

**Inhaltsverzeichnis von Band 1**

|   | Seite     |
|---|-----------|
| <b>1. <u>Metallkundliche Grundlagen</u></b> .....                     | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Keimbildung</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1.1 Phasenumwandlung mit thermischer Aktivierung                    | 7         |
| 1.1.2 Phasenumwandlung ohne thermische Aktivierung                    | 10        |
| <b>1.2 Diffusion</b> .....  | <b>13</b> |
| 1.2.1 Kinetik   | 14        |
| 1.2.2 Treibende Kraft der Diffusion                                   | 17        |
| <b>1.3 Festigkeitssteigerung</b> .....                                | <b>19</b> |
| 1.3.1 Mischkristallverfestigung                                       | 19        |
| 1.3.2 Verfestigung durch erhöhte Versetzungsdichte (Kaltverfestigung) | 21        |
| 1.3.3 Verfestigung durch Korngrenzen                                  | 23        |
| 1.3.4 Verfestigung durch Teilchen                                     | 27        |
| <b>1.4 Versetzungen</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>1.5 Entfestigung</b> .....   | <b>33</b> |
| 1.5.1 Erholung  | 34        |
| 1.5.2 Rekristallisation   | 35        |
| 1.5.3 Statische und dynamische Entfestigung                           | 37        |
| 1.5.4 Rekristallisationsbehinderung                                   | 39        |
| <br>  |           |
| <b>2. <u>Physikalische Eigenschaften des reinen Eisens</u></b> .....  | <b>41</b> |
| <b>2.1 Gittertypen</b> .....  | <b>41</b> |
| <b>2.2 Thermodynamik der Umwandlungen</b> .....                       | <b>42</b> |
| <b>2.3 Volumen- und Längenänderung</b> .....                          | <b>43</b> |
| 2.3.1 Längenänderung (Dilatation)                                     | 44        |
| <b>2.4 Magnetische und elektrische Eigenschaften</b> .....            | <b>46</b> |
| 2.4.1 Magnetische Eigenschaften                                       | 46        |
| 2.4.2 Elektrische Leitfähigkeit                                       | 47        |
| <b>2.5 Texturen in Stählen</b> .....                                  | <b>51</b> |
| 2.5.1 Einleitung  | 51        |
| 2.5.2 Mathematische Grundlagen  | 56        |
| 2.5.3 Experimentelle Methoden   | 60        |
| 2.5.3.1 Einleitung  | 60        |
| 2.5.3.2 Makrotexturen   | 62        |
| 2.5.3.3 Mikrotexturen   | 69        |
| 2.5.4 Mechanismen der Texturentstehung in Stählen                     | 74        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 2.5.4.1    | Walztexturen   | 74         |
| 2.5.4.1.1  | Einleitung   | 74         |
| 2.5.4.1.2  | Warmwalztexturen   | 75         |
| 2.5.4.1.3  | Kaltwalztexturen   | 77         |
| 2.5.4.2    | Glühtexturen   | 77         |
| <b>3.</b>  | <b><u>Legierungen des Eisens</u></b> .....   | <b>83</b>  |
| <b>3.1</b> | <b>Legierungsbildung</b> .....   | <b>83</b>  |
| 3.1.1      | Mischkristallbildung   | 84         |
| 3.1.2      | Entmischung  | 88         |
| 3.1.3      | Überstruktur   | 89         |
| 3.1.4      | Intermetallische Verbindung  | 89         |
| 3.1.5      | Typische Zustandsschaubilder   | 90         |
| 3.1.5.1    | Erweiterung des $\gamma$ -Feldes   | 92         |
| 3.1.5.1.1  | Homogene Mischkristalle  | 93         |
| 3.1.5.1.2  | Abschluß durch heterogene Zustandsfelder   | 94         |
| 3.1.5.2    | Einschnürung des $\gamma$ -Feldes  | 94         |
| 3.1.5.2.1  | Homogene Mischkristalle  | 95         |
| 3.1.5.2.2  | Abschluß durch heterogene Zustandsfelder   | 96         |
| 3.1.5.3    | Zustandsdiagramm Eisen-Kohlenstoff   | 96         |
| 3.1.5.4    | Ternäre Systeme  | 99         |
| 3.1.5.4.1  | Zustandsdiagramm Fe-C-Cr   | 100        |
| <b>3.2</b> | <b>Seigerungen und Einschlüsse</b> .....   | <b>107</b> |
| 3.2.1      | Entmischungsvorgänge während der Erstarrung  | 107        |
| 3.2.1.1    | Modellvorstellungen zum Entstehen von Blockseigerungen                                     | 110        |
| 3.2.1.1.1  | Vollkommener Stoffaustausch in der Schmelze und im Kristall                                | 111        |
| 3.2.1.1.2  | Vollkommener Konzentrationsausgleich in der Schmelze                                       | 112        |
