



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Metallberufe

# **METALLBAUTECHNIK**

## **Fachbildung** nach Lernfeldern

**9. 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

Ignatowitz, Eckhard	Dr. Ing., Studienrat	Waldbronn
Kluge, Manfred	Dipl.-Ing., Oberstudiendirektor	Schorndorf
Lämmelin, Gerhard	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Neustadt/Weinstraße
Noack, Sven	Dipl.-Ing.	Hamburg
Pahl, Hans-J.	Dipl.-Ing., Oberstudienrat	Hamburg
Thiele, Eckhard	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Wildau
Steinmüller, Armin	Dipl.-Ing.	Hamburg
Weinstock, Hans-Martin	Dipl.-Ing., Oberstudienrat	Heilbronn

Lektor und Leiter des Arbeitskreises:  
Gerhard Lämmelin

Autoren und Lektor danken Herrn Erwin Aldinger für die Mitarbeit an der 1. und 2., Herrn Michael Gressmann für die Mitarbeit an der 3. Auflage sowie Herrn Baumann für die Mitarbeit bis zur 4. Auflage und Frau Jaschinski bis zur 7. Auflage dieses Buches. Ein besonderer Dank gilt Herrn Steinmüller für die Leitung des Arbeitskreises bis zur 4. Auflage.

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

9. Auflage 2017, korrigierter Nachdruck 2018

Druck 5 4 3 2

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 978-3-8085-1425-2

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

© 2017 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 Creativ KG, 42653 Solingen

Umschlagfoto: SAAGE, Nettetel-Leuth, „SAAGE TREPPEN, [www.saage.com](http://www.saage.com)“

Druck: M. P. Media-Print Informationstechnologie 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 **9. Auflage** wurde den zwischenzeitlich erfolgten, umfangreichen Änderungen im Normenwerk Rechnung getragen. Darüberhinaus wurden die Kapitel „Umformen“, „Stoffschlüssige Verbindungen“, „Heben und Bewegen vom Lasten“, „Fenster“ und „Steuern und Regeln“ 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 Fachstoffthemen 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).

Frühjahr 2017

Autoren und Verlag

Inhaltsverzeichnis	4 ... 9
Kurzinhaltsverzeichnis englisch	10

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

1	Umformen	11 ... 30
2	Spanen	31 ... 42
3	Mechanisches Zerteilen und thermisches Trennen	43 ... 56
4	Schraub-, Niet- und Klemmverbindungen	57 ... 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

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

### Lernfeld: Herstellen von Stahl- und Metallbaukonstruktionen

11	Sicherheit am Bau	195 ... 200
12	Vermessungsarbeiten am Bau	201 ... 204
13	Stahlbau und Dachkonstruktionen	205 ... 260

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

14	Türen	263 ... 280
15	Tore	281 ... 292
16	Schlösser	293 ... 308
17	Gitter und Roste	309 ... 314
18	Steuern und Regeln	315 ... 334

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

19	Bauphysikalische Grundlagen	337 ... 354
20	Fenster	355 ... 372
21	Fassaden- und Glaskonstruktionen	373 ... 388

### Lernfeld: Herstellen von Treppen und Geländern

22	Treppen	391 ... 408
23	Geländer	409 ... 413

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

24	Qualitätsmanagement	417 ... 422
25	Instandhaltung	423 ... 438

### Lernfeldübergreifendes Wissen

26	Werkstoffe	441 ... 518
27	Kommunikation und Präsentation	519 ... 528

# Inhaltsverzeichnis

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

<b>1</b>	<b>Umformen</b>	<b>11</b>
<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
<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	27
1.6.3	Blindnieten	28
1.6.4	Fügeverfahren mit Funktionselementen	29
<b>2</b>	<b>Spanen</b>	<b>31</b>
<b>2.1</b>	<b>Werkzeugschneide</b>	<b>31</b>
<b>2.2</b>	<b>Einflussgrößen der Zerspanung</b>	<b>31</b>
<b>2.3</b>	<b>Bohren</b>	<b>32</b>
<b>2.4</b>	<b>Sägen</b>	<b>33</b>
<b>2.5</b>	<b>Fräsen</b>	<b>34</b>
<b>2.6</b>	<b>Herstellung von Gewinden</b>	<b>35</b>
2.6.1	Schneiden von Außengewinden	35
2.6.2	Bohren von Innengewinden	35
<b>2.7</b>	<b>Schleifen und Feinbearbeitungsverfahren</b>	<b>36</b>
2.7.1	Spanungsvorgang	36
2.7.2	Schleifwerkzeuge	36
2.7.3	Arbeit mit Schleifwerkzeugen	38
2.7.4	Schleifverfahren und Schleifmaschinen	39
<b>2.8</b>	<b>Trennschleifen</b>	<b>41</b>
<b>2.9</b>	<b>Polieren und Bürsten</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>Mechanisches Zerteilen und Thermisches Trennen</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Keilschneiden</b>	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Scherschneiden</b>	<b>43</b>
3.2.1	Prinzip des Scherschneidens	43
3.2.2	Offen-Schneiden	45
3.2.3	Geschlossen-Schneiden	49
<b>3.3</b>	<b>Thermisches Trennen</b>	<b>51</b>
3.3.1	Autogenes Brennschneiden	51
3.3.2	Schmelzschneiden	53
3.3.3	Laserstrahlschneiden	54

<b>4</b>	<b>Schraub-, Niet- und Klemmverbindungen</b>	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Fügeverfahren im Metall- und Stahlbau (Übersicht)</b>	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Schraubverbindungen</b>	<b>58</b>
4.2.1	Schraubenbezeichnung	58
4.2.2	Handelsformen und Verwendung der Schrauben	59
4.2.3	Muttern	61
4.2.4	Unterlegscheiben	61
4.2.5	Selbsthemmung von Gewinden	61
4.2.6	Spannschlösser	62
4.2.7	Schraubensicherungen	62
4.2.8	HV-Schrauben	64
4.2.9	Vorteile von Schraubverbindungen im Stahlbau	64
4.2.10	Schraubenabstände	65
4.2.11	Scher-Lochleibungs-Schraubverbindung (SL-Verbindung)	65
4.2.12	Gleitfest vorgespannte Verbindung (GV-Verbindung)	67
4.2.13	Korrosionsschutz der Schraubverbindungen	68
<b>4.3</b>	<b>Trägerklemmverbindungen</b>	<b>69</b>
<b>4.4</b>	<b>Nietverbindungen</b>	<b>70</b>
4.4.1	Warmnietung	70
4.4.2	Kaltnietung	70
4.4.3	Blindniete	71
	<i>Projekt: Windverband aus S235 JR</i>	72
<b>5</b>	<b>Stoffschlüssige Verbindungen</b>	<b>73</b>
<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	Hybridschweißen	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
<b>5.4</b>	<b>Schweißbarkeit von Metallwerkstoffen</b>	<b>103</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

