste bei den Baustählen	318
Und das sind ihre Eigenschaften	318
Haute Cuisine: Feinkornbaustähle	321
Der Reiz der Festigkeit	321
Das Geheimnis der feinen Körner	322
Die konkreten Feinkornbaustähle	323
Einige Fragen und Anmerkungen dazu	325
Ein Blick auf die Anwendung	326
Gezielter Ofeneinsatz: Vergütungsstähle	326
Brennen nicht so schnell an: warmfeste und hitzebeständige Stähle	329
Warmfeste Stähle	330
Hitzebeständige Stähle	334
Schmecken auch kalt: kaltzähe Stähle	336
Halten sich lang: nichtrostende Stähle	338
Die ferritischen Stähle	340
Die martensitischen Stähle	341
Austenitische Stähle	343
Austenitisch-ferritische Stähle	346
Korrosionsarten, die es eigentlich gar nicht geben dürfte	347
Ein paar abschließende Bemerkungen zu den rostbeständigen Stählen	351
Messer und Gabel: Werkzeugstähle	351
Die Wunschliste bei den Werkzeugstählen	351
Anlassbeständigkeit und Einteilung der Werkzeugstähle	352
Für maßvolle Temperaturen: die Kaltarbeitsstähle	354

## *Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung für Dummies*

Wenn's heiß hergeht: die Warmarbeitsstähle	354
Wenn's schnell gehen muss: die Schnellarbeitsstähle	355
Stähle, von denen ich Ihnen nichts erzähle	357

### **Kapitel 16**

#### ***Eisengusswerkstoffe, genauso vielfältig wie die Stähle*** **359**

Worin sich Stahl, Stahlguss und Gusseisen unterscheiden	359
Stahlguss, in Formen gegossener Stahl	361
Gusseisen, der landläufige »Guss«	361
Gefügeausbildung oder was innen drin ist	362
Hart und verschleißfest: Hartguss	366
Der Klassiker: Gusseisen mit Lamellengrafit	367
Ganz schön zäh: Gusseisen mit Kugelgrafit	372
Der Kompromiss: Gusseisen mit Vermiculargrafit	375
Der Besondere: Temperguss	375

### **Teil IV**

#### ***Was es außer den Eisenwerkstoffen noch Hochinteressantes gibt*** **377**

### **Kapitel 17**

#### ***Nichteisenmetalle*** **379**

Auch Nichteisenmetalle werden sinnvoll bezeichnet	379
Ein Beispiel für einen Kurznamen	380
Und so ist die Werkstoffnummer aufgebaut	381
Der edel aussehende Werkstoff: Aluminium und Aluminiumlegierungen	382
Die Herstellung ist gar nicht so einfach	382
Einige typische Eigenschaften	382
Warum das reine Aluminium so weich ist	384
Wie Sie das Aluminium fest bekommen	384
Die Aluminiumlegierungen in der Praxis	391
Der bunte Werkstoff: Kupfer und Kupferlegierungen	395
Herstellung mit langer Tradition	396
Einige charaktervolle Eigenschaften	396
Reinkupfersorten, charmant und variantenreich	397
Kupferlegierungen in der Praxis	401
Weitere Nichteisenmetalle und -legierungen, da ist noch Musik drin	401

### **Kapitel 18**

#### ***Anorganische nichtmetallische Werkstoffe und was sich dahinter verbirgt*** **403**

Glas, klar doch	403
Ein bisschen Grundlegendes	404
Ein paar Eigenschaften	406



Keramiken, traditionell bis hochmodern	407
Herstellung – mehr als Töpfern	407
Der Charakter der Keramiken	412
Die konkreten Keramiken	413
Weitere anorganische nichtmetallische Werkstoffe	419
<b><i>Kapitel 19</i></b>	
<b><i>Nicht mehr wegzudenken: die Kunststoffe</i></b>	<b>421</b>
Um was es sich bei den Kunststoffen überhaupt handelt	421
Viele Wege zum Ziel: die Herstellung der Kunststoffe	422
Die Additionspolymerisation	423
Die Kondensationspolymerisation	426
Die Eigenschaften der Kunststoffe ganz pauschal	428
Wie es innen aussieht: der Aufbau der Kunststoffe	430
Die mechanischen Eigenschaften der Kunststoffe	431
Wie sich die Thermoplaste verhalten	432
Wie sich die Elastomere verhalten	435
Wie sich die Duroplaste verhalten	436
Frage und Antwort	437
In Form gebracht: die Verarbeitung	438
<b><i>Teil V</i></b>	
<b><i>Der Top-Ten-Teil</i></b>	<b>441</b>
<b><i>Kapitel 20</i></b>	
<b><i>Zehn Tipps für ein erfolgreiches Studium</i></b>	<b>443</b>
Nehmen Sie das Studium ernst	443
Ausgeruht und pünktlich antreten	443
Aktiv in Vorlesung, Übungen und Labor mitarbeiten	444
Sofort nachhaken	444
Vor- und nacharbeiten	444
Üben, üben, üben	444
Ein Buch lesen	445
Miteinander reden	445
Niemals aufschieben	445
Das Leben ist nicht nur Studium	446
<b><i>Stichwortverzeichnis</i></b>	<b>447</b>