

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung.	1
Gegenstand und Methodik der Metallkunde . . . . .	1
Erster Teil.	
Allgemeine Metallkunde.	
<b>A. Der metallische Zustand, unabhängig von Legierungsbildung . . . . .</b>	<b>4</b>
I. Das allgemeine Zustandsdiagramm für Einstoffsysteme.	4
Polymorphismus . . . . .	4
II. Fluide Aggregatzustände . . . . .	5
a) Die Metalle im gasförmigen Zustand (Molgewicht, Gleichgewicht mit kondensierten Phasen) . . . . .	5
b) Die Metalle im flüssigen Zustand (Dichte, Oberflächenspannung, innere Reibung, elektrisches Leitvermögen, Konstitution) . . . . .	6
III. Kristallisierte Aggregatzustände . . . . .	10
a) Die Entstehung kristallisierter Metallkörper . . . . .	10
1. Der Übergang der Metalle vom flüssigen in den kristallisierten Zustand . . . . .	10
$\alpha$ ) Die Entstehung von Kristallhaufwerken (Anisotropie, Quasi-isotropie, Kernzahl, Kristallisationsgeschwindigkeit, Orthotropie, Dendriten) . . . . .	10
$\beta$ ) Die Entstehung von Einkristallen aus der Schmelze . . . . .	15
2. Änderung der Eigenschaften beim Übergang vom flüssigen in den festen Aggregatzustand (Volumen, elektrische Leitfähigkeit, optische Eigenschaften, Gleichgewichtsfunktionen) . . . . .	16
3. Weitere Möglichkeiten der Entstehung fester Metallkörper . . . . .	17
$\alpha$ ) Kondensation von Gasen . . . . .	17
$\beta$ ) Synthetische Metallkörper (Reduktion von Metalloxyden. Pressen von Metallpulvern) . . . . .	18
$\gamma$ ) Herstellung fester Körper durch Elektrolyse . . . . .	19
4. Änderung der Unterteilung in polykristallinen Metallkörpern (Umwandlungen, Glühen synthetischer und elektrolytischer Metallkörper, Bearbeitung und Glühen) . . . . .	21
b) Der Kristallbau der Metalle. Röntgenographie . . . . .	21
1. Kristallbau und Raumgitter . . . . .	23
2. Röntgenstrahlen und ihre Erzeugung . . . . .	26
3. Die Interferenz der Röntgenstrahlen . . . . .	27
4. Die Methoden der röntgenographischen Raumgitterbestimmung	30
$\alpha$ ) Experimentelle Möglichkeiten und Anordnungen (Laue-, Drehkristall-, Debye-Scherer-Verfahren) . . . . .	30
$\beta$ ) Auswertung aus geometrischen und Intensitätsverhältnissen (Quadratische Form, Bedingtheit der Intensitäten) . . . . .	34
$\gamma$ ) Beispiel der Auswertung einer Debye-Aufnahme eines regulären Raumgitters . . . . .	38
5. Ergebnisse der Raumgitterbestimmung an reinen Metallen . . . . .	41
6. Die Bestimmung der Orientierung von Kristallen . . . . .	43
$\alpha$ ) Röntgenmethoden . . . . .	43
1. Einkristalle . . . . .	43
2. Ausgezeichnete Orientierungen in Haufwerken (einfache, mehrfache, beschränkte Faserstruktur) . . . . .	44
$\beta$ ) Weitere Methoden zur Bestimmung der Orientierung von Kristalliten . . . . .	49

	Seite
7. Korngrößenbestimmungen . . . . .	51
$\alpha)$ mittels Röntgenstrahlen . . . . .	51
$\beta)$ mit dem Mikroskop . . . . .	51
c) Die physikalischen Eigenschaften des metallischen Festkörpers und Weiteres zu seiner Konstitution (Gitterkräfte, Kompressibilität, Elektronen, elektrische und Wärmeleitfähigkeit, Thermo-elektrizität, Kinetik, spezifische Wärme, Ausdehnung) . . . . .	52
