



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Metallberufe

Werkstofftechnik für Metallbauberufe

von
Dr. Eckhard Ignatowitz

Mit Eigenschafts- und Maßstabellen sowie Bearbeitungsrichtwerten für
– **Werkstoffe** – **Halbzeuge** – **Normteile** – **Hilfsstoffe** – **Bauteile** –

6. Auflage

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

Europa-Nr.: 15414

Autor: Dr.-Ing. Eckhard Ignatowitz /Waldbronn

Entwurf der Bilder und des Umschlages: Dr. E. Ignatowitz

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Fotos: Firmen und Fachinstitute (siehe Seite 311 f.)

Den Damen und Herren der Arbeitskreise METALLBAUTECHNIK FACHBILDUNG und TABELLENBUCH FÜR METALLBAUTECHNIK des Verlags Europa-Lehrmittel dankt der Autor für wertvolle Anregungen bei der Erstellung des Manuskriptes:

Dipl.-Ing. OStR Manfred Kluge
Dipl.-Ing.-Päd. Dagmar Köhler
Dipl.-Ing.-Päd. Frank Köhler
Dipl.-Ing., StD Gerhard Lämmlin

OStR Hans Joachim Pahl
Dipl.-Ing. Armin Steinmüller
Dipl.-Ing., OStR Hans-Martin Weinstock
StD Alfred Weingarter

6. Auflage 2019

Druck 5 4 3 2

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

Diesem Buch liegen die bei Redaktionsschluss (2018) gültigen Ausgaben der DIN-Normblätter, der Europäischen Normblätter DIN EN, der ISO-Normen und der VDI-Richtlinien zugrunde.

Verbindlich für die Bestellung und Anwendung sind nur die DIN-Normblätter, DIN EN-Normblätter, ISO-Normblätter und VDI-Richtlinien in der gültigen Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum.

Bezug der DIN-, DIN EN- und ISO-Normblätter sowie der VDI-Richtlinien über:

Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 4, 10787 Berlin oder unter www.mybeuth.de

ISBN 978-3-8085-1640-9

© 2019 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: rkt, 51379 Leverkusen, www.rktypo.com

Umschlag: MediaCreativ, G. Kuhl, 40724 Hilden

Umschlagfotos: Thyssen aG, Düsseldorf, Bemo Fensterbau, Weißenthurm

Sven Körting Geländerbau, Dessau und Ernst Leitz GmbH, Wetzlar

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort

Das Buch **WERKSTOFFTECHNIK FÜR METALLBAUBERUFE** ist ein **Lehr- und Lernbuch** für die Ausbildung in Schule und Betrieb sowie ein **Nachschlagewerk** für die berufliche Praxis in der Werkstatt, im Betrieb und auf der Baustelle.

Das Buch ist geeignet als unterrichtsbegleitendes Lehrbuch für die Auszubildenden zum

- Handwerksberuf **METALLBAUER**
(frühere Berufsbezeichnungen: Bauschlosser, Metallbaus Schlosser, Stahlbaus Schlosser, Betriebschlosser, Kunstschmied) sowie für den
- Industrieberuf **KONSTRUKTIONSMCHANIKER**
(frühere Berufsbezeichnungen Stahlbaus Schlosser, Bauschlosser, Betriebsschlosser, Blechs Schlosser, Schiffbauer) und den
- Industrieberuf **ANLAGENMECHANIKER**
(frühere Berufsbezeichnungen: Kessel- und Behälterbauer, Betriebsschlosser, Blechs Schlosser, Kupferschmied, Rohrinstallateur, Hochdruckschlosser, Rohrnetzbauer)

Daneben ist es für alle in diesen Berufen Tätigen eine wertvolle Hilfe zum Auffrischen von Werkstofftechnikwissen sowie zum Nachschlagen von Werkstoffdaten und Fertigungs-Richtwerten.

Auch für Studenten an Technikerschulen und Fachhochschulen der Fachrichtung Bauingenieurwesen ist es zur Einführung in die Werkstofftechnik geeignet.

Ziel des Buches ist eine solide Vermittlung von Werkstofftechnik-Fachwissen und das Bereitstellen von Werkstoffdaten und Fertigungs-Richtwerten für Praktiker.

Das Buch enthält einen Werkstofftechnikteil sowie einen Tabellenteil.

Werkstofftechnikteil

Der Werkstofftechnikteil geht kurz auf die Herstellung der Werkstoffe ein.

Breiter Raum wird der Beschreibung der einzelnen Werkstoffe, ihren Eigenschaften sowie der Verarbeitung und Verwendung gewidmet. Besonderer Wert wird dabei auf die Metallbau-spezifischen Themen der Schweißtechnik sowie des Korrosionsschutzes gelegt.

Tabellenteil

Der Tabellenteil enthält Eigenschafts- und Maßtabellen der Werkstoffe, der Zusatz- und Hilfsstoffe, der Metallerzeugnisse (Halbzeuge) und wichtiger Normteile.

Darüber hinaus enthält er Richtwerte für die Fertigungs- und Bearbeitungsverfahren sowie Hinweise für die Verwendung.

Die Sachthemen sind im Tabellenteil in derselben Reihenfolge wie im Werkstofftechnikteil angeordnet und sind durch Seitenhinweise leicht aufzufinden.

Durch die gemeinsame Darstellung von Werkstofftechnik sowie Eigenschafts- und Maßtabellen, Fertigungs-Richtwerten und Anwendungshinweisen in einem Buch wird eine Verbindung und Verzahnung von Werkstofftechnik-Fachwissen mit der Anwendung und Verarbeitung der Werkstoffe erzielt.

Das Buch **WERKSTOFFTECHNIK** schließt die Lücke zwischen theoretisierenden Werkstofftechnikbüchern und Tabellenwerken und bietet dem Benutzer eine **Lern- und Arbeitshilfe aus einem Guss**.

Das **Sachwortverzeichnis** enthält die englische Übersetzung der Sachwörter. Es kann als **Fachwörter-Lexikon** genutzt werden.

In der vorliegenden **6. Auflage** wurden alle Normen geprüft und auf den aktuellen Stand gebracht.

Einige Inhalte wurden erneuert bzw. neu aufgenommen:

- Die Weich- und Hartlote (Seite 112 und 251, 252)
- Kupfer und Kupferlegierungen (Seite 261)
- Kühlschmierstoffe, Arbeitssicherheit, Entsorgung (Seite 293)

1	Übersicht und Einteilung	9			
1.1	Rohstoffe, Werkstoffe, Hilfsstoffe	9	6.2	Wichtige Stähle und Gusseisenwerkstoffe	36
1.2	Einteilung der Werkstoffe	11	6.2.1	Unlegierte Baustähle	36
2	Werkstoffeigenschaften	12	6.2.2	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle ...	37
2.1	Physikalische Eigenschaften	12	6.2.3	Wetterfeste Baustähle	37
2.2	Mechanisch-technische Eigenschaften ...	13	6.2.4	Stähle für Bleche und Band	38
2.3	Fertigungstechnische Eigenschaften	14	6.2.5	Nichtrostende Stähle	39
2.4	Chemisch-technische Eigenschaften	15	6.2.6	Maschinenbaustähle	40
2.5	Umwelt-Eigenschaften	15	6.2.7	Werkzeugstähle	42
3	Roheisengewinnung und Stahlherstellung	16	6.2.8	Gusseisenwerkstoffe	44
3.1	Chemische Grundlagen der Metallgewinnung	16	6.2.9	Stahlguss	44
3.2	Eisenerze	17	7	Stahlerzeugnisse	46
3.3	Roheisengewinnung im Hochofen	17	7.1	Langerzeugnisse aus Stahl	47
3.4	Roheisenerzeugung durch Direktreduktions-Verfahren	18	7.1.1	Warmgewalzte Stäbe (Stabstähle)	47
3.5	Stahlherstellung mit dem Sauerstoff-Aufblasverfahren	19	7.1.2	Warmgewalzte Profile (Formstähle, Profilstähle, Träger)	47
3.6	Stahlherstellung mit dem Elektrostahlverfahren	19	7.1.3	Geschweißte Profile (Wabenträger)	48
3.7	Nachbehandlung des flüssigen Stahls	20	7.1.4	Stahlhohlprofile und Stahlrohre	48
3.8	Vergießen des flüssigen Stahls	21	7.1.5	Kaltprofile	49
	Übersicht: Roheisengewinnung und Stahlherstellung	22	7.2	Rahmen-Hohlprofile (RP-Profile) aus Stahl für Fenster, Türen, Geländer	49
3.9	Vorgänge im Werkstoff bei der Metallherstellung	23	7.3	Flacherzeugnisse aus Stahl	51
4	Verarbeitung zu Stahlerzeugnissen ..	24	7.4	Stahl-Ausbauerzeugnisse	52
4.1	Warmwalzen	24	7.5	Betonstabstahl und Betonstahlmatten ..	52
4.2	Strangpressen	26	7.6	Stahldraht und Drahterzeugnisse	53
4.3	Rohrherstellung	26	7.7	Schmiedeeiserne Zier-Bauteile	53
4.4	Kaltumformen	26	8	Der innere Aufbau der Metalle	54
5	Kurzbezeichnung der Stähle und Gusseisenwerkstoffe	28	8.1	Gefüge und kristalline Struktur	54
5.1	Kurznamen für Stähle	28	8.2	Die Kristallgittertypen der Metalle	55
5.2	Kurznamen für Gusseisenwerkstoffe	31	8.3	Der reale kristalline Aufbau	55
5.3	Die alten Kurznamen für Stähle und Gusseisenwerkstoffe	32	8.4	Kristalline Struktur und Eigenschaften ..	56
5.4	Werkstoffnummern für Stähle, Stahlguss und Gusseisen	33	8.5	Gefüge und Eigenschaften	57
6	Die wichtigsten Stähle und Gusseisenwerkstoffe	34	8.6	Gefügearten der Eisen-Werkstoffe	58
6.1	Einteilung der Stähle und Gusseisenwerkstoffe	34	8.7	Schmelz- und Erstarrungsverhalten der Metalle, Zustandsschaubilder	60
			8.8	Das Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubild	62
9	Wärmebehandlung der Stähle und Gusseisenwerkstoffe	64	9	Wärmebehandlung der Stähle und Gusseisenwerkstoffe	64
			9.1	Glühen	65
			9.2	Härten	66
			9.2.1	Arbeitsschritte	66
			9.2.2	Gittervorgänge und Gefügeveränderungen beim Härten	69
			9.2.3	Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubild (ZTU-Schaubild)	69
			9.3	Vergüten	71
			9.4	Verfahren zum Härten der Randzone	72

9.5	Wärmebehandlung der Baustähle für den Stahlbau und das Bauwesen	73	13.3	Blei und Bleilegierungen	106
9.6	Wärmebehandlung der Vergütungsstähle	73	13.4	Nickel und Nickellegierungen	107
9.7	Wärmebehandlung der Werkzeugstähle	74	13.5	Titan und Titanlegierungen	106
9.8	Wärmebehandlung der nichtrostenden Stähle	75	13.6	Magnesium und Mg-Legierungen	107
9.9	Wärmebehandlung der Stähle für Randzonenhärtung	76	13.7	Legierungsmetalle	108
			13.8	Hochschmelzende Metalle	108
			13.9	Edelmetalle	108
10	Werkstoffkundliches Wissen beim Verarbeiten der Werkstoffe	77	14	Lote und Flussmittel	109
10.1	Vorgänge beim Umformen	77	14.1	Werkstoffkundliche Vorgänge beim Löten	109
10.2	Biegeumformen (Kaltverformung)	78	14.2	Lötverfahren	111
10.3	Schmieden	78	14.3	Weichlote	111
10.4	Spanen	79	14.4	Hartlote	112
10.4.1.	Spanverfahren	79	14.5	Durchführung der Lötarbeiten	114
10.4.2.	Zerspanbarkeit der Stähle und Gusseisenwerkstoffe	79	15	Korrosion und Korrosionsschutz	115
10.4.3.	Schneidstoffe zur Zerspanung	80	15.1	Elektrochemische Korrosion	115
10.5	Schweißen	82	15.1.1	Elektrochemische Sauerstoffkorrosion	115
10.5.1	Übersicht der Schweißverfahren	82	15.1.2	Elektrochemische Korrosion an Korrosionselementen (Kontaktkorrosion)	116
10.5.2	Werkstoffkundliche Gesichtspunkte beim Schweißen	85	15.2	Korrosion bei hohen Temperaturen	118
10.6	Löten	87	15.3	Erscheinungsformen der Korrosion	118
10.7	Kleben	87	15.4	Einflussfaktoren auf die Korrosion eines Bauteils	119
10.8	Schraubenverbindungen	88	15.5	Auswahl der Werkstoffe nach dem Korrosionsverhalten	121
11	Aluminium und Aluminiumlegierungen	89	15.6	Korrosionsschutzgerechte Konstruktion	121
11.1	Aluminium-Herstellung	89	15.7	Korrosionsschutz von Stahlbauteilen	122
11.2	Eigenschaften und Verwendung	90	15.7.1	Vorbereiten der Stahloberfläche	122
11.3	Aluminium-Werkstoffarten	86	15.7.2	Rostgrade und Oberflächen-vorbereitungsgrade	123
11.4	Kurzbezeichnung von Al-Werkstoffen	90	15.7.3	Korrosionsschutzbeschichtungen auf Stahlbauten	124
11.5	Härten von Aluminiumlegierungen	92	15.7.4	Korrosionsschutz durch Feuerverzinken	125
11.6	Genormte Aluminiumwerkstoffe	92	15.7.5	Feuerverzinkung und Beschichtung (Duplex-Systeme)	126
11.7	Aluminium-Halbzeuge	93	15.7.6	Katodischer Korrosionsschutz von Stahl-Bauteilen	126
11.8	Verarbeitung von Al-Werkstoffen	95	15.8	Korrosion und Korrosionsschutz von nichtrostenden Stählen	127
11.9	Fügen von Aluminiumbauteilen	97	15.9	Korrosionsschutz von Aluminium-Bauteilen	128
12	Kupfer und Kupferlegierungen	99	15.9.1	Anodische Oxidation	128
12.1	Kupfer-Gewinnung	99	15.9.2	Farbbeschichtungen und Überzüge auf Aluminium-Bauteilen	129
12.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung von Kupfer	99	15.10	Korrosion und Korrosionsschutz von Kupferwerkstoffen	130
12.3	Unlegierte Kupfersorten	100	16	Sinterwerkstoffe	131
12.4	Niedrig legierte Kupferwerkstoffe	101	16.1	Herstellung von Sinterteilen	131
12.5	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	101	16.2	Besonderheiten der Sintertechnik	132
12.6	Kupfer-Zinn-Legierungen und Kupfer-Zinn-Mehrstofflegierungen	103	16.3	Sintermetalle	133
12.7	Kupfer-Nickel-Legierungen und Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen	104	16.4	Hartmetalle	133
12.8	Kupfer-Aluminium-Legierungen	104			
13	Weitere technisch wichtige Metalle	105			
13.1	Zink und Zinklegierungen	104			
13.2	Zinn und Zinnlegierungen	106			

