



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Metallberufe

# **METALLBAUTECHNIK**

## **Fachbildung** nach Lernfeldern

**10. neubearbeitete und erweiterte Auflage**

Bearbeitet von  
Lehrern an beruflichen Schulen und Ingenieuren

Leiter des Arbeitskreises: Gerhard Lämmelin

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsseldorfer Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 11311**

## Autoren

|                     |  |                     |
|---------------------|--|---------------------|
| Didi, Mirja         | Dipl.-Ing. (FH), M. Eng., Studienrätin | Contwig             |
| Ignatowitz, Eckhard | Dr. Ing., Studienrat                   | Waldbronn           |
| Lang, Esther        | Studienrätin                           | Waddeweitz          |
| Lämmlein, Gerhard   | Dipl.-Ing., Studiendirektor            | Neustadt/Weinstraße |
| Marter, Roland      | Studienrat                             | Tornesch            |
| Noack, Sven         | Dipl.-Ing.                             | Hamburg             |
| Pahl, Hans-J.       | Dipl.-Ing., Oberstudienrat             | Hamburg             |
| Thiele, Eckhard     | Dipl.-Ing., Studiendirektor            | Wildau              |
| Steinmüller, Armin  | Dipl.-Ing.                             | Hamburg             |

Lektor und Leiter des Arbeitskreises:  
Gerhard Lämmlein

Bildentwürfe und Fotos:

Die Autoren sowie Leihgaben von Firmen und Autoren anderer Werke (s. Anhang).

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, Ostfildern.  
Grafische Produktionen Neumann, Rimpf

10. Auflage 2020

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern unverändert sind.

Diesem Buch wurden die aktuellen Ausgaben der Normen nach DIN, EN und ISO und der VDI/VDE-Richtlinien zugrunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die DIN-Blätter und die VDI/VDE-Richtlinien selbst.  
Verlag für die Normen: Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin.

Verlag für die VDE-Bestimmungen: VDE-Verlag GmbH, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin

ISBN 978-3-8085-1780-2

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Jürgen Neumann, Grafische Produktionen, 97222 Rimpf  
Umschlag: Blick Kick Kreativ KG, 42653 Solingen  
Umschlagfotos: SAAGE, Nettetal-Leuth, Schüco International KG, Bielefeld,  
©Tiago Ladeira und Phoompiphat – stock.adobe.com  
Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

## Vorwort

Das vorliegende Buch umfasst alle wesentlichen Unterrichtsinhalte für **Konstruktionsmechaniker** und **Metallbauer** sowie größtenteils auch für Anlagenmechaniker. Dabei wurden diejenigen Fachrichtungen besonders berücksichtigt, die von der überwiegenden Zahl der Auszubildenden gewählt werden.

Ab der 5. Auflage wurden die Lerninhalte konsequent den Lernfeldern des Rahmenlehrplanes für Metallbauer zugeordnet. Auf eine sachlogische Strukturierung wurde dennoch größter Wert gelegt. Auch mit der vorliegenden **10. Auflage** wurde den zwischenzeitlich erfolgten, umfangreichen Änderungen im Normenwerk Rechnung getragen. Darüber hinaus wurden die Kapitel „Umformen“, „Sicherheit am Bau“, „Tore“ und „Qualitätssicherung“ aktualisiert und angepasst. Das Buch ist somit eine umfassende Quelle für alle in der Ausbildung vorkommenden Inhalte und Themen. Die berufliche Praxis der meisten Auszubildenden, für die dieses Lehrbuch bestimmt ist, kommt in den umfangreichen Kapiteln über Stahlbau, Treppen, Geländer, Schlösser, Fassaden sowie Fenster, Türen und Tore zum Ausdruck.

Einen bedeutenden Raum nehmen darüber hinaus die Grundlagenthemen der Werkstoffkunde und des Fügens ein, sodass dieses Buch auch unabhängig von den Lehrbüchern des ersten Berufsschuljahres verwendet werden kann.

In erster Linie soll dieses Lehrbuch dem Unterricht in der Berufsschule dienen, jedoch wurde bei allen dafür geeigneten Themen großer Wert auf die Verbindung zur praktischen Erfahrung des Auszubildenden im Betrieb gelegt. Durch die vertiefte Darstellung vieler Fachstufenthemen ist es daneben zur Verwendung in Meister- und Technikerschulen geeignet. Bauingenieuren und Architekten kann es als eine leicht verständliche Einführung in die Theorie und Praxis der Metall- und Stahlbautechnik von Nutzen sein.

Am Ende jeder größeren thematischen Einheit befinden sich Wiederholungs- und Verständnisfragen sowie am Ende der Lernfeldabschnitte umfassende **Arbeitsaufträge**. Dort, wo es notwendig und sinnvoll ist, findet der Lernende Arbeitsregeln und Hinweise zum Schutz vor Unfällen. Über 1.600 Bilder und Tabellen unterstützen die Aussagen der Texte.

Die Autoren und der Verlag sind jedem Leser dankbar, der mit Fehlerhinweisen und Verbesserungsvorschlägen zur Weiterentwicklung dieses Buches beigetragen hat und bitten auch für die Zukunft um ihre kritische Anteilnahme an der Verbesserung dieses Lehrbuchs an:

[lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de).

Herbst 2020

Autoren und Verlag

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Inhaltsverzeichnis              | 4 ... 9 |
| Kurzinhaltsverzeichnis englisch | 10      |

### Lernfelder: Herstellen von Blechteilen, Umformteilen und Konstruktionen aus Profilen

|   |  |             |
|---|--|-------------|
| 1 | Umformen                                       | 11 ... 28   |
| 2 | Spanen   | 29 ... 40   |
| 3 | Mechanisches Zerteilen und thermisches Trennen | 41 ... 54   |
| 4 | Schraub-, Niet- und Klemmverbindungen          | 55 ... 72   |
| 5 | Stoffschlüssige Verbindungen                   | 73 ... 116  |
| 6 | Elektrische Maschinen und Anlagen              | 117 ... 126 |
| 7 | NC-Technik im Metallbau                        | 127 ... 148 |

### Lernfeld: Demontieren und Montieren von Baugruppen in der Werkstatt

|    |                                   |             |
|----|-----------------------------------|-------------|
| 8  | Heben und Bewegen von Lasten      | 155 ... 168 |
| 9  | Befestigung von Bauteilen         | 169 ... 180 |
| 10 | Montage, Demontage und Entsorgung | 181 ... 192 |

### Lernfeld: Herstellen von Stahl- und Metallbaukonstruktionen

|    |                                 |             |
|----|---------------------------------|-------------|
| 11 | Sicherheit am Bau               | 195 ... 202 |
| 12 | Vermessungsarbeiten am Bau      | 203 ... 206 |
| 13 | Stahlbau und Dachkonstruktionen | 207 ... 261 |

### Lernfeld: Herstellen von Türen, Toren und Gittern

|    |                    |             |
|----|--------------------|-------------|
| 14 | Türen              | 265 ... 282 |
| 15 | Tore               | 283 ... 296 |
| 16 | Schlösser          | 297 ... 312 |
| 17 | Gitter und Roste   | 313 ... 318 |
| 18 | Steuern und Regeln | 319 ... 338 |

### Lernfeld: Herstellen von Fenstern, Fassaden und Glasanbauten

|    |                                  |             |
|----|----------------------------------|-------------|
| 19 | Bauphysik                        | 341 ... 358 |
| 20 | Fenster                          | 359 ... 376 |
| 21 | Fassaden- und Glaskonstruktionen | 377 ... 392 |

### Lernfeld: Herstellen von Treppen und Geländern

|    |          |             |
|----|----------|-------------|
| 22 | Treppen  | 395 ... 412 |
| 23 | Geländer | 413 ... 418 |

### Lernfeld: Instandhalten von Systemen des Metall- und Stahlbaus

|    |                     |             |
|----|---------------------|-------------|
| 24 | Qualitätsmanagement | 421 ... 428 |
| 25 | Instandhaltung      | 429 ... 444 |

### Lernfeldübergreifendes Wissen

|    |                                |             |
|----|--------------------------------|-------------|
| 26 | Werkstofftechnik               | 447 ... 524 |
| 27 | Kommunikation und Präsentation | 525 ... 534 |

# Inhaltsverzeichnis

## Lernfelder: Herstellen von Blechteilen, Umformteilen und Konstruktionen aus Profilen



### 1 Umformen 11

|            |                                       |           |
|------------|---------------------------------------|-----------|
| <b>1.1</b> | <b>Einteilung der Umformverfahren</b> | <b>11</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Schmieden</b>                      | <b>11</b> |
| 1.2.1      | Technologische Grundlagen             | 11        |
| 1.2.2      | Schmiedeverfahren                     | 14        |
| 1.2.3      | Werkzeuge zum Schmieden               | 16        |
| 1.2.4      | Kunstschmieden und Gestaltung         | 17        |
| <b>1.3</b> | <b>Richten</b>                        | <b>19</b> |
| 1.3.1      | Kaltrichten                           | 19        |
| 1.3.2      | Warmrichten                           | 20        |
| 1.3.3      | Metallentspannung durch Vibration     | 21        |
| <b>1.4</b> | <b>Biegeumformen</b>                  | <b>22</b> |
| 1.4.1      | Technologische Grundlagen             | 22        |
| 1.4.2      | Biegen von Rohren und Profilen        | 23        |
| 1.4.3      | Biegeumformen von Blech               | 24        |
| <b>1.5</b> | <b>Zug- und Druckumformen</b>         | <b>26</b> |
| <b>1.6</b> | <b>Fügen durch Umformen</b>           | <b>26</b> |
| 1.6.1      | Falzen                                | 27        |
| 1.6.2      | Clinchen – Durchsetzfügen             | 28        |



### 2 Spanen 29

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>2.1</b> | <b>Werkzeugschneide</b>                        | <b>29</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Einflussgrößen der Zerspanung</b>           | <b>29</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Bohren</b>                                  | <b>30</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Sägen</b>                                   | <b>31</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Fräsen</b>                                  | <b>32</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Herstellung von Gewinden</b>                | <b>33</b> |
| 2.6.1      | Schneiden von Außengewinden                    | 33        |
| 2.6.2      | Bohren von Innengewinden                       | 33        |
| <b>2.7</b> | <b>Schleifen und Feinbearbeitungsverfahren</b> | <b>34</b> |
| 2.7.1      | Spanungsvorgang                                | 34        |
| 2.7.2      | Schleifwerkzeuge                               | 34        |
| 2.7.3      | Arbeit mit Schleifwerkzeugen                   | 36        |
| 2.7.4      | Schleifverfahren und Schleifmaschinen          | 37        |
| <b>2.8</b> | <b>Trennschleifen</b>                          | <b>39</b> |
| <b>2.9</b> | <b>Polieren und Bürsten</b>                    | <b>39</b> |



### 3 Mechanisches Zerteilen und Thermisches Trennen 41

|            |                             |           |
|------------|-----------------------------|-----------|
| <b>3.1</b> | <b>Keilschneiden</b>        | <b>41</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Scherschneiden</b>       | <b>41</b> |
| 3.2.1      | Prinzip des Scherschneidens | 41        |
| 3.2.2      | Offen-Schneiden             | 43        |
| 3.2.3      | Geschlossen-Schneiden       | 47        |
| <b>3.3</b> | <b>Thermisches Trennen</b>  | <b>49</b> |
| 3.3.1      | Autogenes Brennschneiden    | 49        |
| 3.3.2      | Schmelzschnitten            | 51        |
| 3.3.3      | Laserstrahlschneiden        | 52        |



## 4 Schraub-, Niet- und Klemmverbindungen 55

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>4.1</b> | <b>Fügeverfahren im Metall- und Stahlbau (Übersicht)</b> | <b>55</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Schraubverbindungen</b>                               | <b>56</b> |
| 4.2.1      | Schraubenbezeichnung                                     | 56        |
| 4.2.2      | Handelsformen und Verwendung der Schrauben               | 57        |
| 4.2.3      | Muttern  | 59        |
| 4.2.4      | Unterlegscheiben   | 59        |
| 4.2.5      | Selbsthemmung von Gewinden                               | 59        |
| 4.2.6      | Spannschlösser   | 60        |
| 4.2.7      | Schraubensicherungen                                     | 60        |
| 4.2.8      | HV-Schrauben   | 62        |
| 4.2.9      | Vorteile von HV-Schraubverbindungen im Stahlbau          | 62        |
| 4.2.10     | Schraubenabstände  | 63        |
| 4.2.11     | Scher-Lochleibungs-Schraubverbindung (SL-Verbindung)     | 63        |
| 4.2.12     | Gleitfest vorgespannte Verbindung (GV-Verbindung)        | 65        |
| 4.2.13     | Korrosionsschutz der Schraubverbindungen                 | 66        |
| <b>4.3</b> | <b>Trägerklemmverbindungen</b>                           | <b>67</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Nietverbindungen</b>                                  | <b>68</b> |
| 4.4.1      | Warmnietung  | 68        |
| 4.4.2      | Kaltnietung  | 68        |
| 4.4.3      | Blindniete   | 69        |
| 4.4.4      | Fügeverfahren mit Funktionselementen                     | 70        |
|            | <i>Arbeitsauftrag: Fügen eines Windverbandes</i>         | <i>72</i> |