d) Die mechanischen Eigenschaften des metallischen Festkörpers . . . . .	64
1. Allgemeine Übersicht (Elastizität, Hookesches Gesetz, Plastizität, Gleitebenen, allgemeine natürliche Festigkeitsbegriffe, konventionelle Festigkeitsbegriffe) . . . . .	64
2. Die Begriffsfestsetzungen der konventionellen mechanischen Materialprüfung . . . . .	69
$\alpha)$ Statische Beanspruchungen . . . . .	69
1. Der Zugversuch . . . . .	69
2. Der Stauchversuch . . . . .	73
3. Der Biegeversuch . . . . .	74
4. Der Torsionsversuch . . . . .	76
5. Die Härteprüfung . . . . .	78
$\beta)$ Dynamische Beanspruchungen . . . . .	79
1. Der Schlagbiegeversuche (Kerbschlagversuch) . . . . .	79
2. Der Schlagzerreißversuch . . . . .	80
3. Der dynamische Stauchversuch . . . . .	80
4. Die Schlaghärte . . . . .	80
3. Die experimentellen Hilfsmittel der mechanischen Materialprüfung . . . . .	81
Zerreißmaschinen, Universalmaschinen . . . . .	81
Vorrichtungen zur Krafterzeugung und -übertragung . . . . .	81
Vorrichtungen zur Kraftmessung . . . . .	81
Vorrichtungen zur Messung der Formänderungen . . . . .	83
Spezielle Prüfmaschinen, u. a. Härteprüfmaschinen, Kerbschlaghämmer . . . . .	85
Die Eichung der Maschinen . . . . .	87
4. Rationelle Festsetzung und Diskussion der Festigkeitsbegriffe der Materialprüfung . . . . .	89
$\alpha)$ Zusammenhang der konventionellen und natürlichen Festigkeitsbegriffe . . . . .	89
$\beta)$ Einführung der wahren Spannungen zur Analyse des Zug- und Stauchversuches . . . . .	90
$\gamma)$ Analyse der Härte . . . . .	94
$\delta)$ Analyse des Kerbschlagversuches . . . . .	95
5. Allgemeine physikalische Analyse der mechanischen Eigenschaften . . . . .	97
$\alpha)$ Die Kohäsion und Bruchgefahr des nichtplastischen Körpers . . . . .	98
$\beta)$ Formänderungswiderstand und Kristallstruktur in quasi-isotropen Körpern . . . . .	100
1. Härte und Kristallstruktur . . . . .	100
2. Die Plastizitätsbedingung . . . . .	102
$\gamma)$ Die Verformung der Einzelkristalle . . . . .	108
$\delta)$ Die Verformung polykristalliner Körper und der Einfluß der Korngrenzen, Fließfiguren . . . . .	113
$\epsilon)$ Die Verfestigung . . . . .	116
1. Unmittelbare gittergeometrische Deutung . . . . .	116

2. Mit der Verfestigung verbundene Änderungen der physikalischen Eigenschaften verformter Metalle . . . . .	120
ζ) Die inneren, insbesondere die Heynschen Spannungen . .	123
η) Die Vorgänge beim Anlassen verfestigter Metalle auf höhere Temperaturen (Rekristallisation, Kristallerholung) . . . . .	124
θ) Vollständige Theorie von Verfestigung und Rekristallisation (Kinetische Theorie) . . . . .	133
ι) Die Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften und Verformungsvorgänge bei Metallen von der Temperatur (Kalt- und Warmverformung) . . . . .	134
6. Komplexe Festigkeitseigenschaften . . . . .	140
α) Dauerfestigkeit . . . . .	141