| 3.2.1.1.3  | Eingeschränkter Konzentrationsausgleich in der Schmelze                                    | 113        |
| 3.2.1.1.4  | Seigerungsverlauf bei technischer Erstarrung nach Fall 4                                   | 114        |
| 3.2.1.2    | Einfluß des Temperaturgradienten an der Erstarrungsfront auf die<br>Erstarrungsmorphologie | 116        |
| 3.2.1.2.1  | Seigerungsverhalten bei dendritischer Erstarrung   | 119        |
| 3.2.1.3    | Unberuhigte Erstarrung   | 122        |
| 3.2.1.4    | Beruhigte Erstarrung   | 123        |
| 3.2.1.5    | Makroseigerungen   | 123        |
| 3.2.1.5.1  | Gasblasenseigerung   | 123        |
| 3.2.1.5.2  | Schwereseigerung   | 124        |
| 3.2.1.5.3  | V- und A-Seigerung   | 124        |
| 3.2.1.5.4  | Umgekehrte Blockseigerung  | 127        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 3.2.1.5.5  | Seigerungsverhalten beim Strangguß  | 127        |
| 3.2.2      | Kristallseigerung   | 134        |
| 3.2.2.1    | Einfluß der Kristallseigerung auf die Stahleigenschaften  | 134        |
| 3.2.2.2    | Beseitigung von Kristallseigerungen   | 136        |
| 3.2.3      | Sekundärseigerungen   | 137        |
| 3.2.3.1    | Einfluß der Legierungselemente auf die Kohlenstoffmischung<br>bei stetiger Abkühlung - Die Gefügezeitigkeit | 137        |
| 3.2.3.2    | Beeinflussung der Gefügezeitigkeit (Ferrit-Perlit-Zeitigkeit)   | 140        |
| 3.2.3.2.1  | Kombination von Ferrit- und Austenitbildnern  | 140        |
| 3.2.3.2.2  | Beschleunigte Abkühlung   | 140        |
| 3.2.3.2.3  | Diffusionsglühung   | 142        |
| 3.2.3.3    | Einfluß der Legierungselemente auf die Kohlenstoffmischung<br>beim Glühen im Zweiphasengebiet Ferrit-Karbid | 142        |
| 3.2.3.4    | Einfluß von Legierungselementen auf die Kohlenstoffmischung<br>im Austenit + Karbid                         | 144        |
| 3.2.4      | Nachweis von Seigerungen  | 146        |
| 3.2.4.1    | Beizproben  | 147        |
| 3.2.4.2    | Heynsche Ätzung   | 147        |
| 3.2.4.3    | Oberhoffer-Ätzung   | 148        |
| 3.2.4.4    | Baumannabdruck  | 150        |
| 3.2.5      | Einschlüsse im Stahl  | 152        |
| 3.2.5.1    | Begriffsbestimmung  | 152        |
| 3.2.5.2    | Ausscheidung nichtmetallischer Einschlüsse während der Erstarrung   | 153        |
| 3.2.5.3    | Reinheitsgrad   | 155        |
| 3.2.5.3.1  | Verfahren zur Bestimmung des makroskopischen Reinheitsgrades  | 156        |
| 3.2.5.3.2  | Verfahren zur Bestimmung des mikroskopischen Reinheitsgrades  | 157        |
| 3.2.5.4    | Verfahren zur Einschlussuntersuchung  | 158        |
| 3.2.5.5    | Sulfidische Einschlüsse   | 159        |
| 3.2.5.6    | Oxidische Einschlüsse   | 163        |
| 3.2.5.7    | Einfluß von Calcium auf die Bildung nichtmetallischer Einschlüsse   | 164        |
| 3.2.5.8    | Das Verhalten nichtmetallischer Einschlüsse<br>bei der Warmformgebung von Stählen                           | 167        |
| 3.2.5.9    | Einfluß nichtmetallischer Einschlüsse auf die Eigenschaften von Stahl                                       | 169        |
| <b>3.3</b> | <b>Alterung</b> .....   | <b>183</b> |
| 3.3.1      | Experimentelle Methoden zur Verfolgung der Alterung   | 185        |
| 3.3.2      | Kinetik der Abschreckalterung   | 192        |
| 3.3.3      | Überalterung  | 199        |
| 3.3.4      | Kinetik der Reckalterung  | 202        |
| 3.3.5      | Änderung der mechanischen Eigenschaften während Alterungsvorgängen  | 205        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 3.3.6      | Alterungserscheinungen und Maßnahmen zu ihrer Verringerung                 | 211        |
| <b>3.4</b> | <b>Phasenumwandlungen des technischen Eisens.....</b>                      | <b>219</b> |
| 3.4.1      | Gefügedefinition   | 219        |
| 3.4.2      | Austenit   | 221        |
| 3.4.2.1    | Austenitbildung  | 222        |
| 3.4.2.2    | Austenitumwandlung   | 225        |
| 3.4.2.3    | Restaustenit   | 231        |
| 3.4.3      | Gefüge der Austenitumwandlung  | 231        |
| 3.4.3.1    | Ferrit   | 231        |
| 3.4.3.2    | Sekundärzementit   | 235        |
| 3.4.3.3    | Perlit   | 239        |
| 3.4.3.3.1  | Perlitarten  | 240        |