17	Kunststoffe (Plaste)	135	19.9	Sicherheitsverglasungen	161
17.1	Eigenschaften und Anwendung	135	19.10	Weitere Glasprodukte	162
17.2	Herstellung und innerer Aufbau	136	20	Schmierstoffe und Reinigungsmittel	163
17.3	Technische Einteilung	138	20.1	Schmierstoffe	163
17.4	Thermoplaste	139	20.2	Kühlschmierstoffe (Bearbeitungsmedien)	164
17.5	Duroplaste	141	20.3	Reinigungsmittel	165
17.6	Elastomere (Elaste, Gummi, Kautschuk)	142	21	Baustoffe	166
17.7	Bestimmen der Kunststoffart	143	21.1	Mauerwerksbaustoffe	166
17.8	Halbzeug- und Fertigteile-Herstellung (Urformen)	143	21.2	Bauwerksteile aus Beton	167
17.9	Weiterverarbeitung der Halbzeuge	145	21.3	Bauholz	167
17.10	Schweißen von Kunststoffen	146	21.4	Verbundplatten	167
17.11	Kleben von Kunststoffen	147	21.5	Verbindungsmitel (Mörtel)	168
17.12	Klebstoffe	148	21.6	Einwirkungen von Mörtel auf Metall-Bauteile	168
17.13	Spezielle Anwendungen von Kunststoffen im Metallbau	148	21.7	Befestigen von Metall-Bauteilen an Bauwerken	169
18	Verbundwerkstoffe	151	22	Werkstoffprüfung	170
18.1	Innerer Aufbau	151	22.1	Einfache Prüfungen in der Werkstatt	170
18.2	Faserverstärkte Verbundwerkstoffe	152	22.2	Mechanisch-technische Prüfverfahren für Erzeugnisformen	172
18.3	Stahlbeton-Verbunde	153	22.3	Zugversuch	174
18.4	Teilchenverstärkte Verbundwerkstoffe ..	154	22.4	Druckversuch	176
18.5	Schichtverbundwerkstoffe	155	22.5	Scherversuch	176
19	Glas und Glasbauteile	157	22.6	Härteprüfungen	176
19.1	Herstellung von Flachglas	157	22.7	Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy ..	180
19.2	Eigenschaften von Glas	158	22.8	Dauerschwingfestigkeits-Prüfung	180
19.3	Gussglassorten	158	22.9	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen ...	181
19.4	Fenster- und Spiegelglas	158	22.10	Metallografische Untersuchungen	183
19.5	Verglasungen für Wärmeschutz- fenster	159	22.11	Prüfung der Werkstoffzusammen- setzung (Werkstoffanalyse)	184
19.6	Verglasungen mit Wärme- und Sonnenschutz	160	22.12	Prüfung der Kunststoffe	185
19.7	Schallschutzverglasungen	160	22.13	Kennwerte wichtiger Kunststoffe	186
19.8	Brandschutzverglasungen	161			

Inhaltsverzeichnis Tabellenteil

189

Werkstoffkundliche Grundlagen	192	Kurzbezeichnung für Stähle und Gusseisenwerkstoffe	197
Periodensystem der Elemente, physikalische und chemische Eigenschaften der Elemente	192	Kurznamen für Stähle nach europäischer Norm DIN EN 10 027-1	197
Technisch wichtige Chemikalien und Substanzen, Eigenschaften, Verwendung	193	Werkstoffnummern für Stähle (DIN EN 10 027-2) und Gusseisenwerkstoffe (DIN EN 1560)	199
Physikalische Eigenschaften: Metalle und Legierungen, Nichtmetalle, Flüssigkeiten, Gase	194	Kurznamen für Gusseisenwerkstoffe nach europäischer Norm DIN EN 1560	200
Physikalische Größen und ihre gesetzlichen Einheiten (SI-Einheiten)	196	Die alten Kurznamen für Stähle und Gusseisen	200

Stähle und Gusseisenwerkstoffe	201	Drehen: Klemmhalter mit Wendeschneid-	
Unlegierte Baustähle,		platten, Richtwerte für das Drehen	229, 230
schweißgeeignete Feinkornbaustähle	201	Fräsen: Fräsarbeiten, Richtwerte	230
Wetterfeste Baustähle, Nichtrostende Stähle,		Schneidstoffe für die Metallzerspanung	231
Vergütungsstähle	202	Schleifen, Schleifscheiben, Bezeichnung	232
Werkzeugstähle, Betonstahl	203	Oberflächenbearbeitung von nichtrostenden	
Gusseisenwerkstoffe, Stahlguss	204	Stählen: Schleifen, Polieren, Passivieren	233
Stahlerzeugnisse	205	Schweißen	234
Flacherzeugnisse aus Stahl (nicht korrosions-		Schweißverfahren, Schweißnahtarten und	
geschützt)	205	Schweißnahtvorbereitung, Schweißpositionen,	
Korrosionsgeschützte Flacherzeugnisse		zeichnerische Darstellung, Brennschneiden	234
aus Stahl	206	Gasschmelzschweißen, Gasentnahmemengen,	
Flacherzeugnisse und Fertigerzeugnisse		Schweißstäbe, Richtwerte	235
aus Stahl	207	Lichtbogenhandschweißen (E-Schweißen),	
Flacherzeugnisse, Blechprofile und Rahmen-		Umhüllte Stabelektroden zum E-Schweißen	
profile aus Stahl (für Fenster)	208	für die verschiedenen Stahlsorten	236, 237
Streckgitter, Gitterroste, Ankerschienen,		Lichtbogenhandschweißen: Zuordnung	
Betonstabstahl, Stahldraht, Drahtseile	209	der Stabelektroden für Werkstoffe	238
Rundstahlketten, Drahtgeflechte, Drahtgewebe,		Berechnung des Elektrodenbedarfs beim	
Drahtgitter, Wandkassetten	210	Lichtbogen-Schmelzschweißen	239, 240
Schmiedeeiserne Zier-Bauelemente	210	Schutzgasschweißen (SG-Schweißen),	
Flächen- und längenbezogene Massen		SG-Schweißverfahren, Schutzgase	241
von Fertigerzeugnissen	211	Drahtelektroden, Schweißstäbe und Schweißgut	
Warmgewalzte Stäbe (Stabstähle), Flachstahl,		zum Schutzgasschweißen (MAG, MIG, WIG, WP)	
Blankstahlerzeugnisse	212	verschiedener Stahlsorten	242, 243
Warmgewalzte Profile: T-Stahl, Z-Stahl,		Zuordnung von Drahtelektroden bzw. Schweiß-	
Winkelstahl, U-Stahl	213 ... 215	stäben für das Schutzgasschweißen	244
Warmgewalzte Profile: Träger	215 ... 217	Einstellwerte und Elektrodenbedarf	
Mantelflächen von Stahl-Langerzeugnissen	218	beim Schutzgasschweißen	245
Stahlhohlprofile (quadratisch, rechteckig, rund) .	219	Hauptnutzungszeit beim Lichtbogen-	
Stahlhohlprofile, Stahlrohre	220	Schmelzschweißen	246
Festigkeitsberechnungen an Langerzeugnissen .	221	Metall-Schutzgasschweißen mit Fülldraht-	
Der innere Aufbau der Metalle	222	elektroden	247
Das Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubild	222	Unterpulverschweißen, Bolzenschweißen	248
Gefügebilder von Stählen und Gusseisen ..	222, 223	Bewertung der Unregelmäßigkeiten von	
Wärmebehandlung der Stähle und		Lichtbogen-Schweißverbindungen bei Stahl	249
Gusseisenwerkstoffe	224	Löten	250
Begriffsdefinitionen, Glüh-, Härte- und		Weichlote	250
Anlasstemperaturen unlegierter Stähle	224	Flussmittel zum Weichlöten	251
Wärmebehandlung der Stahlbaustähle und		Lötzusätze zum Hartlöten	251
Vergütungsstähle, Vergütungsschaubilder	225	Flussmittel zum Hartlöten	252
Wärmebehandlung der Werkzeugstähle	226	Schraubenverbindungen	253
Bearbeitung und Verarbeitung von		Übersicht:	
Stählen und Gusseisen	227	Schrauben, Muttern, Scheiben	253
Biegeumformen: Biegeradien, Zuschnitte,			
Rückfederung; Schmieden (Richtwerte)	227		
Bohren, Sägen mit der Bandsäge und			
der Metallkreissäge (Richtwerte)	228		

Aluminium und Aluminiumlegierungen . . .	254	Kunststoffsorten, allgemeine, physikalische und chemische Eigenschaften	280, 281
Kurznamen der Aluminiumwerkstoffe,		Bestimmen der Kunststoffart nach Erkennungsmerkmalen	282
Bezeichnung des Werkstoffzustands	254	Kunststoff-Halbzeuge: Stäbe, Tafeln, Rohre, Dichtungsbahnen, Wärmedämm-Schaumstoffe,	283
Aluminiumwerkstoffe und ihre mechanischen Eigenschaften	255	Verstärkte Kunststoffe: Kurzzeichen, Eigenschaften, Verwendung	284
Aluminium-Halbzeuge: Stangen, Bleche, Rohre, Hohlprofile, Profile	256	Verstärkte Kunststoff-Formmassen, Lamine, Rohre aus GEK	285
Verarbeitung von Al-Werkstoffen: Richtwerte für das Biegen, Sägen, Bohren, Drehen, Fräsen	257	Richtwerte für die spanende Bearbeitung der Kunststoffe	286
Schweißen und Löten von Al-Werkstoffen . .	258, 259	Schweißen der Kunststoffe	287
Kupfer und Kupferlegierungen	260	Kleben: Gestaltung von Klebeverbindungen, Klebstoffe, Vorbehandlung der Klebeflächen . . .	288
Kurznamen, Werkstoffnummern	260	Klebstoff-Auswahltabellen für Verklebungen von Kunststoffen	289
Unlegierte Kupfersorten sowie Kupfer- und Kupferlegierungen für das Bauwesen	260, 261	Klebstoff-Auswahltabellen für Verklebungen verschiedenartiger Werkstoffe	290
Halbzeuge aus Kupferwerkstoffen: Bleche, Stangen, Hohlstangen, Rohre, Draht	262, 263	Fensterglas, Verglasungen	291
Schweißen und Löten von Kupferwerkstoffen . .	264	Physikalisch-technische Eigenschaften von Fensterglas, Arten von Verglasungen	291
Weitere technisch wichtige Metalle	265	Wärmedurchgangskoeffizienten, bewertetes Schalldämmmaß von Verglasungen	291
Zink-, Zinn-, Blei-, Nickel- und Titanwerkstoffe	265	Schmierstoffe	292
Korrosion und Korrosionsschutz	266	Schmieröle, Schmierfette, feste Schmierstoffe . .	292
Korrosionsarten, Korrosionsverhalten der Werkstoffe	266	Kühlschmierstoffe, Umformschmierstoffe, Arbeitssicherheit, Entsorgung	293
Kontaktkorrosion, Spannungsreihe der Metalle .	267	Werkstoffprüfung	294
Ermitteln des geeigneten Korrosionsschutzes, Korrosivitätskategorien	268	Funkenbilder von Stählen (zur Werkstofferkennung)	294
Vorauswahl und Vorbereitung für den Korrosionsschutz	269	Zugversuch, Kennwerte, Zugproben	295
Korrosionsschutz durch Feuerverzinken . . .	270, 271	Druckversuch, Scherversuch, Kerbschlagbiegeversuch, Dauerschwingversuch	296
Vorbereitung der Stahloberflächen zum Beschichten, Rostgrade, Oberflächenvorbereitungsgrade	272, 273	Härteprüfungen: Brinell, Vickers, Martens, Rockwell	297, 298
Korrosionsschutz-Beschichtungssysteme für Stahlbauten	274...276	Umwertungstabelle für Härtewerte und Zugfestigkeit	298
Korrosionsschutz für Aluminium-Bauteile	277	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	299
Sinterwerkstoffe	278	Gefügeschliffbilder von Stählen und Guss-eisenwerkstoffen	300
Sinterwerkstoffe: Einteilung, Eigenschaften, Verwendung	278	Elektronenmikroskopische Bilder von Bruchflächen	301
Kunststoffe	279	Sachwortverzeichnis	302
Kurzzeichen für Kunststoffe	279	(mit englischer Übersetzung der Sachwörter)	
Kurzzeichen für Füll- und Verstärkungsstoffe in Kunststoffen	279	Bildnachweis und Quellenverzeichnis	311

6.2 Wichtige Stähle und Gusseisenwerkstoffe

Eine wichtige Werkstoffgruppe für den Metallbau sind die Stahlbaustähle, auch einfach Baustähle genannt. Man bezeichnet damit Stähle, aus denen Stahlgerüste, Geländer, Stahltreppen, Stahltore, Stahlbauskelethallen, Freileitungsmaste, Spundwände, Schienen, Karosserierahmen, Maschinengestelle usw. gefertigt werden (**Bild 1**).

Stahlbaustähle kommen als warm- oder kaltgewalzte Stahlerzeugnisse in Form von Trägern, Profilen, Rohren, Stangen, Blechen und Drähten in den Handel (Seite 25) und werden nach dem Zuschnitt durch Schweißen oder Verschrauben zu den fertigen Bauteilen und Bauwerken gefügt.

Stahlbaustähle verwendet man im Metallbau, im Stahlbau und im Maschinenbau. Ihre Gebrauchsfestigkeit ist im Anlieferungszustand vorhanden; sie sind **nicht** für eine Wärmebehandlung geeignet.

6.2.1 Unlegierte Baustähle

Unlegierte Baustähle sind preiswerte Stähle mit mittlerer Festigkeit und Streckgrenze für niedrige bis mittlere Belastungen.

Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen sind nach DIN EN 10025-2 genormt (**Tabell**). Sie werden entweder mit einem Kurznamen oder mit einer Werkstoffnummer benannt.

Die **Festigkeit** der unlegierten Baustähle wird hauptsächlich durch ihren Kohlenstoffgehalt bestimmt. Er beträgt ca. 0,17% (S 235 JR) bis 0,5% (E 360). Während die Festigkeit mit dem Kohlenstoffgehalt steigt, verschlechtert sich die Dehnbarkeit, die Verformbarkeit, die Schmiedbarkeit und die Schweißseignung.

Der gebräuchlichste unlegierte Baustahl für mäßig belastete Bauteile ist der **Stahl S235JR**. Er wird überwiegend zu geschweißten Bauwerken und Bauteilen sowie zu gering belasteten Stahlkonstruktionen verarbeitet (Bild 1, linker Bildteil).

Für höherbelastete Bauteile, z.B. ausladende Stahlkonstruktionen und Tragwerke oder tragende Karosserieteile, kommt bevorzugt der unlegierte Baustahl **S355J2** zum Einsatz (Bild 1, rechter Bildteil).

Seine hohe Festigkeit und Streckgrenze erhält er durch einen erhöhten Mangengehalt (etwa 1,6%) und einen Aluminiumzusatz. Sie bewirken ein feines Gefügekorn, das durch eine geregelte Temperaturführung beim Walzen eingestellt wird.

Tabelle: Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen (DIN EN 10 025-2), Auswahl						
Kurzname nach DIN EN 10025-2	Früherer Kurzname nach DIN 17 100	Werkstoffnummer	Kohlenstoffgehalt ¹⁾ %	Streckgrenze ¹⁾ R_e N/mm ²	Zugfestigkeit ²⁾ R_m N/mm ²	Bruchdehnung A %
S185	St 33	1.0035	–	175	290...510	10...18
S235JR	RSt 37-2	1.0038	0,17	225	340...470	17...24
S235J2	St 37-3 N	1.0117	0,17	225	340...470	17...24
S275J0	St 44-3 U	1.0143	0,18	265	410...560	14...22
S355J0	St 52-3 U	1.0553	0,22	345	490...630	14...22
S355J2	St 52-3 N	1.0577	0,22	345	490...630	14...22
E295	St 50-2	1.0050	–	285	470...610	12...20
E335	St 60-2	1.0060	–	325	570...710	8...16
E360	St 70-2	1.0070	–	355	670...830	4...11

¹⁾ Für Erzeugnis-Neandicken > 16 mm ≤ 40 mm; – nicht festgelegt
²⁾ Für Neandicken ≥ 3 mm ≤ 100 mm

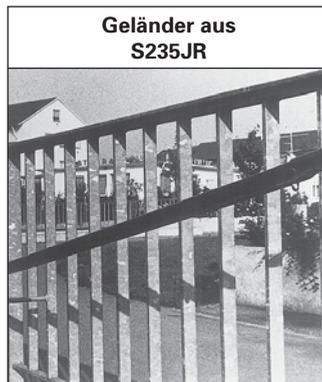


Bild 1: Gewerke aus unlegierten Baustählen

Schweißignung der unlegierten Baustähle

Da das Schweißen die geeignetste Fügetechnik im Stahlbau ist, ist die Schweißignung der unlegierten Baustähle von besonderer Bedeutung. Uneingeschränkt zum Schweißen geeignet sind die unlegierten Baustähle mit bis zu 0,20% Kohlenstoff, z.B. die Baustähle S235J0 (St 37-3U) und S355J0 (St 52-3U). Die Festigkeit ihrer Schweißnähte entspricht annähernd der Festigkeit des Grundwerkstoffs. Weniger zum Schweißen geeignete Stähle, wie z.B. S185 (St 33), ergeben Schweißnähte verminderter Festigkeit. Nur bedingt zum Schweißen geeignet sind Stähle mit einem C-Gehalt über 0,20%, wie z.B. E335 (St 60-2) oder E360 (St 70-2). Sie werden überwiegend durch Schrauben gefügt.