1. Die elastische Nachwirkung und Hysterese . . . . .	141
2. Dauerfestigkeit bei Wechselbeanspruchung . . . . .	144
3. Dauerstandfestigkeit, insbesondere bei höheren Temperaturen . . . . .	151
β) Der Widerstand der Metalle gegen Abnutzung . . . . .	152
<b>B. Mehrstoffsysteme mit Metallen . . . . .</b>	154
I. Zustandsdiagramme, Kristallbau und Eigenschaften von Mehrstoffsystemen, insbesondere von Legierungen . . .	154
a) Zustandsdiagramme und Kristallisationsvorgänge . . . . .	154
1. Vorbereitende Gesetzmäßigkeiten zur Gleichgewichtslehre (Phasengesetz) . . . . .	154
2. Das Zustandekommen von Zustandsdiagrammen, die einfachen binären Diagramme mit und ohne Phasenänderungen der Komponenten bei Löslichkeit, Unlöslichkeit, teilweiser Löslichkeit, Einfluß des Druckes . . . . .	156
3. Ableitung der Gleichgewichtsgefüge von Zweistoffsystemen im festen Zustand aus den Zustandsdiagrammen (Eutektikum, Mischkristalle, Eutektoid, Peritektikum, Realdiagramme) . .	164
4. Quantitative Beziehungen in Zweistoffsystemen . . . . .	171
5. Der Einfluß von Geschwindigkeitsfaktoren bei der Einstellung von Zuständen (Aussagen von Zustandsdiagrammen über Nichtgleichgewichtszustände) . . . . .	174
α) Metastabile Kristallarten (Al-Zn-, Zn-Sb-, Al-Sb-Legierungen, Hinweis auf Fe-C-Legierungen) . . . . .	174
β) Metastabile Konzentrationseinstellungen (Kristallseigerung, Blockseigerung, umgekehrte Blockseigerung) . . . . .	177
γ) Metastabile Kristallitengrößen . . . . .	180
6. Spezifische Geschwindigkeitsgrößen bei Phasenumwandlungen in Mehrstoffsystemen (Kristallisationsgeschwindigkeit, Kernzahl, Reaktionsgeschwindigkeit, Diffusionsgeschwindigkeit) .	180
7. Dreistoffsysteme: . . . . .	183
α) Graphische Darstellung der Zusammensetzung . . . . .	183
β) Gleichgewichte ohne Umwandlungen der Komponenten .	184
γ) Gleichgewichte bzw. Zustandsänderungen, welche mit solchen der reinen Komponenten zusammenhängen . . . . .	185
δ) Graphische Darstellung von Dreistoffsystemen nach Hommel	190
8. Vierstoffsysteme: . . . . .	191
α) Darstellung der ausgezeichneten Konzentrationen im Tetraeder . . . . .	191
β) Darstellung nach Hommel . . . . .	192

b) Die experimentelle Gewinnung von Zustandsdiagrammen . . . . .	194
1. Allgemeine Methoden (Messung der Änderung der physikalischen Eigenschaften, insbesondere des Wärmeinhaltes, Abkühlungskurven [Thermoelemente], Dilatometer) . . . . .	194
2. Spezielle Methoden, Abschreckmethode (optische Pyrometrie). Die chemische und physikalische Rückstandsanalyse . . . . .	202
3. Hilfsmittel für die Erzeugung hoher Temperaturen . . . . .	205
4. Metallmikroskopie (Mikroskope, Schliffherstellung und -Ätzung) . . . . .	208
c) Die Untersuchung von Mehrstoffsystemen mit Röntgenstrahlen: Das Raumgitter homogener Phasen aus mehreren Komponenten	213
d) Die Abhängigkeit der Phasen und der Raumgittergestaltung in Legierungen vom Kristallbau der Komponenten . . . . .	216
e) Die Möglichkeiten der Herstellung fester Metallkörper aus mehreren Komponenten . . . . .	218
f) Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Legierungen und weitere Folgerungen daraus für ihre Konstitution . . . . .	220
1. Die Eigenschaften der flüssigen Legierungen (Dichte, Oberflächenspannung, innere Reibung, elektrische Leitfähigkeit) Schlüsse auf die Konstitution der flüssigen Legierungen . . . . .	220
2. Die Eigenschaften der festen Metallegierungen . . . . .	225
α) Die heterogenen Legierungen . . . . .	225
β) Die homogenen Legierungen . . . . .	227
II. Systeme mit Nichtmetallen . . . . .	231
a) Darstellung der empirischen Feststellungen (Zustandsdiagramme physikalischer Art, Gasgleichgewichte, homogene Gleichgewichte in Schmelzen) . . . . .	231
b) Quantitative Behandlung der Gleichgewichte mit Nichtmetallen, Affinität . . . . .	237
c) Geschwindigkeitsfaktoren bei Systemen mit Nichtmetallen . . . . .	240
1. Einwirkung von Gasen . . . . .	240
2. Einwirkung flüssiger Agentien. Überspannung, Passivität . . . . .	241
d) Das chemische Verhalten der Legierungen . . . . .	245
1. Heterogene Legierungen . . . . .	246
2. Homogene Legierungen. Resistenzgrenzen . . . . .	246
e) Die technische Korrosion und ihre Bekämpfung . . . . .	249
1. Übersicht über die technischen Korrosionserscheinungen . . . . .	249
2. Die Wege zur Bekämpfung der Korrosion . . . . .	253
<b>C. Allgemeine Ergänzungen zu den technischen Verarbeitungsprozessen</b>	<b>257</b>
I. Das Gießen . . . . .	257
a) Allgemeine Verfahren . . . . .	257
1. Chemismus der Metallschmelzen (Desoxydation) . . . . .	258
2. Der Gießvorgang (Innere Reibung und Oberflächenspannung der flüssigen Metalle, Formfüllfähigkeit) . . . . .	259
3. Der Erstarrungsvorgang (Kernzahl, Kristallisationsgeschwindigkeit, Seigerung, Möglichkeit des Einflusses des Molekularzustandes der flüssigen Schmelze auf die Kristallisation, Volumengestaltung, Spannungen, Schwindung, Lunkerbildung, Porosität) . . . . .	260
b) Spezielle Gießverfahren (Spritzguß, Schleuderguß) . . . . .	265
II. Wärmebehandlung im festen Zustand . . . . .	266
Möglichkeiten derselben, chemische Nachbehandlung, Spannungen	266

	Seite
III. Die Formgebung im festen Zustand . . . . .	269
a) Spanlose Verformung (Warm- und Kaltverformung, Schmieden, Pressen, Stanzen, Walzen, Ziehen) . . . . .	269
1. Verhalten der Kristallindividuen bei den technischen Verformungen. Spezielle Faserstrukturen . . . . .	269
2. Empirische Erfassung des Materialflusses . . . . .	272
3. Rechnungsmäßige Erfassung der Spannungsverteilung und des Materialflusses. Arbeitsbedarf . . . . .	274
4. Bearbeitbarkeit . . . . .	277
b) Die stoffabhebende Bearbeitung von Metallen. Spanbildung, Bearbeitbarkeit . . . . .	278
IV. Stoffverbindung und Trennung auf metallurgischer Basis (Schrumpfen) . . . . .	281
1. Preßschweißen. . . . .	282
2. Schmelzschweißen . . . . .	283
3. Löten (autogenes Schneiden) . . . . .	283
V. Die Oberflächenbehandlung der Metalle und Legierungen . . . . .	284
VI. Die Auswertung von Betriebsergebnissen. Großzahlforschung . . . . .	287

## Zweiter Teil.