| 3.4.3.3.2  | Keimbildung und Keimwachstum   | 243        |
| 3.4.3.3.3  | Der Lamellenabstand  | 251        |
| 3.4.3.3.4  | Einfluß der Legierungselemente auf die Perlitbildung                       | 254        |
| 3.4.3.3.5  | Mechanische Eigenschaften perlithaltiger Stähle                            | 261        |
| 3.4.3.3.6  | Sonderformen des Perlits   | 264        |
| 3.4.3.4    | Martensit  | 266        |
| 3.4.3.4.1  | Martensitarten und ihre Charakterisierung                                  | 267        |
| 3.4.3.4.2  | Keimbildung und Keimwachstum   | 272        |
| 3.4.3.4.3  | Einfluß der Legierungselemente auf die Martensitbildung                    | 280        |
| 3.4.3.4.4  | Mechanische Eigenschaften martensitischer Stähle                           | 287        |
| 3.4.3.5    | Bainit   | 290        |
| 3.4.3.5.1  | Bainitarten  | 291        |
| 3.4.3.5.2  | Keimbildung und Keimwachstum des Bainits                                   | 298        |
| 3.4.3.5.3  | Einfluß der Legierungselemente auf die Bainitbildung                       | 302        |
| 3.4.3.5.4  | Mechanische Eigenschaften bainitischer Stähle                              | 306        |
| <b>4.</b>  | <b>Grundlagen der Wärmebehandlung von Stahl.....</b>                       | <b>317</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Ermittlung der Ungleichgewichtsschaubilder.....</b>                     | <b>318</b> |
| 4.1.1      | Aufnahme von ZTA-Schaubildern  | 319        |
| 4.1.2      | Aufnahme von ZTU-Schaubildern  | 320        |
| <b>4.2</b> | <b>Zeit-Temperatur-Austenitisierungsschaubilder (ZTA-Schaubilder).....</b> | <b>321</b> |
| 4.2.1      | Austenitisieren untereutektoider Stähle                                    | 324        |
| 4.2.1.1    | Austenitisieren beim isothermen Erwärmen                                   | 324        |
| 4.2.1.2    | Austenitisieren mit kontinuierlicher Erwärmung                             | 326        |
| 4.2.2      | Austenitisieren übereutektoider Stähle                                     | 329        |
| 4.2.2.1    | Austenitisieren beim isothermen Erwärmen                                   | 329        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 4.2.2.2    | Austenitisieren mit kontinuierlicher Erwärmung                   | 332        |
| 4.2.2.3    | Beeinflussung der Austenitisierung                               | 334        |
| 4.2.2.3.1  | Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Ausgangszustandes | 334        |
| 4.2.2.3.2  | Beeinflussung der Korngröße                                      | 336        |
| <b>4.3</b> | <b>Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubilder (ZTU-Schaubilder)</b>  | <b>337</b> |
| 4.3.1      | Umwandlung untereutektoider Stähle                               | 338        |
| 4.3.1.1    | Isothermische Umwandlung   | 338        |
| 4.3.1.2    | Kontinuierliche Umwandlung                                       | 347        |
| 4.3.2      | Umwandlung übereutektoider Stähle                                | 352        |
| 4.3.2.1    | Isothermische Umwandlung   | 352        |
| 4.3.2.2    | Kontinuierliche Umwandlung                                       | 354        |
| 4.3.3      | Beeinflussung der Austenitumwandlung                             | 356        |
| 4.3.3.1    | Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Ausgangszustandes | 356        |
| 4.3.3.2    | Einfluß der Austenitisierung auf die Korngröße                   | 359        |
| 4.3.3.3    | Einfluß der Umformung  | 361        |
| <b>5.</b>  | <b>Technische Wärmebehandlungen</b>                              | <b>365</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Diffusionsglühen</b>  | <b>369</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Grobkornglühen</b>  | <b>373</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Normalglühen</b>  | <b>376</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Weichglühen</b>   | <b>380</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Rekristallisationsglühen</b>                                  | <b>385</b> |
| <b>5.6</b> | <b>Spannungsarmglühen</b>  | <b>386</b> |
| <b>5.7</b> | <b>Kombinierte Wärmebehandlungsverfahren</b>                     | <b>387</b> |