# Inhaltsverzeichnis

5.4	Vorbehandlung der Klebeflächen	115	7.9.5	CNC-gesteuertes Biegen von Rohren	145
5.7.5	Gestaltungsregeln für Klebeverbindungen	115	7.9.6	Stanzen und Nibbeln mit NC-Maschinen	146
5.7.6	Verarbeitung der Klebstoffe	115	7.9.7	Komplettbearbeitung von Profilen	148
5.7.7	Vor- und Nachteile von Klebeverbindungen	116	Arbeitsauftrag: Herstellen eines Schüttgutbehälters		149
6 Elektrische Maschinen und Anlagen 117			Arbeitsauftrag: Bau einer Wetterschutzhutze 151		
			Arbeitsauftrag: Bau und Montage eines geschmiedeten Gitters 153		
6.1	Elektrischer Stromkreis	117	Lernfeld: Demontieren und Montieren von Baugruppen		
6.2	Elektromagnetismus	118			
6.2.1	Elektromagnetische Induktion	118			
6.2.2	Wechselstromgenerator	119			
6.2.3	Transformator	120	8 Heben und Bewegen von Lasten 155		
6.3	Elektromotoren	122	8.1	Physikalische Grundlagen	155
6.3.1	Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld	122	8.2	Hebezeuge	159
6.3.2	Gleichstrommotoren	123	8.2.1	Hebegeräte	159
6.3.3	Wechselstrommotoren	124	8.2.2	Flaschenzüge	160
6.3.4	Arbeit mit Elektromotoren	124	8.2.3	Hand-Hubzeuge	161
6.4	Schutz vor den Gefahren des elektrischen Stroms	125	8.2.4	Elektrozug	162
6.4.1	Fehler an elektrischen Anlagen	125	8.2.5	Hebebühnen	162
6.4.2	Schutzmaßnahmen	125	8.2.6	Krane	162
7 NC-Technik im Metallbau 127			8.2.7	Sperrwerke und Bremsen	163
7.1	Informationsfluss in der NC-Technik	127	8.3	Flurförderfahrzeuge	164
7.2	Aufbau von NC-Maschinen	128	8.4	Befestigung von Lasten	164
7.2.1	Eingabeeinheiten	128	8.4.1	Anschlagen von Lasten	164
7.2.2	Verarbeitungseinheit	129	8.4.2	Anschlagmittel	165
7.2.3	Ausgabeeinheiten	130	8.5	Arbeitssicherheit und Unfallschutz	168
7.3	Konstruktive Merkmale von NC-Maschinen	130	9 Befestigung von Bauteilen 169		
7.3.1	Führungen und Spindeln	130	9.1	Befestigung mit Mauerankern und Bindemitteln	169
7.3.2	Wegmesssysteme	131	9.2	Befestigung mit Setzbolzen	170
7.4	Steuerungsarten	132	9.2.1	Bolzensetzwerkzeuge	170
7.5	Koordinatensysteme	132	9.2.2	Setzbolzen	170
7.6	Programmaufbau	133	9.2.3	Kartuschen	170
7.6.1	Programmtechnische Informationen	133	9.3	Befestigung mit Ankern und Dübeln	171
7.6.2	Geometrische Informationen	134	9.3.1	Baustoff als Verankerungsgrund für Dübel	171
7.6.3	Technologische Informationen	135	9.3.2	Haltemechanismen für Dübel	172
7.6.4	Zusätzliche Informationen	135	9.3.3	Belastungsart	173
7.7	Manuelle Programmierung	136	9.3.4	Montagearten	174
7.7.1	Systematik der Programmierung	136	9.3.5	Polyamiddübel (Nylondübel)	175
7.7.2	Bearbeitungsprogramm	136	9.3.6	Metallspreizdübel (Schwerlastdübel)	177
7.7.3	Werkzeugbahnkorrektur	137	9.3.7	Spreizdruckfreie Dübel	177
7.7.4	Programmierung von Kreisen	137	9.3.8	Befestigung ohne Dübel und Anker	180
7.7.5	Bearbeitungszyklen	139	10 Montage und Demontage 181		
7.7.6	Unterprogrammtechnik	139	10.1	Werkstattmontage	181
7.8	Maschinelle Programmierung	140	10.1.1	Planen der Montage	183
7.8.1	Programmierstellung in der Arbeitsvorbereitung	140	10.1.2	Beispiel: Montage einer Treppe in der Werkstatt	184
7.8.2	CAD/CAM-Verfahren	140	10.2	Demontage	191
7.9	Anwendung der NC-Technik in der Metallbaupraxis	141	10.3	Abfälle vermeiden, verwerten, entsorgen	191
7.9.1	CNC-Brennschneidanlagen	141	Arbeitsauftrag: Montieren und Demontieren von Baugruppen in der Werkstatt 193		
7.9.2	CNC-Laserschneidtechnik	143			
7.9.3	Wasserstrahl schneiden	143			
7.9.4	Blechbiegen, CNC-gesteuert	144			

## Lernfeld: Herstellen von Stahl- und Metallbaukonstruktionen

### 11 Sicherheit am Bau 195

<b>11.1</b>	<b>Persönliche Arbeitsschuttmittel</b>	<b>195</b>
11.1.1	Schutzhelme	195
11.1.2	Fußschutz	196
<b>11.2</b>	<b>Gerüste und Leitern</b>	<b>197</b>
<b>11.3</b>	<b>Anseilschutz</b>	<b>199</b>

### 12 Vermessungsarbeiten am Bau 201

<b>12.1</b>	<b>Schnurgerüst</b>	<b>201</b>
<b>12.2</b>	<b>Längenmessungen</b>	<b>202</b>
<b>12.3</b>	<b>Winkelmessungen</b>	<b>203</b>
<b>12.4</b>	<b>Festlegung von Gebäudehöhen</b>	<b>203</b>
<b>12.5</b>	<b>Festlegung der Ausbauhöhen</b>	<b>204</b>

### 13 Stahlbau und Dachkonstruktionen 205

<b>13.1</b>	<b>Einteilung des Stahlbaus</b>	<b>205</b>
<b>13.2</b>	<b>Konstruktionselemente eines Stahlskelettbaus</b>	<b>207</b>
13.2.1	Einwirkungen von Kräften auf ein Stahlskelett	207
13.2.2	Lastannahmen und Bemessungswerte	208
13.2.3	Bautechnische Besonderheiten des Stahlbaus	208
<b>13.3</b>	<b>Spannungsarten in Bauteilen</b>	<b>209</b>
13.3.1	Normalspannungen	209
13.3.2	Schubspannungen	209
13.3.3	Bemessung der Bauteile	210
<b>13.4</b>	<b>Stützen</b>	<b>211</b>
13.4.1	Wirkungsweise von Stützen	211
13.4.2	Bauformen	212
13.4.3	Standfestigkeit von Stützen	213
13.4.4	Stützenköpfe	214
13.4.5	Stützenstöße	214
13.4.6	Stützenfüße	215
13.4.7	Verankerung von Stützen	216
<b>13.5</b>	<b>Träger</b>	<b>218</b>
13.5.1	Walzträger	218
13.5.2	Geschweißte Blechträger	219
13.5.3	Wabenträger	219
13.5.4	Biegebeanspruchung in Trägern	220
13.5.5	Fachwerkträger	224
13.5.6	Schwere Fachwerkträger	227
13.5.7	Leichtbau-Fachwerkträger	228
13.5.8	Raumfachwerke	230
13.5.9	Rahmenträger (Vierendeelträger)	231
13.5.10	Leichtbau mit Rahmenträgern aus Hohlprofilen	232
<b>13.6</b>	<b>Trägerverbindungen</b>	<b>233</b>
13.6.1	Trägerauflager	233
13.6.2	Trägeranschlüsse	235
13.6.3	Trägerstöße	239
13.6.4	Trägerbearbeitungen	241
<b>13.7</b>	<b>Aussteifungen und Abspannungen</b>	<b>242</b>
13.7.1	Aussteifungen	242
13.7.2	Seiltragwerke	244

<b>13.8</b>	<b>Stahlhallenbau</b>	<b>245</b>
13.8.1	Dachformen und statische Systeme	245
13.8.2	Konstruktionselemente einer Satteldachhalle	248
13.8.3	Krananlagen in Stahlhallen	249
<b>13.9</b>	<b>Raumabschließende Bauelemente</b>	<b>251</b>
13.9.1	Stahlbetonverbunddecken	251
13.9.2	Träger- und Profilverbunddecken	254
13.9.3	Wände	256
13.9.4	Dächer	258
<b>13.10</b>	<b>Stahlbau-Abschlussaufgabe: Kranbahnkonsolen einer 2-schiffigen Halle</b>	<b>260</b>

*Arbeitsauftrag: Bau eines Muldenwaschplatzes 261*

## Lernfeld: Herstellen von Türen, Toren und Gittern

### 14 Türen 263

<b>14.1</b>	<b>Aufbau einer Drehflügeltür</b>	<b>263</b>
<b>14.2</b>	<b>Arten und Merkmale von Türen</b>	<b>265</b>
14.2.1	Einbauort	265
14.2.2	Bewegungsart	265
14.2.3	Bewegungsrichtung	265
14.2.4	Bauarten von Türen	266
<b>14.3</b>	<b>Türen mit besonderen Funktionen</b>	<b>271</b>
<b>14.4</b>	<b>Werkstoffe für Türen</b>	<b>276</b>
<b>14.5</b>	<b>Türschließer</b>	<b>277</b>
<b>14.6</b>	<b>Beschläge für Türen</b>	<b>279</b>
<b>14.7</b>	<b>Einbau und Montage</b>	<b>280</b>

### 15 Tore 281

<b>15.1</b>	<b>Hallentore</b>	<b>281</b>
15.1.1	Drehtore	282
15.1.2	Schiebetore	282
15.1.3	Schiebefalttore	284
15.1.4	Schwingtore	286
15.1.5	Rolltore	287
15.1.6	Sektionaltore	287
15.1.7	Sicherheitseinrichtungen	288
<b>15.2</b>	<b>Tore für den Außenbereich</b>	<b>289</b>
15.2.1	Schiebetore	289
15.2.2	Drehtore	289

### 16 Schlösser 293

<b>16.1</b>	<b>Schlossarten</b>	<b>293</b>
<b>16.2</b>	<b>Aufbau und Funktionsweise von Falle-Riegel-Schlössern</b>	<b>294</b>
<b>16.3</b>	<b>Normmaße von Schlössern</b>	<b>295</b>
16.3.1	Bezeichnung von Einsteckschlössern	296
16.3.2	Bezeichnungsbeispiele	296
<b>16.4</b>	<b>Schlosssicherungen</b>	<b>296</b>
16.4.1	Buntbartschloss	296
16.4.2	Chubbschloss	297
16.4.3	Zylinderschlösser	298
16.4.4	Elektronische Zutrittskontrolle	305
<b>16.5</b>	<b>Schließanlagen</b>	<b>307</b>