## Spezielle Metallkunde.

Vorbemerkung über Qualitätszahlen und kleine Beimengungen . . . . .	289
<b>A. Eisen und Stahl . . . . .</b>	<b>291</b>
I. Das reine Eisen . . . . .	291
II. Die Eisenkohlenstofflegierungen und ihre Konstitution . . . . .	294
a) Das Zustandsdiagramm . . . . .	294
b) Das Gleichgewichtsgefüge einschl. $Fe_3C$ . . . . .	298
c) Die Konstitution und die Eigenschaften der im Gleichgewicht auftretenden homogenen kohlenstoffhaltigen Phasen, einschl. $Fe_3C$ (insbes. Röntgenographie) . . . . .	306
d) Die wichtigsten Beimengungen der techn. Eisenkohlenstofflegierungen . . . . .	308
1. System $Fe$ - $Mn$ - $C$ . . . . .	308
2. System $Fe$ - $Si$ - $C$ . . . . .	309
3. System $Fe$ - $P$ - $C$ . . . . .	310
4. System $Fe$ - $S$ - $C$ . . . . .	312
5. System $Fe$ - $O_2$ . . . . .	313
III. Das Gußeisen . . . . .	314
a) Der Grauguß . . . . .	314
1. Klassifizierung, Gefüge, Eigenschaften und ihre Prüfung . . . . .	314
2. Gießvorgang (Schwindung), Wärmebehandlung, das Wachsen des Gußeisens . . . . .	318
3. Die Veredelung des Graugusses . . . . .	321
4. Der Schleuderguß . . . . .	325
b) Der Hartguß . . . . .	326
c) Der Temperguß und das Glühfrischen . . . . .	327
IV. Die schmiedbaren Eisen-Kohlenstofflegierungen . . . . .	329
a) Gefüge und Eigenschaften . . . . .	329
1. Abhängigkeit von der Zusammensetzung und den Umwandlungen . . . . .	329

	Seite
2. Besondere mechanische Eigenschaften . . . . .	331
a) Empirische Feststellungen . . . . .	331
Die natürliche Fließgrenze des Stahles. — Das Altern des Stahles nach Kaltbearbeitung. — Die Temperaturabhängigkeit der Festigkeitseigenschaften im $\alpha$ -Gebiet und die Blau-brüchigkeit des Stahles. Die Kaltsprödigkeit des Stahles	332
b) Zur Deutung der Besonderheiten im mechanischen Verhalten des Stahles . . . . .	333
3. Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von nichtmetallischen Beimengungen . . . . .	337
b) Die Verarbeitung der schmiedbaren Eisenkohlenstofflegierungen	340
1. Das Gießen des Stahles . . . . .	340
a) Seigerungen im gegossenen Stahl . . . . .	340
b) Der Stahlformguß und seine Wärmebehandlung . . . . .	341
2. Die Weiterverarbeitung des Stahles auf mechanischem Wege	344
a) Die Warmverformung des Stahles . . . . .	344
1. Materialfluß, Zeilenstruktur, Rotbruch, Schwarzbruch .	344
2. Die Glühbehandlung des warmverformten Stahles . .	349
b) Die Kaltverformung und Rekrystallisation des Stahles .	350
c) Das Härteln und Anlassen des Stahles . . . . .	352
Grundlegende empirische Feststellungen und Theorie .	352
1. Der Abschreckvorgang (Physikalische, mechanische Eigenschaften und Feinstruktur) . . . . .	352
2. Die Anlaßvorgänge (Physikalische, mechanische Eigenschaften und Feinstruktur) . . . . .	354
3. Die Gefügebilder gehärteter und angelassener Stähle	357
Die Technologie des Härtens und Anlassens reiner Kohlenstoffstähle . . . . .	360
1. Baustähle und Werkzeugstähle . . . . .	360
2. Die Wärmebehandlung von Stahldraht . . . . .	363
c) Beispiele für Eisenkohlenstoffstähle als Sondermaterial . . . . .	363
V. Die legierten Stähle . . . . .	364
a) Übersicht über die Zusammensetzung, Verwendung und Verarbeitung . . . . .	364
(Baustähle, Werkzeugstähle, Stähle zur besonderen Verwendung, Technologische Eigenschaften.)	