| <b>5.8</b> | <b>Vergüten (Härten und Anlassen)</b>                            | <b>393</b> |
| 5.8.1      | Einleitun  | 393        |
| 5.8.2      | Härten   | 395        |
| 5.8.2.1    | Austenitisieren  | 395        |
| 5.8.2.2    | Abschrecken  | 399        |
| 5.8.2.3    | Prüfung der Härbarkeit   | 404        |
| 5.8.2.3.1  | Härtebruchreihe  | 404        |
| 5.8.2.3.2  | Härtebarkeitsprüfung nach Grossmann                              | 405        |
| 5.8.2.3.3  | Strinabschreckversuch nach Jominy (DIN 50191)                    | 408        |
| 5.8.2.4    | Berechnung der Härbarkeit  | 415        |
| 5.8.2.5    | Härtespannungen  | 416        |
| 5.8.3      | Anlassen   | 420        |
| 5.8.3.1    | Metallkundliche Vorgänge beim Anlassen von Martensit             | 422        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 5.8.3.2    | Versprödungserscheinungen beim Anlassen   | 422        |
| 5.8.3.2.1  | 300°C-Versprödung                         | 423        |
| 5.8.3.2.2  | 500°C-Versprödung                         | 424        |
| 5.8.3.2.3  | Regeln zur Auswahl der Anlaßtemperatur    | 424        |
| 5.8.4      | Anlaßbeständigkeit                        | 431        |
| <b>5.9</b> | <b>Thermomechanische Behandlung</b> ..... | <b>431</b> |
|            | <b>Sachwortverzeichnis</b> .....          | <b>435</b> |

## Inhaltsverzeichnis von Band 2

|   | Seite      |
|---|------------|
| <b>6. Systematik der Stähle.....</b>  | <b>441</b> |
| <b>6.1 Begriffsbestimmung für Stahl.....</b>  | <b>441</b> |
| <b>6.2 Einteilung der Stähle.....</b>   | <b>441</b> |
| 6.2.1 Einteilung nach der chemischen Zusammensetzung  | 442        |
| 6.2.2 Einteilung nach Hauptgüteklassen  | 442        |
| <b>6.3 Systematische Bezeichnung.....</b>   | <b>444</b> |
| 6.3.1 Kennzeichnung der Stähle durch Kurznamen  | 445        |
| 6.3.1.1 Aufgrund der Verwendung und der mechanischen oder physikalischen Eigenschaften der Stähle gebildete Kurznamen | 445        |
| 6.3.1.2 Aufgrund der chemischen Zusammensetzung der Stähle gebildete Kurznamen  | 447        |
| 6.3.2 Kennzeichnung der Stähle durch Werkstoffnummern   | 450        |
| <b>6.4 Einfluß der Legierungselemente.....</b>  | <b>453</b> |
| 6.4.1 Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften  | 453        |
| 6.4.2 Einfluß einzelner Legierungselemente auf die Eigenschaften von Eisenwerkstoffen                                 | 453        |
| <br>  |            |
| <b>7. Stahlgruppen.....</b>   | <b>471</b> |
| <b>7.1 Niedrig legierte Baustähle.....</b>  | <b>471</b> |
| 7.1.1 Anforderungen an Baustähle  | 471        |
| 7.1.2 Beeinflussung der Eigenschaften durch die chemische Zusammensetzung   | 477        |
| 7.1.3 Beeinflussung der Eigenschaften durch thermomechanische Behandlung  | 482        |
| 7.1.3.1 Darstellung der wichtigsten Einflußgrößen bei der TMB mikrolegierter Stähle                                   | 494        |
| 7.1.4 Beeinflussung der Eigenschaften durch Wärmebehandlung   | 495        |
| 7.1.5 Besondere Maßnahmen   | 496        |
| 7.1.6 Stahlsorten   | 497        |
| <b>7.2 Stähle für den Fahrzeugbau - Anforderungen und Herstellung.....</b>  | <b>505</b> |
| 7.2.1 Übersicht über die Stähle für den Fahrzeugbau   | 505        |
| 7.2.2 Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften   | 506        |
| 7.2.2.1 Gebrauchseigenschaften  | 507        |
| 7.2.2.2 Verarbeitungseigenschaften  | 512        |
| 7.2.3 Herstellung von Flachzeug für den Fahrzeugbau   | 516        |
| 7.2.3.1 Herstellung von Warmband  | 518        |
| 7.2.3.2 Herstellung von Kaltband  | 519        |
| 7.2.3.3 Herstellung von oberflächenveredeltem Band  | 523        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 5.8.3.2    | Versprödungserscheinungen beim Anlassen  | 422        |
| 5.8.3.2.1  | 300°C-Versprödung                        | 423        |
| 5.8.3.2.2  | 500°C-Versprödung                        | 424        |
| 5.8.3.2.3  | Regeln zur Auswahl der Anlaßtemperatur   | 424        |
| 5.8.4      | Anlaßbeständigkeit                       | 431        |
| <b>5.9</b> | <b>Thermomechanische Behandlung.....</b> | <b>431</b> |