6.2.2 Schweißgeeignete Feinkornbaustähle

Für Bauteile mit hoher Beanspruchung und erforderlicher Schweißignung werden im Stahlbau die schweißgeeigneten Feinkornbaustähle eingesetzt (**Tabelle unten**).

Sie enthalten jeweils rund 0,20% Kohlenstoff, 0,50% Silicium, jeweils 0,03% Phosphor und Schwefel, je nach Sorte 0,5% bis 1,7% Mangan, 0,3% bis 0,8% Nickel, 0,3% Chrom, 0,35% bis 0,7% Kupfer sowie geringe Mengen an Vanadium (bis 0,2%), Niob (bis 0,06%) und Titan (0,06%).

Der geringe Kohlenstoffgehalt von 0,20% macht die Feinkornbaustähle gut schweißbar.

Die Gehalte an Mangan, Chrom, Nickel und Kupfer erhöhen die Festigkeit und Zähigkeit. Kupfer, Chrom und Nickel verbessern zusätzlich die Korrosionsbeständigkeit.

Die nur in Mikrogehalten vorhandenen Legierungselemente V, Nb und Ti bewirken die Kornverfeinerung sowie die feinverteilte Ausscheidung harter Metallcarbide.

Dies bewirkt die ausgezeichneten Werte der Streckgrenze.

Eine geregelte Temperaturführung beim Walzen, das sogenannte **thermomechanische Walzen**, verbessert die mechanischen Eigenschaften weiter.

Durch die Legierungselemente erhält auch das Schweißnahtgefüge ein feines Korn und damit gute mechanische Eigenschaften.

Die Feinkornbaustähle bilden durch den niedrigen Kohlenstoffgehalt fast kein Perlitgefüge (Seite 58). Man nennt sie deshalb auch perlitarne Feinkornbaustähle.

Schweißgeeignete Feinkornbaustähle werden zu stark belasteten Bauteilen, wie Kranausleger, Brückenbauteile, Tragwerke usw. verarbeitet (**Bild 1**).

Tabelle: Schweißgeeignete Feinkornbaustähle (DIN EN 10025-3), Auswahl					
Kurzname nach DIN EN 10025-3	Früherer Kurzname nach DIN 17102	Werkstoffnummer	Streckgrenze ¹⁾ R _e N/mm ²	Zugfestigkeit ²⁾ R _m N/mm ²	Bruchdehnung A %
S275N	StE 285	1.0490	265	370...510	24
S355N	StE 355	1.0545	345	470...630	22
S420N	StE 420	1.8902	400	520...680	19

Erläuterungen: N Normalgeglüht; Es gibt die Feinkornbaustähle auch thermomechanisch gewalzt (M), z.B. S275M.
¹⁾ Für Nenndicken > 16 mm, ≤ 40 mm, ²⁾ Für Nenndicken ≤ 100 mm



Bild 1: Kranausleger aus schweißgeeignetem Feinkornbaustahl

6.2.3 Wetterfeste Baustähle

Die wetterfesten Baustähle nach DIN EN 10025-5 sind legierte Edeltähle und besitzen durch geringe Zusätze von Chrom, Kupfer und Nickel eine verbesserte atmosphärische Korrosionsbeständigkeit. Sie wird durch schützende Oxidschichten erreicht, die sich unter dem Einfluss der Witterungsbedingungen auf dem Werkstoff bilden. Die wetterfesten Stähle rosten zwar, ihre Korrosion ist jedoch wesentlich verlangsamt. Sie werden bevorzugt eingesetzt, wenn sehr große Bauteile nicht durch Feuerverzinken vor Korrosion geschützt werden können, wie z.B. Brücken, Türme, Freileitungsmaste, Stahlskelette. Desweiteren werden Sie für Kunstwerke oder Gebäudeverkleidungen eingesetzt, wenn das rostbraune Aussehen gewünscht wird (**Bild 2**).

Die Kennzeichnung der wetterfesten Stähle erfolgt durch den nachgestellten Buchstaben W, z.B. **S235J2W** oder **S355J2W**.

Weitere Informationen über die Stähle für den Stahlbau auf den Seiten 201 und 202.



Bild 2: Fassadenplatten aus wetterfestem Baustahl

6.2.4 Stähle für Bleche und Band

Flacherzeugnisse aus Stahl können zu Stahlblechen in ebener Tafelform zugeschnitten sein oder als Stahlband auf einer Rolle aufgewickelt sein (Coil genannt). Nach der Dicke unterscheidet man:

- **Feinstbleche:** Dicke unter 0,5 mm
- **Mittelbleche:** Dicke 3 mm bis 4,75 mm
- **Feinbleche:** Dicke 0,5 mm bis 3 mm
- **Grobbleche:** Dicke über 4,75 mm

Flacherzeugnisse (Bleche und Bänder) werden aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt.

Bleche aus weichen Stählen

Bleche aus weichen Stählen zum Kaltumformen (**Tabelle**) haben einen niedrigen Kohlenstoffgehalt (0,01%). Sie lassen sich mit einfachen Werkzeugen umformen und sind gut schweißbar.

Bleche aus Druckbehälterstählen

Diese früher als Kesselbleche bezeichneten Stahlbleche (**Tabelle**) dienen zur Herstellung von Druckbehältern (**Bild 1**) sowie unter Druck stehenden und heiß gehenden Apparaten und Rohrleitungen.

Bleche aus korrosionsbeständigen Stählen

Sie werden auch rostfreie Edelstahlbleche genannt und sind mit rund 18% Chrom sowie ca. 10% Nickel legiert. Sie sind korrosionsbeständig und werden zu dekorativen Bauteilen (**Bild 1**, Seite 39) oder Bauteilen im Sanitär- und Badbereich verarbeitet.

Bleche mit Korrosionsschutz

Am häufigsten kommt beidseitig bandverzinktes Blech (Zink-Schichtdicken von 5 µm bis 20 µm) zum Einsatz (**Tabelle** und **Bild 2**).

Es gibt auch ein- oder beidseitig lackierte Bleche und bandverzinkte folienbeschichtete Bleche.

Weiteres zu Stählen für Flacherzeugnisse auf Seite 205 bis 207.

Tabelle: Kaltgewalzte Flacherzeugnisse (Bleche und Bänder)					
Kurzname nach DIN EN	Früherer Kurzname	Werkstoffnummer	Streckgrenze ¹⁾ R _e N/mm ²	Zugfestigkeit R _m N/mm ²	Bruchdehnung A %
Aus weichen Stählen zum Kaltumformen (DIN EN 10130)					
DC01	Fe P01	1.0330	140	270...410	28
DC03	Fe P03	1.0347	140	270...370	34
Aus Druckbehälterstählen (DIN EN 10 028-2)					
P235GH	H I	1.0345	235	360...480	25
13CrMo4-5	13CrMo44	1.7335	300	450...600	119
Aus korrosionsbeständigen Stählen (DIN EN 10088-2)					
X5CrNi18-10		1.4301	250	600...950	~ 40
X6CrNiMoTi17-12-2		1.4971	240	540...690	~ 40
Bandverzinktes Blech aus weichen Stählen zum Kaltumformen (DIN EN 10346)					
DX51D+Z	St 02 Z	1.0226+Z	–	500	22
DX54D+Z	St 06 Z	1.0306+Z	140...220	350	36
Bandverzinktes Stahlblech für Anwendungen im Bauwesen (DIN EN 10346)					
S250GD+Z	St E 250 Z	1.0242+Z	250	330	19
S350GD+Z	St E 350 Z	1.0529+Z	350	420	16



Bild 1: Flüssiggastank aus Druckbehälterstahl

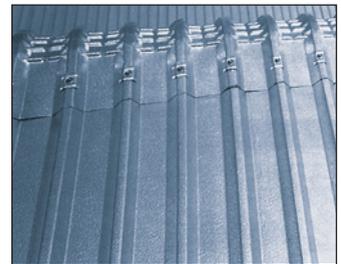


Bild 2: Trapezblech-Dacheindeckung aus verzinktem Blech

Wiederholungsfragen

- 1 Welche Werkstoffe bezeichnet man als Stähle?
- 2 Welchen Kohlenstoffgehalt haben Baustähle, Werkzeugstähle und Gusseisenwerkstoffe?
- 3 Welchen Einfluss hat der Kohlenstoffgehalt in Stahl auf die Festigkeit, die Zähigkeit, die Umformbarkeit und die Schweißbarkeit?
- 4 In welche Hauptgüteklassen teilt man die Stähle ein?
- 5 Welches ist der gebräuchlichste unlegierte Baustahl für normal belastete Bauteile?
- 6 Wozu verwendet man den Stahl S355J2?
- 7 Wodurch zeichnen sich wetterfeste Stähle aus?
- 8 Welches sind die Hauptverwendungen der schweißgeeigneten Feinkornbaustähle?
- 9 Welche Blecharten unterscheidet man nach der Dicke? Nennen Sie die Grenzmaße.

6.2.5 Nichtrostende Stähle

Die nichtrostenden Stähle, auch korrosionsbeständige Stähle oder „Edelstahl Rostfrei“ genannt, sind hochlegierte Edelstähle mit rund 1% Silicium, 2% Mangan, mindestens 10,5% Chrom sowie zum Teil weiteren Legierungselementen wie Nickel, Titan und Molybdän.

Die gebräuchlichsten nichtrostenden Stähle im Metallbau und Bauwesen zeigt die **Tabelle**.

Die nichtrostenden Stähle haben eine blanke, glatte, zum Teil polierfähige Oberfläche und sind bei Innenverwendung ohne Beschichtung korrosionsbeständig.

Höhere Chromgehalte und zusätzliche Legierungselemente, wie Nickel, Molybdän, Titan oder Niob verbessern weiter die Korrosionsbeständigkeit, die mechanischen Eigenschaften und das Warmverhalten.

Man unterscheidet bei den nichtrostenden Stählen je nach Gefügeart (Seite 75) drei Stahlgruppen:

- **Ferritische Stähle** mit einem C-Gehalt von rund 0,05% und Cr-Gehalten bis 18%. Sie sind kaltumformbar, schlecht spanbar und schlecht schweißbar. Anwendungen im Metallbau und Bauwesen sind Beschläge und Verkleidungen für den Innenbereich. Beispiel: X6Cr17 z.B. ist ein ferritischer nichtrostender Stahl. Er ist nur im Innenbereich rostfrei.
- **Martensitische Stähle** mit 0,1 bis 1% Kohlenstoff und bis 17% Cr, wie z.B. X46Cr13. Durch den relativ hohen C-Gehalt sind sie härtbar und in diesem Zustand hart und verschleißfest. Ungehärtet sind sie gut spanbar. Sie sind schlecht oder nicht schweißbar. Sie werden zu korrosionsbeständigen, hochfesten und verschleißfesten Bauteilen verarbeitet, z.B. Achsen, Wellen, Laufräder, Messer.
- **Austenitische Stähle** mit ca. 0,01 bis 0,08% Kohlenstoff, rund 18% Chrom und mindestens 8% Nickel sowie weiteren Legierungselementen. Es sind die am häufigsten im Metallbau eingesetzten nichtrostenden Stähle. Sie sind gut kaltumformbar, gut schweißbar aber schwer zerspanbar.

Die austenitischen Stähle werden im Metallbau und Bauwesen zu Geländern, Dachzubehör, Fassadenverkleidungen, Sanitäreinrichtungen, Fenster- und Türrahmen, Stützen usw. verwendet (**Bild 1**).

Die austenitischen Stähle X5CrNi18-10 und X6CrNiTi18-10 (frühere Bezeichnung: V2A) ertragen Stadt- und Landatmosphäre ohne zu korrodieren. Für Industrie- und Meeresatmosphäre sind die Stähle X5CrNiMo17-12-2 und X6CrNiMo17-12-2 (frühere Bezeichnung: V4A) erforderlich.

Der Stahl X2CrNiMoCuN25-20-7 ist auch für tragende Bauteile, z.B. Stützen und Träger, geeignet (Bauaufsichtliche Zulassung).

Schweißung. Die austenitischen nichtrostenden Stähle sind schweißbar. Vorteilhaft ist eine Stabilisierung durch einen Ti- bzw. Nb-Gehalt. Es ist mit artgleichen Schweißzusätzen zu schweißen.

Bearbeitung. Werkzeuge, die für die Bearbeitung anderer Metalle, insbesondere unlegierte Stähle, verwendet werden, dürfen nicht zur Bearbeitung der nichtrostenden Stähle eingesetzt werden. Ansonsten kommt es zur Korrosion (Seite 121).

Weitere nichtrostende Stähle Seite 202.

Tabelle: Nichtrostende Stähle nach DIN EN 10088-3 (Auswahl)				
Kurzbezeichnung	Werkstoffnummer	0,2% Dehngrenze $R_{p0,2}$ in N/mm ²	Zugfestigkeit R_m in N/mm ²	Anwendungen
X6Cr17 (ferritisch)	1.4016	240	450...600	Möbelgestelle, Regale; <i>außen</i> : ungeeignet
X46Cr13 (martensitisch)	1.4034	–	max. 780	Wellen, Bolzen, Laufräder, Messer, Schnecken
X5CrNi18-10 (austenitisch)	1.4301	210	520...720	<i>innen</i> : Geländer, Möbel, Türen, Lampen
X6CrNiTi18-10 (austenitisch)	1.4541	200	520...720	<i>außen</i> : Dachzubehör, Geländer, Rinnen
X6CrNiMoTi17-12-2 (austenitisch)	1.4571	220	540...690	<i>außen</i> : Fassaden, Fenster, Türen
X2CrNiMoCuN25-20-7	1.4529	300	650...850	<i>innen und außen</i> : Tragende Bauteile



Bild 1: Geschäftsgalerie mit Geländern, Trägern, Stützen und Verkleidungen aus nichtrostendem Stahl

6.2.6 Maschinenbaustähle

Aus Maschinenbaustählen werden die einzelnen Bauteile von Maschinen, Antrieben und Fahrzeugen, wie Zahnräder, Wellen, Bolzen, Achsen, Lager, Schrauben, Federn, Hebel usw. gefertigt. Die wichtigsten Stahlgruppen für den Maschinen- und Fahrzeugbau sind Vergütungsstähle, Automatenstähle, Einsatzstähle, Nitrierstähle, Federstähle und Wälzlagerstähle.

Vergütungsstähle

Vergütungsstähle sind Maschinenbaustähle, die sich aufgrund ihrer Zusammensetzung zum Vergüten (Seite 71) eignen. Sie besitzen im vergüteten Zustand eine gute Zähigkeit sowie hohe Streckgrenze und Zugfestigkeit (**Tabelle**).

Man unterteilt die Vergütungsstähle in unlegierte sowie legierte Vergütungsstähle.

Der Kohlenstoffgehalt der Vergütungsstähle beträgt 0,17 bis 0,65%. Die legierten Vergütungsstähle enthalten zusätzlich Legierungsanteile an Mangan, Silicium, Chrom, Nickel, Molybdän und Vanadium.

Aus der Kurzbezeichnung der Vergütungsstähle kann ihre ungefähre Zusammensetzung abgeleitet werden. Erläuterungen hierzu auf Seite 30.

Unlegierte Vergütungsstähle gibt es in drei Qualitäten:

- als Qualitätsstahl; ohne Nachbuchstabe, z. B. C35
- als Edelstahl mit Nachbuchstabe E, d.h. gewährleisteten Vergütungs-Festigkeitswerten, wie z. B. C35E
- als Edelstahl mit Nachbuchstabe R, d.h. verbesserter spanender Bearbeitbarkeit, wie z. B. C35R

Werkstoffbeispiel: Stahl EN 10083 – C45E

Die Vergütungsstähle erhalten durch Vergüten (Seite 71), das heißt durch Härten mit anschließendem Anlassen, ihre Gebrauchseigenschaften: hohe Streckgrenze und Zugfestigkeit sowie gute Zähigkeit. Aus Vergütungsstählen werden Teile gefertigt, die hoher mechanisch-dynamischer Belastung mit Schlag und Stoß ausgesetzt sind, wie z.B. Zahnräder, Wellen, Schrauben, Bolzen (**Bild 1**).