<b>17</b>	<b>Gitter und Roste</b>	<b>309</b>
<b>17.1</b>	<b>Bewegliche Gitter</b>	<b>309</b>
<b>17.2</b>	<b>Feststehende Gitter</b>	<b>309</b>
<b>17.3</b>	<b>Gitterroste und Roste aus Stahlblech</b>	<b>310</b>
17.3.1	Anwendung und Eigenschaften	310
17.3.2	Bauarten	310
17.3.3	Aussparungen und Randeinfassungen	311
17.3.4	Korrosionsschutz	311
17.3.5	Sicherheitsroste	311
17.3.6	Normroste und Trittstufen	311
17.3.7	Verlegeplan	312
17.3.8	Stützweite	312
17.3.9	Befestigung der Roste	313
17.3.10	Bestellangaben	313
17.3.11	Sicherheitshinweise	313
17.3.12	Montagebeispiel – Abschlussaufgabe	314

<b>18</b>	<b>Steuern und Regeln</b>	<b>315</b>
<b>18.1</b>	<b>Steuern</b>	<b>315</b>
<b>18.2</b>	<b>Regeln</b>	<b>315</b>
<b>18.3</b>	<b>Steuerungsarten</b>	<b>316</b>
18.3.1	Mechanische Steuerungen	317
18.3.2	Pneumatische Steuerungen	317
18.3.3	Hydraulische Steuerungen	322
18.3.4	Elektrische Steuerungen	326
18.3.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	329
18.3.6	Steuerungstechnische Projekte	331

*Arbeitsauftrag: Planung und Ausführung einer Hauseingangstür mit Schließanlage* 335

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

<b>19</b>	<b>Bauphysik</b>	<b>337</b>
<b>19.1</b>	<b>Wärmeschutz</b>	<b>337</b>
19.1.1	Einsparung von Heizenergie	337
19.1.2	Wärmeschutz am Bau	338
19.1.3	Grundlagen der Wärmelehre	338
19.1.4	Wärmetransport	340
19.1.5	Wärmedämmung von Gebäuden	342
19.1.6	Energieeinsparung	345
<b>19.2</b>	<b>Feuchteschutz</b>	<b>347</b>
<b>19.3</b>	<b>Schallschutz</b>	<b>349</b>
19.3.1	Entstehung des Schalls	349
19.3.2	Schallausbreitung	350
19.3.3	Schallwahrnehmung	350
19.3.4	Schallschutz im Hochbau	351
<b>19.4</b>	<b>Brandschutz</b>	<b>353</b>
19.4.1	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen	353
19.4.2	Brandschutzmaßnahmen	354
19.4.3	Schutz von Bauteilen aus Stahl	354

<b>20</b>	<b>Fenster</b>	<b>355</b>
<b>20.1</b>	<b>Aufbau und Bauteile von Fenstern</b>	<b>355</b>
<b>20.2</b>	<b>Bauarten und Einteilung der Fenster</b>	<b>356</b>
20.2.1	Konstruktionsarten	356
20.2.2	Öffnungsarten	356
20.2.3	Rahmenwerkstoffe	358
20.2.4	Fenster mit besonderen Funktionen	360
<b>20.3</b>	<b>Fensterbeschläge</b>	<b>362</b>
20.3.1	Dreh-Kippbeschlag	362
20.3.2	Einbruchhemmende Beschläge	364
20.3.3	Hebe-Schiebeflügelbeschlag	364
<b>20.4</b>	<b>Herstellung von Fenstern</b>	<b>365</b>
20.4.1	Aufmaß am Bauwerk	365
20.4.2	Zuschnitt und Bearbeitung	365
20.4.3	Rahmenverbindung	366
20.4.4	Beschlageinbau	366
<b>20.5</b>	<b>Montage von Fenstern</b>	<b>367</b>
20.5.1	Klotzung der Scheiben	368
20.5.2	Verglasungssysteme	369
20.5.3	Anschluss und Befestigung am Bauwerk	369
<b>20.6</b>	<b>Schaufenster und Vitrinen</b>	<b>372</b>

<b>21</b>	<b>Fassaden- und Glaskonstruktionen</b>	<b>373</b>
<b>21.1</b>	<b>Einteilung und Bauarten</b>	<b>373</b>
21.1.1	Warmfassaden	374
21.1.2	Kaltfassaden	375
21.1.3	Kalt-Warmfassaden (CW-Fassade)	375
21.1.4	Doppelfassade, Zweite-Haut-Fassade	376
21.1.5	Ganzglasfassaden (Structural Glazing)	376
21.1.6	Punktgehaltene Glasfassade	377
<b>21.2</b>	<b>Überkopfverglasung (Schrägverglasung)</b>	<b>377</b>
<b>21.3</b>	<b>Wasserabführung bei Fassaden</b>	<b>378</b>
<b>21.4</b>	<b>Planung, Fertigung und Montage von Fassaden</b>	<b>379</b>
21.4.1	Planungsgrundlagen	379
21.4.2	Montage der Unterkonstruktion	380
21.4.3	Pfosten-Riegel-Montage	381
21.4.4	Elementmontage	381
<b>21.5</b>	<b>Glasanbauten</b>	<b>382</b>
<b>21.6</b>	<b>Sonnenschutz</b>	<b>384</b>
21.6.1	Innenliegende Sonnenschutzanlagen	384
21.6.2	Äußere Sonnenschutzanlagen	385
<i>Arbeitsauftrag: Projektierung, Konstruktion und Herstellung eines Glasvordaches</i>		389

**Lernfeld: Herstellen von Treppen und Geländern**

<b>22</b>	<b>Treppen</b>	<b>391</b>
<b>22.1</b>	<b>Treppenarten</b>	<b>391</b>
<b>22.2</b>	<b>Konstruktionsarten von Treppen</b>	<b>393</b>
22.2.1	Wagentreppen	393
22.2.2	Holmtreppen	393
22.2.3	Spindeltreppen	394
<b>22.3</b>	<b>Stufenarten</b>	<b>394</b>
<b>22.4</b>	<b>Bezeichnungen an der Treppe</b>	<b>395</b>

<b>22.5</b>	<b>Hauptmaße von Treppen</b>	<b>396</b>
<b>22.6</b>	<b>Konstruktionsbeispiel</b>	<b>397</b>
22.6.1	Geschosshöhenberechnung	397
22.6.2	Steigerungsberechnung	398
22.6.3	Konstruktion der Wangen	399
<b>22.7</b>	<b>Stufenverziehung bei gewendelten Treppen</b>	<b>401</b>
<b>22.8</b>	<b>Anreißen von Wangen</b>	<b>404</b>
<b>22.9</b>	<b>Berechnung mit Computern</b>	<b>404</b>

## **23 Geländer 409**

<b>23.1</b>	<b>Aufbau des Geländer</b>	<b>409</b>
<b>23.2</b>	<b>Geländer in und an Wohnhäusern</b>	<b>410</b>
<b>23.3</b>	<b>Industriegeländer</b>	<b>411</b>
<b>23.4</b>	<b>Befestigung der Geländer</b>	<b>412</b>
<b>23.5</b>	<b>Biegen eines Treppengeländer-Krümmllings</b>	<b>413</b>

*Arbeitsauftrag: Konstruktion einer Treppe* 415

*Arbeitsauftrag: Konstruktion eines Treppengeländers* 416

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

## **24 Qualitätsmanagement 417**

<b>24.1</b>	<b>Aufgaben des Qualitätsmanagements</b>	<b>418</b>
24.1.1	Qualitätsplanung	418
24.1.2	Qualitätslenkung	419
24.1.3	Qualitätsprüfung	419
24.1.4	Qualitätsverbesserung	419
<b>24.2</b>	<b>Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000:2005</b>	<b>420</b>
24.2.1	Die acht Grundsätze des Qualitätsmanagementsystems	420
<b>24.3</b>	<b>Modell eines Qualitätsmanagement-systems</b>	<b>421</b>
24.3.1	Verantwortung der Leitung	422
24.3.2	Management der Mittel	422
24.3.3	Produkt- und Dienstleistungsrealisierung	422
24.3.4	Messung, Analyse und Verbesserung	422
<b>24.4</b>	<b>Qualität ist nicht nur Chefsache</b>	<b>422</b>

## **25 Instandhaltung 423**

<b>25.1</b>	<b>Grundlegende Begriffe</b>	<b>423</b>
<b>25.2</b>	<b>Instandhaltung von Systemen im Metall- und Stahlbau</b>	<b>431</b>
25.2.1	Vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen	431
25.2.2	Instandhaltungsvorschriften	433
25.2.3	Diagnostik, Fehleranalyse und Dokumentation	434
25.2.4	Instandhaltung von Arbeitsmitteln	437
<i>Arbeitsauftrag: Instandhaltung</i>		439