|            | <b>Sachwortverzeichnis.....</b>          | <b>435</b> |

## Inhaltsverzeichnis von Band 2

|  | Seite      |
|--|------------|
| <b>6. Systematik der Stähle.....</b>   | <b>441</b> |
| <b>6.1 Begriffsbestimmung für Stahl.....</b>   | <b>441</b> |
| <b>6.2 Einteilung der Stähle.....</b>  | <b>441</b> |
| 6.2.1 Einteilung nach der chemischen Zusammensetzung   | 442        |
| 6.2.2 Einteilung nach Hauptgüteklassen   | 442        |
| <b>6.3 Systematische Bezeichnung.....</b>  | <b>444</b> |
| 6.3.1 Kennzeichnung der Stähle durch Kurznamen   | 445        |
| 6.3.1.1 Aufgrund der Verwendung und der mechanischen oder physikalischen<br>Eigenschaften der Stähle gebildete Kurznamen | 445        |
| 6.3.1.2 Aufgrund der chemischen Zusammensetzung der Stähle gebildete Kurznamen   | 447        |
| 6.3.2 Kennzeichnung der Stähle durch Werkstoffnummern  | 450        |
| <b>6.4 Einfluß der Legierungselemente.....</b>   | <b>453</b> |
| 6.4.1 Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften   | 453        |
| 6.4.2 Einfluß einzelner Legierungselemente auf die Eigenschaften<br>von Eisenwerkstoffen                                 | 453        |
| <br>   |            |
| <b>7. Stahlgruppen.....</b>  | <b>471</b> |
| <b>7.1 Niedrig legierte Baustähle.....</b>   | <b>471</b> |
| 7.1.1 Anforderungen an Baustähle   | 471        |
| 7.1.2 Beeinflussung der Eigenschaften durch die chemische Zusammensetzung  | 477        |
| 7.1.3 Beeinflussung der Eigenschaften durch thermomechanische Behandlung   | 482        |
| 7.1.3.1 Darstellung der wichtigsten Einflußgrößen bei der TMB<br>mikrolegierter Stähle                                   | 494        |
| 7.1.4 Beeinflussung der Eigenschaften durch Wärmebehandlung  | 495        |
| 7.1.5 Besondere Maßnahmen  | 496        |
| 7.1.6 Stahlsorten  | 497        |
| <b>7.2 Stähle für den Fahrzeugbau - Anforderungen und Herstellung.....</b>   | <b>505</b> |
| 7.2.1 Übersicht über die Stähle für den Fahrzeugbau  | 505        |
| 7.2.2 Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften  | 506        |
| 7.2.2.1 Gebrauchseigenschaften   | 507        |
| 7.2.2.2 Verarbeitungseigenschaften   | 512        |
| 7.2.3 Herstellung von Flachzeug für den Fahrzeugbau  | 516        |
| 7.2.3.1 Herstellung von Warmband   | 518        |
| 7.2.3.2 Herstellung von Kaltband   | 519        |
| 7.2.3.3 Herstellung von oberflächenveredeltem Band   | 523        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>7.3</b>  | <b>Oberflächenhärtbare Stähle.....</b>  | <b>529</b> |
| 7.3.1       | Thermische Verfahren  | 530        |
| 7.3.1.1     | Induktionshärten  | 530        |
| 7.3.1.2     | Flammhärten   | 531        |
| 7.3.1.3     | Kurzzeithärten  | 532        |
| 7.3.2       | Thermochemische Verfahren   | 535        |
| 7.3.2.1     | Einsatzhärten   | 535        |
| 7.3.2.2     | Nitrieren   | 544        |
| 7.3.2.3     | Borieren  | 549        |
| 7.3.3       | Stähle für die Oberflächenhärtung   | 554        |
| 7.3.4       | Dünnschichttechnik  | 558        |
| <b>7.4</b>  | <b>Vergütungsstähle.....</b>  | <b>563</b> |
| <b>7.5</b>  | <b>Ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische (AFP-) Stähle.....</b>                | <b>569</b> |
| 7.5.1       | Entwicklung der Legierungskonzepte  | 572        |
| 7.5.2       | Ausscheidungshärtung durch Niob und Vanadium  | 574        |
| 7.5.3       | Verbesserung der Zähigkeitseigenschaften durch Optimierung des<br>Legierungskonzeptes | 576        |
| 7.5.4       | Verbesserung der Zähigkeit durch Beeinflussung der Austenitkorngröße                  | 577        |
| 7.5.5       | Gebrauchseigenschaften von AFP-Stählen  | 582        |
| 7.5.6       | Ausscheidungshärtende bainitisch-martensitische Stähle                                | 583        |
| <b>7.6</b>  | <b>Werkzeugstähle.....</b>  | <b>591</b> |
| 7.6.1       | Kaltarbeitsstähle   | 600        |
| 7.6.2       | Warmarbeitsstähle   | 614        |
| 7.6.3       | Schnellarbeitsstähle  | 628        |
| <b>7.7</b>  | <b>Höchstfeste Stähle.....</b>  | <b>651</b> |
| <b>7.8</b>  | <b>Warmfeste- und hochwarmfeste Stähle und Legierungen.....</b>                       | <b>659</b> |
| 7.8.1       | Warmfeste ferritische Stähle  | 664        |