## 5 Stoffschlüssige Verbindungen 73

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>5.1</b> | <b>Schweißverfahren</b>                     | <b>73</b>  |
| 5.1.1      | Gasschmelzschweißen                         | 74         |
| 5.1.2      | Lichtbogenschmelzschweißen                  | 79         |
| 5.1.3      | Unterpulverschweißen                        | 86         |
| 5.1.4      | Schutzgasschweißen                          | 87         |
| 5.1.5      | Wolfram-Plasmaschweißen WP                  | 93         |
| 5.1.6      | Laserstrahlschweißen                        | 94         |
| 5.1.7      | Hybridschweißverfahren                      | 95         |
| <b>5.2</b> | <b>Pressschweißverfahren</b>                | <b>96</b>  |
| <b>5.3</b> | <b>Schweißverbindung</b>                    | <b>100</b> |
| 5.3.1      | Schweißnaht                                 | 100        |
| 5.3.2      | Schweißspannungen                           | 101        |
| 5.3.3      | Schweißfolgeplan                            | 101        |
| 5.3.4      | Gestaltung von Schweißverbindungen          | 102        |
| 5.3.5      | Schweißanweisung                            | 103        |
| <b>5.4</b> | <b>Schweißbarkeit von Metallwerkstoffen</b> | <b>104</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Kunststoffschweißen</b>                  | <b>107</b> |
| <b>5.6</b> | <b>Löten</b>                                | <b>108</b> |
| 5.6.1      | Lötvorgang                                  | 108        |
| 5.6.2      | Lötverfahren                                | 109        |
| 5.6.3      | Lote  | 110        |
| 5.6.4      | Flussmittel                                 | 111        |
| <b>5.7</b> | <b>Kleben</b>                               | <b>112</b> |
| 5.7.1      | Kleben im Metallbau                         | 112        |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.7.2 | Wirkungsweise der Klebstoffe             | 112 |
| 5.7.3 | Arten der Klebstoffe                     | 113 |
| 5.7.4 | Vorbehandlung der Klebeflächen           | 115 |
| 5.7.5 | Gestaltungsregeln für Klebeverbindungen  | 115 |
| 5.7.6 | Verarbeitung der Klebstoffe              | 115 |
| 5.7.7 | Vor- und Nachteile von Klebeverbindungen | 116 |



## 6 Elektrische Maschinen und Anlagen 117

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>6.1</b> | <b>Elektrischer Stromkreis</b>                         | <b>117</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Elektromagnetismus</b>                              | <b>118</b> |
| 6.2.1      | Elektromagnetische Induktion                           | 118        |
| 6.2.2      | Wechselstromgenerator                                  | 119        |
| 6.2.3      | Transformator  | 120        |
| <b>6.3</b> | <b>Elektromotoren</b>                                  | <b>122</b> |
| 6.3.1      | Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld               | 122        |
| 6.3.2      | Gleichstrommotoren                                     | 123        |
| 6.3.3      | Wechselstrommotoren                                    | 124        |
| 6.3.4      | Arbeit mit Elektromotoren                              | 124        |
| <b>6.4</b> | <b>Schutz vor den Gefahren des elektrischen Stroms</b> | <b>125</b> |
| 6.4.1      | Fehler an elektrischen Anlagen                         | 125        |
| 6.4.2      | Schutzmaßnahmen  | 125        |



## 7 NC-Technik im Metallbau 127

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>7.1</b> | <b>Informationsfluss in der NC-Technik</b>             | <b>127</b> |
| <b>7.2</b> | <b>Aufbau von NC-Maschinen</b>                         | <b>128</b> |
| 7.2.1      | Eingabeeinheiten                                       | 128        |
| 7.2.2      | Verarbeitungseinheit                                   | 129        |
| 7.2.3      | Ausgabeeinheiten                                       | 130        |
| <b>7.3</b> | <b>Konstruktive Merkmale von NC-Maschinen</b>          | <b>130</b> |
| 7.3.1      | Führungen und Spindeln                                 | 130        |
| 7.3.2      | Wegmesssysteme   | 131        |
| <b>7.4</b> | <b>Steuerungsarten</b>                                 | <b>132</b> |
| <b>7.5</b> | <b>Koordinatensysteme</b>                              | <b>132</b> |
| <b>7.6</b> | <b>Programmaufbau</b>                                  | <b>133</b> |
| 7.6.1      | Programmtechnische Informationen                       | 133        |
| 7.6.2      | Geometrische Informationen                             | 134        |
| 7.6.3      | Technologische Informationen                           | 135        |
| 7.6.4      | Zusätzliche Informationen                              | 135        |
| <b>7.7</b> | <b>Manuelle Programmierung</b>                         | <b>136</b> |
| 7.7.1      | Systematik der Programmerstellung                      | 136        |
| 7.7.2      | Bearbeitungsprogramm                                   | 136        |
| 7.7.3      | Werkzeugbahnkorrektur                                  | 137        |
| 7.7.4      | Programmierung von Kreisen                             | 137        |
| 7.7.5      | Bearbeitungszyklen                                     | 139        |
| 7.7.6      | Unterprogrammtechnik                                   | 139        |
| <b>7.8</b> | <b>Maschinelle Programmierung</b>                      | <b>140</b> |
| 7.8.1      | Programmerstellung in der Arbeitsvorbereitung          | 140        |
| 7.8.2      | CAD/CAM-Verfahren                                      | 140        |
| <b>7.9</b> | <b>Anwendung der NC-Technik in der Metallbaupraxis</b> | <b>141</b> |
| 7.9.1      | CNC-Brennschneidanlagen                                | 141        |

|       |                                      |     |
|-------|--------------------------------------|-----|
| 7.9.2 | CNC-Laserschneidtechnik              | 143 |
| 7.9.3 | Wasserstrahlschneiden                | 143 |
| 7.9.4 | Blechbiegen, CNC-gesteuert           | 144 |
| 7.9.5 | CNC-gesteuertes Biegen von Rohren    | 145 |
| 7.9.6 | Stanzen und Nibbeln mit NC-Maschinen | 146 |
| 7.9.7 | Komplettbearbeitung von Profilen     | 148 |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Arbeitsauftrag: Herstellen eines Schüttgutbehälters</i>         | <i>149</i> |
| <i>Arbeitsauftrag: Bau einer Wetterschutzhütte</i>                 | <i>151</i> |
| <i>Arbeitsauftrag: Bau und Montage eines geschmiedeten Gitters</i> | <i>153</i> |

## Lernfeld: Demontieren und Montieren von Baugruppen in der Werkstatt



## 8 Heben und Bewegen von Lasten 155

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>8.1</b> | <b>Physikalische Grundlagen</b>           | <b>155</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Hebezeuge</b>                          | <b>159</b> |
| 8.2.1      | Hebezeuge                                 | 159        |
| 8.2.2      | Flaschenzüge                              | 160        |
| 8.2.3      | Hand-Hubzeuge                             | 161        |
| 8.2.4      | Elektrozug                                | 162        |
| 8.2.5      | Hebebühnen                                | 162        |
| 8.2.6      | Krane                                     | 162        |
| 8.2.7      | Sperrwerke und Bremsen                    | 163        |
| <b>8.3</b> | <b>Flurförderfahrzeuge</b>                | <b>164</b> |
| <b>8.4</b> | <b>Befestigung von Lasten</b>             | <b>164</b> |
| 8.4.1      | Anschlagen von Lasten                     | 164        |
| 8.4.2      | Anschlagmittel                            | 165        |
| <b>8.5</b> | <b>Arbeitssicherheit und Unfallschutz</b> | <b>168</b> |



## 9 Befestigung von Bauteilen 169

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>9.1</b> | <b>Befestigung mit Mauerankern und Bindemitteln</b> | <b>169</b> |
| <b>9.2</b> | <b>Befestigung mit Setzbolzen</b>                   | <b>170</b> |
| 9.2.1      | Bolzensetzwerkzeuge                                 | 170        |
| 9.2.2      | Setzbolzen  | 170        |
| 9.2.3      | Kartuschen  | 170        |
| <b>9.3</b> | <b>Befestigung mit Ankern und Dübeln</b>            | <b>171</b> |
| 9.3.1      | Baustoff als Verankerungsgrund für Dübel            | 171        |
| 9.3.2      | Haltemechanismen für Dübel                          | 172        |
| 9.3.3      | Belastungsart                                       | 173        |
| 9.3.4      | Montagearten  | 174        |
| 9.3.5      | Polyamiddübel (Nylondübel)                          | 175        |
| 9.3.6      | Metallspreizdübel (Schwerlastdübel)                 | 177        |
| 9.3.7      | Spreizdruckfreie Dübel                              | 177        |
| 9.3.8      | Befestigung ohne Dübel und Anker                    | 180        |



## 10 Montage, Demontage und Entsorgung 181

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>10.1</b> | <b>Werkstattmontage</b>                         | <b>181</b> |
| 10.1.1      | Planen der Montage                              | 183        |
| 10.1.2      | Beispiel: Montage einer Treppe in der Werkstatt | 184        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>10.2</b> | <b>Demontage</b>  | <b>191</b> |
| <b>10.3</b> | <b>Abfälle vermeiden, verwerten, entsorgen</b>  | <b>191</b> |
|             | <i>Arbeitsauftrag: Herstellen und Montieren eines Französischen Balkons</i>           | <i>193</i> |
|             | <i>Arbeitsauftrag: Vorbereitung einer Laufschienenbaugruppe für ein Schiebeträger</i> | <i>194</i> |

## Lernfeld: Herstellen von Stahl- und Metallbaukonstruktionen



### 11 Sicherheit am Bau 195

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>11.1</b> | <b>Persönliche Arbeitsschuttmittel</b>         | <b>196</b> |
| 11.1.1      | Schutzhelme                                    | 196        |
| 11.1.2      | Fußschutz                                      | 197        |
| <b>11.2</b> | <b>Gerüste und Leitern</b>                     | <b>198</b> |
| <b>11.3</b> | <b>Anseilschutz</b>                            | <b>200</b> |
| <b>11.4</b> | <b>Verhalten bei Unfällen und im Brandfall</b> | <b>202</b> |



### 12 Vermessungsarbeiten am Bau 203

|             |                                    |            |
|-------------|------------------------------------|------------|
| <b>12.1</b> | <b>Schnurgerüst</b>                | <b>203</b> |
| <b>12.2</b> | <b>Längenmessungen</b>             | <b>204</b> |
| <b>12.3</b> | <b>Winkelmessungen</b>             | <b>205</b> |
| <b>12.4</b> | <b>Festlegung von Gebäudehöhen</b> | <b>205</b> |
| <b>12.5</b> | <b>Festlegung der Ausbauhöhen</b>  | <b>206</b> |



### 13 Stahlbau und Dachkonstruktionen 207

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>13.1</b> | <b>Einteilung des Stahlbaus</b>                     | <b>207</b> |
| <b>13.2</b> | <b>Konstruktionselemente eines Stahlskelettbaus</b> | <b>209</b> |
| 13.2.1      | Einwirkungen von Kräften auf ein Stahlskelett       | 209        |
| 13.2.2      | Lastannahmen und Bemessungswerte                    | 210        |
| 13.2.3      | Bautechnische Besonderheiten des Stahlbaus          | 210        |
| <b>13.3</b> | <b>Spannungsarten in Bauteilen</b>                  | <b>211</b> |
| 13.3.1      | Normalspannungen                                    | 211        |
| 13.3.2      | Schubspannungen                                     | 211        |
| 13.3.3      | Bemessung der Bauteile                              | 212        |
| <b>13.4</b> | <b>Stützen</b>                                      | <b>213</b> |
| 13.4.1      | Wirkungsweise von Stützen                           | 213        |
| 13.4.2      | Bauformen   | 214        |
| 13.4.3      | Standfestigkeit von Stützen                         | 215        |
| 13.4.4      | Stützenköpfe  | 216        |
| 13.4.5      | Stützenstöße  | 216        |
| 13.4.6      | Stützenfüße   | 217        |
| 13.4.7      | Verankerung von Stützen                             | 218        |
| <b>13.5</b> | <b>Träger</b>                                       | <b>220</b> |
| 13.5.1      | Walzträger  | 220        |
| 13.5.2      | Geschweißte Blechträger                             | 221        |
| 13.5.3      | Wabenträger   | 221        |
| 13.5.4      | Biegebeanspruchung in Trägern                       | 222        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 13.5.5      | Fachwerkträger                               | 226        |
| 13.5.6      | Schwere Fachwerkträger                       | 229        |
| 13.5.7      | Leichtbau-Fachwerkträger                     | 230        |
| 13.5.8      | Raumfachwerke                                | 232        |
| 13.5.9      | Rahmenträger (Vierendeelträger)              | 233        |
| 13.5.10     | Leichtbau mit Rahmenträgern aus Hohlprofilen | 234        |
| <b>13.6</b> | <b>Trägerverbindungen</b>                    | <b>235</b> |
| 13.6.1      | Trägerauflager                               | 235        |
| 13.6.2      | Trägeranschlüsse                             | 237        |
| 13.6.3      | Trägerstöße                                  | 241        |
| 13.6.4      | Trägerbearbeitungen                          | 243        |
| <b>13.7</b> | <b>Aussteifungen und Abspannungen</b>        | <b>244</b> |
| 13.7.1      | Aussteifungen                                | 244        |
| 13.7.2      | Seiltragwerke                                | 246        |
| <b>13.8</b> | <b>Stahlhallenbau</b>                        | <b>247</b> |
| 13.8.1      | Dachformen und statische Systeme             | 247        |
| 13.8.2      | Konstruktionselemente einer Satteldachhalle  | 250        |
| 13.8.3      | Krananlagen in Stahlhallen                   | 251        |
| <b>13.9</b> | <b>Raumabschließende Bauelemente</b>         | <b>253</b> |
| 13.9.1      | Stahlbetonverbunddecken                      | 253        |
| 13.9.2      | Träger- und Profilverbunddecken              | 256        |
| 13.9.3      | Wände  | 258        |
| 13.9.4      | Dächer                                       | 260        |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Arbeitsauftrag: Kranbahnkonsolen einer 2-schiffigen Halle</i> | <i>262</i> |
| <i>Arbeitsauftrag: Bau eines Muldenwaschplatzes</i>              | <i>263</i> |