## **Lernfeldübergreifendes Wissen**

## **26 Werkstofftechnik 441**

<b>26.1</b>	<b>Übersicht der Werkstoffe</b>	<b>441</b>
<b>26.2</b>	<b>Auswahl der Werkstoffe nach ihren Eigenschaften</b>	<b>442</b>
<b>26.3</b>	<b>Stähle und Gusseisen</b>	<b>444</b>
26.3.1	Roheisengewinnung und Stahlherstellung	444
26.3.2	Verarbeitung zu Stahlerzeugnissen	446
26.3.3	Normung der Stahlerzeugnisse (Formnormung)	449
26.3.4	Kurznamen für Stähle und Stahlguss	451
26.3.5	Kurznamen für Gusseisenwerkstoffe	453
26.3.6	Alte Kurznamen der Stähle und Gusseisenwerkstoffe	454
26.3.7	Werkstoffnummern für Stähle, Gusseisenwerkstoffe und Stahlguss	455
26.3.8	Einteilung der Stähle und Gusseisenwerkstoffe	456
26.3.9	Stähle für den Metallbau und den Stahlbau	457
26.3.10	Korrosionsbeständige Stähle (Edelstahl Rostfrei)	459
26.3.11	Stähle für Bleche und Bänder	461
26.3.12	Maschinenbaustähle	462
26.3.13	Werkzeugstähle	463
26.3.14	Gusseisenwerkstoffe und Stahlguss	464
<b>26.4</b>	<b>Innerer Aufbau der Metalle</b>	<b>465</b>
26.4.1	Gefüge und kristalline Struktur	465
26.4.2	Innerer Aufbau und Eigenschaften	465
26.4.3	Kristallgittertypen der Metalle	466
26.4.4	Entstehung des Metallgefüges	466
26.4.5	Gefüge reiner Metalle und von Legierungen	467
26.4.6	Schmelz- und Erstarrungsverhalten	468
26.4.7	Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm und Gefügearten der unlegierten Stähle	469
<b>26.5</b>	<b>Wärmebehandlung der Stähle</b>	<b>470</b>
26.5.1	Glühen	470
26.5.2	Härten	471
26.5.3	Vergüten	474
26.5.4	Härten der Randzone	474
<b>26.6</b>	<b>Aluminium und Aluminiumlegierungen</b>	<b>476</b>
26.6.1	Aluminium-Werkstoffe	477
26.6.2	Handhabung und Bearbeitung von Aluminium-Bauteilen	478
26.6.3	Fügen von Aluminium-Bauteilen	478
<b>26.7</b>	<b>Kupfer und Kupferlegierungen</b>	<b>479</b>
26.7.1	Unlegierte Kupferwerkstoffe	479
26.7.2	Kupfer-Legierungen	480
<b>26.8</b>	<b>Weitere wichtige Metalle</b>	<b>482</b>
<b>26.9</b>	<b>Sinterwerkstoffe</b>	<b>484</b>
26.9.1	Herstellung von Sinterteilen	484
26.9.2	Typische Anwendungen	484
26.9.3	Hartmetalle	485
<b>26.10</b>	<b>Korrosion und Korrosionsschutz</b>	<b>486</b>
26.10.1	Elektrochemische Korrosion	486
26.10.2	Erscheinungsformen der Korrosion	487

26.10.3	Korrosion bei hohen Temperaturen	488	<b>26.16</b>	<b>Werkstoffe und Hilfsstoffe – Umwelt- und Gesundheitsschutz</b>	<b>514</b>
26.10.4	Einflussfaktoren auf die Korrosion eines Bauteils	488	26.16.1	Umgang mit Werk- und Hilfsstoffen	514
26.10.5	Auswahl der Werkstoffe nach dem Korrosionsverhalten	489	26.16.2	Recycling und Entsorgung in Metallbaubetrieben	515
26.10.6	Korrosionsschutzgerechte Konstruktion	490	26.16.3	Vermeiden von Schadstoffen	516
26.10.7	Korrosionsschutz von Stahlbauten	491	26.16.4	Gesundheitsgefährdende Stoffe im Metallbau	517
26.10.8	Vorbereiten der Stahloberflächen	491			
26.10.9	Korrosionsschutz von Stahlbauteilen durch Feuerverzinken	492	<b>27</b>	<b>Kommunikation und Präsentation</b>	<b>519</b>
26.10.10	Korrosionsschutzbeschichtung von Stahlbauteilen	493	<b>27.1</b>	<b>Kommunikation</b>	<b>519</b>
26.10.11	Katodischer Korrosionsschutz von Stahlbauteilen	494	27.1.1	Kommunikationsebenen	519
26.10.12	Korrosionsschutz bei korrosionsbeständigen Stählen	494	27.1.2	Kommunikationsarten	519
26.10.13	Korrosionsschutz von Aluminium-Bauteilen	495	27.1.3	Kommunikationsmodelle	521
26.10.14	Korrosionsschutz bei Maschinen	495	27.1.4	Probleme in der Kommunikation	521
<b>26.11</b>	<b>Kunststoffe (Plaste)</b>	<b>496</b>	27.1.5	Kommunikationsstrategien	521
26.11.1	Eigenschaften und Verwendung	496	27.1.5.1	Strategie zur Vermeidung von Konflikten „Aktives Zuhören“	523
26.11.2	Herstellung und innerer Aufbau	496	27.1.5.2	Strategie zur Beseitigung von bestehenden Konflikten „Metakommunikation“	523
26.11.3	Technologische Einteilung	497	<b>27.2</b>	<b>Präsentation</b>	<b>525</b>
26.11.4	Thermoplaste	498			
26.11.5	Duroplaste	499	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>529</b>	
26.11.6	Elastomere	500			
26.11.7	Sonderanwendungen von Kunststoffen im Metallbau	500	<b>Informationsquellen/Anschriftenverzeichnis</b>	<b>548</b>	
26.11.8	Weiterverarbeitung der Kunststoff-Erzeugnisse	502			
<b>26.12</b>	<b>Verbundwerkstoffe</b>	<b>503</b>	<b>Bildquellenverzeichnis</b>	<b>549</b>	
26.12.1	Faserverstärkte Verbundwerkstoffe	503			
26.12.2	Teilchenverstärkte Verbundwerkstoffe	504			
26.12.3	Schicht- und Strukturverbunde	504			
<b>26.13</b>	<b>Hilfsstoffe</b>	<b>505</b>			
<b>26.14</b>	<b>Glas und Glasbauteile</b>	<b>507</b>			
<b>26.15</b>	<b>Werkstoffprüfung</b>	<b>509</b>			
26.15.1	Technologische Prüfverfahren	509			
26.15.2	Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy	509			
26.15.3	Härteprüfungen	510			
26.15.4	Zugversuch	511			
26.15.5	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	512			
26.15.6	Metallografische Untersuchungen	513			

## 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>31</b>
2.1	tool edge	31
2.2	influencing variables in chip removal processes	31
2.3	drilling	32
2.4	sawing	33
2.5	milling	34
2.6	threading	35
2.7	grinding	36
2.8	cut-off grinding	41
2.9	polishing and brushing	41
<b>3</b>	<b>mechanical parting and thermal cutting</b>	<b>43</b>
3.1	wedge-action cutting	43
3.2	shear cutting	43
3.3	thermal cutting	51
<b>4</b>	<b>screwed, riveted and clamped joints</b>	<b>57</b>
4.1	joining processes	57
4.2	screwed joints	58
4.3	clamping girder joints	69
4.4	riveted joints	70
<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	103
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	133
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	195
11.2	scaffoldings and ladders	197
11.3	antifall roping	199
<b>12</b>	<b>surveying on site</b>	<b>201</b>
12.1	alignment stage	201
12.2	length measurement	202
12.3	angular measurement	203
12.4	determining building heights	203
12.5	determining finishing and completion heights	204
<b>13</b>	<b>structural steelwork and roof structures</b>	<b>205</b>
13.1	structural steelwork classification	205
13.2	constructional elements	207
13.3	types of stress acting in structural components	209
13.4	piers	211
13.5	girders	218
13.6	girder connection	233
13.7	bracing and guy ropes	242
13.8	industrial steel buildings	245
13.9	space-enclosing structural elements	251

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

<b>14</b>	<b>doors</b>	<b>263</b>
14.1	revolving folding-door structure	263
14.2	door types and features	265
14.3	doors with specific functions	271
14.4	door materials	276
14.5	door closer	277
14.6	door fittings	279
14.7	placing and assembly	286
<b>15</b>	<b>doors and gates</b>	<b>281</b>
15.1	entrance doors	281
15.2	exterior doors	289
<b>16</b>	<b>locks</b>	<b>293</b>
16.1	types of locks	293
16.2	design and operating mode	294
16.3	standard dimensions of locks	296
16.4	door lock safety catch	296
16.5	master-keyed systems	307
<b>17</b>	<b>grills and grates</b>	<b>309</b>
17.1	articulated grills	309
17.2	fixed grills	309
17.3	gratings	310
<b>18</b>	<b>control engineering</b>	<b>315</b>
18.1	open-loop control	315
18.2	closed-loop control	315
18.3	controller types	316