| 7.8.2       | Warmfeste martensitische Chromstähle  | 666        |
| 7.8.3       | Hochwarmfeste austenitische Stähle  | 669        |
| 7.8.4       | Hochwarmfeste Nickelbasislegierungen  | 670        |
| <b>7.9</b>  | <b>Kaltzähe Stähle.....</b>   | <b>673</b> |
| <b>7.10</b> | <b>Automatenstähle.....</b>   | <b>681</b> |
| 7.10.1      | Automatenweichstähle  | 682        |
| 7.10.2      | Automateneinsatzstähle  | 683        |
| 7.10.3      | Automatenvergütungsstähle   | 683        |
| 7.10.4      | Schweißbarkeit der Automatenstähle  | 684        |
| <b>7.11</b> | <b>Federstähle.....</b>   | <b>687</b> |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>7.12</b> | <b>Wälzlagerstähle.....</b>  | <b>695</b> |
| <b>7.13</b> | <b>Stähle mit besonderen physikalischen Eigenschaften.....</b>   | <b>705</b> |
| 7.13.1      | Weichmagnetische Werkstoffe  | 705        |
| 7.13.2      | Dauermagnetwerkstoffe  | 706        |
| 7.13.3      | Nichtmagnetisierbare Stähle  | 708        |
| 7.13.4      | Heizleiterlegierungen  | 708        |
| 7.13.5      | Stähle mit besonderer Wärmeausdehnung  | 710        |
| 7.13.6      | Stähle mit besonderen elastischen Eigenschaften  | 710        |
| 7.13.7      | Stähle mit guter elektrischer Leitfähigkeit  | 711        |
| <b>7.14</b> | <b>Schienenstähle.....</b>   | <b>713</b> |
| <b>7.15</b> | <b>Stähle mit Eignung für die Kalt-Massivumformung.....</b>  | <b>717</b> |
| 7.15.1      | Eigenschaften kaltumformbarer Stähle   | 717        |
| 7.15.2      | Einteilung der Stähle mit besonderer Eignung für Kalt-Massivumformung  | 718        |
| <b>7.16</b> | <b>Höherlegierte Chrom- und Chrom-Nickel-Stähle.....</b>   | <b>721</b> |
| 7.16.1      | Nichtrostende Chromstähle  | 724        |
| 7.16.1.1    | Allgemeine Eigenschaften   | 724        |
| 7.16.1.2    | Martensitische Chromstähle   | 728        |
| 7.16.1.3    | Martensitisch-ferritische Chromstähle (nichtrostende Vergütungsstähle)   | 731        |
| 7.16.2      | Nichtrostende ferritische Chromstähle  | 736        |
| 7.16.2.1    | Unstabilisierte Stähle   | 736        |
| 7.16.2.2    | Einfluß der Stabilisierungselemente Titan und Niob auf das Ausscheidungsverhalten und damit auf die interkristalline Korrosion | 739        |
| 7.16.2.3    | Ferritische nichtrostende Chromstähle mit extrem niedrigen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalten                                 | 740        |
| 7.16.3      | Nichtrostende austenitische Chrom-Nickel-Stähle  | 743        |
| 7.16.3.1    | Unstabilisierte austenitische Chrom-Nickel-Stähle  | 747        |
| 7.16.3.2    | Stabilisierte austenitische Chrom-Nickel-Stähle  | 752        |
| 7.16.3.3    | Messerlinienkorrosion bei stabilisierten Stählen   | 753        |
| 7.16.4      | Ferritisch-austenitische Stähle  | 754        |
| 7.16.5      | Korrosionsprüfmethoden   | 756        |
| 7.16.5.1    | Strauß-Test  | 756        |
| 7.16.5.2    | Huey-Test  | 757        |
| 7.16.5.3    | Potential-Sonden-Meßmethode  | 758        |
| <b>7.17</b> | <b>Hitze- und zunderbeständige Stähle.....</b>   | <b>763</b> |
| 7.17.1      | Chemische Zusammensetzu  | 763        |
| 7.17.2      | Gruppen hitzebeständiger Stähle  | 765        |
| 7.17.2.1    | Ferritische Stähle   | 766        |
| 7.17.2.2    | Austenitische Stähle   | 767        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 7.17.3     | Prüfung der Zunderbeständigkeit   | 767        |
| 7.17.4     | Einfluß verschiedener Glühatmosferaen   | 768        |
| 7.17.4.1   | Schwefelhaltige Atmosphaeren  | 768        |
| 7.17.4.2   | Kohlenstoffhaltige Atmosphaeren   | 768        |
| 7.17.4.3   | Stickstoffhaltige Atmosphaeren  | 769        |
| <b>8.</b>  | <b><u>Korrosion und Korrosionsschutz</u></b> .....                            | <b>771</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Grundlagen der elektrolytischen Korrosion</b> .....                        | <b>773</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Korrosionsarten ohne mechanische Belastung</b> .....                       | <b>782</b> |
| 8.2.1      | Gleichmaeßige Flaechenkorrosion   | 782        |
| 8.2.1.1    | Un- und niedriglegierte Staehle   | 782        |