## Lernfeld: Herstellen von Türen, Toren und Gittern



### 14 Türen 265

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>14.1</b> | <b>Aufbau einer Drehflügeltür</b>      | <b>265</b> |
| <b>14.2</b> | <b>Arten und Merkmale von Türen</b>    | <b>267</b> |
| 14.2.1      | Einbauort                              | 267        |
| 14.2.2      | Bewegungsart                           | 267        |
| 14.2.3      | Bewegungsrichtung                      | 267        |
| 14.2.4      | Bauarten von Türen                     | 268        |
| <b>14.3</b> | <b>Sicherheit an Automatiktüren</b>    | <b>273</b> |
| <b>14.4</b> | <b>Türen mit besonderen Funktionen</b> | <b>274</b> |
| <b>14.5</b> | <b>Werkstoffe für Türen</b>            | <b>278</b> |
| <b>14.6</b> | <b>Türschließer</b>                    | <b>279</b> |
| <b>14.7</b> | <b>Beschläge für Türen</b>             | <b>281</b> |
| <b>14.8</b> | <b>Einbau und Montage</b>              | <b>282</b> |



### 15 Tore 283

|             |                                  |            |
|-------------|----------------------------------|------------|
| <b>15.1</b> | <b>Hallentore</b>                | <b>283</b> |
| 15.1.1      | Drehtore                         | 284        |
| 15.1.2      | Schiebetore                      | 284        |
| 15.1.3      | Schiebefalttore                  | 286        |
| 15.1.4      | Schwingtore                      | 288        |
| 15.1.5      | Rolltore                         | 289        |
| 15.1.6      | Sektionaltore                    | 289        |
| 15.1.7      | Sicherheitseinrichtungen         | 290        |
| <b>15.2</b> | <b>Tore für den Außenbereich</b> | <b>291</b> |
| 15.2.1      | Schiebetore                      | 291        |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 15.2.2      | Drehtore  | 291        |
| <b>15.3</b> | <b>Sicherheit an kraftbetätigten Toren</b>                        | <b>295</b> |
| 15.3.1      | Sicherheit bei der Planung und Auswahl von Türen und Toren        | 295        |
| 15.3.2      | Begrenzung der Schließkräfte und Gestaltung der Hauptschließkante | 296        |
| 15.3.3      | Sicherheitstechnische Prüfung                                     | 296        |



## 16 Schlösser 297

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>16.1</b> | <b>Schlossarten</b>  | <b>297</b> |
| <b>16.2</b> | <b>Aufbau und Funktionsweise von Falle-Riegel-Schlössern</b> | <b>298</b> |
| <b>16.3</b> | <b>Normmaße von Schlössern</b>                               | <b>299</b> |
| 16.3.1      | Bezeichnung von Einsteckschlössern                           | 300        |
| 16.3.2      | Bezeichnungsbeispiele  | 300        |
| <b>16.4</b> | <b>Schlosssicherungen</b>                                    | <b>300</b> |
| 16.4.1      | Buntbartschloss  | 300        |
| 16.4.2      | Chubbsschloss  | 301        |
| 16.4.3      | Zylinderschlösser  | 302        |
| 16.4.4      | Elektronische Zutrittskontrolle                              | 309        |
| <b>16.5</b> | <b>Schließanlagen</b>  | <b>311</b> |



## 17 Gitter und Roste 313

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>17.1</b> | <b>Bewegliche Gitter</b>                    | <b>313</b> |
| <b>17.2</b> | <b>Feststehende Gitter</b>                  | <b>313</b> |
| <b>17.3</b> | <b>Gitterroste und Roste aus Stahlblech</b> | <b>314</b> |
| 17.3.1      | Anwendung und Eigenschaften                 | 314        |
| 17.3.2      | Bauarten                                    | 314        |
| 17.3.3      | Aussparungen und Randeinfassungen           | 315        |
| 17.3.4      | Korrosionsschutz                            | 315        |
| 17.3.5      | Sicherheitsroste                            | 315        |
| 17.3.6      | Normroste und Trittstufen                   | 315        |
| 17.3.7      | Verlegeplan                                 | 316        |
| 17.3.8      | Stützweite                                  | 316        |
| 17.3.9      | Befestigung der Roste                       | 317        |
| 17.3.10     | Bestellangaben                              | 317        |
| 17.3.11     | Sicherheitshinweise                         | 317        |

Arbeitsauftrag: Podest an Kesselgerüst 318



## 18 Steuern und Regeln 319

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>18.1</b> | <b>Steuern</b>                            | <b>319</b> |
| <b>18.2</b> | <b>Regeln</b>                             | <b>319</b> |
| <b>18.3</b> | <b>Steuerungsarten</b>                    | <b>320</b> |
| 18.3.1      | Mechanische Steuerungen                   | 321        |
| 18.3.2      | Pneumatische Steuerungen                  | 321        |
| 18.3.3      | Hydraulische Steuerungen                  | 326        |
| 18.3.4      | Elektrische Steuerungen                   | 330        |
| 18.3.5      | Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) | 333        |
| 18.3.6      | Steuerungstechnische Projekte             | 335        |

Arbeitsauftrag: Planung und Ausführung einer Hauseingangstür mit Schließanlage 339

## Lernfeld: Herstellen von Fenstern, Fassaden und Glasanbauten



## 19 Bauphysik 341

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>19.1</b> | <b>Wärmeschutz</b>                          | <b>341</b> |
| 19.1.1      | Einsparung von Heizenergie                  | 341        |
| 19.1.2      | Wärmeschutz am Bau                          | 342        |
| 19.1.3      | Grundlagen der Wärmelehre                   | 342        |
| 19.1.4      | Wärmetransport                              | 344        |
| 19.1.5      | Wärmedämmung von Gebäuden                   | 346        |
| 19.1.6      | Energieeinsparung                           | 349        |
| <b>19.2</b> | <b>Feuchteschutz</b>                        | <b>351</b> |
| <b>19.3</b> | <b>Schallschutz</b>                         | <b>353</b> |
| 19.3.1      | Entstehung des Schalls                      | 353        |
| 19.3.2      | Schallausbreitung                           | 354        |
| 19.3.3      | Schallwahrnehmung                           | 354        |
| 19.3.4      | Schallschutz im Hochbau                     | 355        |
| <b>19.4</b> | <b>Brandschutz</b>                          | <b>357</b> |
| 19.4.1      | Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen | 357        |
| 19.4.2      | Brandschutzmaßnahmen                        | 358        |
| 19.4.3      | Schutz von Bauteilen aus Stahl              | 358        |



## 20 Fenster 359

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>20.1</b> | <b>Aufbau und Bauteile von Fenstern</b>    | <b>359</b> |
| <b>20.2</b> | <b>Bauarten und Einteilung der Fenster</b> | <b>360</b> |
| 20.2.1      | Konstruktionsarten                         | 360        |
| 20.2.2      | Öffnungsarten                              | 360        |
| 20.2.3      | Rahmenwerkstoffe                           | 362        |
| 20.2.4      | Fenster mit besonderen Funktionen          | 364        |
| <b>20.3</b> | <b>Fensterbeschläge</b>                    | <b>366</b> |
| 20.3.1      | Dreh-Kippbeschlag                          | 366        |
| 20.3.2      | Einbruchhemmende Beschläge                 | 368        |
| 20.3.3      | Hebe-Schiebeflügelbeschlag                 | 368        |
| <b>20.4</b> | <b>Herstellung von Fenstern</b>            | <b>369</b> |
| 20.4.1      | Aufmaß am Bauwerk                          | 369        |
| 20.4.2      | Zuschnitt und Bearbeitung                  | 369        |
| 20.4.3      | Rahmenverbindung                           | 370        |
| 20.4.4      | Beschlageinbau                             | 370        |
| <b>20.5</b> | <b>Montage von Fenstern</b>                | <b>371</b> |
| 20.5.1      | Klotzung der Scheiben                      | 372        |
| 20.5.2      | Verglasungssysteme                         | 373        |
| 20.5.3      | Anschluss und Befestigung am Bauwerk       | 373        |
| <b>20.6</b> | <b>Schaufenster und Vitrinen</b>           | <b>376</b> |



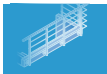
## 21 Fassaden und Glaskonstruktionen 377

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>21.1</b> | <b>Einteilung und Bauarten</b>               | <b>377</b> |
| 21.1.1      | Warmfassaden                                 | 378        |
| 21.1.2      | Kaltfassaden                                 | 379        |
| 21.1.3      | Kalt-Warmfassaden(CW-Fassade)                | 379        |
| 21.1.4      | Doppelfassade, Zweite-Haut-Fassade           | 380        |
| 21.1.5      | Ganzglasfassaden (Structural Glazing)        | 380        |
| 21.1.6      | Punktgehaltene Glasfassade                   | 381        |
| <b>21.2</b> | <b>Überkopfverglasung (Schrägverglasung)</b> | <b>381</b> |


|  |  |            |               |  |            |
|--|--|------------|---------------|--|------------|
| <b>21.3</b>  | <b>Wasserabführung bei Fassaden</b>                | <b>382</b> | <b>24.1.3</b> | Qualitätsprüfung                                     | 423        |
| <b>21.4</b>  | <b>Planung, Fertigung und Montage von Fassaden</b> | <b>383</b> | <b>24.1.4</b> | Qualitätsverbesserung                                | 423        |
| 21.4.1   | Planungsgrundlagen                                 | 383        | <b>24.2</b>   | <b>Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000:2015</b> | <b>424</b> |
| 21.4.2   | Montage der Unterkonstruktion                      | 384        | 24.2.1        | Die acht Grundsätze des Qualitätsmanagementsystems   | 424        |
| 21.4.3   | Pfosten-Riegel-Montage                             | 385        | <b>24.3</b>   | <b>Modell eines Qualitätsmanagementsystems</b>       | <b>425</b> |
| 21.4.4   | Elementmontage                                     | 385        | 24.3.1        | Verantwortung der Leitung                            | 426        |
| <b>21.5</b>  | <b>Glasanbauten</b>                                | <b>386</b> | 24.3.2        | Management der Mittel                                | 426        |
| <b>21.6</b>  | <b>Sonnenschutz</b>                                | <b>388</b> | 24.3.3        | Produkt- und Dienstleistungsrealisierung             | 426        |
| 21.6.1   | Innenliegende Sonnenschutzanlagen                  | 388        | 24.3.4        | Messung, Analyse und Verbesserung                    | 426        |
| 21.6.2   | Äußere Sonnenschutzanlagen                         | 389        | <b>24.4</b>   | <b>Qualität ist nicht nur Chefsache</b>              | <b>426</b> |
| <i>Arbeitsauftrag: Projektierung, Konstruktion und Herstellung eines Glasvordaches</i> |  |            | <b>24.5</b>   | <b>Qualitätsmanagement in der Schweißtechnik</b>     | <b>427</b> |
|  |  | 393        | 24.5.1        | Allgemeine Qualitätsanforderungen                    | 427        |

## Lernfeld: Herstellen von Treppen und Geländern

|  |   |            |
|--|---|------------|
|  | <b>22 Treppen</b>                               | <b>395</b> |
| <b>22.1</b>  | <b>Treppenarten</b>                             | <b>395</b> |
| <b>22.2</b>  | <b>Konstruktionsarten von Treppen</b>           | <b>397</b> |
| 22.2.1   | Wagentreppen                                    | 397        |
| 22.2.2   | Holmtreppen                                     | 397        |
| 22.2.3   | Spindeltreppen                                  | 398        |
| <b>22.3</b>  | <b>Stufenarten</b>                              | <b>398</b> |
| <b>22.4</b>  | <b>Bezeichnungen an der Treppe</b>              | <b>399</b> |
| <b>22.5</b>  | <b>Hauptmaße von Treppen (n. DIN 18065)</b>     | <b>400</b> |
| <b>22.6</b>  | <b>Konstruktionsbeispiel</b>                    | <b>401</b> |
| 22.6.1   | Geschosshöhenberechnung                         | 401        |
| 22.6.2   | Steigungsberechnung                             | 402        |
| 22.6.3   | Konstruktion der Wangen                         | 403        |
| <b>22.7</b>  | <b>Stufenverziehung bei gewendelten Treppen</b> | <b>405</b> |
| <b>22.8</b>  | <b>Anreißen von Wangen</b>                      | <b>408</b> |
| <b>22.9</b>  | <b>Berechnung mit Computern</b>                 | <b>408</b> |

|  |   |            |
|--|---|------------|
|  | <b>23 Geländer</b>                            | <b>413</b> |
| <b>23.1</b>  | <b>Aufbau des Geländers</b>                   | <b>413</b> |
| <b>23.2</b>  | <b>Geländer in und an Wohnhäusern</b>         | <b>414</b> |
| <b>23.3</b>  | <b>Industriegeländer</b>                      | <b>415</b> |
| <b>23.4</b>  | <b>Befestigung der Geländer</b>               | <b>416</b> |
| <b>23.5</b>  | <b>Biegen eines Treppengeländer-Krümmings</b> | <b>417</b> |
| <i>Arbeitsauftrag: Konstruktionen einer Treppe</i>                                 |   | 419        |
| <i>Arbeitsauftrag: Konstruktion eines Treppengeländers</i>                         |   | 420        |