Vergütungsstähle eignen sich auch zum Flamm- und Induktionshärten (Seite 76).

Federstähle

Federstähle sind unlegierte und legierte Stähle, die in gehärtetem Zustand elastisch und dauerschwingfest sind. Sie werden zu Schraubenfedern, Tellerfedern, Anpressfedern, Passfedern usw. verarbeitet (**Bild 2**).

Unlegierte Federstähle enthalten 0,5 bis 0,8% Kohlenstoff, z.B. C70S. Legierte Federstähle enthalten zusätzlich Silicium, Mangan, Chrom oder Vanadium, z.B. 38Si7 oder 50CrV4.

Wälzlagerstähle

Die Laufringe und die Kugeln oder Walzkörper der Kugel- und Wälzlager werden aus Wälzlagerstählen gefertigt (**Bild 3**). Sie müssen eine harte und verschleißfeste Oberfläche besitzen sowie hartelastisch und hochfest sein. Wälzlagerstähle sind zu meist legierte Stähle mit einem hohen C-Gehalt, z.B. 100Cr6 oder 100CrMo6. Die Bauteile erhalten ihre Gebrauchshärte und Elastizität durch Härten (Seite 66).

Tabelle: Vergütungsstähle nach DIN EN 10083 (Auswahl)

Stahlsorte (Kurzname nach DIN EN 10083)	Streckgrenze R_e N/mm ²	Zugfestigkeit R_m N/mm ²	Bruchdehnung A %
Unlegierte Vergütungsstähle (Qualitätsstähle)			
C35, C35E, C35R	380	600...750	19
C 60, C60E, C60R	520	800...950	13
Legierte Vergütungsstähle (Edelstähle)			
34Cr4	590	800...950	14
34CrMo4	650	900...1100	12
36CrNiMo4	800	1000...1200	11

R_e, R_m, A im vergüteten Zustand bei Bauteilquerschnitten zwischen 16 und 40 mm



Bild 1: Schrauben aus Vergütungsstahl

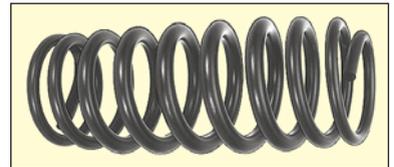


Bild 2: Schraubenfeder aus Federstahl



Bild 3: Kugellager aus Wälzlagerstahl

Automatenstähle

Automatenstähle sind unlegierte und niedrig legierte Qualitätsstähle mit einem erhöhten Schwefelgehalt von 0,18 bis 0,4% und zum Teil Bleizusatz von 0,15 bis 0,3%.

Diese Zusätze verleihen den Stählen eine gute Zerspanbarkeit und Spanbrüchigkeit, so dass sie sich besonders gut zur Herstellung von Massendrehteilen auf Drehautomaten eignen (**Bild 1**). Der Span zerbröckelt beim Spanen und fällt vom Werkstück ab, so dass das Spanwerkzeug immer frei bleibt. Die Festigkeit wird durch den Schwefel- und Bleizusatz geringfügig verbessert, die Bruchdehnung etwas vermindert.

Der Kohlenstoffgehalt der Automatenstähle liegt zwischen 0,1 und 0,6 %. Automatenstähle mit einem Kohlenstoffgehalt von mehr als 0,3 % sind vergütbar.

Einsatzstähle

Einsatzstähle sind unlegierte und legierte Stähle mit einem verhältnismäßig niedrigen Kohlenstoffgehalt von meist unter 0,20%, die zum Aufkohlen und anschließenden Härten vorgesehen sind.

Sie sind wegen des niedrigen Kohlenstoffgehalts im Ausgangszustand nicht härtbar. Durch ein Verfahren, das man **Einsetzen** nennt (Seite 72), werden die fertigen Werkstücke aus Einsatzstahl in einer Randschicht von ca. 1 mm Tiefe mit Kohlenstoff angereichert (aufgekohlt) und damit in dieser Randschicht härtbar. Härtet man die Werkstücke anschließend, so erhalten sie eine harte, verschleißfeste Randschicht, der Werkstückkern bleibt ungehärtet zäh und elastisch (**Bild 2**).

Aus Einsatzstählen werden Wellen, Walzen, Zahnräder, Steuerkurven, Ventilen, Nocken usw. gefertigt.

Nitrierstähle

Nitrierstähle sind Stähle, die bestimmte Gehalte von zwei oder mehr Nitrid-bildenden Elementen, wie Chrom, Molybdän, Vanadium, Aluminium, enthalten und deshalb für das Härteverfahren Nitrieren (Seite 69) besonders geeignet sind.

Die fertig geformten Werkstücke aus Nitrierstahl werden in einem Glühofen mit Stickstoffatmosphäre in einer dünnen Randschicht (bis 1 mm) mit Stickstoff angereichert. Dadurch bilden sich in der Randschicht harte Metallnitride, die die Randschicht äußerst hart, verschleißfest, gleitfähig und wärmebeständig machen. Nitrierstähle werden zu Werkstücken verarbeitet, die neben größter Randschichthärte noch Temperaturbeständigkeit, Festigkeit und Zähigkeit besitzen müssen.

Man fertigt aus Nitrierstählen Schleif- und Messspindeln, Zylinderbüchsen, Schnecken (**Bild 3**).

Sonderstähle

Kaltzähe Stähle werden zum Bau von Gasverflüssigungsanlagen sowie für Pumpen, Rohrleitungen, Transport- und Lagerbehälter verwendet, die Gase oder Flüssigkeit bei tiefen Temperaturen enthalten. Gebräuchliche kaltzähe Stähle sind z.B. TTSt35, 26CrMo4, 16Ni14, X5CrNi18-10.

Hochwarmfeste Stähle werden für Rohre und Behälter von Dampfkesselanlagen, für Heißdruckgefäße, für Ofenteile sowie im Chemieapparatebau für heißgehende Rohrleitungen und Reaktoren verarbeitet. Hochwarmfeste Stähle sind z.B. X19CrMo12-1, X8CrNiNb16-13, X8CrNiMoVNb16-13.

Nähere Angaben über Sorten und Eigenschaften von Maschinenbaustählen im Tabellenteil, Seite 202.

Automatenstähle nach DIN EN 10087

Nicht vergütbar: 11SMn30, 11SMnPb30
Einsatzvergütbar: 10S20, 15SMn13
Direkt vergütbar: 35S20, 38SMn28

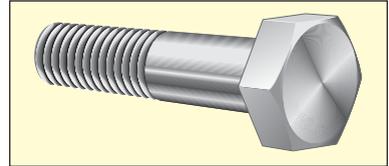


Bild 1: Schraube aus Automatenstahl

Einsatzstähle nach DIN EN 10084

Unlegiert: C10E, C10R, C15E, C15R
Legiert: 17Cr3, 17CrS3, 20MnCr5,
20MoCr4, 10NiCr5-4, 14NiCrMo13-4

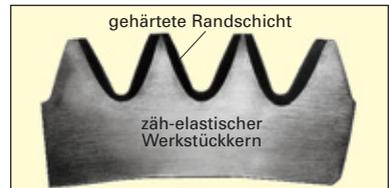


Bild 2: Anschliff eines einsatzgehärteten Zahnrades

Nitrierstähle nach DIN EN 10085

24CrMo13-6, 33CrMoV12-9, 34CrAlNi7-10

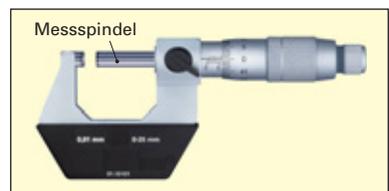


Bild 3: Messspindel aus Nitrierstahl

6.2.7 Werkzeugstähle

Werkzeugstähle sind Stähle, aus denen Werkzeuge zum Bearbeiten von Werkstoffen sowie zum Handhaben und Messen von Werkstücken hergestellt werden.

Sie besitzen im Gebrauchszustand eine, für diesen Verwendungszweck angepasste große Härte und Festigkeit bei ausreichender Zähigkeit. Außerdem sind sie verschleißfest und zum Teil wärmebeständig.

Nach der Güteklasse sind alle Werkzeugstähle Edelstähle.

Nach ihrem Verwendungszweck unterteilt man die Werkzeugstähle in **Kaltarbeitsstähle**, **Warmarbeitsstähle** und **Schnellarbeitsstähle**.

Die Kaltarbeitsstähle gibt es unlegiert sowie legiert, die Warmarbeitsstähle und die Schnellarbeitsstähle sind allesamt legierte Stähle.

Die Werkzeugstähle sind nach DIN EN ISO genormt. Die **Tabelle** zeigt eine Auswahl.

Gemeinsames Kennzeichen der Werkzeugstähle ist der relativ hohe Kohlenstoffgehalt von meist 0,4% und mehr. Er ist die Voraussetzung für die Härte durch Abschreckhärten.

Die Werkzeugstähle werden üblicherweise in weichgeglühtem Zustand als Stabmaterial vom Stahlhersteller geliefert. Ihre Härte und Festigkeit erhalten sie nach der Formgebung zum Werkzeug durch eine Wärmebehandlung, bestehend aus Härten und anschließendem Anlassen (Seite 69). Danach sind sie so hart, dass sie nur noch durch Schleifen bearbeitet werden können.

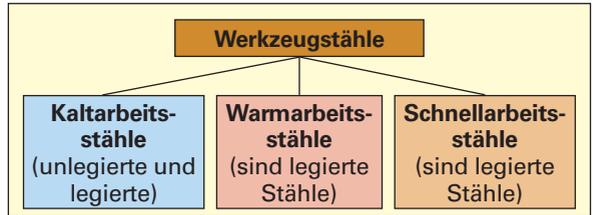


Tabelle: Werkzeugstähle nach DIN EN ISO 4957			
Stahlsorte (Kurzname)	Abschreckmittel	Härte (gehärtet) HRC	Verwendungsbeispiele
Unlegierte Kaltarbeitsstähle			
C80U	Wasser	58	Kreissägeblätter für Holz
C105U	Wasser	61	Gewindeschneidwerkzeuge
Legierte Kaltarbeitsstähle			
102Cr6	Öl	60	Lehren, Dorne
55NiCrMoV7	Öl	42	Pressstempel
X153CrMoV12	Luft	61	Räumnadeln
Warmarbeitsstähle			
X40CrMoV5-1	Öl	51	Schmiedegesenke
X30WCrV9-3	Öl	51	Formwerkzeuge
Schnellarbeitsstähle			
HS6-5-2	Luft, Salzbad	64	Bohrer, Fräser
HS10-4-3-10	Luft, Salzbad	66	Drehmeißel

Kaltarbeitsstähle

Kaltarbeitsstähle sind unlegierte sowie legierte Werkzeugstähle für Verwendungszwecke, bei denen die Oberflächentemperatur des Werkzeugs im Einsatz unter 200 °C liegt.

Unlegierte Kaltarbeitsstähle werden zu Werkzeugen verarbeitet, die keiner besonders hohen Beanspruchung ausgesetzt sind, z.B. Meißel, Reißnadeln, Zangen (**Bild 1**). Sie sollen eine zähnharte Oberfläche und einen zähelastischen Kern besitzen.

Die Eigenschaften der **unlegierten Kaltarbeitsstähle** werden im wesentlichen vom Kohlenstoffgehalt bestimmt, der zwischen 0,45 und 1,2% beträgt. **Beispiel: C70U**

Die Härte der Stähle nimmt bis 1% mit dem Kohlenstoffgehalt zu. Ein größerer Kohlenstoffgehalt erhöht zusätzlich den Verschleißwiderstand.

Das Abschrecken der unlegierten Kaltarbeitsstähle erfolgt meist in Wasser. Deshalb werden die unlegierten Kaltarbeitsstähle als **Wasserhärter** bezeichnet.

Die Dicke der Härteschicht beträgt maximal 5 mm.

Unlegierte Kaltarbeitsstähle können nur zu Werkzeugen verarbeitet werden, deren Oberflächentemperatur im Einsatz unter 200 °C liegt, da bei höherer Temperatur die Werkstoffe ihre Härte verlieren.

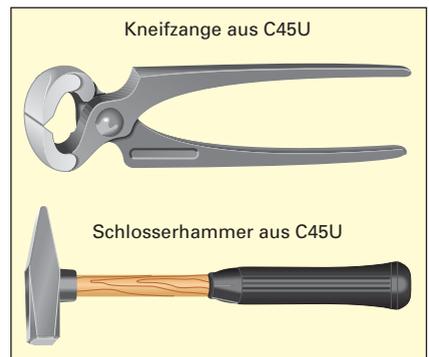


Bild 1: Werkzeuge aus unlegiertem Kaltarbeitsstahl

Die **legierten Kaltarbeitsstähle** enthalten neben dem Kohlenstoff erhebliche Anteile an Chrom, Nickel, Wolfram, Molybdän, Mangan oder Vanadium (Tabelle, Seite 42).

Die Legierungselemente erhöhen die Festigkeit und die Zähigkeit, den Verschleißwiderstand und die Korrosionsbeständigkeit.

Die legierten Kaltarbeitsstähle werden überwiegend in Öl abgeschreckt und deshalb **Ölhärter** genannt. Man fertigt daraus zähnharte Werkzeuge mit verbesserter Korrosionsbeständigkeit (**Bild 1**).

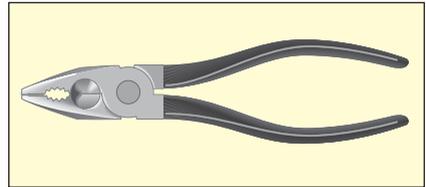


Bild 1: Kombizange aus legiertem Kaltarbeitsstahl 49CrV4

Warmarbeitsstähle

Warmarbeitsstähle sind legierte Werkzeugstähle für Verwendungszwecke, bei denen die Oberflächentemperatur des Werkzeugs im Einsatz bis 400 °C betragen kann.

Sie enthalten neben dem Kohlenstoff die Legierungselemente Chrom, Wolfram, Silicium, Nickel, Molybdän, Mangan, Vanadium und Cobalt (Tabelle, Seite 42). Die Legierungselemente sind so aufeinander abgestimmt, dass die Warmarbeitsstähle neben ausreichender Härte und Festigkeit, hohe Warmfestigkeit, Warmhärte und Verschleißwiderstand bei erhöhter Temperatur besitzen.

Warmarbeitsstähle werden z.B. zu Schmiedegesenken oder Spritzguss-Formwerkzeugen verarbeitet (**Bild 2**). Sie werden in Öl abgeschreckt.

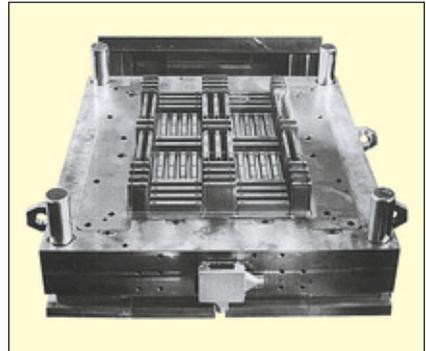


Bild 2: Formwerkzeug aus Warmarbeitsstahl zum Kunststoff-Spritzgießen

Schnellarbeitsstähle

Schnellarbeitsstähle sind hochlegierte Werkzeugstähle die für Verwendungszwecke eingesetzt werden, bei denen die Oberflächentemperatur im Einsatz bis 600 °C betragen kann.

Sie werden hauptsächlich zum Zerspanen und Umformen eingesetzt. Auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung besitzen sie höchste Warmhärte sowie Anlassbeständigkeit.

Sie sind auch unter der Bezeichnung High Speed Steels (kurz HS-Stähle) bekannt.

Schnellarbeitsstähle enthalten 0,7 bis 1,4% Kohlenstoff, rund 4% Chrom sowie unterschiedliche Gehalte an Wolfram, Molybdän, Vanadium und Cobalt. Aufgrund dieser karbidbildenden Legierungselemente besitzen Schnellarbeitsstähle hohe Warmhärte, Warmfestigkeit, Zähigkeit sowie Anlassbeständigkeit. Sie werden hauptsächlich zu Span- und Umformwerkzeugen verarbeitet: Bohrer, Gewindebohrer, kleinschneidige Drehmeißel und kleine Fräser (**Bild 3**).