| 8.2.1.2    | Hochlegierte Chrom- und Chrom-Nickel-Staehle                                  | 788        |
| 8.2.2      | Mulden- und Lochkorrosion   | 792        |
| 8.2.3      | Kontaktkorrosion und selektive Korrosion                                      | 798        |
| 8.2.4      | Interkristalline Korrosion (IK)   | 800        |
| <b>8.3</b> | <b>Korrosionsarten mit mechanischer Belastung</b> .....                       | <b>801</b> |
| 8.3.1      | Spannungsrißkorrosion (SpRK)  | 801        |
| 8.3.1.1    | Interkristalline Spannungsrißkorrosion unlegierter Staehle                    | 802        |
| 8.3.1.2    | Transkristalline Spannungsrißkorrosion hochlegierter Staehle                  | 805        |
| 8.3.1.3    | Wasserstoffinduzierte Korrosionserscheinungen                                 | 807        |
| 8.3.2      | Dehnungsinduzierte Rißkorrosion   | 810        |
| 8.3.3      | Schwingungsrißkorrosion (Korrosionsermuendung)                                | 811        |
| 8.3.4      | Erosionskorrosion   | 812        |
| <b>8.4</b> | <b>Korrosionsschutzverfahren</b> .....  | <b>813</b> |
| 8.4.1      | Konstruktive Maßnahmen  | 813        |
| 8.4.2      | Aktive Schutzverfahren  | 814        |
| 8.4.2.1    | Inhibitoren   | 814        |
| 8.4.2.2    | Anodischer Korrosionsschutz   | 815        |
| 8.4.2.3    | Kathodischer Korrosionsschutz   | 815        |
| 8.4.2.4    | Elektrische Schutzmaßnahmen gegen Streuströme und Elementbildung              | 816        |
| 8.4.3      | Passive Schutzverfahren   | 818        |
| 8.4.3.1    | Organische Beschichtungen   | 818        |
| 8.4.3.2    | Anorganische nichtmetallische Beschichtungen und Überzüge                     | 819        |
| 8.4.3.3    | Metallische Überzüge  | 819        |
| <b>9.</b>  | <b><u>Werkstoffkundliche Grundlagen des Schweißens von Staehlen</u></b> ..... | <b>823</b> |
| <b>9.1</b> | <b>Definitionen und Verfahren</b> .....                                       | <b>823</b> |
| 9.1.1      | Definition  | 823        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 9.1.2       | Verfahren  | 823        |
| 9.1.3       | Arten des Schweißens   | 826        |
| 9.1.4       | Begriffe   | 827        |
| <b>9.2</b>  | <b>Die Erwärmung des Grundwerkstoffes in der Wärmeeinflußzone.....</b> | <b>831</b> |
| <b>9.3</b>  | <b>Die Abkühlung von Schweißnaht und Wärmeeinflußzone.....</b>         | <b>834</b> |
| 9.3.1       | Der Temperatur-Zeit-Verlauf  | 834        |
| 9.3.2       | Die Beschreibung der Umwandlung  | 835        |
| 9.3.3       | Die Beschreibung der Eigenschaften                                     | 841        |
| <b>9.4</b>  | <b>Kennzeichnung der Eignung zum Schweißen.....</b>                    | <b>842</b> |
| <b>9.5</b>  | <b>Schrumpfung und Eigenspannung.....</b>                              | <b>843</b> |
| <b>9.6</b>  | <b>Wechselwirken der Einflußgrößen.....</b>                            | <b>846</b> |
| <b>9.7</b>  | <b>Prüfen von Schweißverbindungen.....</b>                             | <b>849</b> |
| <b>9.8</b>  | <b>Schweißfehler.....</b>  | <b>849</b> |
| 9.8.1       | Heißrisse  | 849        |
| 9.8.2       | Kaltrisse  | 850        |
| <b>10.</b>  | <b><u>Werkstoffkundliche Untersuchungsverfahren.....</u></b>           | <b>855</b> |
| <b>10.1</b> | <b>Metallographische Untersuchungsverfahren.....</b>                   | <b>855</b> |
| 10.1.1      | Lichtmikroskopische Untersuchung                                       | 855        |
| 10.1.1.1    | Einleitung   | 855        |
| 10.1.1.2    | Probenvorbereitung   | 855        |
| 10.1.1.3    | Probenkontrastierung   | 857        |
| 10.1.1.4    | Spezifische Ätzmittel  | 862        |
| 10.1.1.4.1  | Makroätzungen  | 862        |
| 10.1.1.4.2  | Mikroätzungen  | 864        |
| 10.1.1.5    | Gefügebewertung  | 866        |
| 10.1.2      | Das Rasterelektronenmikroskop (REM)                                    | 871        |
| 10.1.2.1    | Einleitung   | 871        |
| 10.1.2.2    | Aufbau des Rasterelektronenmikroskops                                  | 871        |
| 10.1.2.3    | Signale  | 872        |
| 10.1.2.3.1  | Sekundärelektronen   | 873        |
| 10.1.2.3.2  | Rückstreuielektronen   | 875        |