## Lernfeld: Instandhalten von Systemen des Metall- und Stahlbaus

|  |  |            |
|--|--|------------|
|  | <b>24 Qualitätsmanagement</b>            | <b>421</b> |
| <b>24.1</b>  | <b>Aufgaben des Qualitätsmanagements</b> | <b>422</b> |
| 24.1.1   | Qualitätsplanung                         | 422        |
| 24.1.2   | Qualitätslenkung                         | 423        |

|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| <b>24.1.3</b> | Qualitätsprüfung  | 423        |
| <b>24.1.4</b> | Qualitätsverbesserung   | 423        |
| <b>24.2</b>   | <b>Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000:2015</b>                        | <b>424</b> |
| 24.2.1        | Die acht Grundsätze des Qualitätsmanagementsystems                          | 424        |
| <b>24.3</b>   | <b>Modell eines Qualitätsmanagementsystems</b>                              | <b>425</b> |
| 24.3.1        | Verantwortung der Leitung   | 426        |
| 24.3.2        | Management der Mittel   | 426        |
| 24.3.3        | Produkt- und Dienstleistungsrealisierung                                    | 426        |
| 24.3.4        | Messung, Analyse und Verbesserung   | 426        |
| <b>24.4</b>   | <b>Qualität ist nicht nur Chefsache</b>                                     | <b>426</b> |
| <b>24.5</b>   | <b>Qualitätsmanagement in der Schweißtechnik</b>                            | <b>427</b> |
| 24.5.1        | Allgemeine Qualitätsanforderungen   | 427        |
| 24.5.2        | Spezielle Anforderungen im Stahl- und Metallbau                             | 427        |
| 24.5.3        | Qualifizierung von Schweißverfahren   | 428        |
| 24.5.4        | Qualifizierung von schweißtechnischem Fachpersonal – Schweißer und Bediener | 428        |

|   |   |            |
|---|---|------------|
|  | <b>25 Instandhaltung</b>                                  | <b>429</b> |
| <b>25.1</b>   | <b>Grundlegende Begriffe</b>                              | <b>429</b> |
| <b>25.2</b>   | <b>Instandhalten von Systemen im Metall- und Stahlbau</b> | <b>437</b> |
| 25.2.1  | Vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen                      | 437        |
| 25.2.2  | Instandhaltungsvorschriften                               | 439        |
| 25.2.3  | Diagnostik, Fehleranalyse und Dokumentation               | 440        |
| 25.2.4  | Instandhaltung von Arbeitsmitteln                         | 443        |
| <i>Arbeitsauftrag: Instandhaltung einer zweiflügeligen Feuerschutztür</i>         |   | 445        |
| <i>Arbeitsauftrag: Instandhaltung einer Werkzeugmaschine</i>                      |   | 445        |
| <i>Arbeitsauftrag: Instandhaltungsstrategie</i>                                   |   | 445        |
| <i>Arbeitsauftrag: Wartung eines Hoftores mit kraftbetätigten Drehflügeltüren</i> |   | 446        |

## Lernfeldübergreifendes Wissen

|   |  |            |
|---|--|------------|
|  | <b>26 Werkstofftechnik</b>                             | <b>447</b> |
| <b>26.1</b>   | <b>Übersicht der Werkstoffe</b>                        | <b>447</b> |
| <b>26.2</b>   | <b>Auswahl der Werkstoffe nach ihren Eigenschaften</b> | <b>448</b> |
| <b>26.3</b>   | <b>Stähle und Gusseisen</b>                            | <b>450</b> |
| 26.3.1  | Roheisengewinnung und Stahlherstellung                 | 450        |
| 26.3.2  | Verarbeitung zu Stahlerzeugnissen                      | 452        |
| 26.3.3  | Normung der Stahlerzeugnisse (Formnormung)             | 455        |
| 26.3.4  | Kurznamen für Stähle und Stahlguss                     | 457        |
| 26.3.5  | Kurznamen für Gusseisenwerkstoffe                      | 459        |
| 26.3.6  | Alte Kurznamen der Stähle und                          |            |

|  |   |   |   |  |
|--|---|---|---|--|
|  | Gusseisenwerkstoffe   | 460   | <b>26.11 Kunststoffe (Plaste)</b>   | <b>502</b>   |
| 26.3.7   | Werkstoffnummern für Stähle, Gusseisenwerkstoffe und Stahlguss            | 461   | 26.11.1   | Eigenschaften und Verwendung 502   |
| 26.3.8   | Einteilung der Stähle und Gusseisenwerkstoffe                             | 462   | 26.11.2   | Herstellung und innerer Aufbau 502   |
| 26.3.9   | Stähle für den Metallbau und Stahlbau                                     | 463   | 26.11.3   | Technologische Einteilung 503  |
| 26.3.10  | Korrosionsbeständige Stähle (Edelstahl Rostfrei)                          | 465   | 26.11.4   | Thermoplaste 504   |
| 26.3.11  | Stähle für Bleche und Bänder  | 467   | 26.11.5   | Duroplaste 505   |
| 26.3.12  | Maschinenbaustähle  | 468   | 26.11.6   | Elastomere 506   |
| 26.3.13  | Werkzeugstähle  | 469   | 26.11.7   | Sonderanwendungen von Kunststoffen im Metallbau 506                          |
| 26.3.14  | Gusseisenwerkstoffe und Stahlguss   | 470   | 26.11.8   | Weiterverarbeitung der Kunststoff-Erzeugnisse 508                            |
| <b>26.4 Innerer Aufbau der Metalle</b>         | <b>471</b>  | <b>26.12 Verbundwerkstoffe</b>  | <b>509</b>  |  |
| 26.4.1   | Gefüge und kristalline Struktur   | 471   | 26.12.1   | Faserverstärkte Verbundwerkstoffe 509  |
| 26.4.2   | Innerer Aufbau und Eigenschaften  | 471   | 26.12.2   | Teilchenverstärkte Verbundwerkstoffe 510                                     |
| 26.4.3   | Kristallgittertypen der Metalle   | 472   | 26.12.3   | Schicht- und Strukturverbunde 510  |
| 26.4.4   | Entstehung des Metallgefüges  | 472   | <b>26.13 Hilfsstoffe</b>  | <b>511</b>   |
| 26.4.5   | Gefüge reiner Metalle und von Legierungen                                 | 473   | <b>26.14 Glas und Glasbauteile</b>  | <b>513</b>   |
| 26.4.6   | Schmelz- und Erstarrungsverhalten   | 474   | <b>26.15 Werkstoffprüfung</b>   | <b>515</b>   |
| 26.4.7   | Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm und Gefügearten der unlegierten Stähle | 475   | 26.15.1   | Technologische Prüfverfahren 515   |
| <b>26.5 Wärmebehandlung der Stähle</b>         | <b>476</b>  | 26.15.2   | Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy 515  |  |
| 26.5.1   | Glühen  | 476   | 26.15.3   | Härteprüfungen 516   |
| 26.5.2   | Härten  | 477   | 26.15.4   | Zugversuch 517   |
| 26.5.3   | Vergüten  | 480   | 26.15.5   | Zerstörungsfreie Prüfverfahren 518   |
| 26.5.4   | Härten der Randzone   | 480   | 26.15.6   | Metallografische Untersuchungen 519  |
| <b>26.6 Aluminium und Aluminiumlegierungen</b> | <b>482</b>  | <b>26.16 Werkstoffe und Hilfsstoffe – Umwelt- und Gesundheitsschutz</b> | <b>520</b>  |  |
| 26.6.1   | Aluminium-Werkstoffe  | 483   | 26.16.1   | Umgang mit Werk- und Hilfsstoffen 520  |
| 26.6.2   | Handhabung und Bearbeitung von Aluminium-Bauteilen                        | 484   | 26.16.2   | Recycling und Entsorgung in Metallbaubetrieben 521                           |
| 26.6.3   | Fügen von Aluminium-Bauteilen   | 484   | 26.16.3   | Vermeiden von Schadstoffen 522   |
| <b>26.7 Kupfer und Kupferlegierungen</b>       | <b>485</b>  | 26.16.4   | Gesundheitsgefährdende Stoffe im Metallbau 523                                      |  |
| 26.7.1   | Unlegierte Kupferwerkstoffe   | 485   |   |  |
| 26.7.2   | Kupfer-Legierungen  | 486   |   |  |
| <b>26.8 Weitere wichtige Metalle</b>           | <b>488</b>  |   |   |  |
| <b>26.9 Sinterwerkstoffe</b>                   | <b>490</b>  |   |   |  |
| 26.9.1   | Herstellung von Sinterteilen  | 490   |   |  |
| 26.9.2   | Typische Anwendungen  | 490   |   |  |
| 26.9.3   | Hartmetalle   | 491   |   |  |
| <b>26.10 Korrosion und Korrosionsschutz</b>    | <b>492</b>  |   |   |  |
| 26.10.1  | Elektrochemische Korrosion  | 492   |   |  |
| 26.10.2  | Erscheinungsformen der Korrosion  | 493   |   |  |
| 26.10.3  | Korrosion bei hohen Temperaturen  | 494   |   |  |
| 26.10.4  | Einflussfaktoren auf die Korrosion eines Bauteils                         | 494   |   |  |
| 26.10.5  | Auswahl der Werkstoffe nach dem Korrosionsverhalten                       | 495   |   |  |
| 26.10.6  | Korrosionsschutzgerechte Konstruktion                                     | 496   |   |  |
| 26.10.7  | Korrosionsschutz von Stahlbauten  | 497   |   |  |
| 26.10.8  | Vorbereiten der Stahloberfläche   | 497   |   |  |
| 26.10.9  | Korrosionsschutz von Stahlbauteilen durch Feuerverzinken                  | 498   |   |  |
| 26.10.10                                       | Korrosionsschutzbeschichtung von Stahlbauteilen                           | 499   |   |  |
| 26.10.11                                       | Katodischer Korrosionsschutz von Stahlbauteilen                           | 500   |   |  |
| 26.10.12                                       | Korrosionsschutz bei korrosionsbeständigen Stählen                        | 500   |   |  |
| 26.10.13                                       | Korrosionsschutz von Aluminium-Bauteilen                                  | 501   |   |  |
| 26.10.14                                       | Korrosionsschutz bei Maschinen  | 501   |   |  |
|  |   |   |  |  |
|  |   |   | <b>27 Kommunikation und Präsentation</b>  | <b>525</b>   |
|  |   |   | <b>27.1 Kommunikation</b>   | <b>525</b>   |
|  |   |   | 27.1.1  | Kommunikationsebenen 525   |
|  |   |   | 27.1.2  | Kommunikationsarten 525  |
|  |   |   | 27.1.3  | Kommunikationsmodelle 527  |
|  |   |   | 27.1.4  | Probleme in der Kommunikation 527  |
|  |   |   | 27.1.5  | Kommunikationsstrategien 528   |
|  |   |   | 27.1.5.1  | Strategie zur Vermeidung von Konflikten „Aktives Zuhören“ 529                |
|  |   |   | 27.1.5.2  | Strategie zur Beseitigung von bestehenden Konflikten „Metakommunikation“ 529 |
|  |   |   | <b>27.2 Präsentation</b>  | <b>531</b>   |
|  |   |   | <b>Sachwortverzeichnis</b>  | <b>535</b>   |
|  |   |   | <b>Normen und Vorschriften</b>  | <b>556</b>   |
|  |   |   | <b>Informationsquellen/ Anschriftenverzeichnis (Auswahl)</b>                        | <b>559</b>   |
|  |   |   | <b>Bildquellenverzeichnis</b>   | <b>560</b>   |



**27 Kommunikation und Präsentation 525**

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>27.1 Kommunikation</b> | <b>525</b>   |
| 27.1.1                    | Kommunikationsebenen 525   |
| 27.1.2                    | Kommunikationsarten 525  |
| 27.1.3                    | Kommunikationsmodelle 527  |
| 27.1.4                    | Probleme in der Kommunikation 527  |
| 27.1.5                    | Kommunikationsstrategien 528   |
| 27.1.5.1                  | Strategie zur Vermeidung von Konflikten „Aktives Zuhören“ 529                |
| 27.1.5.2                  | Strategie zur Beseitigung von bestehenden Konflikten „Metakommunikation“ 529 |
| <b>27.2 Präsentation</b>  | <b>531</b>   |

**Sachwortverzeichnis 535**

**Normen und Vorschriften 556**

**Informationsquellen/ Anschriftenverzeichnis (Auswahl) 559**

**Bildquellenverzeichnis 560**

# Kurz-Inhaltsverzeichnis englisch

## learning fields: making of sheet pieces, formed parts and sectional steel structures

|          |                                      |           |
|----------|--------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>forming</b>                       | <b>11</b> |
| 1.1      | classification of forming techniques | 11        |
| 1.2      | forging                              | 11        |
| 1.3      | straightening                        | 19        |
| 1.4      | bend forming                         | 22        |
| 1.5      | tensile and compression forming      | 26        |
| 1.6      | joining by forming                   | 26        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>2</b> | <b>machining</b>                                | <b>29</b> |
| 2.1      | tool edge                                       | 29        |
| 2.2      | influencing variables in chip removal processes | 29        |
| 2.3      | drilling  | 30        |
| 2.4      | sawing  | 31        |
| 2.5      | milling   | 32        |
| 2.6      | threading                                       | 33        |
| 2.7      | grinding  | 34        |
| 2.8      | cut-off grinding                                | 39        |
| 2.9      | polishing and brushing                          | 39        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>3</b> | <b>mechanical parting and thermal cutting</b> | <b>41</b> |
| 3.1      | wedge-action cutting                          | 41        |
| 3.2      | shear cutting                                 | 41        |
| 3.3      | thermal cutting                               | 49        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>4</b> | <b>screwed, riveted and clamped joints</b> | <b>55</b> |
| 4.1      | joining processes                          | 55        |
| 4.2      | screwed joints                             | 56        |
| 4.3      | clamping girder joints                     | 67        |
| 4.4      | riveted joints                             | 68        |

|          |                              |           |
|----------|------------------------------|-----------|
| <b>5</b> | <b>self-substance joints</b> | <b>73</b> |
| 5.1      | welding methods              | 73        |
| 5.2      | pressure welding methods     | 96        |
| 5.3      | welded joint                 | 100       |
| 5.4      | weldability of metals        | 104       |
| 5.5      | welding of plastics          | 107       |
| 5.6      | soldering                    | 108       |
| 5.7      | bonding                      | 112       |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>6</b> | <b>electrical machines and devices</b>             | <b>117</b> |
| 6.1      | electric circuit                                   | 117        |
| 6.2      | electromagnetism                                   | 118        |
| 6.3      | electric motors                                    | 122        |
| 6.4      | Protection against the dangers of electric current | 125        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>7</b> | <b>NC technology in metal construction</b> | <b>127</b> |
| 7.1      | work flow in NC technology                 | 127        |
| 7.2      | design of NC machines                      | 128        |
| 7.3      | design characteristics of NC machines      | 130        |
| 7.4      | controller types                           | 132        |
| 7.5      | coordinate systems                         | 132        |
| 7.6      | program structure                          | 133        |
| 7.7      | manual programming                         | 136        |
| 7.8      | machine-aided programming                  | 140        |
| 7.9      | using NC technology in metal construction  | 141        |