Durch Beschichten mit dünnen Hartstoffschichten, wie z.B. Titanitrid (TiN), wird die Verschleißfestigkeit und Temperaturbeständigkeit deutlich verbessert.

Schnellarbeitsstähle haben eine Kurzbezeichnung, die aus dem Symbol **HS** und den Legierungsgehalten in Prozent in der Reihenfolge Wolfram, Molybdän, Vanadium und Cobalt besteht, z.B. **HS6-5-2-5**.



Bild 3: Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl (gold = TiC-beschichtet)

Für einzelne, besonders häufige Anwendungsfälle gibt es **Werkzeugstähle für besondere Verwendungszwecke**, die speziell auf die hierfür geforderten Belastungen abgestimmt sind. So gibt es z.B. den Werkzeugstahl **80CrV2** für Kreissägeblätter, oder den Werkzeugstahl **HS3-3-2** für Metallsägen.

Weitere Angaben zu Werkzeugstählen befinden sich im Tabellenteil, Seite 203.

6.2.8 Gusseisenwerkstoffe

Bauteile mit komplizierter Form, wie z.B. Maschinen- und Pumpengehäuse oder Motorblöcke sowie Kleinteile wie Hebel und Bartschlüssel werden am wirtschaftlichsten durch Gießen hergestellt. Dazu sind besondere Werkstoffe geeignet, die sich gut vergießen lassen: die Gusseisenwerkstoffe.

Die normgerechte Kurzbezeichnung der Gusseisenwerkstoffe ist auf Seite 31 erläutert.

Die Eigenschaften der verschiedenen Gusseisenwerkstoffe werden im wesentlichen von ihrem Kohlenstoffgehalt bestimmt sowie von der Form, in der sich der Kohlenstoff im Gefüge ausscheidet.

Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss)

Gusseisen mit Lamellengraphit enthält 2,6 bis 3,6% Kohlenstoff, der als Graphit in Form mikroskopisch feiner Lamellen im Grundwerkstoff vorliegt (**Bild 1**). Sie bewirken das graue Aussehen der Bruchfläche, worauf der ursprüngliche Name **Grauguss** beruht.

Die Graphitlamellen durchziehen den Gusswerkstoff mit einem feinnadeligen Geäst und bewirken durch die Kerbwirkung der Lamellen seine relativ geringe Festigkeit (100 bis 390 N/mm²) sowie seine Sprödigkeit (Bruchdehnung ca. 1%).

Die eingelagerten Graphitlamellen haben aber auch positive Auswirkungen: Der weiche Graphit der Lamellen dämpft mechanische Schwingungen und erzeugt an Verschleißflächen durch seine Gleitwirkung ausgezeichnete Gleiteigenschaften.

Grauguss wird z.B. zu dickwandigen Maschinengehäusen und zu Werkzeugmaschinenbetten vergossen. Sie dürfen keiner stoßartigen Belastung ausgesetzt werden.

Werkstoffbeispiel: EN-GJL-200 (GG-20): Gusseisen mit Lamellengraphit und rund 200 N/mm² Zugfestigkeit.

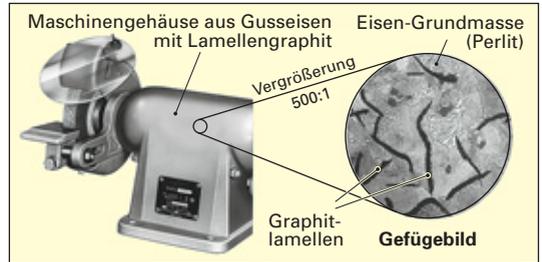


Bild 1: Schweißbockgehäuse aus Gusseisen mit Lamellengraphit

Gusseisen mit Kugelgraphit (Sphäroguss)

Gusseisen mit Kugelgraphit besitzt mikroskopisch feine, kugelförmige Graphitausscheidungen im ferritischen Grundgefüge (**Bild 2**).

Diese Form der Ausscheidung erreicht man durch Zulegieren von Magnesium zur Gusschmelze. Die kugelförmigen Graphiteinschlüsse haben eine geringere Kerbwirkung als die Graphitlamellen, so dass die Festigkeit und die Verformbarkeit von Gusseisen mit Kugelgraphit wesentlich höher ist. Zugfestigkeit: 400 bis 900 N/mm², Bruchdehnung: 2 bis 22%. Gusseisen mit Kugelgraphit ist hartzäh und schlagfest. Die Gleitfähigkeit ist ähnlich gut wie bei Gusseisen mit Lamellengraphit, die Schwingungsdämpfung ist vermindert.

Gusseisen mit Kugelgraphit wird zu Gussteilen verarbeitet, die erhöhter Belastung ausgesetzt sind: Motorgehäuse, Walzen usw. **Werkstoffbeispiel: EN-GJS-600-3**.

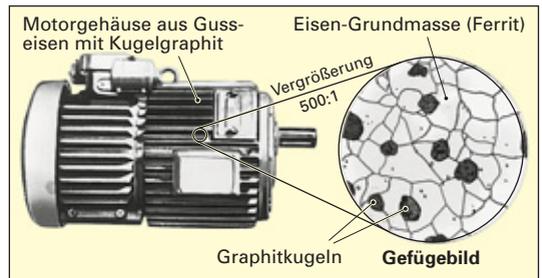


Bild 2: Elektromotorgehäuse aus Gusseisen mit Kugelgraphit

Bainitisches Gusseisen

Bainitisches Gusseisen hat ein Gefüge mit feinen, kugelförmigen Graphitausscheidungen und ein bainitisch-ferritisches Grundgefüge (Seite 70), das durch eine Wärmebehandlung erzeugt wird. Es verleiht diesen Gusseisensorten verbesserte Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften gegenüber dem ähnlichen Gusseisen mit Kugelgraphit. Bainitisches Gusseisen wird zu hochbelasteten Bauteilen verarbeitet, wie z.B. Dachträgerknoten, Lkw-Radnaben oder Achsgehäusen. **Werkstoffbeispiel: EN-GJS-1000-5**.

Austenitisches Gusseisen

Austenitisches Gusseisen ist hoch legiertes Gusseisen mit austenitischem Grundgefüge und Lamellen- oder Kugelgraphitausscheidung. Es enthält neben 2,5 bis 3 % Kohlenstoff, 12 bis 36 % Nickel sowie Anteile an Chrom, Mangan, Silicium und teilweise Kupfer. **Werkstoffbeispiel: GGL-NiCuCr15-6-2**.

Es hat ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, hohe Warmfestigkeit und Kaltzähigkeit. Bevorzugtes Anwendungsgebiet sind Pumpen- und Ventilgehäuse, Laufräder sowie Motorabgasleitungen.

Temperguss

Temperguss ist durch spezielle Glühbehandlungen (Tempern) zäh gemachtes Gusseisen.

Aus Temperguss werden kleine Gussteile, wie Hebel, Bartschlüssel, Schlossteile und Werkzeugteile hergestellt (**Bild 1**).

Es gibt zwei Sorten von Temperguss, die nach der Art der Glühbehandlung benannt werden:

- **Entkohlend geglähter Temperguss** (Weißer Temperguss)
- **Nicht entkohlend geglähter Temperguss** (Schwarzer Temperguss)

Ausgangsstoff für Tempergussteile ist eine Guss-eisenschmelze mit rund 3 % Kohlenstoff, 1 % Silicium und 0,5 % Mangan. Nach dem Vergießen scheidet sich der in der Schmelze gelöste Kohlenstoff als hartsprödes Eisenkarbid Fe_3C aus (**Bild 2**). Dieser Temperrohrguss ist hart-spröde und technisch unbrauchbar.

Zur Herstellung von **Entkohlend geglähtem Temperguss** werden die Gusstücke aus Temperrohrguss mehrere Tage in sauerstoffhaltiger Ofenatmosphäre gegläht. Dabei reagiert der Kohlenstoff des Eisenkarbids (Fe_3C) im Randbereich des Gussteils mit Luftsauerstoff zu CO_2 -Gas, das aus dem Gussteil ausgasen. Es entsteht ein kohlenstoffarmer, stahlähnlicher Werkstoff mit Perlit- und Ferrit-Gefüge (**Bild 2, oben**).

Werkstoffbeispiel: EN-GJMW-400-5.

Nicht entkohlend geglähten Temperguss stellt man durch Glühen von Temperrohrguss in sauerstofffreier Atmosphäre (z.B. Stickstoff) her. Der Kohlenstoff im Eisenkarbid scheidet sich durch langandauerndes Glühen als rundliche Flocken, **Temperkohle** genannt, aus (**Bild 2, unten**); die Werkstoffgrundmasse ist kohlenstoffarm (Ferrit, wenig Perlit).

Werkstoffbeispiel: EN-GJMB-350-10.

6.2.9 Stahlguss

Stahlguss ist in Formen gegossener Stahl. Durch eine Wärmebehandlung erhalten die Gusstücke ihr endgültiges Gefüge und damit die Gebrauchseigenschaften: Hohe Festigkeit und Zähigkeit.

Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke sowie **Stahlguss für das Bauwesen** (mit verbesserter Schweißignung und Zähigkeit) wird im Stahlbau zu Dachträgerknoten oder Zuggabeln verarbeitet. **Werkstoffbeispiele: GS-45, GS-16Mn5N.**

Stahlguss für Druckbehälter wird z.B. zu mechanisch hoch belasteten Stützknoten verarbeitet (**Bild 3**). **Beispiel: G20Mn5.**

Korrosionsbeständiger Stahlguss dient z.B. als Tragknoten in Tragwerken aus nichtrostendem Stahl. **Beispiel: GX5CrNi19-10.**

Weiteres zu den Gusseisenwerkstoffen auf Seite 204.



Bild 1: Werkzeuge aus Temperguss

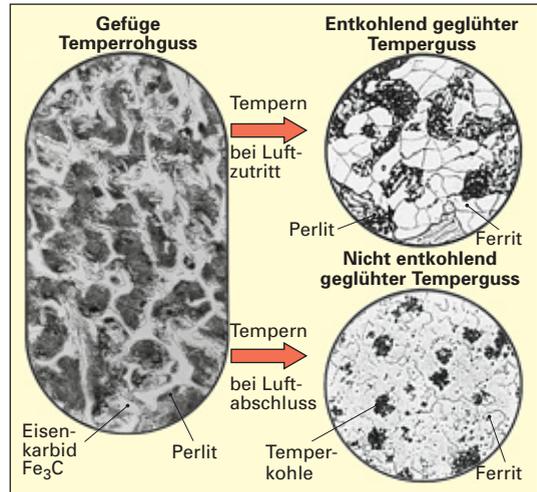


Bild 2: Gefügemwandlung beim Tempern



Bild 3: Seilverankerungen und Umlenkelemente aus Stahlguss G20Mn5

Wiederholungsfragen

- 1 Welches sind die zwei wichtigsten Legierungselemente in nichtrostenden Stählen?
- 2 Welche Bauteile werden aus Vergütungsstahl gefertigt?
- 3 Welche Zusätze enthalten die Automatenstähle?
- 4 Welche Gruppen von Werkzeugstählen gibt es?
- 5 Welche Legierungselemente enthalten die Schnellarbeitsstähle?
- 6 Weshalb ist Gusseisen mit Lamellengraphit hart-spröde, Gusseisen mit Kugelgraphit aber hartzäh?

7 Stahlerzeugnisse

Der Stahlverwender verarbeitet die Werkstoffe überwiegend in Form der Stahlerzeugnisse. Ihre Formen und Maße wurden aus den Anforderungen der Praxis und den Erkenntnissen der Festigkeitslehre entwickelt.

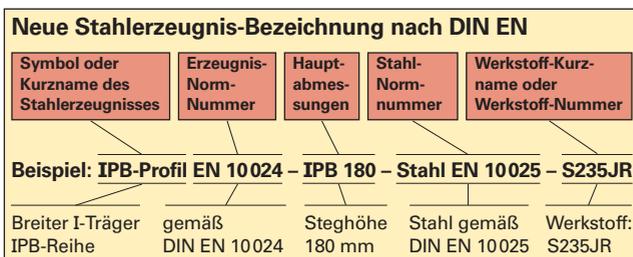
Ein Teil der Stahlerzeugnisse ist genormt. Daneben gibt es eine Vielzahl nicht genormter Stahlerzeugnisse der verschiedenen Hersteller.

Die genauen Maße der genormten Stahlerzeugnisse und ihre Größenabstufungen sowie die verwendeten Werkstoffe, Oberflächenqualitäten und Behandlungszustände sind in Normen festgelegt. Sie können dem jeweiligen Norm-Blatt entnommen werden. Für die nicht genormten Stahlerzeugnisse gibt es Vereinbarungen der Hersteller über Form, Größenstufungen, Werkstoffe und Lieferzustände. Sie müssen einer Herstellerliste entnommen werden bzw. können beim Hersteller erfragt werden.

Zur genauen Benennung genormter Stahlerzeugnisse bedient man sich einer **Kurzbezeichnung**, die im Norm-Blatt des entsprechenden Stahlerzeugnisses angegeben ist.

Die **Kurzbezeichnung** gemäß den DIN EN-Normen besteht aus

- dem Kurznamen des Erzeugnisses mit DIN EN-Nummer
- den Hauptabmessungen
- der Stahlbezeichnung unter Angabe der DINEN-Nummer
- dem Werkstoffkurzname oder der Werkstoffnummer.



Die alten Kurzbezeichnungen in älteren DIN-Normen und Herstellerkatalogen enthalten die Angaben in etwas anderer Reihenfolge, wie in nebenstehendem Beispiel gezeigt.

Die Bestellung von Material erfolgt mit der jeweils gültigen Kurzbezeichnung.



Nicht genormte Stahlerzeugnisse sind gemäß den Material- und Bestellisten der Hersteller zu bestellen. In Zweifelsfällen oder bei Sonderwünschen sind diese anhand einer Skizze zu erläutern.

Die Stahlerzeugnisse werden von den Stahlwerken oder stahlverarbeitenden Betrieben auf Lager gefertigt und können vom Besteller im Stahlfachhandel nach Bestellliste kurzfristig bezogen werden (**Bild 1**). Als Werkstoff dienen die Stahlbaustähle und andere Stähle (Seite 36 bis 41).

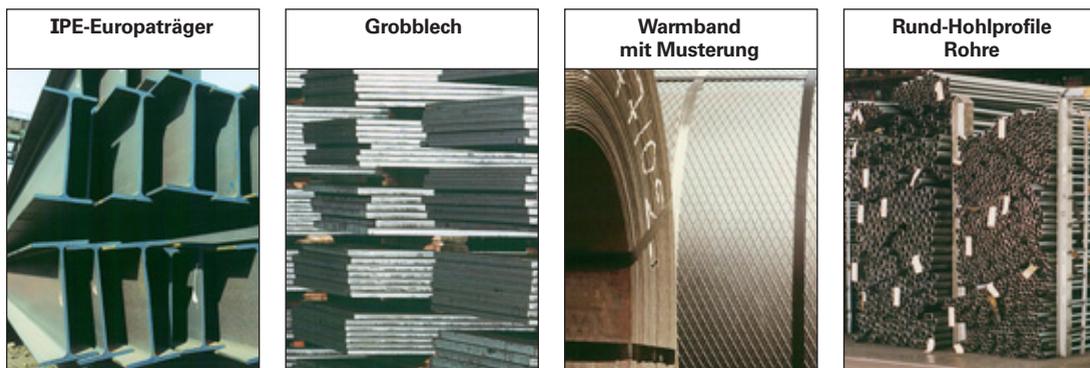


Bild 1: Beispiele für Stahlerzeugnisse

Die folgenden Seiten geben einen Überblick über gängige Stahlerzeugnisse. Ihre Größenabstufungen, Massen und Festigkeitskennwerte finden sich im Tabellenteil, Seiten 205 bis 221.