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

<b>19</b>	<b>building physics</b>	<b>337</b>
19.1	thermal isolation	337
19.2	moisture protection	347
19.3	noise insulation	349
19.4	fire protection	353
<b>20</b>	<b>windows</b>	<b>355</b>
20.1	window design and components	355
20.2	window types and classification	356
20.3	window fittings	362
20.4	window manufacture	365
20.5	window installation	367
20.6	shop windows and showcases	372

<b>21</b>	<b>façades and glass structures</b>	<b>373</b>
21.1	classification and types	373
21.2	overhead glazing	377
21.3	façade drainage	378
21.4	façade design, fabrication and assembly	379
21.5	glass annexes	382
21.6	sun-shading	384

### learning field: making of stairs and balustrades

<b>22</b>	<b>stairs</b>	<b>391</b>
22.1	types of stairs	391
22.2	construction types of stairs	393
22.3	tread types	394
22.4	stairway terminology	395
22.5	main dimensions of stairs	396
22.6	sample design of a stairway	397
22.7	turning the steps of a spiral stairway	401
22.8	marking-out of stringers	404
22.9	computer calculation	404
<b>23</b>	<b>balustrades</b>	<b>409</b>
23.1	balustrade design	409
23.2	balustrades in and at residential buildings	410
23.3	industrial guard-rail	411
23.4	fixing balustrades	412
23.5	bending a string wreath	413

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

<b>24</b>	<b>quality management</b>	<b>417</b>
24.1	tasks of quality management	417
24.2	quality management according to DIN EN ISO 9000:2005	420
24.3	quality management system model	421
24.4	quality assurance is not only a matter for the boss!	422
<b>25</b>	<b>maintenance</b>	<b>423</b>
25.1	basic terms	423
25.2	maintenance of structural systems in metal and steel construction	431

### interdisciplinary knowledge

<b>26</b>	<b>materials science</b>	<b>441</b>
26.1	general survey of materials	441
26.2	choice of materials depending on their properties	442
26.3	steel and cast iron	444
26.4	inner structure of metals	465
26.5	heat treatment of steel	470
26.6	aluminium and aluminium alloys	476
26.7	copper and copper alloys	479
26.8	other important metals	482
26.9	sintered materials	484
26.10	corrosion and corrosion protection	486
26.11	plastics	496
26.12	composite materials	503
26.13	process materials	505
26.14	glass and glass components	507
26.15	material testing	509
26.16	environmental and health protection	514
<b>27</b>	<b>communication and presentation</b>	<b>519</b>
27.1	communication	519
27.2	presentation	525
	subject index	529
	further reading	548
	image references	549

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

## 1 Umformen

Die Fertigungsverfahren des Umformens werden häufig zusammen mit dem Zerteilen „spanlose Formgebung“ genannt, weil bei ihnen keine Späne abfallen.

### Merke

**Umformen** ist Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern der Form eines festen Körpers.

Bei den Umformverfahren wird die Formänderung durch äußere Kräfte oder Momente bewirkt. Spannt man z. B. einen Blechstreifen in den Schraubstock und biegt ihn etwas, so federt er nach Entlastung zurück. Mit größerer Kraft kann man ihn bleibend verformen. Durch häufiges Hin- und Herbiegen wird der Zusammenhalt an der Biegestelle zerstört.

Das erinnert an den Zugversuch bei der Werkstoffprüfung (Bild 1). Auch hier kann man den Bereich der elastischen Dehnung von dem der plastischen Dehnung unterscheiden. Erhöht man die Spannung im plastischen Bereich über die Zugfestigkeit hinaus, wird der Zusammenhalt der Werkstoffteilchen zerstört. Deshalb darf beim Umformen eine bestimmte Spannung nicht überschritten werden.

Als **Werkstoffe** zum Umformen verwendet man Metalle, deren Verformungswiderstand verhältnismäßig niedrig ist. Der plastische Bereich muss ausreichend groß sein (Bild 1). Das sind verschiedene Stähle sowie Kupfer, Aluminium, Zink und ihre Legierungen (z. B. Titanzinkblech, s. S. 482).

### 1.1 Einteilung der Umformverfahren

Mit steigender Temperatur verändert sich die Plastizität der Werkstoffe, weshalb man zwischen **Kaltumformen** und **Warmumformen** unterscheidet. Nach der geometrischen Form des Werkstücks wird in **Massivumformen** und **Blechumformen** unterteilt.

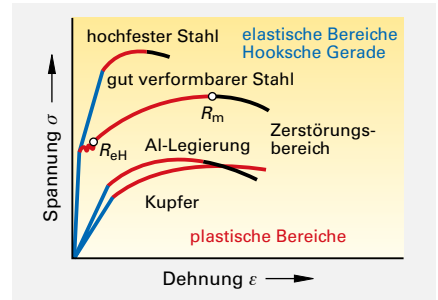
Die genormte Einteilung der Fertigungsverfahren des Umformens unterscheidet nach der im Werkstückquerschnitt auftretenden Spannung fünf Gruppen (Bild 2).

### 1.2 Schmieden

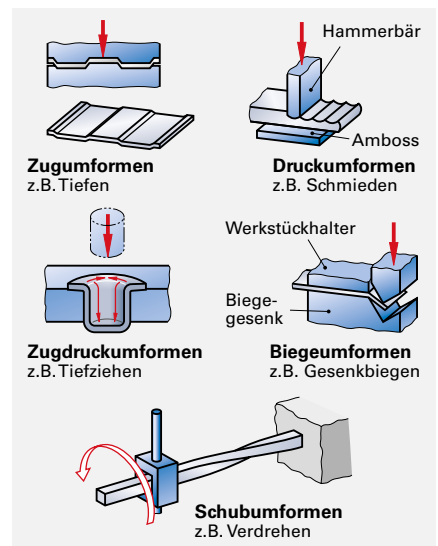
**Schmieden** ist eine spanlose Formänderung meist erwärmter metallischer Werkstücke durch Druckumformen zwischen zwei Werkzeugen.

#### 1.2.1 Technologische Grundlagen

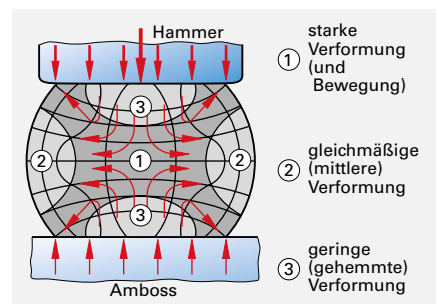
Beim Schmieden wird das in der Regel erwärmte Werkstück auf Druck beansprucht, wodurch Querschnittsveränderungen ohne Materialverlust entstehen. Die auftretenden Druck- bzw. Schubspannungen im Werkstück bewirken ein langsames Fließen der Stoffteilchen parallel zueinander. Dabei ist an den Rändern die Verformung nicht so stark wie im Inneren des Werkstücks (Bild 3). Gleichzeitig wird der Werkstoff auch durchgeknetet und verdichtet, wodurch sich die Festigkeit erhöht.



1 Spannung-Dehnungs-Diagramme metallischer Werkstoffe mit ausgeprägtem elastischem und plastischem Bereich



2 Einteilung der Umformverfahren in fünf Gruppen



3 Unterschiedliche Beanspruchungen im Inneren eines Werkstücks beim Schmieden

## 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. 466). 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. 470 ff.) die durch Kaltverformung verspannten Kristalle eines Werkstoffs neu.

### Merke

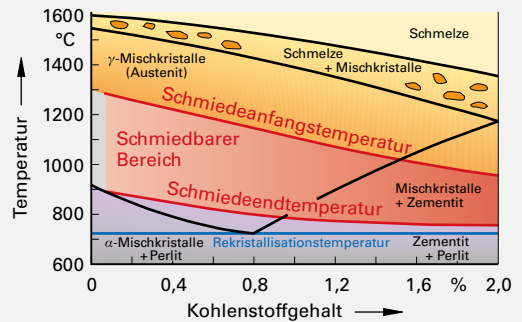
Je geringer der Kohlenstoffgehalt eines Stahls ist, desto höher kann die Schmiedeanfangstemperatur sein und desto größer ist der Temperaturbereich des Schmiedens.

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.