## learning field: dismantling and assembling structural modules in the shop

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>8</b> | <b>lifting and moving loads</b>                 | <b>155</b> |
| 8.1      | basic physics                                   | 155        |
| 8.2      | hoists  | 159        |
| 8.3      | industrial trucks                               | 164        |
| 8.4      | fastening loads                                 | 164        |
| 8.5      | safety at work and protection against accidents | 168        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>9</b> | <b>mounting of structural components</b> | <b>169</b> |
| 9.1      | mounting with masonry anchors            | 169        |
| 9.2      | mounting with studs                      | 170        |
| 9.3      | mounting with dowels                     | 171        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>10</b> | <b>assembly, disassembly and disposal</b>  | <b>181</b> |
| 10.1      | shop assembly                              | 181        |
| 10.2      | disassembly                                | 191        |
| 10.3      | avoidance, recycling and disposal of waste | 191        |

## learning field: making of steel and metal structures

|           |                               |            |
|-----------|-------------------------------|------------|
| <b>11</b> | <b>safety on site</b>         | <b>195</b> |
| 11.1      | personal protective equipment | 196        |
| 11.2      | scaffoldings and ladders      | 198        |
| 11.3      | antifall roping               | 200        |
| 11.4      | behavior in the event of fire | 202        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>12</b> | <b>surveying on site</b>                     | <b>203</b> |
| 12.1      | alignment stage                              | 203        |
| 12.2      | length measurement                           | 204        |
| 12.3      | angular measurement                          | 205        |
| 12.4      | determining building heights                 | 205        |
| 12.5      | determining finishing and completion heights | 206        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>13</b> | <b>structural steelwork and roof structures</b> | <b>207</b> |
| 13.1      | structural steelwork classification             | 207        |
| 13.2      | constructional elements                         | 209        |
| 13.3      | types of stress acting in structural components | 211        |
| 13.4      | piers   | 213        |
| 13.5      | girders   | 220        |
| 13.6      | girder connection                               | 235        |
| 13.7      | bracing and guy ropes                           | 244        |
| 13.8      | industrial steel buildings                      | 247        |
| 13.9      | space-enclosing structural elements             | 253        |

## learning field: making of doors, gates and fences

|           |                                  |            |
|-----------|----------------------------------|------------|
| <b>14</b> | <b>doors</b>                     | <b>265</b> |
| 14.1      | revolving folding-door structure | 265        |
| 14.2      | door types and features          | 267        |
| 14.3      | security on automatic doors      | 273        |
| 14.4      | doors with specific functions    | 274        |
| 14.5      | door materials                   | 278        |
| 14.6      | door closer                      | 279        |
| 14.7      | door fittings                    | 281        |
| 14.8      | placing and assembly             | 282        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>15</b> | <b>doors and gates</b>                   | <b>283</b> |
| 15.1      | entrance doors                           | 283        |
| 15.2      | exterior doors                           | 291        |
| 15.3      | safety at power operated/automatic gates | 295        |

|           |                              |            |
|-----------|------------------------------|------------|
| <b>16</b> | <b>locks</b>                 | <b>297</b> |
| 16.1      | types of locks               | 297        |
| 16.2      | design and operating mode    | 298        |
| 16.3      | standard dimensions of locks | 299        |
| 16.4      | door lock safety catch       | 300        |
| 16.5      | master-keyed systems         | 311        |

|           |                          |            |
|-----------|--------------------------|------------|
| <b>17</b> | <b>grills and grates</b> | <b>313</b> |
| 17.1      | articulated grills       | 313        |
| 17.2      | fixed grills             | 313        |
| 17.3      | gratings                 | 314        |

|           |                            |            |
|-----------|----------------------------|------------|
| <b>18</b> | <b>control engineering</b> | <b>319</b> |
| 18.1      | open-loop control          | 319        |
| 18.2      | closed-loop control        | 319        |
| 18.3      | controller types           | 320        |

## learning field: making of windows, façades and glass annexes

|           |                         |            |
|-----------|-------------------------|------------|
| <b>19</b> | <b>building physics</b> | <b>341</b> |
| 19.1      | thermal isolation       | 341        |
| 19.2      | moisture protection     | 351        |
| 19.3      | noise insulation        | 353        |
| 19.4      | fire protection         | 357        |

|           |                                 |            |
|-----------|---------------------------------|------------|
| <b>20</b> | <b>windows</b>                  | <b>359</b> |
| 20.1      | window design and components    | 359        |
| 20.2      | window types and classification | 360        |

|      |                            |     |
|------|----------------------------|-----|
| 20.3 | window fittings            | 366 |
| 20.4 | window manufacture         | 369 |
| 20.5 | window installation        | 371 |
| 20.6 | shop windows and showcases | 376 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>21</b> | <b>façades and glass structures</b>     | <b>377</b> |
| 21.1      | classification and types                | 377        |
| 21.2      | overhead glazing                        | 381        |
| 21.3      | façade drainage                         | 382        |
| 21.4      | façade design, fabrication and assembly | 383        |
| 21.5      | glass annexes                           | 386        |
| 21.6      | sun-shading                             | 388        |

## learning field: making of stairs and balustrades

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>22</b> | <b>stairs</b>                               | <b>395</b> |
| 22.1      | types of stairs                             | 395        |
| 22.2      | construction types of stairs                | 397        |
| 22.3      | tread types                                 | 398        |
| 22.4      | stairway terminology                        | 399        |
| 22.5      | main dimensions of stairs                   | 400        |
| 22.6      | sample design of a stairway                 | 401        |
| 22.7      | turning the steps of a spiral stairway      | 405        |
| 22.8      | marking-out of stringers                    | 408        |
| 22.9      | computer calculation                        | 408        |
| <b>23</b> | <b>balustrades</b>                          | <b>413</b> |
| 23.1      | balustrade design                           | 413        |
| 23.2      | balustrades in and at residential buildings | 414        |
| 23.3      | industrial guard-rail                       | 415        |
| 23.4      | fixing balustrades                          | 416        |
| 23.5      | bending a string wreath                     | 417        |

## learning field: maintenance of structural metal and steel systems

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>24</b> | <b>quality management</b>                            | <b>421</b> |
| 24.1      | tasks of quality management                          | 422        |
| 24.2      | quality management according to DIN EN ISO 9000:2005 | 424        |
| 24.3      | quality management system model                      | 425        |
| 24.4      | quality assurance is not only a matter for the boss! | 426        |
| 24.5      | quality management in welding technology             | 427        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>25</b> | <b>maintenance</b>  | <b>429</b> |
| 25.1      | basic terms   | 429        |
| 25.2      | maintenance of structural systems in metal and steel construction | 437        |

## interdisciplinary knowledge

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>26</b> | <b>materials science</b>                          | <b>447</b> |
| 26.1      | general survey of materials                       | 447        |
| 26.2      | choice of materials depending on their properties | 448        |
| 26.3      | steel and cast iron                               | 450        |
| 26.4      | inner structure of metals                         | 471        |
| 26.5      | heat treatment of steel                           | 476        |
| 26.6      | aluminium and aluminium alloys                    | 482        |
| 26.7      | copper and copper alloys                          | 485        |
| 26.8      | other important metals                            | 488        |
| 26.9      | sintered materials                                | 490        |
| 26.10     | corrosion and corrosion protection                | 492        |
| 26.11     | plastics  | 502        |
| 26.12     | composite materials                               | 509        |
| 26.13     | process materials                                 | 511        |
| 26.14     | glass and glass components                        | 513        |
| 26.15     | material testing                                  | 515        |
| 26.16     | environmental and health protection               | 520        |

|           |                                       |            |
|-----------|---------------------------------------|------------|
| <b>27</b> | <b>communication and presentation</b> | <b>525</b> |
| 27.1      | communication                         | 525        |
| 27.2      | presentation                          | 531        |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| <b>subject index</b> | <b>535</b> |
|----------------------|------------|

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>further reading</b> | <b>556</b> |
|------------------------|------------|

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>image references</b> | <b>560</b> |
|-------------------------|------------|

# 1 Umformen

### Merke

## 1.1 Einteilung der Umformverfahren

## 1.2 Schmieden

### 1.2.1 Technologische Grundlagen

Spannung  $\sigma$

hochfester Stahl

gut verformbarer Stahl

$R_{eH}$

$R_m$

Al-Legierung

Kupfer

elastische Bereiche

Hook'sche Gerade

plastische Bereiche

Zerstörungsbereich

Dehnung  $\epsilon$

Das Diagramm zeigt vier verschiedene mechanische Umformverfahren:

- Zugumformen** (z. B. Tiefen): Ein Zylinder wird durch eine Zugschraube in einer Matrize gezogen. Ein Pfeil zeigt die Zugkraft an.
- Druckumformen** (z. B. Schmieden): Ein Werkstück wird zwischen einem Hammerbär und einem Amboss durch Druck umgeformt. Ein Pfeil zeigt die Druckkraft an.
- Zugdruckumformen** (z. B. Tiefziehen): Ein Zylinder wird in einer Matrize durch eine Zugschraube gezogen, die gleichzeitig Druck ausübt. Ein Pfeil zeigt die Zugkraft an.
- Biegeumformen** (z. B. Gesenkbiegen): Ein Werkstück wird zwischen einem Werkstückhalter und einem Biegegesenk durch Druck umgeformt. Ein Pfeil zeigt die Druckkraft an.

Das Diagramm zeigt die Verformung eines Blechs zwischen einem Hammer (oben) und einem Amboss (unten). Rote Pfeile illustrieren die Bewegungsrichtungen des Materials. Die Verformung ist in drei Zonen unterteilt:

- 1 starke Verformung (und Bewegung)**: Zentrale Zone mit hoher Verformung.
- 2 gleichmäßige (mittlere) Verformung**: Mittlere Zonen mit gleichmäßiger Verformung.
- 3 geringe (gehemmte) Verformung**: Enden des Blechs mit geringer Verformung.

11

## Schmiedbarkeit der Werkstoffe

Fast alle Metalle und Metalllegierungen lassen sich schmieden. Werkstoffe mit großer Festigkeit müssen zur Verbesserung der Bildsamkeit auf eine höhere Temperatur gebracht werden. Besonders gut sind die geeignet, die zwischen der festen und der flüssigen Phase einen großen plastischen Bereich besitzen. Sie haben oft ein kubisch-flächenzentriertes Kristallgitter (S. 472). Es ermöglicht ein besonders gutes Gleiten der Kristalle des Werkstoffs aneinander. Neben Stahl gilt das für Kupfer und Aluminium. Den stärksten Einfluss auf die Schmiedbarkeit von **Stahl** hat der **Kohlenstoffgehalt** (Bild 1).

### Merke

Mit steigendem Kohlenstoffgehalt nimmt die Härte zu, die Dehnbarkeit ab und damit wird der Stahl schlechter schmiedbar.

## Schmiedetemperatur

Die Schmiedbarkeit nimmt mit steigender Temperatur zu. Sie liegt für Stahl innerhalb des Temperaturbereichs, in welchem das Gefüge sein Gitter von kubisch-raumzentriert in kubisch-flächenzentriert gewandelt hat. Beim Stahl hängt dies neben dem Kohlenstoffanteil auch von den anderen Legierungsbestandteilen ab.

Der Schmiedevorgang beginnt bei der **Schmiedeanfangstemperatur** (Tabelle). Die niedrigste mögliche Schmiedetemperatur, die **Schmiedeendtemperatur**, liegt etwas oberhalb der **Rekristallisationstemperatur**. Dort bilden sich wie bei der Wärmebehandlung (s. S. 476 ff.) die durch Kaltverformung verspannten Kristalle eines Werkstoffs neu.

### Merke

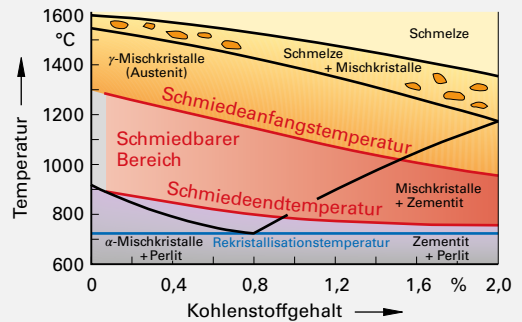
Je geringer der Kohlenstoffgehalt eines Stahls ist, desto höher kann die Schmiedeanfangstemperatur sein und desto größer ist der Temperaturbereich des Schmiedens.

Beim Erwärmen von Stahl lassen sich die Temperaturstufen ziemlich genau an den **Glühfarben** erkennen (nebenstehende Tabelle und Bild 1).

## Vorteile des Schmiedens

Kleine und mittelgroße Schmiedeteile werden aus gewalztem Material hergestellt. Es besitzt eine faserähnliche Gefügestruktur (Textur), wodurch die **Festigkeit** gegenüber dem Gussgefüge erhöht wird (Bild 2). Beim Schmieden bleibt diese **Faserstruktur** grundsätzlich erhalten, das Gefüge wird gleichmäßig feinkörnig und dadurch noch fester. Bei spanenden Verfahren wird durch die Formgebung dieser Faserverlauf unterbrochen und die Festigkeit verringert (Bild 3).