7.1 Langerzeugnisse aus Stahl

Langerzeugnisse sind genormte Stahlerzeugnisse mit einem über die Länge gleichbleibendem Querschnitt mit der Form eines Kreises, Vierkants usw. oder mit der Form eines Profils. Siehe die rot eingelegten Flächen in den Bildern dieser Seite. Die Maße, Gewichte usw. auf den Seiten 212 bis 220).

7.1.1 Warmgewalzte Stäbe (Stabstähle)

Es gibt sie mit kreisförmigem, halbkreisförmigem, quadratischem, rechteckigem, sechseckigem und achteckigem Querschnitt (**Bild 1**).

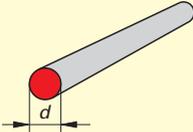
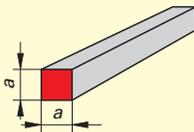
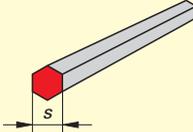
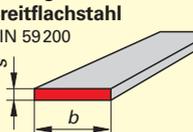
<p>Warmgewalzter Rundstahl DIN EN 10060</p>  <p>z.B. Rundstab, 20 mm Durchmesser, Länge 6000 mm Rundstab EN 10060 – 20 x 6000 – S235JR</p>	<p>Warmgewalzter Vierkantstahl DIN EN 10059</p>  <p>z.B. Vierkantstab, 24 mm Kantenlänge, Länge 4000 mm Vierkantstab EN 10059 – 24 x 4000 – S235JR</p>	<p>Warmgewalzter Sechskantstahl DIN EN 10061</p>  <p>z.B. Sechskantstab, 18 mm Schlüsselweite, Länge 2500 mm Sechskantstab EN 10061 – 18 x 2500 – 9SMn28</p>	<p>Warmgewalzter Flachstahl DIN EN 10058 Warmgewalzter Breitflachstahl DIN 59200</p>  <p>z.B. Flachstab, $b = 50$ mm, $s = 16$ mm, Länge 3000 mm Flachstab EN 10058 – 50 x 16 x 3000 – 1.0112</p>
---	---	---	--

Bild 1: Warmgewalzte Stäbe (Stabstähle)

7.1.2 Warmgewalzte Profile (Formstähle, Profilstähle, Träger)

Hierzu zählen die **kleinen Profile** (früher Formstähle): T-, Z-, Winkel- und U-Profile (mit Höhen unter 80 mm) sowie die **großen Profile** (Träger): große I-Profile (Doppel-T-Träger), große H-Profile (Breitflanschträger) und große U-Profile (mit Höhen größer 80 mm).

Aus kleinen T-, Z-, Winkel- und U-Profilen werden einfache Baugewerke, wie Geländer, Abtrennungen, Stützen, Gerüste usw. gefertigt (**Bild 2**).

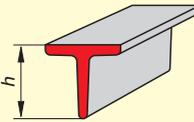
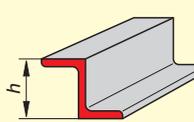
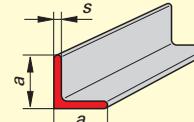
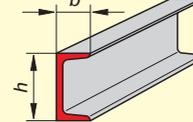
<p>T-Stahl warmgewalzter, rundkantiger T-Stahl, DIN EN 10055 (hochstegig)</p>  <p>z.B. T-Profil EN 10055-T50 – S235JR</p>	<p>Z-Stahl warmgewalzter, rundkantiger Z-Stahl, DIN 1027</p>  <p>z.B. Z-Profil DIN 1027-Z60 – 1.0112</p>	<p>Winkelstahl warmgewalzter, gleichschenkliger, rundkantiger Winkelstahl, DIN EN 10056-1</p>  <p>z.B. Winkel EN 10056 – 40 x 5 – S235JR</p>	<p>U-Stahl warmgewalzter, rundkantiger U-Stahl, DIN 1026-1</p>  <p>z.B. U-Profil DIN 1026-1 – U80 – S235JR</p>
---	--	--	---

Bild 2: Kleine T-, Z-, Winkel- und U-Profile (Auswahl)

Große I-Profile, auch **Träger** genannt, sind das wichtigste Langerzeugnis im Stahlbau (**Bild 3**). Aus ihnen wird das Tragwerk ganzer Bauwerke im Hoch- und Brückenbau gefügt (**Bild 4**).

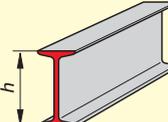
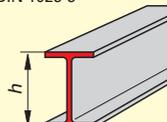
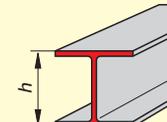
<p>Schmale I-Träger Mit geneigten inneren Flanschlflächen, I-Reihe, nach DIN 1025-1</p>  <p>z.B. I-Profil DIN 1025-1</p>	<p>Mittelbreite I-Träger mit parallelen Flanschlflächen, IPE-Reihe, (Europa-Träger) nach DIN 1025-5</p>  <p>z.B. IPE-Profil DIN 1025-5</p>	<p>Breite I-Träger mit parallelen Flanschlflächen, IPB-Reihe, nach DIN 1025-2</p>  <p>z.B. IPB-Profil DIN 1025-2</p>
--	--	--

Bild 3: Große I-Profile: Träger (Auswahl)



Bild 4: Träger im Stahlhochbau

9 Wärmebehandlung der Stähle und Gusseisenwerkstoffe

Zweck der verschiedenen Wärmebehandlungen ist die Veränderung des Werkstoffgefüges und damit die Beeinflussung (Verbesserung) der Eigenschaften eines Bauteils in einer gewünschten Weise. Damit kann das Bauteil die an es gestellten Anforderungen und Aufgaben besser und länger erfüllen.

Eine Wärmebehandlung besteht aus einem Arbeitsgang oder einer Folge von Wärmebehandlungsschritten, in deren Verlauf das Werkstück erwärmt, auf Temperatur gehalten und wieder abgekühlt wird (Zeit–Temperatur–Folgen).

Die Eisen-Werkstoffe haben bei verschiedenen Temperaturen unterschiedliche Gefügezustände (Seiten 62 und 63) und können durch die Art der Abkühlung (langsam oder schnell) zusätzliche Gefügearten ausbilden. Diese Vielfalt der möglichen Gefügezustände bedingt eine Vielzahl von Wärmebehandlungsverfahren. Sie können in vier Hauptgruppen unterteilt werden:

Glühen

Das **Glühen** besteht aus Erwärmen, Halten auf Glüh-temperatur und langsamem Abkühlen. Dadurch werden die Bearbeitbarkeit und die Gebrauchseigenschaften der Bauteile verbessert.

Beim **Härten** wird auf Härtetemperatur erwärmt, dort gehalten und dann abgeschreckt. Anschließend wird meist **angelassen**.

Ziel des Härten ist eine wesentliche Zunahme der Härte und/oder der Zugfestigkeit des Werkstücks. Das Anlassen bei relativ niedriger Temperatur dient zur Verminderung der durch das Härten hervorgerufenen Sprödigkeit.

Vergüten ist Härten und nachfolgendes Anlassen bei höherer Temperatur als beim Härten. Ziel des Vergütens ist es, neben hoher Zugfestigkeit eine große Zähigkeit des Bauteils zu erreichen.

Durch **Härten der Randzone** wird das Werkstück nur in einer dünnen Randschicht gehärtet.

Näheres zu den Begriffen der Wärmebehandlung auf Seite 224.

Die Durchführung der Wärmebehandlungen erfolgt in Öfen und Abschreckbädern, die in einem Werkstattbereich aufgestellt sind (Bild 1, Seite 65 und Bild 2, Seite 66).

Größere metallverarbeitende Betriebe mit großem Bedarf an Wärmebehandlungen haben eine eigene Härterei mit Härteprüfung (**Bild 1**).

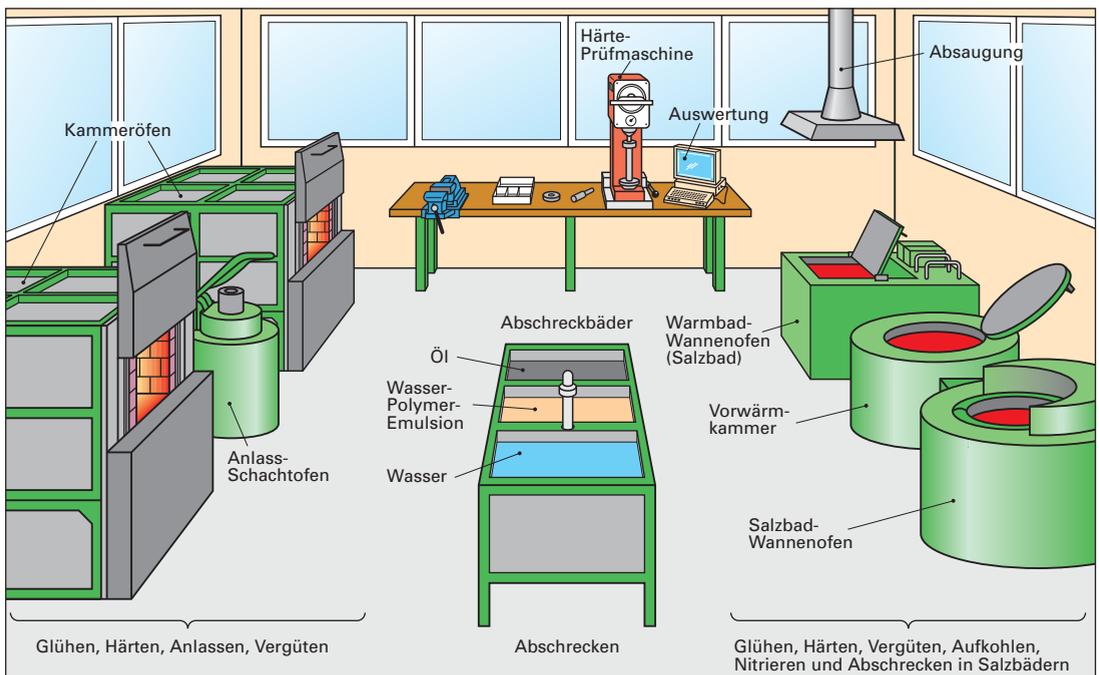


Bild 1: Öfen, Bäder und Prüfeinrichtungen in einer Härterei

9.1 Glühen

Glühen ist eine Wärmebehandlung, durch den ein ungünstiger Gefügestand beseitigt wird.

Glühen besteht aus Erwärmen und Halten auf Glüh­temperatur sowie langsamem Abkühlen.

Geglüht werden meist Bauteile, die durch eine Bearbeitung, z.B. Schweißen, ein ungünstiges Gefüge besitzen. Durch die Glüh­behandlung wird der ungünstige Gefügestand beseitigt.

Zum Glühen werden die Bauteile in einen auf Glüh­temperatur erwärmten Glühofen eingelegt (**Bild 1**). Nachdem die Bauteile die Glüh­farbe des Ofeninnenraums angenommen haben, werden sie für die Glüh­dauer dort belassen, anschließend herausgenommen und zum langsamen Abkühlen abgesetzt. Einfache Glüh­behandlungen können auch in einer Esse durchgeführt werden.

Die einzelnen Glüh­verfahren unterscheiden sich durch die Glüh­temperatur und die Glüh­dauer.

Die Temperaturen der Glüh­behandlungen können für unlegierte Stähle aus einem Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubild abgelesen werden, in das die Glüh­temperaturbereiche eingetragen sind (**Bild 2**). Bei unlegierten Stählen sind die Glüh­temperaturen vom Kohlenstoffgehalt abhängig.

Für legierte Stähle sind die vom Stahlhersteller angegebenen Glüh­temperaturen einzuhalten (Seiten 225, 226).

Durch **Spannungsarmglühen** werden ohne Änderung des Gefüges innere Spannungen in Bauteilen und Werkstücken beseitigt, die durch Schweißen, Schmieden, Biegeumformen oder Walzen entstanden sind. Kleinere Bauteile und Werkstücke werden zum Spannungsarmglühen in einen Glühofen eingelegt und dort 1 bis 2 Stunden auf 550 °C bis 650 °C erwärmt. Große Bauteile werden im verspannten Bereich, z.B. um eine Schweißnaht, mit Schweißbrennern großflächig auf die Glüh­temperatur erhitzt oder mit elektrischen Glüh­matten spannungsarm geglüht (**Bild 3**).

Um das aufwendige Spannungsarmglühen zu vermeiden, werden Bauteile aus Feinkornbaustählen vor dem Schweißen in der Schweißzone auf 100 °C bis 300 °C vorgewärmt. Dadurch werden starke Schweißspannungen vermieden.

Rekristallisationsglühen wird eingesetzt, wenn ein durch starke Kaltverformung versprödeter Stahl wieder plastisch formbar gemacht werden soll. Das verzerrte Gefüge wird beim Rekristallisationsglühen (550 °C bis 700 °C) aufgelöst und es bildet sich ein neues Gefüge (**Bild 4**).

Auch das beim Schweißen entstandene Grobkorn entlang der Schweißnähte kann durch Rekristallisationsglühen beseitigt werden.

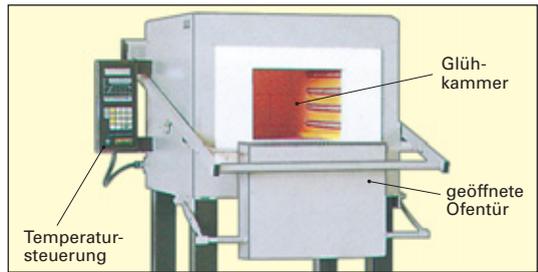


Bild 1: Kammer-Glühofen

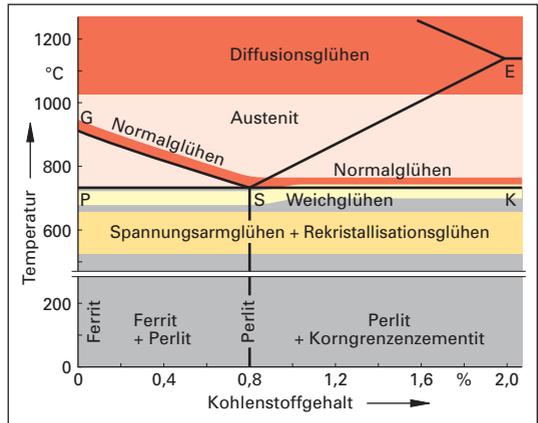


Bild 2: Glüh­temperaturen für unlegierte Stähle (Kohlenstoffstähle) dargestellt im Fe/C-Zustandsschaubild

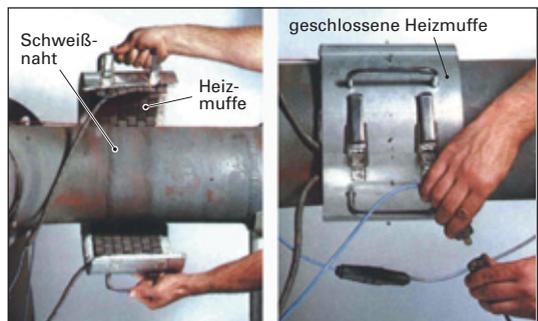


Bild 3: Spannungsarmglühen einer Schweißnaht



Bild 4: Gefügeveränderung beim Rekristallisationsglühen

Durch **Weichglühen** wird die Härte eines Werkstoffes auf einen vorgegebenen Wert vermindert. Dadurch werden Werkstücke aus Stahl leichter spanend formbar. Dazu erwärmt man das Bauteil für mehrere Stunden auf 650 °C bis 730 °C in einem Glühofen. Die gleiche Wirkung erreicht man durch Pendelglühen, abwechselnd knapp oberhalb und unterhalb der PSK-Linie.

Durch Weichglühen wandelt sich im Stahlgefüge der Streifenzeementit in feinkörnigen Zementit um (**Bild 1**). Dadurch kann die Werkzeugschneide den Werkstoff leichter spanen.

Das **Normalglühen**, auch Normalisieren oder **Rückfeinen** genannt, wird angewandt, wenn das Gefüge beim Walzen, Schmieden, Gießen oder durch unsachgemäße Glühbehandlung ungleiches oder grobes Korn erhalten hat. Durch das Normalglühen (knapp oberhalb der GSK-Linie im Fe/C-Zustandschaubild, siehe Bild 2, Seite 65) kommt es zur vollständigen Korneubildung. Es entsteht ein gleichmäßiges, feinkörniges Gefüge (**Bild 2**). Es bewirkt das günstigste Verhältnis von Festigkeit und Zähigkeit bei nicht gehärteten Stählen und wird deshalb als „Normalgefüge“ bezeichnet.