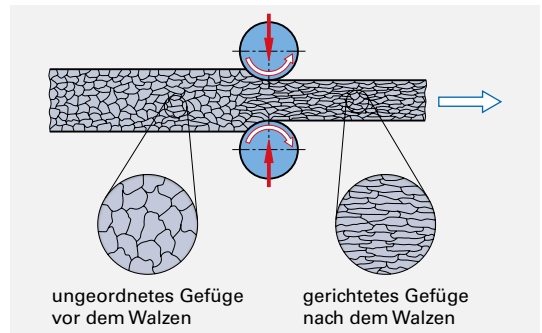
1 Abhängigkeit des Schmiedebereichs bei unlegiertem Stahl vom Kohlenstoffgehalt, dargestellt im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

## Schmiedetemperaturen und Glühfarben

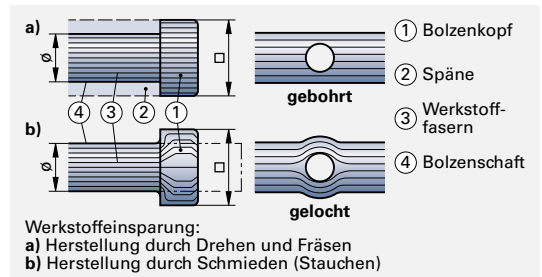
Werkstoff	Anfangs-temperatur	End-temperatur
Baustahl Fe 360 B	1250 °C	780 °C
unlegierter Werkzeugstahl	1000 °C	800 °C
Schnellarbeitsstahl	1150 °C	900 °C
Messing, Kupfer, Bronze	700 °C	500 °C
Aluminium	500 °C	300 °C

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

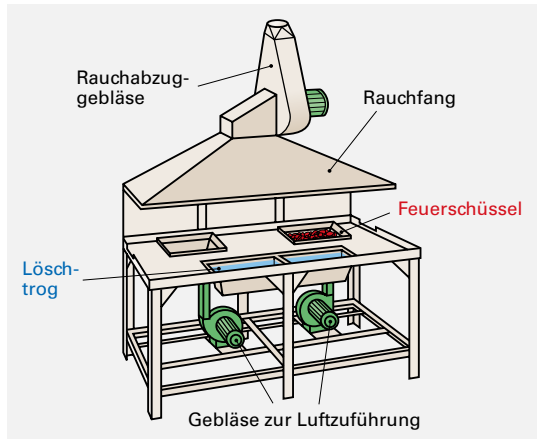
Das Erwärmen des kohlenstoffhaltigen Stahls führt zur **Verzunderung** der Oberfläche.

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

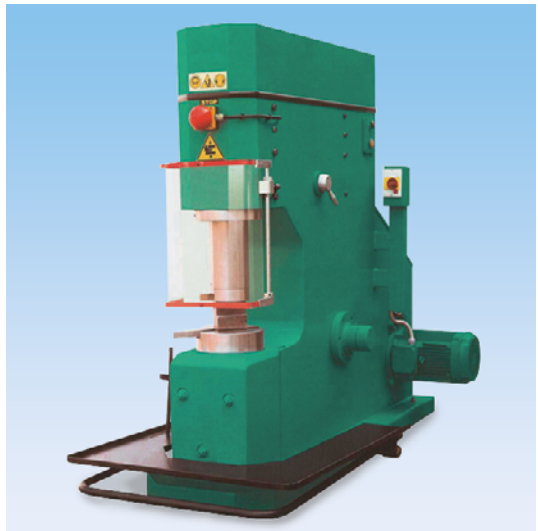
- Ab 300 °C entsteht eine dünne Anlaufschicht.
- Zwischen 500 °C und 700 °C bildet sich eine dicke, feste Korrosionsschicht, die Zunderschicht (Hammerschlag). Sie bleibt bis 900 °C fest.
- Von 900 °C ... 1000 °C fällt die Zunderschicht ab und entsteht sofort wieder neu.
- Ab ungefähr 1200 °C verbrennt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

### Maschinen zum Schmieden

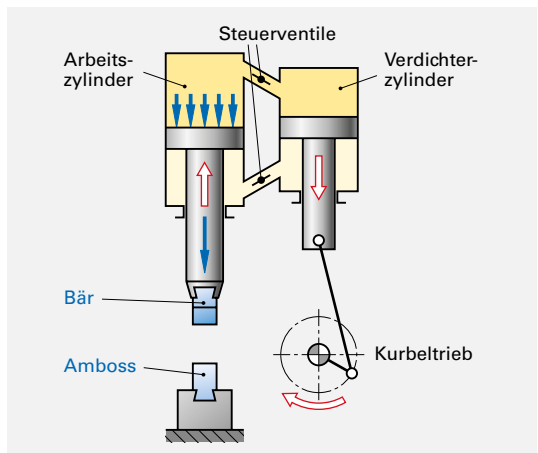
Schmiedepressen oder **Maschinenhämmer** (Bild 2) ersetzen die Muskelkraft. Der Hammer wird hier **Bär** genannt. Seine Masse beginnt bei ca. 30 kg. Die Kraft des Bären entsteht durch die Fallbeschleunigung. Zusätzliche Kräfte auf den Bären werden durch pneumatische und für besonders leistungsfähige Maschinen durch hydraulische Systeme aufgebracht. Dadurch kann 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 Wegevventile wird die Bewegung des Bären gesteuert.



1 Doppel-Schmiedeherd



2 Luft-Schmiedehammer



3 Prinzipdarstellung eines Lufthammers

**Kunstschmiedemaschinen** und **Profilwalzen** (Bild 1 und 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 aneinander gereiht, 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).

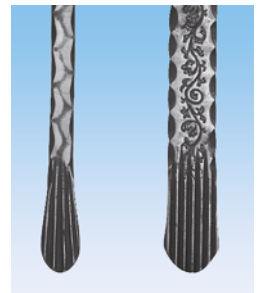
Gestacht werden größere Werkstücke auf dem Stauchamboss, der etwas tiefer liegt als die Ambossbahn. Aus Sicherheitsgründen steht dann der Schmied so, dass sich der Amboss zwischen ihm und dem Stauchamboss befindet. Seitlich steht der Zuschläger.



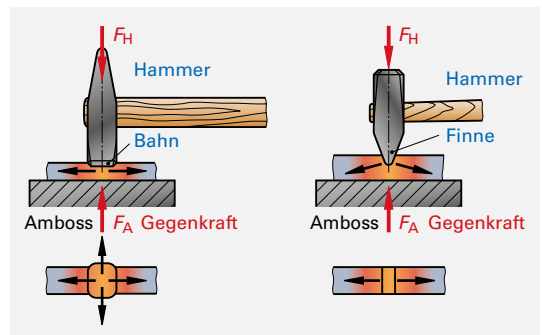
1 Schmiedegerät für Stabenden



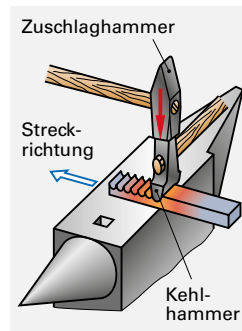
2 Profilwalzen für angeschmiedete Stabenden



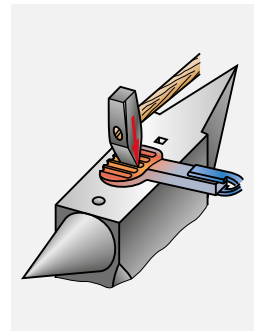
3 angeschmiedete Stabenden und geprägte Oberflächen



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 **Schlitzn** (Bild 7b) verwendet wird.

### Lochen

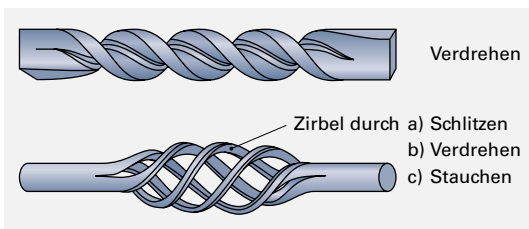
Dadurch werden beliebig geformte Durchbrüche, meist runde Löcher, in Schmiedestücke eingeformt. Als Werkzeuge dienen **Lochhämmer** und **Dorne** mit verschiedenen geformten Querschnitten (Bild 7). Vorgearbeitet wird mit dem Schlitzhammer. Das Fertiglochen mit dem Dorn geschieht häufig auf der Lochplatte.

### Torsieren

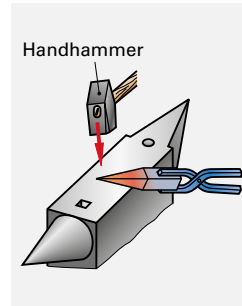
Es ist die am meisten verbreitete Methode zur Verzierung von Stäben (Bild 8). Zum Verdrehen von Stäben um ihre Längsachse müssen diese in erwärmtem Zustand an einem Ende eingespannt werden. Als Werkzeuge zum Verdrehen dienen Dreh- oder Torsiereisen.

### Feuerschweißen

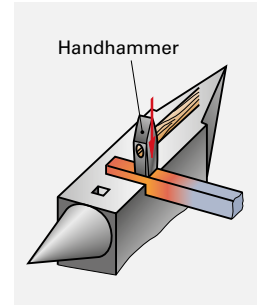
Zuerst müssen möglichst große Flächen an der Verbindungsstelle geschaffen werden. Dann werden die Teile auf eine Temperatur knapp unterhalb des Schmelzpunktes erwärmt, mit Flussmittel (Sand) von Oxiden befreit und durch Hammerschläge zusammengepresst. Dadurch verschweißen die Teile miteinander.