Außerdem erhalten die Werkstücke beim Schmieden annähernd ihre Fertigform, wodurch im Vergleich zum Spanen eine Werkstoffersparnis erreicht wird.



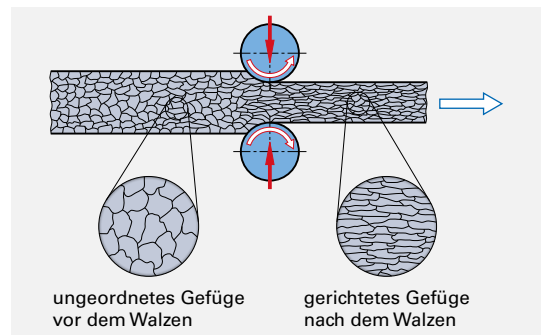
1 Abhängigkeit des Schmiedebereichs bei unlegiertem Stahl vom Kohlenstoffgehalt, dargestellt im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

## Schmiedetemperaturen und Glühfarben

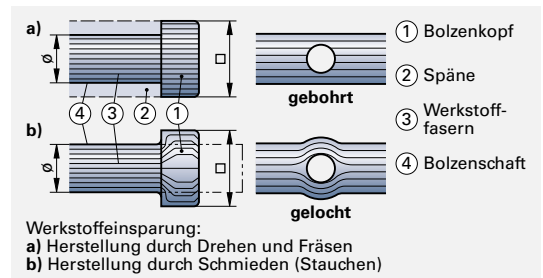
| Werkstoff                 | Anfangs-temperatur | End-temperatur |
|---------------------------|--------------------|----------------|
| Baustahl Fe 360 B         | 1250 °C            | 780 °C         |
| unlegierter Werkzeugstahl | 1000 °C            | 800 °C         |
| Schnellarbeitsstahl       | 1150 °C            | 900 °C         |
| Messing, Kupfer, Bronze   | 700 °C             | 500 °C         |
| Aluminium                 | 500 °C             | 300 °C         |

|               |        |            |         |
|---------------|--------|------------|---------|
| dunkelrot     | 650 °C | gelbrot    | 900 °C  |
| kirschrot     | 750 °C | dunkelgelb | 1050 °C |
| hellkirschrot | 800 °C | hellgelb   | 1150 °C |
| hellrot       | 850 °C | weißgelb   | 1300 °C |



2 Entstehung einer Faserstruktur im Gefüge von vorgewalztem Stabstahl und Knüppeln



3 Vergleich des Walzfaserverlaufs von geschmiedeten und spanend hergestellten Werkstücken

### Erwärmung der Schmiedestücke

Beim Erwärmen dehnt sich der Werkstoff aus und mit steigender Temperatur verringern sich die Zusammenhaltskräfte der Stoffteilchen, das Material wird bildsam (plastisch). Eine „Wärme“ (gelegentlich auch „Hitze“ genannt) ist die zugeführte Energiemenge, die bis zur nächsten Erwärmung die Schmiedbarkeit gewährleistet.

Dünne Bereiche von Schmiedestücken werden schneller warm als dicke. Bei massiven Teilen besteht die Gefahr, dass die Randzonen schon erwärmt sind, während der Kern noch kalt ist. Zu starke Temperaturunterschiede zwischen den Teilen eines Schmiedestücks sind zu vermeiden, um Spannungsrisse zu verhindern.

#### Merke

Schmiedestücke müssen langsam und gleichmäßig erwärmt und gegebenenfalls auch so abgekühlt werden.

Der **Schmiedeherd** mit offenem Feuer ist die einfachste Möglichkeit, Werkstücke auf Schmiedetemperatur zu bringen (**Bild 1**). Verbrannt werden Schmiedekohle, Koks und in besonderen Fällen auch Holzkohle. Oft werden auch gasbefeuerte und damit temperaturgeregelte Öfen genutzt.

#### Merke

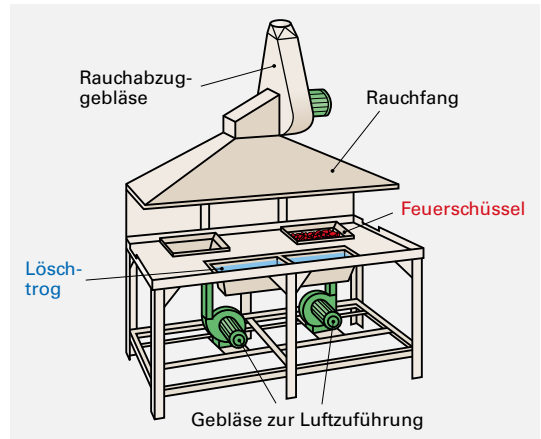
Das Erwärmen des kohlenstoffhaltigen Stahls führt zur **Verzunderung** der Oberfläche.

Der beim Erwärmen des Werkstücks im Feuer entstehende **Abbrand** (Zunder) vermindert das Volumen des Werkstücks.

- Ab 300 °C entsteht eine dünne Anlaufschicht.
- Zwischen 500 °C und 700 °C bildet sich eine dicke, feste Korrosionsschicht, die Zunderschicht (Hammerschlag). Sie bleibt bis 900 °C fest.
- Von 900 °C ... 1000 °C fällt die Zunderschicht ab und entsteht sofort wieder neu.
- Ab ungefähr 1200 °C verbrennt der Stahl.
- Beim Überhitzen oder zu langem Erwärmen des Stahls vergrößert sich das Gefüge.

### Maschinen zum Schmieden

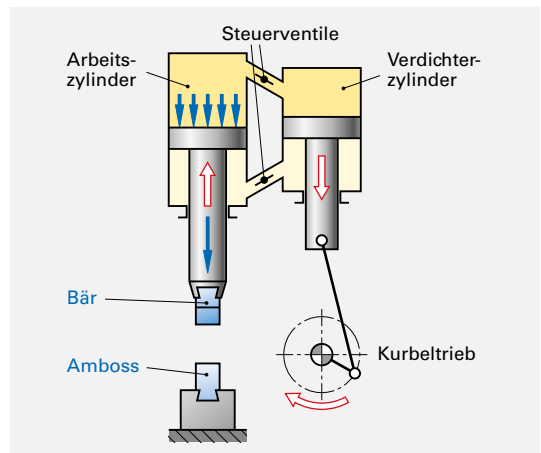
Schmiedepressen oder **Maschinenhämmer** (**Bild 2**) ersetzen die Muskelkraft. Der Hammer wird hier **Bär** genannt. Seine Masse beginnt bei ca. 30 kg. Die Kraft des Bären entsteht durch die Fallbeschleunigung. Zusätzliche Kräfte auf den Bären werden durch pneumatische und für besonders leistungsfähige Maschinen durch hydraulische Systeme eingebracht. Dadurch können die erforderliche Schlagkraft sowie die Hubzahl genau eingestellt werden. Beim **Lufthammer** wird der Kolben des Verdichters durch einen Motor über einen Kurbeltrieb auf und ab bewegt (**Bild 3**). Dabei wird der Bär gehoben oder die Luft verdichtet. Durch Wegeventile wird die Bewegung des Bären gesteuert.



1 Doppel-Schmiedeherd



2 Luft-Schmiedehammer



3 Prinzipdarstellung eines Lufthammers

**Kunstschmiedemaschinen und Profilwalzen (Bild 1 und Bild 2)** dienen zum Fertigen bestimmter Formen, wie z. B. Oberflächenstrukturen oder Stabenden (Bild 3).

## 1.2.2 Schmiedeverfahren

Neben den Umformverfahren benutzt der Schmied auch solche, die zu anderen Hauptgruppen der Fertigungsverfahren gehören (z. B. Abschroten zum „Trennen“ oder Feuerschweißen zum „Fügen“).

Die Vielseitigkeit der Formen beim **Freiformschmieden** im Vergleich zum Gesenkschmieden bedingt, dass eine scharfe Trennung der einzelnen Verfahren während der Fertigung eines Werkstücks nicht sinnvoll ist.

Grundsätzlich bestimmt die Hammerführung und die verwendete Seite des Hammerkopfes die Wirkung. Die Eindringtiefe der **Hammerbahn** ist gering. Die Aufschlagkraft des Hammers verteilt sich als Druck auf die gesamte getroffene Fläche. Es entsteht Flächenpressung und der Werkstoff fließt gleichmäßig nach allen Seiten (Bild 4).

Beim Schlag mit der **Hammerfinne** sind die Flächenpressung und die Eindringtiefe größer. Der Werkstoff fließt vorwiegend nach zwei Seiten (Bild 4). Werden die Schläge aneinandergereiht, vergrößert sich die Länge des Werkstücks.

Beim **Strecken** eines Werkstücks wird vor allem die Länge vergrößert und die Höhe verringert. Neben der Hammerfinne können auch die Ambosskante und der **Kehlhammer** zum Strecken benutzt werden (Bild 5).

### Breiten

Der Werkstoff wird quer zur Richtung der Walzfaser vorangetrieben, die Höhe des Werkstücks nimmt ab (Bild 6).

### Spitzen

Der Querschnitt verringert sich gleichmäßig von allen Seiten bis zu einer Spitze (Bild 1, Seite 15).

### Absetzen

Beim Absetzen wird ein Teil der Oberfläche heruntergeschmiedet, sodass am Werkstück ein Absatz entsteht. Vor dem Absetzen wird die Übergangsstelle eingekehlt (Bild 2, Seite 15).

### Stachen

Beim Stachen eines Werkstücks wird der Querschnitt vergrößert und die Länge verringert. Häufig werden Wülste angestacht (Bild 3, Seite 15).

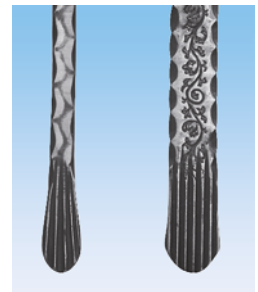
Gestacht werden größere Werkstücke auf dem Stauchamboss, der etwas tiefer liegt als die Ambossbahn. Aus Sicherheitsgründen steht dann der Schmied so, dass sich der Amboss zwischen ihm und dem Stauchamboss befindet. Seitlich steht der Zuschläger.



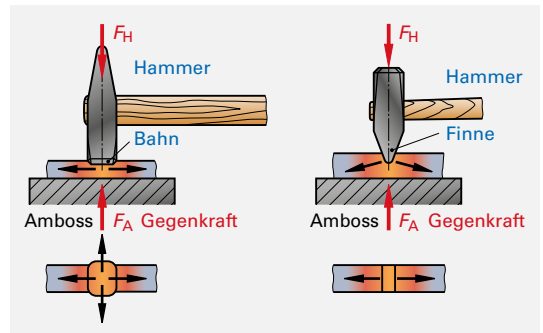
1 Schmiedegerät für Stabenden



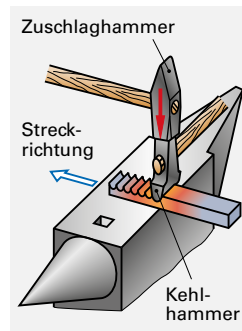
2 Profilwalzen für angeschmiedete Stabenden



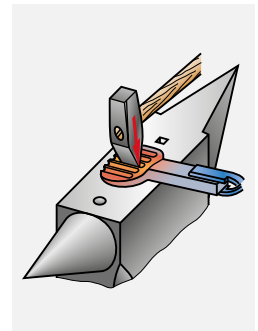
3 angeschmiedete Stabenden und geprägte Oberflächen



4 Wirkung von Hammerbahn und -finne



5 Strecken



6 Breiten

## Kehlen

Damit werden Kerben und rinnenartige Vertiefungen im Werkstück hergestellt. Es kann entweder einseitig mit dem **Kehlhammer** alleine oder zweiseitig mit einem zusätzlichen Kehlschrot gearbeitet werden. Beim Kunstschmieden dient Kehlen auch dem Verzieren (**Bild 4**).

## Abschroten

Dieses Schmiedeverfahren wird zum Abtrennen von Teilen des Werkstücks angewandt. Neben dem **Schrothammer** wird der in den Amboss einsteckbare **Abschrot** verwendet (**Bild 5**). Beim einschneidigen Abschroten von kleinen Teilen wird nur eines dieser Werkzeuge benutzt.

## Spalten

Hiermit trennt man Schmiedestücke vom Ende her in Längsrichtung auf (**Bild 6**). Bei Kunstschmiedearbeiten wird häufig gespalten. Auch Widerhaken an Mauerankern werden durch Spalten geformt. Als Werkzeug dient der **Schlitzhammer**, der auch beim **Schlitzsen** (**Bild 7b**) verwendet wird.

## Lochen

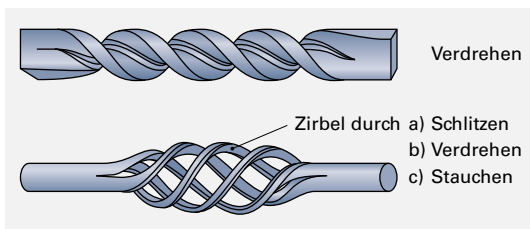
Dadurch werden beliebig geformte Durchbrüche, meist runde Löcher, in Schmiedestücke eingeformt. Als Werkzeuge dienen **Lochhämmer** und **Dorne** mit verschiedenen geformten Querschnitten (**Bild 7**). Vorgearbeitet wird mit dem Schlitzhammer. Das Fertiglochen mit dem Dorn geschieht häufig auf der Lochplatte.

## Torsieren

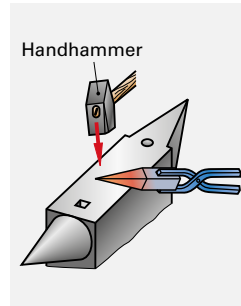
Es ist die am meisten verbreitete Methode zur Verzierung von Stäben (**Bild 8**). Zum Verdrehen von Stäben um ihre Längsachse müssen diese in erwärmtem Zustand an einem Ende eingespannt werden. Als Werkzeuge zum Verdrehen dienen Dreh- oder Torsiereisen.