Unter **Diffusionsglühen** versteht man ein langzeitiges Glühen bei 1050 °C bis 1250 °C (Bild 2, Seite 65), mit dem Ziel, die nach dem Vergießen durch Entmischung eingetretenen Konzentrationsunterschiede in Gussstücken (Seigerung) wieder auszugleichen. Wichtig ist das Diffusionsglühen bei großen Gussstücken. Es kann mehrere Tage dauern.

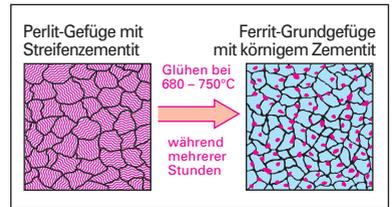


Bild 1: Gefügeänderung beim Weichglühen

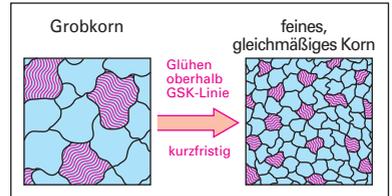


Bild 2: Gefügeänderung beim Normalglühen

9.2 Härten

Härten ist eine Wärmebehandlung, die Werkzeuge und Bauteile hart und verschleißfest macht.

9.2.1 Arbeitsschritte

Zuerst wird das Werkstück in einen Härteofen (**Bild 3**) oder eine Esse gelegt und dort bis zum vollständigen Durchwärmen auf Härtetemperatur belassen (ca. 10 min). Dann wird es aus dem Härteofen genommen und sofort in einem Tauchbad abgeschreckt. Dabei erfolgt die Härtung. Der Stahl ist dann glashart, aber spröde und bruchempfindlich. Um die Versprödung zu beseitigen, wird das Werkstück anschließend in einem Anlassofen auf Anlasstemperatur erwärmt und dort gehalten (angelassen). Danach wird das Werkstück aus dem Ofen genommen und zum Abkühlen abgesetzt. Das Werkstück hat dann seine Gebrauchshärte, die nur geringfügig unter der Abschreckhärte liegt. Es ist aber nicht mehr spröde.

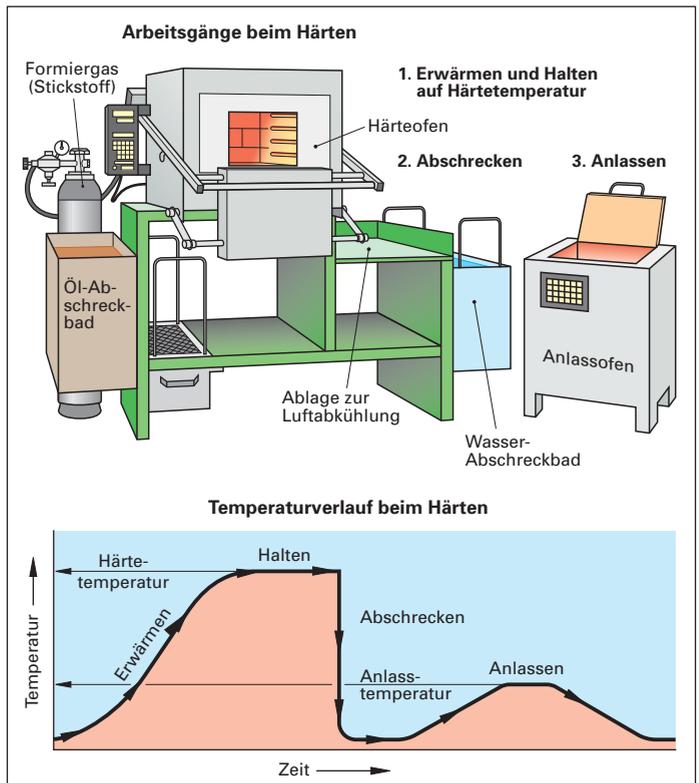


Bild 3: Arbeitsgänge und Temperaturverlauf beim Härten

Gehärtet werden vor allem Werkzeuge sowie Bauteile und Werkstücke, die auf Verschleiß beansprucht werden: Meißel, Feilenblätter, Bohrer, Reißnadeln, Gleitbahnen, Hämmer, Nocken usw. Vor dem Härten müssen die Werkstücke annähernd ihre Endform haben, da sie nach dem Härten so hart sind, dass sie nur noch durch Schleifen endbearbeitet werden können.

Die sachgemäße Durchführung des Härten erfordert viel Wissen über die werkstoffkundlichen Vorgänge beim Härten sowie viel praktische Erfahrung.

Die Härtetemperatur

Bei den unlegierten Stählen ist die Härtetemperatur vom Kohlenstoffgehalt abhängig. Sie soll etwa 30 °C bis 60 °C über der GSK-Linie im Eisen/Kohlenstoff-Zustandsschaubild liegen (Bild 1). Durch die Überschreitung der GSK-Linie ist gewährleistet, dass das Ferrit/Perlit-Gefüge des ungehärteten Stahls sich vollständig auflöst und in *Austenit* umwandelt. Diese Umwandlung in Austenit ist die Voraussetzung zum Härten des Stahls (Seite 68).

Beispiele für Härtetemperaturen unlegierter Stähle: Ein Stahl mit 0,45% C hat eine Härtetemperatur von rund 850 °C, ein Stahl mit 1,1% C von rund 760 °C.

Zu niedrige Härtetemperatur hat ungehärtete Werkstückbereiche (Weichfleckigkeit) zur Folge. Zu hohe Härtetemperatur führt zu grobnadeligem Härtegefüge mit großer Sprödigkeit.

Stähle mit mehr als 0,8% Kohlenstoff werden vor dem Härten weichgeglüht, sodass sie aus einer ferritischen Grundmasse mit kleinen Zementitkörnern bestehen (Bild 1, Seite 66). Beim Härten erhält man dann ein feinnadeliges Härte-Grundgefüge mit eingelagerten Zementitkörnern. Bei legierten Stählen sind die Härtetemperaturen von den Legierungsbestandteilen abhängig. Sie können aus Tabellen entnommen werden (Tabellenteil Seiten 225, 226).

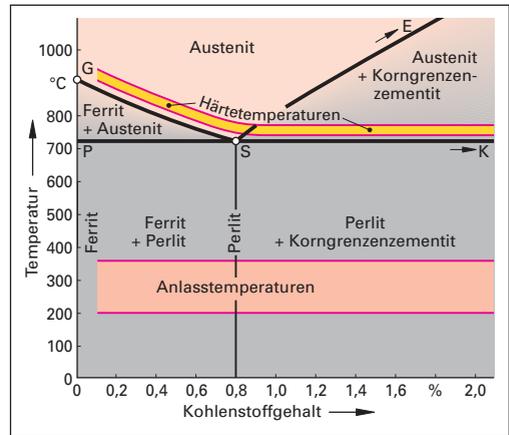


Bild 1: Härte- und Anlasstemperaturen unlegierter Stähle (dargestellt im Fe/C-Zustandsschaubild)

Abschrecken

Das Abschrecken der austenitisierten Werkstücke wird durch Eintauchen und Schwenken in flüssige Abschreckmittel oder in Luft erreicht.

Beim Abschrecken in Wasser oder Öl ist die richtige Haltung des Werkstücks beim Eintauchen und seine Bewegung in der Abschreckflüssigkeit wichtig (Bild 2). Die Abschreckflüssigkeit muss überall ungehindert Zutritt haben, Dampfblasen müssen sich rasch ablösen können und dürfen nicht in Hohlräumen gefangen werden. Ungleichmäßiges Abschrecken führt zu Verzug, Rissen und Weichfleckigkeit.

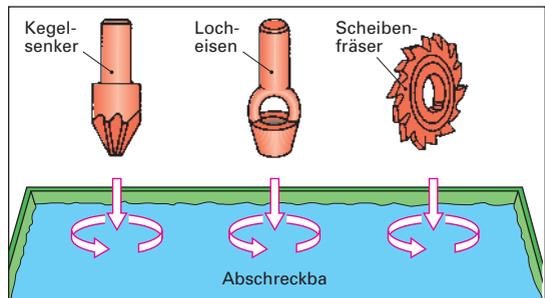


Bild 2: Richtiges Eintauchen beim Abschrecken

Anlassen

Nach dem Abschrecken ist der Stahl glashart. Er besitzt wegen des hartspröden Martensits innere Gefügeverspannungen, die Härteverzug, Härterisse und Sprödbruch bewirken können. Um diese Versprödung zu verringern, werden die frisch gehärteten Werkstücke angelassen (Bild 3, Seite 66). Niedrig legierte Stähle werden bei 200 °C bis 350 °C angelassen (Bild 1), hochlegierte Stähle bei 500 °C bis 650 °C. Durch das Anlassen wird die Sprödigkeit vermindert, die gehärteten Bauteile erhalten ein gewisses Maß an Zähigkeit. Die Härte nimmt durch das Anlassen nur geringfügig ab.

Abschreckmittel

Wasser besitzt die stärkste Abschreckwirkung. Das kann zu Härteverzug oder sogar Härterissen führen. Mit Wasser werden deshalb nur unlegierte Stähle abgeschreckt, da sie zum Härten diese schroffe Abschreckwirkung (Mindestabkühlungsgeschwindigkeit) benötigen.

Öle haben eine mildere Abschreckwirkung als Wasser. Die Verzug- und Rissgefahr ist wesentlich geringer. In Öl werden niedrig legierte und hoch legierte Stähle abgeschreckt.

Wasser-Öl-Emulsionen oder **Wasser-Polymer-Emulsionen** liegen in ihrer Abschreckwirkung zwischen Wasser und Öl.

Warmbad-Abschreckbäder sind Salzschnmelzen mit Temperaturen von 200 °C bis 500 °C. Die zu härten-den Teile werden im Warmbad abgeschreckt, dort 5 bis 15 Minuten gehalten und dann an der Luft abgekühlt.

Bewegte Luft hat die mildeste Abschreckwirkung. Sie wird bei hochlegierten Stählen eingesetzt.

Nach dem verwendeten Abschreckmittel unterscheidet man Wasserhärtung, Ölhärtung und Lufthärtung.

Einhärtungstiefe

Die Abschreckwirkung ist an der Oberfläche des eingetauchten Bauteils am größten, dort entsteht auch die stärkste Härtung. Ins Werkstückinnere nimmt die Härte rasch ab (**Bild 1**). Unlegierte Stähle, wie z.B. C45E, härten nur in einer Randzone von rund 5 mm, der Werkstückkern bleibt ungehärtet und damit zäh (**Bild 2**). Legierte Stähle (z.B. 30CrNiMo8) härten stärker durch. Für viele Anwendungsfälle ist „nicht durchhärten“ erwünscht, wie z.B. für Drehmeißel, die einen harten Schneidkeil, aber einen zähen Schaftkern benötigen. In anderen Anwendungsfällen muss das Bauteil vollständig durchgehärtet sein.

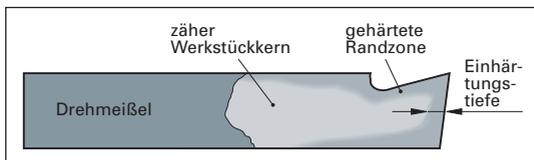


Bild 1: Eindhärtungstiefe an einem Drehmeißel aus unlegiertem Werkzeugstahl

Härteverzug und Härterisse

Bei unlegierten Stählen kann es beim Härten durch das schroffe Abschrecken in Wasser zum Verziehen oder oberflächlichem Anreißen der Werkstücke kommen. Dies kann durch Verwendung eines weniger schroffen Abschreckmittels vermieden werden.

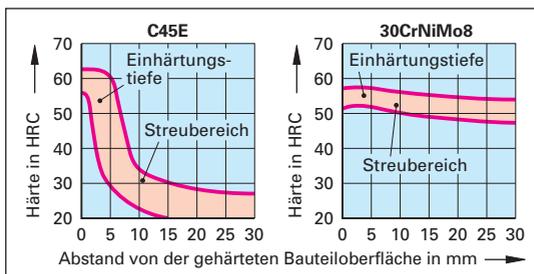


Bild 2: Eindhärtungstiefen verschiedener Stähle

Einfache Härtearbeiten in der Werkstatt

Einfache Härtearbeiten, wie z.B. das Härten von Meißeln oder Hämmern, können auch mit den in einer Werkstatt vorhandenen Einrichtungen durchgeführt werden (**Bild 3**).

Das Erwärmen auf Härtetemperatur erfolgt entweder im Schiedefeuher oder mit dem Schweißbrenner. Hierbei kommt es auf die Erfahrung des Metallbauers an, die erforderliche Härtetemperatur, z.B. eines Meißels aus C70U von rund 800 °C, mit Hilfe der Glühfarbe des erwärmten Werkzeugs zuverlässig zu erzielen (**Bild 4**). Abgeschreckt wird im Löschtrug. Da nur die Meißelschneide gehärtet werden soll, wird die Meißelschneide mit leichten Rührbewegungen in das Wasser getaucht.

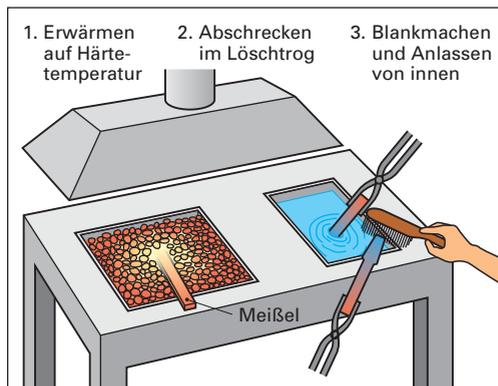


Bild 3: Härten eines Meißels in der Werkstatt

Angelassen wird mit der Restwärme vom Härten, man nennt dies Anlassen von innen. Dazu wird der an der Schneide abgeschreckte Meißel direkt nach dem Abschrecken aus dem Wasser gezogen. Vom noch heißen Meißelschaft fließt Wärme zur Meißelschneide und erwärmt sie. Das Erreichen der Anlass-temperatur (z.B. 250 °C) erkennt man an der Anlassfarbe einer vorher blank gemachten Schneidenstelle (**Bild 3**). Anschließend wird der ganze Meißel in Wasser abgekühlt.

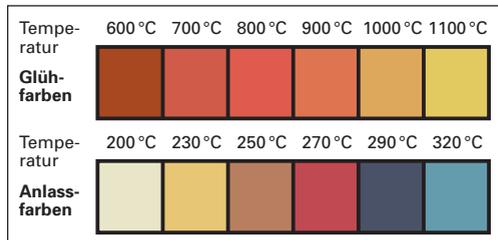


Bild 4: Glühfarben und Anlassfarben

9.2.2 Gittervorgänge und Gefügeveränderungen beim Härten

Die Ursache der Erhöhung von Härte und Verschleißfestigkeit beim Härten sind Veränderungen im kristallinen Aufbau des Stahls und die Bildung eines neuen Gefügestandes.

Beim Erwärmen von ungehärtetem Stahl auf Härtetemperatur (über die GSK-Linie im Fe/C-Zustandschaubild, Bild 1, Seite 67), wandelt sich das kubisch-raumzentrierte Kristallgitter des Eisens in das kubisch-flächenzentrierte Kristallgitter des Austenits um (**Bild 1, linker Bildteil**). Dadurch wird der Mittelplatz im Kristallgitter frei. Er wird von einem Kohlenstoffatom besetzt. Der Kohlenstoff stammt aus dem Stahlgefügeanteil Streifenzementit (Fe_3C). Er löst sich durch das Abwandern der Kohlenstoffatome auf. Das entstehende Gefüge heißt **Austenit** oder γ -Eisen. Es stellt eine feste Lösung von Kohlenstoffatomen in Eisen dar. Den Vorgang der Austenitbildung nennt man **Austenitisieren**.