b) Die Manganstähle . . . . .	370
c) Die Nickelstähle . . . . .	373
d) Die Chromstähle . . . . .	375
e) Die Wolframstähle . . . . .	378
f) Die Siliziumstähle . . . . .	381
g) Die Chromnickelstähle (nebst Besprechung der Anlaßsprödigkeit)	381
h) Die Schnelldrehstähle . . . . .	383
i) Weitere legierte Stähle (Molybdän-, Vanadin-, Titan-, Kobalt-, Borstähle . . . . .	386
VI. Die Schneidmetalle . . . . .	386
VII. Die Oberflächenbehandlung von Stahl . . . . .	387
a) Das Zementieren . . . . .	387
b) Die Nitrierhärtung . . . . .	390
c) Der Korrosionsschutz des Eisens durch Oberflächenbehandlung mit Metallüberzügen. Verzinken, Verbleien, Verzinnen, Alitieren	391

	Seite
VIII. Der Ferromagnetismus . . . . .	393
a) Definitionen . . . . .	393
b) Grundgedanken zur Theorie des Magnetismus . . . . .	396
c) Magnetische Messungen . . . . .	397
d) Die magnetischen Materialien . . . . .	400
<b>B. Die Nichteisenmetalle . . . . .</b>	<b>401</b>
I. Technisch reine Metalle . . . . .	401
a) Das Kupfer . . . . .	401
1. Die Hauptbeimengungen und die Eigenschaften . . . . .	403
$\alpha$ ) Kupfer-Sauerstoff . . . . .	403
$\beta$ ) Kupfer-Phosphor . . . . .	404
$\gamma$ ) Kupfer-Schwefel . . . . .	404
$\delta$ ) Kupfer-Wismut . . . . .	405
$\varepsilon$ ) Kupfer-Arsen . . . . .	405
$\zeta$ ) Kupfer-Blei . . . . .	405
2. Die Eigenschaften und die Verarbeitung . . . . .	406
b) Das Aluminium . . . . .	408
c) Das Nickel . . . . .	410
d) Das Zink . . . . .	412
e) Das Wolfram . . . . .	412
II. Die Legierungen der Nichteisenmetalle . . . . .	414
a) Die Kupfer-Zinklegierungen . . . . .	414
1. Zustandsdiagramm, Kristallstruktur, Eigenschaften in Abhängigkeit von Zusammensetzung und Temperatur . . . . .	414
2. Technische Verwendung und Verarbeitung (Gießen, Warm- und Kaltverformung, Glühbehandlung, innere Spannungen.) . . . . .	420
3. Sondermessinge . . . . .	422
b) Die Kupfer-Zinnlegierungen . . . . .	423
1. Zustandsdiagramm, Kristallstruktur, Eigenschaften . . . . .	423
2. Technische Verwendung und Verarbeitung . . . . .	427
c) Die Kupferaluminiumlegierungen . . . . .	428
d) Die Kupfernickellegierungen . . . . .	428
e) Die Edelmetalle und Edelmetalllegierungen . . . . .	429
f) Die Spritzgußlegierungen . . . . .	431
g) Die Lagermetalle . . . . .	432
h) Die Lote . . . . .	434
i) Die Amalgame . . . . .	436
k) Ergänzung über Legierungen zu besonderer Verwendung . . . . .	437
l) Aluminiumgußlegierungen . . . . .	437
m) Magnesiumlegierungen . . . . .	439
n) Die verformbaren und durch Altern vergütbaren Legierungen, insbesondere Leichtmetalle . . . . .	440
1. Die bei Raumtemperatur vergütbaren Leichtmetalllegierungen (Duralumin, Skleron) . . . . .	440
2. Die warmvergütbaren Leichtmetalllegierungen (Lautal, Aludur, Aldrey) . . . . .	443
3. Weitere durch Altern vergütbare Legierungen . . . . .	445
4. Die Theorie der Vergütung durch Alterung . . . . .	446
Sachverzeichnis . . . . .	452