## Feuerschweißen

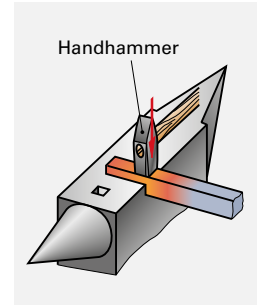
Zuerst müssen möglichst große Flächen an der Verbindungsstelle geschaffen werden. Dann werden die Teile auf eine Temperatur knapp unterhalb des Schmelzpunktes erwärmt, mit Flussmittel (Sand) von Oxiden befreit und durch Hammerschläge zusammengepresst. Dadurch verschweißen die Teile miteinander.



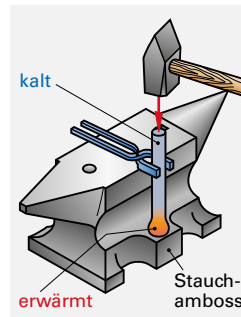
8 Torsieren



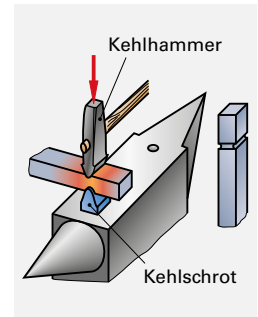
1 Spitzen



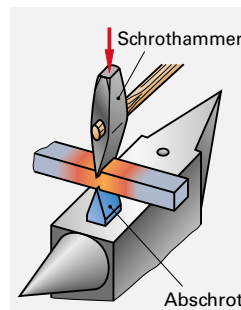
2 Absetzen



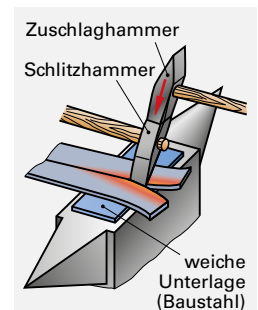
3 Stauchen



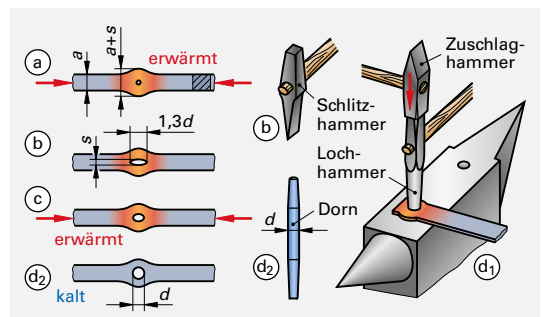
4 Kehlen



5 Abschroten



6 Spalten



7 Lochen mit Dorn und Schlitzhammer a) Körnen und Stauchen, b) Schlitzsen, c) Vorlochen und Stauchen, d) Fertiglochen

## Gesenkschmieden

### Merke

Beim Gesenkschmieden sind die Formen der Fertigteile negativ in den Werkzeugen enthalten. Der Werkstoff kann sich nur innerhalb der Wirkflächen bewegen.

Gesenkschmieden ist ein Verfahren der industriellen Massenfertigung. Beim Schmieden von Hand in der Werkstatt gibt es nur wenige **Hilfsgesenke** mit entsprechenden Hämmern, in denen einfache Formen schneller und genauer geschmiedet werden können als durch das auf den vorigen Seiten beschriebene Freiformschmieden (**Bild 1** und **Bild 2**).

### 1.2.3 Werkzeuge zum Schmieden

Der **Amboss** verfügt durch seine große Masse über eine hohe Trägheit, d. h. er nimmt die Hammerschläge auf, ohne sich zu bewegen. Er übt somit die **Gegenkraft** aus. Die Ambossbahn ist gehärtet und mit dem Ambosskörper verbunden (**Bild 3**). Die Löcher auf der Bahn dienen der Aufnahme von **Hilfswerkzeugen** (**Bild 4**).

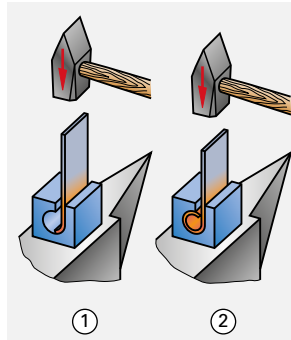
**Schmiedehämmer** haben eine leicht gewölbte Bahn und eine abgerundete Finne. **Handhämmer** werden einhändig geführt. Ihre Masse beträgt 1 kg bis 2 kg (**Bild 5**).

**Zuschlaghämmer** werden beidhändig geführt. Sie haben die Masse von 3 kg bis 15 kg. Ihre Form entspricht dem Handhammer oder wird als Kreuzschlaghammer (Finne in Stielrichtung) gestaltet. **Hilfshämmer** (**Bild 6**, Seite 15) werden vom „**Vorschmied**“ gehalten und vom „**Zuschläger**“ vorgetrieben. Ihre Stiele sitzen lose, um Prellschläge zu vermeiden.

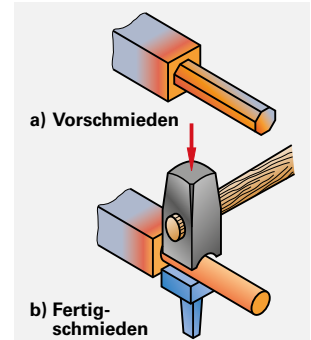
Kleine Schmiedestücke lassen sich nur mit **Zangen** sicher halten. Deshalb muss für die verschiedenen Formen der Werkstücke die geeignete Zange vorhanden sein (**Bild 6**). Um die Hand nicht zu ermüden, kann ein Spannring über die Schenkel der Zange geschoben werden.

Zu den Werkzeugen des Schmiedens gehört auch ein geschmiedeter **Schraubstock**, der stabiler ist als der gegossene des Mechanikers.

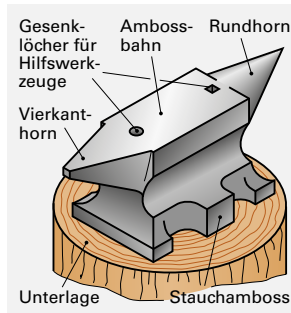
Ein spezielles Prüfmittel ist die **Schmiedelehre** (**Bild 7**). Da die erforderliche Genauigkeit beim Freiformschmieden von Hand gering ist, genügt für andere Längenmaße die Übertragung durch den Taster oder ein Stahl-Bandmaß.



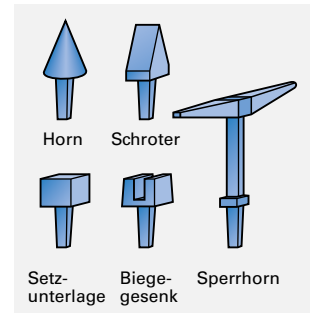
1 Einrollen eines Gelenkauges für ein Torband im Gesenk



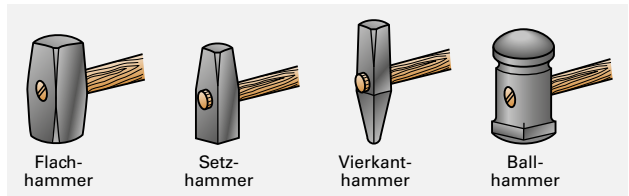
2 Schmieden eines Rundzapfens im Gesenk



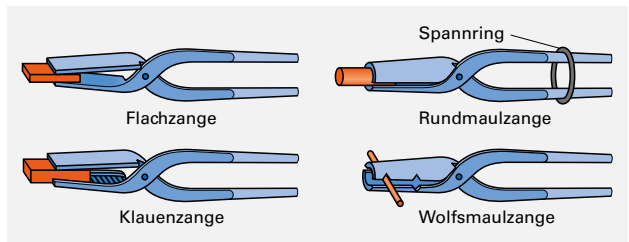
3 Amboss



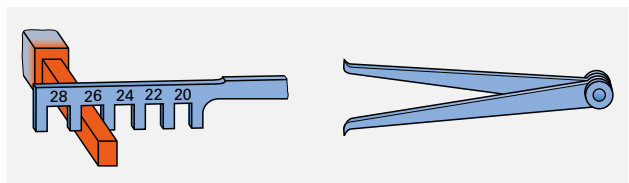
4 Hilfswerkzeuge zum Amboss



5 Schmiedehämmer (kleine Auswahl)



6 Zangen (kleine Auswahl)



7 Schmiedelehre und Taster



### 1.2.4 Kunstschmieden und Gestaltung

An vielen historischen Erzeugnissen des Schmiedehandwerks ist erkennbar, dass bei ihrer Gestaltung nicht nur der Gesichtspunkt der Zweckmäßigkeit entscheidend war. Oft wird auch ein ästhetischer Gestaltungswille deutlich, in dem der vom jeweiligen Stil der Zeit geprägte Sinn für Schönheit zum Ausdruck kommt. Neben rein technisch-funktional bestimmten Werkstücken, wie z. B. Mauerankern oder Torbeschlägen, muss der Metallbauer häufig auch Arbeiten ausführen, die neben der Beherrschung der traditionellen Schmiedetechnik ein gewisses Gestaltungsvermögen voraussetzen.

#### Merke

Metallgestaltung ist das Verarbeiten von Stahl und anderen schmiedbaren Metallen durch Metallbauer und Schmiede unter hauptsächlich künstlerisch-gestalterischen Gesichtspunkten.

Dazu gehört z. B. die Fertigung von Gittern, Geländern und Toren, aber auch die Anfertigung von Grabzeichen, Beschlägen und verschiedenen Geräten.

Sollen diese Arbeiten vom Entwurf bis zur Aufstellung individuell und nur in Handarbeit ausgeführt werden, wie es dem traditionellen Selbstverständnis der Kunstschmiede entspricht, so erfordert dies viel Zeit und die Stücke werden sehr teuer. Sie erfüllen dann meistens repräsentative Funktionen oder entstehen bei der Wiederherstellung historischer Gebäude oder Anlagen (**Bild 1**).

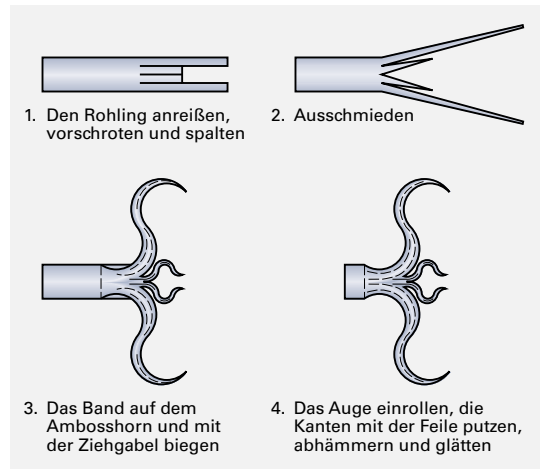
Um die Wünsche nach künstlerischer Ausgestaltung von z. B. Geländern in Wohnhäusern zu erschwinglichen Preisen zu erfüllen, bieten Industriebetriebe eine große Auswahl von Einzelteilen und ganzen Baugruppen an. Sie sehen wie traditionelle Kunst-Schmiedearbeiten aus, werden aber maschinell gefertigt und können vom Metallbauer mit einfachen Techniken montiert werden (**Bild 2**). Auch hier sollte sich die Auswahl der Elemente am Stil der Gesamtanlage orientieren. Selbst die Einzelarbeit eines Kunstschmieds ist als Kundenwunsch abgestimmt (**Bild 3**). Ein Auftrag ohne gestalterische Vorgaben, eine sogenannte „freie Arbeit“ wie z. B. die Fertigung eines Grabkreuzes, muss im Ergebnis ebenso in das Gesamtbild passen.

#### Merke

Die bei der Metallgestaltung gewählten Formen gehören zum künstlerischen Stil bestimmter Epochen und sollten zum Bauwerk passen.

**Einflüsse auf die Gestaltung** haben außerdem:

- die Umgebung, deren Teil das Schmiedestück ist;
- der mögliche finanzielle und zeitliche Aufwand;
- die Fähigkeiten des Schmiedes, seine Arbeitsverfahren und Einrichtungen;
- die Bau- und Sicherheitsvorschriften.



1 Schmieden eines Zierbandes



2 Industrielle Schmiedeteile



3 Bogen mit Geschäftshinweis

## Gestaltungselemente

Einzelne Bauteile an Gittern und ähnlichen Schmiedeerzeugnissen kehren immer wieder und prägen damit das Gesamtbild der Anlage.

**Bunde** waren ursprünglich reine Befestigungselemente, dienen jetzt aber meist zur Zierde. Bundprofile werden aus Flach- oder Rundstahl in Gesenken geschmiedet. Mithilfe des Bundschließers werden sie nach erfolgter Montage der Gitterstäbe dauerhaft geschlossen (Bild 1).

**Rosetten** dienen zur Bildung von ornamental aufgelockerten Flächen. Kennzeichnend ist ein Zierriet in der Mitte. Durch Kehlen, Stauchen und Hämmern wird die Fläche gestaltet (Bild 2).

**Stabkreuzungen** stabilisieren das Gitter, können ihm aber gleichzeitig eine stilistische Ausprägung geben (z. B. symmetrisch oder asymmetrisch). Die Stäbe können übereinanderlaufen oder werden durchgesteckt wie in Bild 3.

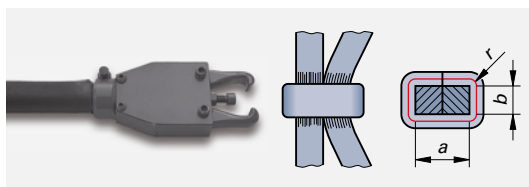
**Stabenden** werden besonders bei Zäunen genutzt, um die Oberkante zu betonen, aber auch, um unbefugtes Übersteigen zu erschweren (Bild 3).