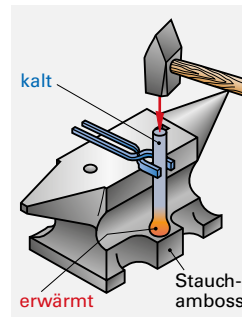
8 Torsieren



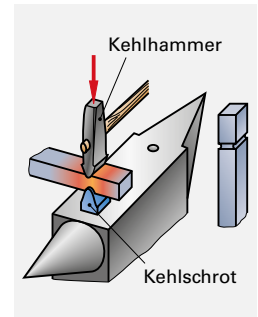
1 Spitzen



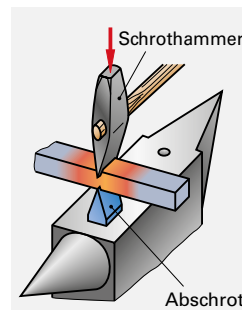
2 Absetzen



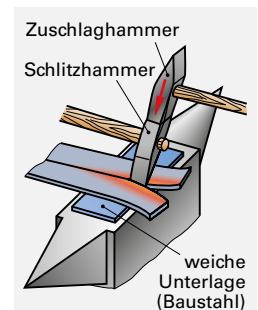
3 Stauchen



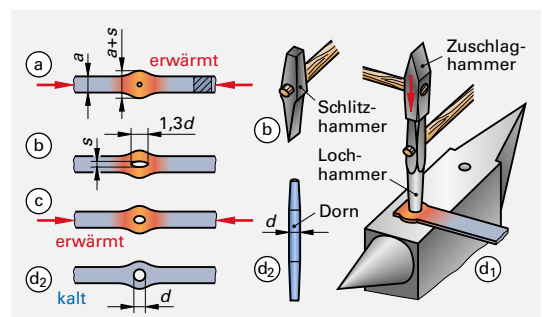
4 Kehlen



5 Abschroten



6 Spalten



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

## Gesenschiemen

### Merke

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

Gesenschiemen ist ein Verfahren der industriellen Massenfertigung. Beim Schiemen 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 Freiformschiemen (Bilder 1 und 2).

### 1.2.3 Werkzeuge zum Schiemen

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).

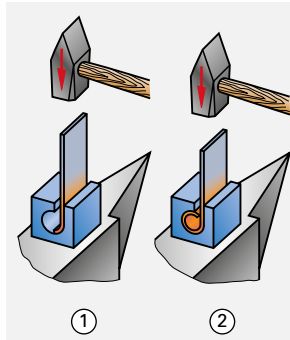
**Schmiedehämmer** haben eine leicht gewölbte Bahn und eine abgerundete Finne. **Handhämmer** werden einhändig geführt. Ihre Masse beträgt 1 kg bis 2 kg (Bild 5).

**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 „**Vorschiem**“ gehalten und vom „**Zuschläger**“ vorgetrieben. Ihre Stiele sitzen lose, um Prellschläge zu vermeiden.

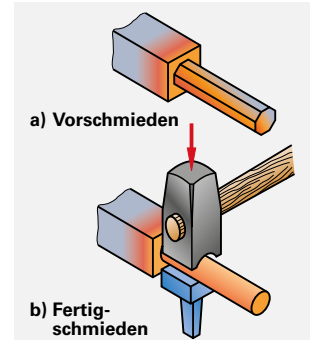
Kleine Schmiedestücke lassen sich nur mit **Zangen** sicher halten. Deshalb muss für die verschiedenen Formen der Werkstücke die geeignete Zange vorhanden sein (Bild 6). Um die Hand nicht zu ermüden, kann ein Spannring über die Schenkel der Zange geschoben werden.

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

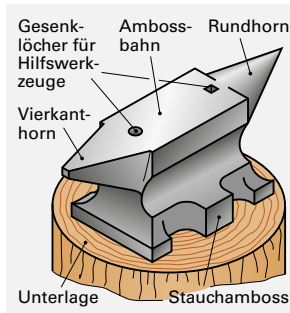
Ein spezielles Prüfmittel ist die **Schmiedelehre** (Bild 7). Da die erforderliche Genauigkeit beim Freiformschiemen von Hand gering ist, genügt für andere Längenmaße die Übertragung durch den Taster oder ein Stahl-Bandmaß.



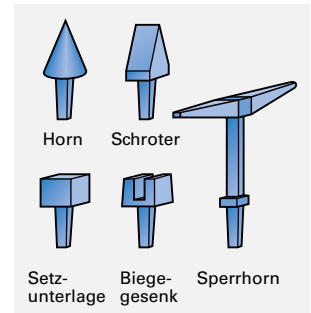
1 Einrollen eines Gelenkauges für ein Torband im Gesenk



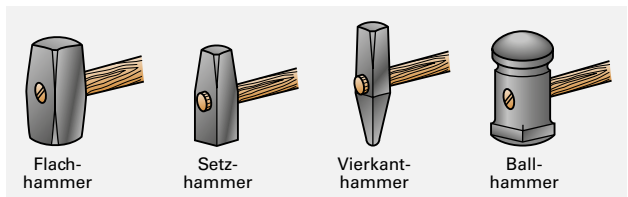
2 Schmieden eines Rundzapfens im Gesenk



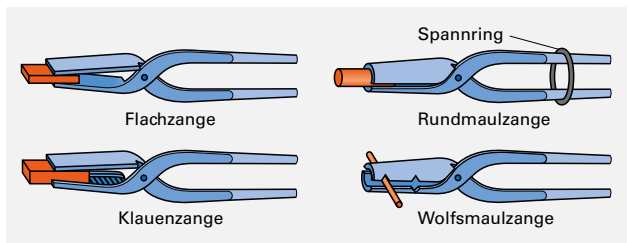
3 Amboss



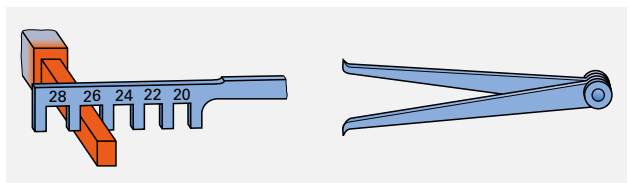
4 Hilfswerkzeuge zum Amboss



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).

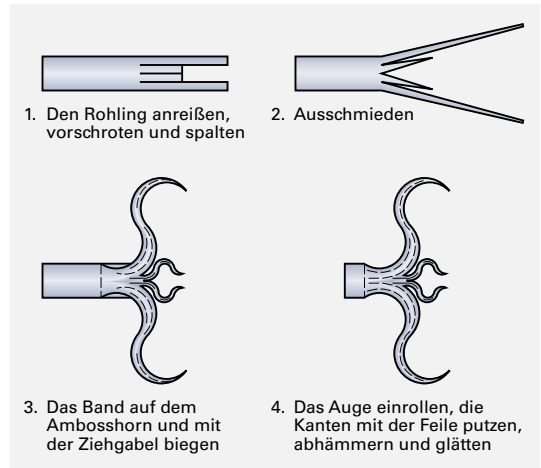
Um die Wünsche nach künstlerischer Ausgestaltung von z. B. Geländern in Wohnhäusern zu erschwinglichen Preisen zu erfüllen, bieten Industriebetriebe eine große Auswahl von Einzelteilen und ganzen Baugruppen an. Sie sehen wie traditionelle Kunst-Schmiedearbeiten aus, werden aber maschinell gefertigt und 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).

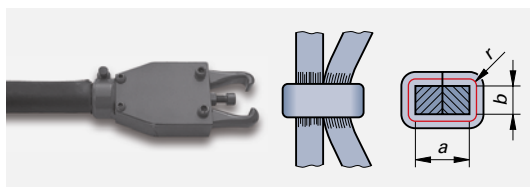
**Rosetten** dienen zur Bildung von ornamental aufgelockerten Flächen. Kennzeichnend ist ein Zierriet in der Mitte. Durch Kehlen, Stauchen und Hämmern wird die Fläche gestaltet (Bild 2).

**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.

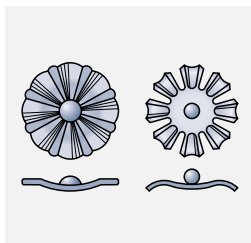
**Stabenden** werden besonders bei Zäunen genutzt, um die Oberkante zu betonen, aber auch, um unbefugtes Übersteigen zu erschweren (Bild 3).

## Stilepochen

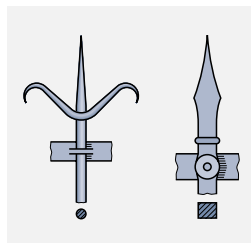
Die charakteristischen Gestaltungselemente der einzelnen Stilepochen sind vor allem bei Restaurierungsarbeiten zu beachten. Die mittelalterlichen Stile **Romanik** (1000-1250) und **Gotik** (1200-1500) greifen vielfach auf Naturformen zurück (Bild 4). Der **Renaissancestil** (1500-1650) greift antike 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).