| 10.1.2.4    | Probenpräparation  | 876        |
| 10.1.2.5    | Anwendungsbeispiele  | 878        |
| 10.1.3      | Transmissionselektronenmikroskopie                                     | 883        |
| 10.1.3.1    | Einleitung   | 883        |
| 10.1.3.2    | Grundlagen   | 888        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 10.1.3.2.1  | Aufbau und Wirkungsweise des Transmissionselektronenmikroskops            | 888        |
| 10.1.3.2.2  | Wechselwirkung der Elektronen mit der Materie                             | 895        |
| 10.1.3.2.3  | Strahlengänge in der Nähe des Objektivs                                   | 896        |
| 10.1.3.2.4  | Abbildungs- und Beugungsmethoden  | 897        |
| 10.1.3.2.5  | Höchstspannungselektronenmikroskopie                                      | 910        |
| 10.1.3.2.6  | Analytische Transmissionselektronenmikroskopie                            | 910        |
| 10.1.3.2.7  | Qualitative Gefügeanalyse in der Transmissionselektronenmikroskopie       | 911        |
| 10.1.3.3    | Präparation für die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)              | 912        |
| 10.1.4      | Grundlagen und Anwendung der Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA)          | 917        |
| 10.1.4.1    | Einleitung  | 917        |
| 10.1.4.2    | Physikalische Grundlagen  | 918        |
| 10.1.4.2.1  | Der Elektronenstrahl  | 918        |
| 10.1.4.2.2  | Wechselwirkung der Primärelektronen mit dem Festkörper                    | 920        |
| 10.1.4.2.3  | Röntgen Emission  | 923        |
| 10.1.4.3    | Methoden der Röntgenspektroskopie in der ESMA                             | 928        |
| 10.1.4.3.1  | Wellenlängendispersive Röntgenspektrometer (WDS)                          | 928        |
| 10.1.4.3.2  | Das energiedispersive Spektrometer (EDS)                                  | 932        |
| 10.1.4.3.3  | Vergleich WDS - EDS   | 938        |
| 10.1.4.4    | Laterale- und Tiefenauflösung bei der ESMA                                | 942        |
| 10.1.4.5    | Informationsgehalt der Röntgenspektren                                    | 945        |
| 10.1.4.5.1  | Qualitative Information   | 945        |
| 10.1.4.5.2  | Quantitative Information  | 946        |
| 10.1.4.5.3  | Genauigkeit und Richtigkeit der quantitativen ESMA                        | 950        |
| 10.1.4.6    | Nachweisgrenzen   | 951        |
| 10.1.4.7    | Anwendungsbeispiele   | 952        |
| 10.1.4.7.1  | Punktanalyse zur Phasenbestimmung   | 952        |
| 10.1.4.7.2  | Qualitative Flächenanalyse  | 953        |
| 10.1.4.7.3  | Quantitative Linienanalyse (LineScan)                                     | 955        |
| 10.1.4.7.4  | Quantitative Flächenanalyse   | 956        |
| 10.1.4.8    | Stand der Gerätetechnik, ihre Leistungen und Grenzen                      | 957        |
| <b>10.2</b> | <b>Differentialthermoanalyse.....</b>                                     | <b>961</b> |
| <b>10.3</b> | <b>Dilatometrie.....</b>  | <b>967</b> |
| 10.3.1      | Verfahrensbeschreibung  | 967        |
| 10.3.2      | Auswertung der Dilatometerkurven  | 971        |
| <b>10.4</b> | <b>Untersuchungen zur Spannungsrißkorrosion mittels CERT-Technik.....</b> | <b>975</b> |
| <b>10.5</b> | <b>Simulationsverfahren in der Werkstofftechnik.....</b>                  | <b>979</b> |
| 10.5.1      | Einleitung  | 979        |
| 10.5.1.1    | Begriffserläuterung   | 979        |

|            |                                 |            |
|------------|---------------------------------|------------|
| 10.5.2     | Methoden                        | 980        |
| 10.5.2.1   | Laborsimulation                 | 980        |
| 10.5.2.1.1 | Wannumformsimulation            | 980        |
| 10.5.2.1.2 | Schweißsimulation               | 985        |
| 10.5.2.1.3 | Heißzugversuch                  | 987        |
| 10.5.2.1.4 | Temperaturwechselversuch        | 989        |
| 10.5.2.1.5 | Wärmebehandlungssimulation      | 990        |
| 10.5.2.2   | Numerische Simulation           | 993        |
| 10.5.2.2.1 | FEM-Rechnung                    | 993        |
|            | <b>Sachwortverzeichnis.....</b> | <b>999</b> |