## Stilepochen

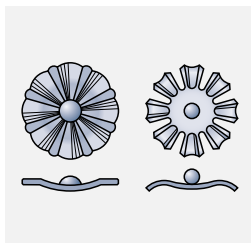
Die charakteristischen Gestaltungselemente der einzelnen Stilepochen sind vor allem bei Restaurierungsarbeiten zu beachten. Die mittelalterlichen Stile **Romanik** (1000-1250) und **Gotik** (1200-1500) greifen vielfach auf Naturformen zurück (Bild 4). Der **Renaissancestil** (1500-1650) greift antike Formen auf, während der **Barock** (1650-1750) und das **Rokoko** (1725-1780) üppiges bzw. verschnörkeltes Rankenwerk vorziehen (Bild 5). Der **Klassizismus** (1779-1850) lehnt an den griechischen Tempelbau an (Bild 6). Der **Historismus** (1850-1900) ist ein „Best of“ vergangener Stile und wurde vom **Jugendstil** (um 1900) mit seinen gebogenen Linien abgelöst (Bild 7). In der **Moderne** (seit 1900) gibt es keinen einheitlichen Stil mehr. Von der freien Gestaltung bis zu streng geometrischen Formen reicht die Skala der Möglichkeiten (Bild 8).

### Überprüfen Sie Ihre Kenntnisse

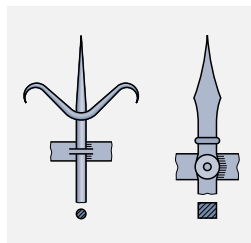
- 1 Beschreiben Sie die Eigenschaft Schmiedbarkeit.
- 2 Welche Metalle sind gut schmiedbar und warum?
- 3 Warum ist ein großer Abstand zwischen Anfangs- und Endtemperatur beim Schmieden vorteilhaft?
- 4 Warum ist Gusseisen nicht schmiedbar?
- 5 Beschreiben Sie vier Schmiedeverfahren und die dazugehörigen Werkzeuge.
- 6 Unterscheiden Sie die Arbeit eines Schmiedes von der eines Metallbauers bei der Fertigung eines Gitters.
- 7 Erläutern Sie anhand der Stabenden von Bild 3 die erkennbaren Arbeitstechniken und ihre Abfolge.



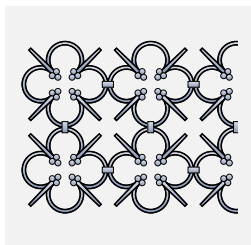
1 Bundschließer und Bund



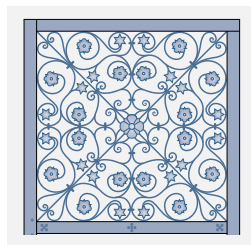
2 Beispiele für Rosetten



3 Stabkreuzungen und -enden



4 Gotisches Gitter



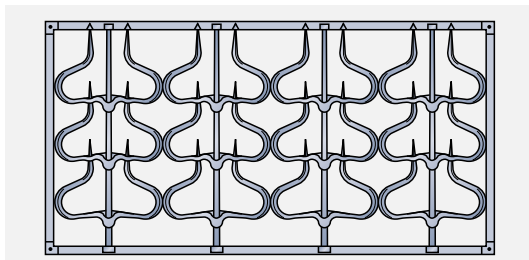
5 Barockes Schmuckgitter



6 Klassizismus-Gitter



7 Jugendstil-Gitter



8 Gitter in moderner Gestaltung

### 1.3 Richten

Halbzeuge wie Rohre, Bleche oder Profilstähle sind oft verzogen, gewellt oder ausgebeult. Ursache der Verformung sind die ungleichmäßige Abkühlung nach dem Warmwalzen oder ein unsachgemäßer Transport. Auch die Schweißspannungen bei fertigen Werkstücken bewirken unerwünschte Verformungen. Vor der Weiterverarbeitung müssen Flächen und Kanten wieder gerade und eben gerichtet werden.

#### Merke

**Richten** ist das Beseitigen unerwünschter Verformungen, die durch mechanische Beanspruchungen oder Wärme- einwirkung an Halbzeugen oder Bauteilen entstanden sind.

#### 1.3.1 Kaltrichten

Der Richteffect entsteht durch das Strecken kurzer sowie das Stauchen langer Partien. Voraussetzung für den Einsatz dieses Verfahrens ist die Zugänglichkeit an der zu richtenden Stelle sowie die Eignung des Werkstoffes.

#### Merke

Das Kaltrichten erfolgt ohne Erwärmung mithilfe äußerer Kräfte.

Das Gerade-Richten eines verbogenen Winkelprofils wird durch Streckung des Materials erreicht (**Bild 2**). Deshalb muss hier durch sorgfältig geführte Hammerschläge mit der Hammerfinne der Werkstoff auf der konkaven Seite gestreckt werden, bis die Krümmung beseitigt ist und der Profilstahl wieder seine ordnungsgemäße gerade Form erhalten hat.

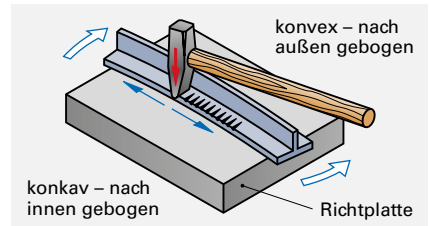
Beim Flachstahl dagegen geschieht das Richten durch Schläge mit der Bahn des Hammers auf die konvex gewölbte Seite, die zur Streckung der gegenüberliegenden konkaven Seite führt (**Bild 3**). Das Richten stärkerer Stäbe oder Profile kann auch durch den Druck der Biegebeilagen im Schraubstock geschehen. Auch verbogene dünnere Rohre lassen sich im Schraubstock gerade biegen (**Bild 4a**). Verzogene Stahlstäbe müssen vorher noch mithilfe einer Ziehgabel oder größerer Werkzeuge gedreht werden (**Bild 4b**).

**Richten von Blech** kann in der Werkstatt auf der Richtplatte durch gezieltes örtliches Strecken und Stauchen erfolgen (**Bild 1**).

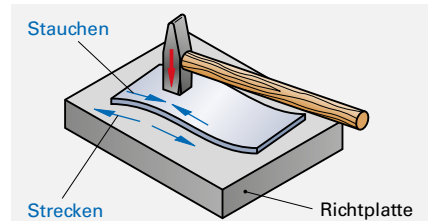
**Richten mit Maschinen** ist bei größeren Abmessungen der Werkstücke nötig. Diese werden auf speziellen Pressen meist hydraulisch über die Verformungsrichtung hinaus gebogen (**Bild 5**). Größere und dickere Bleche oder Stäbe werden durch Walzen auf Rollenrichtmaschinen in den planan Zustand zurückversetzt (**Bild 6**).



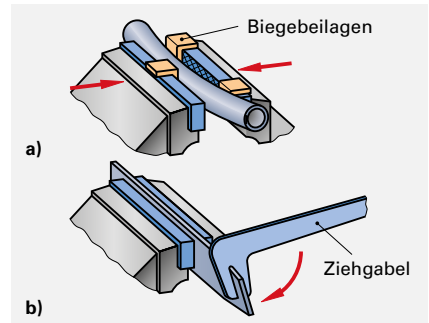
1 Richten von Blech



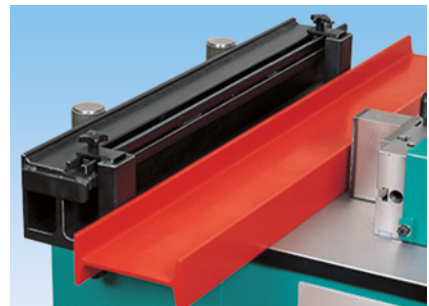
2 Richten durch Strecken



3 Richten von verbogenem Flachstahl



4 Richten im Schraubstock



5 Richten mit Richtbalken



6 Doppelrichtapparat mit einzeln anstellbaren Richtrollen

## 1.3.2 Warmrichten

Metalle dehnen sich beim Erwärmen aus. Wird die Wärmeausdehnung gezielt behindert, entstehen Schrumpfspannungen, die das Teil in gewünschter Weise verziehen können.

### Merke

Beim Warmrichten werden durch örtliche Erwärmung Schrumpfspannungen erzeugt, um ein Bauteil zu richten.

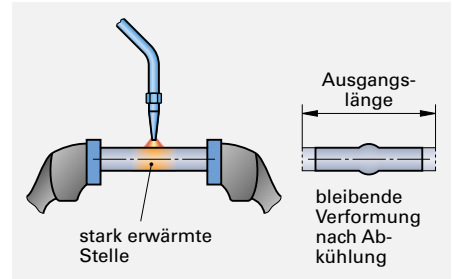
Aus der Wärmelehre ist bekannt, dass jedes Metall eine bestimmte Wärmeausdehnungszahl besitzt. 1 m unlegierter oder nichtrostender ferritischer Stahl dehnt sich je Grad Temperaturerhöhung um 0,012 mm aus, nichtrostender austenitischer Stahl dehnt sich sogar 1,5 mal so stark aus. Bei Behinderung dieser Ausdehnung entstehen beträchtliche Kräfte, die das Bauteil verziehen oder auch stauchen können, wie folgender **Versuch** zeigt (**Bild 1**). Ein Stahlstab wird zwischen zwei Schraubstockbacken fest eingespannt und dann in der Mitte auf 700 °C erwärmt. Da die Wärmeausdehnung durch die Schraubstockbacken behindert wird, staucht sich der Stab. Lässt man ihn anschließend abkühlen, zieht er sich zusammen und fällt aus dem Schraubstock heraus.

Der in diesem Versuch beobachtete Effekt ist auch die Grundlage des **Flammrichtens** (**Bild 2** und **Bild 3**). Verbogene Profile werden durch das Setzen eines oder mehrerer **Wärmekeile** gerade gerichtet. Die Basis des dreieckigen Keils muss an der äußeren, langen Seite der stärksten Krümmung, also außerhalb der Neutralen Faser, liegen. Begonnen wird mit der Erwärmung an der Spitze. Während der Erwärmung führt die Ausdehnung des Metalls zuerst zu einer noch stärkeren Krümmung des Profils. Ist der Werkstoff innerhalb des Keils durch Verlust der Festigkeit weich geworden, staucht die im Werkstück entstandene Spannung das stark erwärmte Gebiet zusammen. Nach der einsetzenden Abkühlung und anschließenden Verfestigung des Werkstoffs im Keil zieht dieser sich zusammen und verkürzt die lange Seite des Werkstücks. Die Größe und Anzahl der Wärmekeile wird so gewählt, dass die Krümmung gerade beseitigt wird.

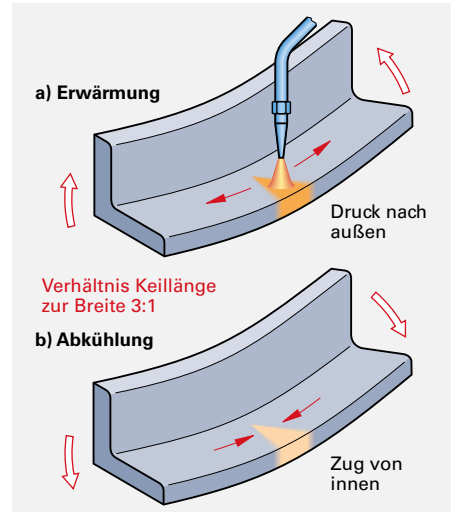
### Diese Regeln sollten beachtet werden:

- Nichtrostenden Stahl vorher entfetten, Brenner mit leichtem O<sub>2</sub>-Überschuss gegen Aufkohlung einstellen;
- Flammrichtfigur mit Kreide anzeichnen;
- **Behinderung der Wärmeausdehnung** durch Festspannen mit Zwingen oder schweren Gewichten;
- Brennergröße: 2,5 bis 3 mal Blechdicke, Cr-Ni-Stahl etwa eine Größe kleiner, Aluminium eine Größe mehr als bei unlegiertem Stahl wählen;
- Nichtrostende Rohre innen mit H<sub>2</sub> formieren;
- feuerverzinkten Stahl mit Flussmittel FH 10 abdecken und höchstens auf 700 °C erwärmen;
- örtlich scharf abgegrenzt und schnell von innen her (**Bild 3**) dunkelrot erwärmen, dann schnell abkühlen;
- Anlauffarben bei Cr-Ni-Stahl anschließend abbeizen;
- Grauguss ist nicht flammrichtbar.

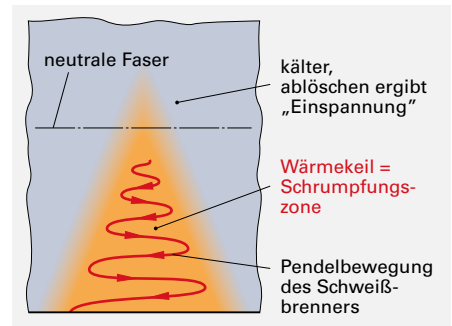
**Wärmepunkte** genügen, um kleine unerwünschte Dellen zu beseitigen. Je größer die Punkte sind, desto stärker ist ihre Wirkung (**Bild 4**).



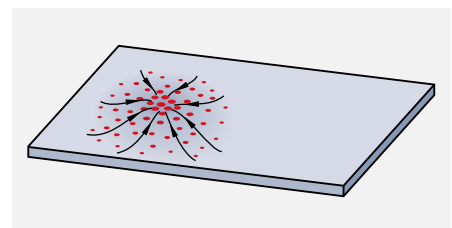
1 Versuch zur Wärmedehnung



2 Richten eines verbogenen Winkelstahls mit einem Wärmekeil



3 Setzen eines Wärmekeils



4 Wirkung von Wärmepunkten und Wärmeovalen