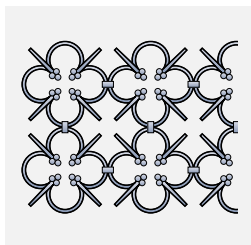
1 Bundschließer und Bund



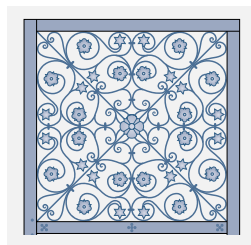
2 Beispiele für Rosetten



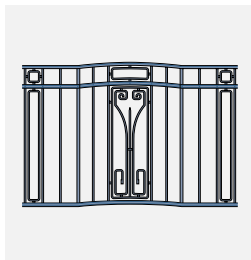
3 Stabkreuzungen und -enden



4 Gotisches Gitter



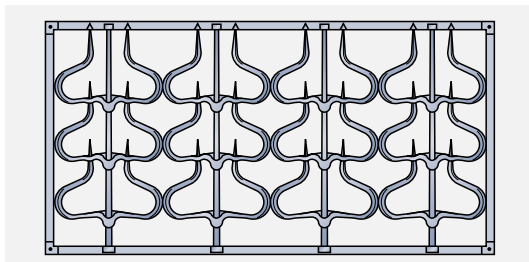
5 Barockes Schmuckgitter



6 Klassizismus-Gitter



7 Jugendstil-Gitter



8 Gitter in moderner Gestaltung

### 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.

## 1.3 Richten

Die Voraussetzung für den Zusammenbau von Einzelteilen zu Baugruppen ist in der Regel, dass sie gerade und eben sind. Nur so können sie an den Verbindungsstellen passgenau und fest aneinander gefügt werden.

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 bleibende Verformungen. Vor der Weiterverarbeitung oder dem Zusammenbau müssen Flächen und Kanten wieder gerade und eben gerichtet werden.

### Merke

**Richten** ist das Beseitigen unerwünschter Verformungen, die durch mechanische Beanspruchungen oder Wärmeeinwirkung 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 Beispiel des Gerade-Richtens eines verbogenen T-Stahls durch Strecken zeigt, dass infolge der Verformung die Werkstofffasern an der konvexen Seite gestreckt, die auf der konkaven Seite gestaucht worden sind (Bild 2). Deshalb muss hier durch sorgfältig geführte Hammerschläge mit der Finne der Werkstoff auf der konkaven Seite gestreckt werden, bis die Krümmung beseitigt ist und der Profilstahl wieder seine ordnungsgemäße gerade Form erhalten hat.

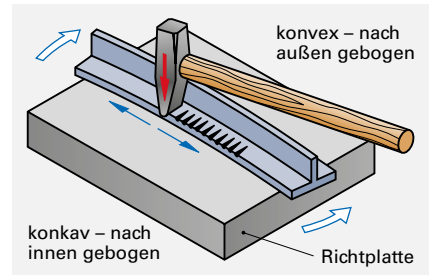
Beim Flachstahl dagegen geschieht das Richten durch Schläge mit der Bahn des Hammers auf die konvex gewölbte Seite, die zur Streckung der gegenüberliegenden konkaven Seite führt (Bild 3).

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).

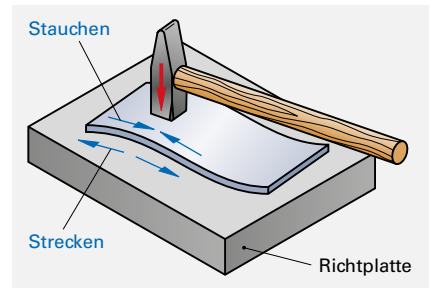
**Richten von Blech**, auch **Spannen** genannt, kann in der Werkstatt auf der Richtplatte durch gezieltes örtliches Strecken und Stauchen erfolgen (Bild 1).



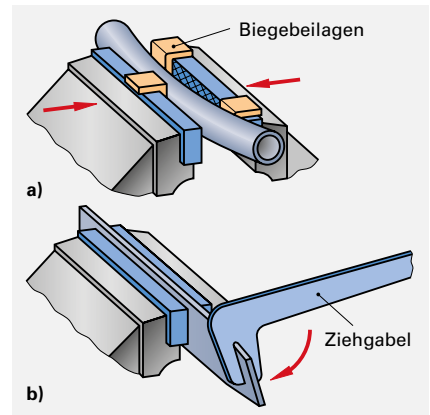
1 Spannen von Blech



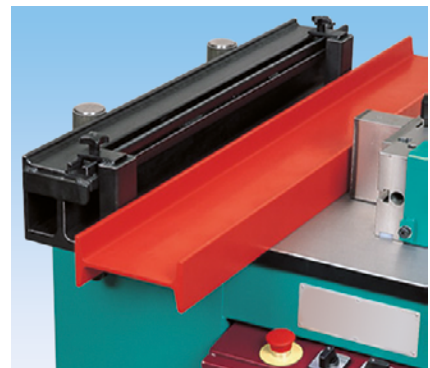
2 Richten eines verbogenen Winkelprofils durch Strecken



3 Richten von verbogenem Flachstahl



4 Richten im Schraubstock



5 Richtmaschine mit Richtbalken

**Richten mit Maschinen** ist bei größeren Abmessungen der Werkstücke nötig. Stäbe, Profile, Träger und auch Rohre werden auf speziellen Pressen meist hydraulisch über die Verformungsrichtung hinaus gebogen (Bild 5 der vorherigen Seite). Größere und dickere Bleche oder Stäbe werden durch Walzen auf Rollenrichtmaschinen in den planen Zustand zurückversetzt (Bild 1).

### 1.3.2 Warmrichten

Metalle dehnen sich beim Erwärmen aus. Werden die Wärmedehnung und die anschließende Schrumpfung beim Abkühlen gezielt behindert, entstehen Schrumpfspannungen, die das Teil in gewünschter Weise verziehen können.

#### Merke

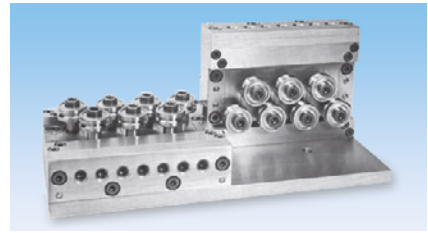
Beim Warmrichten werden durch örtliche Erwärmung Schrumpfspannungen erzeugt, um ein Bauteil zu richten.

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 2). 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.

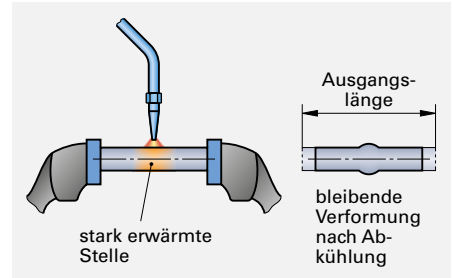
Der in diesem Versuch beobachtete Effekt ist auch die Grundlage des **Flammrichtens** (Bild 3). Verbogene Profile werden durch das Setzen eines oder mehrerer **Wärmekeile** gerade gerichtet. Die Basis des dreieckigen Keils muss an der äußeren, langen Seite der stärksten Krümmung, also außerhalb der Neutralen 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 teigig geworden, staucht die im Werkstück entstandene Spannung das stark erwärmte Gebiet zusammen. Nach der einsetzenden Abkühlung und 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:

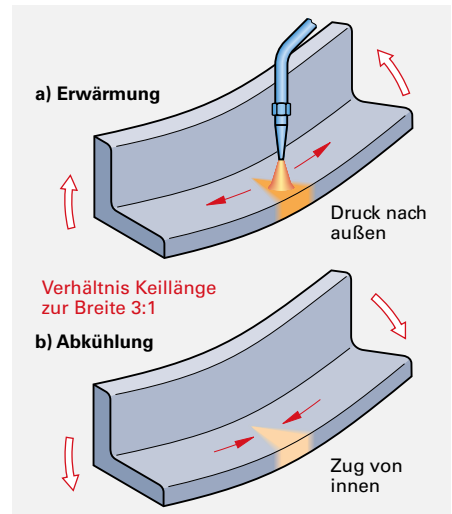
- Nichtrostenden Stahl vorher entfetten, Brenner mit leichtem O<sub>2</sub>-Überschuss gegen Aufkohlung einstellen;
- Flammrichtfigur mit Kreide anzeichnen;
- **Behinderung der Wärmeausdehnung** durch Festspannen mit Zwingen oder schweren Gewichten;
- Brennergröße: 2,5 bis 3 mal Blechdicke, Cr-Ni-Stahl 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;



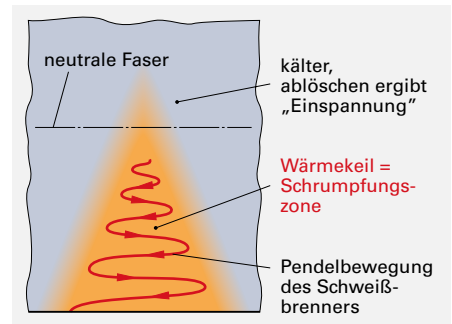
1 Doppelrichtapparat mit einzelnen anstellbaren Richtrollen



2 Versuch zur Wärmedehnung



3 Richten eines verbogenen Winkelstahls mit einem Wärmekeil



4 Setzen eines Wärmekeils