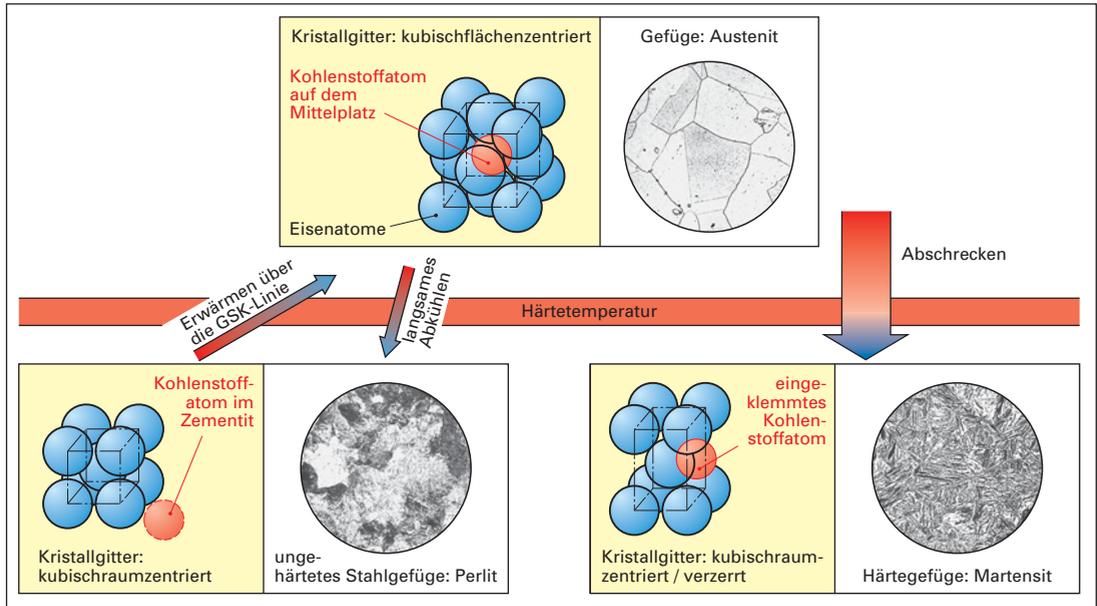


Bild 1: Gittervorgänge und Gefügeveränderungen beim Härten

Kühlt man anschließend den austenitisierten Stahl langsam ab (Bild 1, linker Bildteil), so läuft der Vorgang umgekehrt ab: Bei Unterschreiten der GSK-Linie entsteht wieder ein kubisch-raumzentriertes Kristallgitter, das Kohlenstoffatom vom Mittelplatz wandert aus dem Würfel heraus und bildet mit Eisenatomen wieder Zementit (Fe_3C), der sich in Form von Streifen (Streifenzementit) ausscheidet. Es entsteht wieder das Perlit-Gefüge, wie es vor der Erwärmung vorlag.

Ganz andere Vorgänge laufen ab, wenn der austenitisierte Stahl sehr rasch abkühlt, also abgeschreckt wird, wie es beim Härten gemacht wird. Dann klappt das kubisch-flächenzentrierte Kristallgitter schlagartig in das kubisch-raumzentrierte Kristallgitter um (Bild 1, rechter Bildteil). Das Kohlenstoffatom in der Würfelmitte hat keine Zeit, um aus der Würfelmitte herauszuwandern und mit Eisenatomen wieder Zementit zu bilden. Es bleibt im Würfelnern „eingesperrt“.

Durch das Vorhandensein zweier Atome in der Würfelmitte verzerrt sich das Kristallgitter. Die Verzerrung führt zur Bildung eines feinnadeligen Gefüges, dem Härtegefüge, das im wesentlichen aus feinnadeligem **Martensit** besteht. Dieses Gefüge ist glashart und verleiht gehärtetem Stahl die Härte und Verschleißfestigkeit.

Ist die Abkühlung nicht schroff genug, so bildet sich ein Gefüge, das in seinen Eigenschaften zwischen Martensit und Perlit liegt: das **Zwischenstufengefüge**, auch **Bainit** genannt.

In einem Übergangsbereich der Abkühlung können alle drei Gefügearten – Martensit, Zwischenstufengefüge (Bainit) und Perlit – in unterschiedlichen Anteilen entstehen.

Voraussetzung für die Härtebarkeit eines Stahls ist das Vorhandensein von ausreichend Kohlenstoff. Stahl mit weniger als 0,2% Kohlenstoff ist nicht härtebar, weil ein zu geringer Martensitanteil gebildet wird. Nur Stahl mit mehr als 0,2% Kohlenstoff ist härtebar.

Einfluss von Legierungselementen

Bei legierten Stählen wird die Gefügeumwandlung beim Härten durch die Legierungselemente stark beeinflusst. Viele Legierungselemente, wie z.B. Chrom, Wolfram, Mangan und Nickel setzen die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit zur Bildung von Martensit herab, d.h. es wird auch bei langsamerer Abkühlung Härtegefüge gebildet. Legierte Stähle brauchen deshalb nicht im schroffen Abschreckmittel Wasser, sondern nur in Öl abgeschreckt werden. Bei Stählen mit hohem Legierungsanteil führt sogar Abkühlen an der Luft zur Martensitbildung.

Unlegierte Stähle sind Wasserhärter, niedrig legierte Stähle Ölhärter und hochlegierte Stähle Öl- oder Luftpärter.

Ölhärtende Stähle haben eine größere Einhärtungstiefe als wasserhärtende Stähle, weil auch im Werkstückinnern die notwendige Mindestabkühlgeschwindigkeit erreicht wird.

Bei Luftpärten Stählen wird das Werkstück vollständig durchgehärtet.

9.2.3 Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubild (ZTU-Schaubild)

Damit Martensit gebildet wird und somit eine Härtung des Stahles erfolgt, muss das Abschrecken mit einer Mindestabkühlungsgeschwindigkeit erfolgen, die man **kritische Abkühlungsgeschwindigkeit** nennt. Andererseits kommt es bei sehr hohen Abkühlungsgeschwindigkeiten zur Bildung von starken Härtespannungen oder sogar Härterissen im Werkstoff. Deshalb muss zur Erzeugung von Martensitgefüge gerade mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit abgeschreckt werden, die noch zur Martensitbildung führt, andererseits aber keine Härteschäden verursacht.

Wird mit zu langsamer Abkühlungsgeschwindigkeit abgeschreckt, so bildet sich **Zwischenstufengefüge** (auch Bainit genannt), ein feinkörniges Gefüge, das einen Übergang vom Perlit zum Martensit darstellt und auch in den mechanischen Eigenschaften eine Zwischenstellung einnimmt. Bei noch langsamerer Abkühlung entsteht dann letztlich wieder Perlit.

Die bei einem bestimmten Abkühlungsverlauf gebildeten Gefüge und die entstehende Härte können aus Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubildern, kurz **ZTU-Schaubildern**, abgelesen werden.

Das **kontinuierliche ZTU-Schaubild** beschreibt die Gefügezustände bei gleichbleibender Abkühlungsgeschwindigkeit von Härtetemperatur auf Raumtemperatur (**Bild 1**). Dazu läuft man entlang einer Abkühlungslinie im ZTU-Schaubild und liest den jeweils beim Verlassen eines Gefügebereichs genannten Prozentgehalt des Gefüges ab. (Er ist in einem Kreis angegeben.) Der fehlende Rest zu 100% ist Martensit. Der gehärtete Stahl enthält die Summe der beim Durchlaufen der Gefügebereiche abgelesenen Bestandteile plus dem Martensitanteil.

Am Ende der Abkühlungslinie ist in einem Quadrat die Vickershärte des gehärteten Werkstoffs angegeben.

Beispiele: Abschrecken des Werkzeugstahls 105WCr6 (**Bild 1**) entlang der Abkühlungslinie II ergibt ein Gefüge mit 30% Zwischenstufengefüge und 70% Martensit. Die Härte des Werkstücks beträgt 687 HV.

Abschrecken entlang der Linie III ergibt: 75% Perlit, 24% Zwischenstufengefüge, 1% Martensit, Härte: 337 HV.

Abschrecken in Wasser entspricht etwa der Abkühlungslinie I, Ölabschrecken je nach Ölsorte den Abkühlungslinien II und III, Luftpärten der Linie IV.

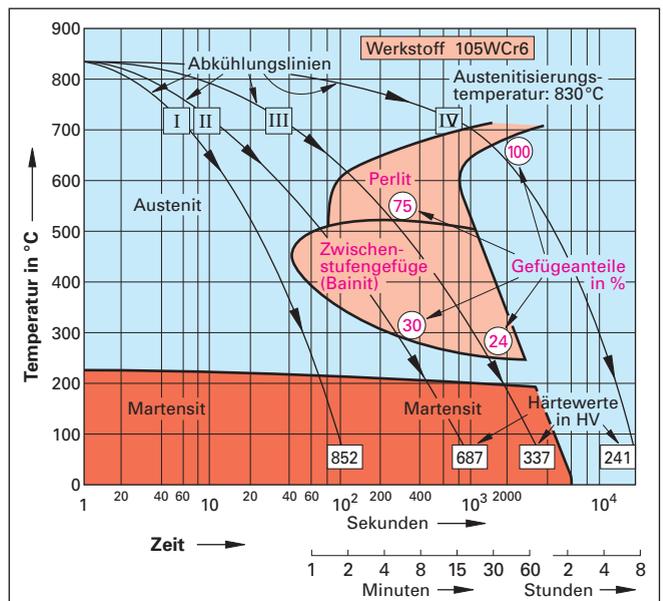


Bild 1: Kontinuierliches ZTU-Schaubild des Werkzeugstahls 105WCr6

9.3 Vergüten

Durch Vergüten erhalten Bauteile große Festigkeit bei gleichzeitig großer Zähigkeit.

Durchführung: Vergüten besteht aus Härten (Erwärmen, Austenitisieren, Abschrecken) und anschließend Anlassen (meist oberhalb 550 °C) mit Abschrecken oder langsam Abkühlen (**Bild 1**). Durch das Anlassen bei wesentlich höheren Temperaturen als beim Härten wird beim Vergüten die Härte des Werkstoffs beträchtlich verringert. Die Festigkeit bleibt aber weitgehend erhalten und die Zähigkeit wird wesentlich verbessert.

Vergütet werden dafür besonders geeignete Werkstoffe, die Vergütungsstähle (Seite 40). Die durch Vergüten erreichbaren Festigkeiten betragen bei unlegierten Vergütungsstählen bis zu 1000 N/mm², bei legierten Vergütungsstählen bis zu 1400 N/mm². Vergütet werden auf Zug, Stoß und Wechsellast hoch beanspruchte Maschinenteile, wie z.B. Schrauben, Zahnräder und Wellen.

Das Vergütungsschaubild. Nach dem Härten ist der Stahl glashart und hochfest, aber spröde und bruchempfindlich, so dass er so nicht verwendbar ist. Durch das nachfolgende Anlassen kann die Glashärte beseitigt werden und je nach Anforderung der Praxis eine gewünschte Kombination der Zugfestigkeit, Streckgrenze und Zähigkeit (Bruchdehnung) erzielt werden. Niedrige Anlasstemperatur (500 °C) bedeutet hohe Festigkeit und geringe Zähigkeit (härtevergütet). Hohe Anlasstemperatur (650 °C) ergibt geringe Festigkeit und große Zähigkeit (zähvergütet).

Welche Anlasstemperatur erforderlich ist, um bei einem Vergütungsstahl die gewünschte Kombination der mechanischen Kennwerte zu erhalten, kann aus dem **Vergütungsschaubild** des Stahls abgelesen werden (**Bild 2**).

Beispiel: Der Vergütungsstahl **42CrMo4** soll auf eine Streckgrenze von 850 N/mm² vergütet werden. Aus dem Vergütungsschaubild (Ablesebeispiel in Bild 2) kann abgelesen werden, dass hierzu mit einer Temperatur von 550 °C angelassen werden muss. Die Zugfestigkeit beträgt dann 1120 N/mm², die Bruchdehnung 14%.

Gefügevorgänge beim Vergüten (Bild 3).

Nach dem Abschrecken liegt nadeliger Martensit vor ①. Beim Anlassen zerfällt Martensit in sehr feinverteilte Ferrit- und Zementitnadeln, die sich zwischen dem noch nicht zerfallenen Martensit ausscheiden. Bei 400 °C zerfällt nur ein geringer Martensitanteil ②, bei 550 °C ist der Zerfall vollständig ③. Ab 600 °C ballen sich die Zementitnadeln zu Zementitkörnern zusammen. Bei 700 °C angelassener Stahl besteht vollständig aus Zementitkörnern in einer Ferrit-Grundmasse ④.

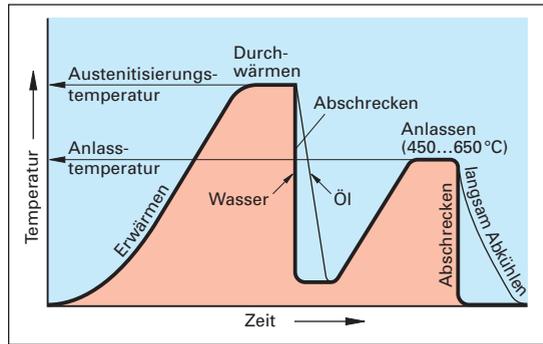


Bild 1: Temperaturverlauf beim Vergüten

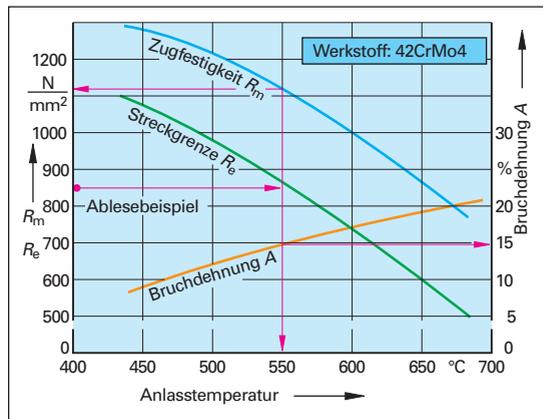


Bild 2: Vergütungsschaubild des Vergütungsstahls 42CrMo4

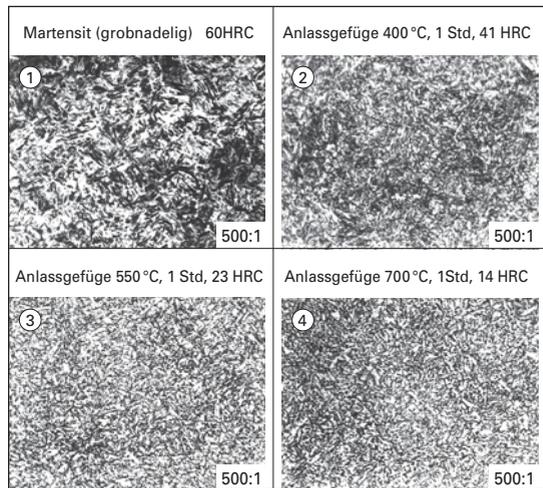


Bild 3: Gefüge des Vergütungsstahls C45E nach dem Härten und Anlassen

9.4 Verfahren zum Härten der Randzone

Das Härten der Randzone wird angewandt, wenn das Werkstück eine harte, verschleißfeste Randschicht (0,1 bis 5 mm) und gleichzeitig einen hochfesten, zähelastischen Kern benötigt. Dies ist bei Bauteilen erforderlich, die auf ihrer Oberfläche Verschleiß oder starker Flächenpressung ausgesetzt sind und zusätzlich große oder wechselnde Kräfte übertragen müssen, wie z.B. bei Wellen, Zahnrädern, Umlenkrollen, Laufrädern, Gleitbahnen. Zum Härten der Randzone gibt es mehrere Verfahren.

Randschichthärten

Beim Randschichthärten wird eine dünne Randschicht des Bauteils durch stark gebündelte Wärmezufuhr schnell auf Härtetemperatur erwärmt (austenitisiert) und sofort abgeschreckt (**Bild 1**).

Die rasche Erwärmung der Randschicht kann entweder mit einer Gasflamme (Flammhärten), durch eine stromdurchflossene Induktionsspule (Induktionshärten) oder durch Tauchen in einer Salzschmelze (Badhärten) erfolgen. Abgeschreckt wird mit einer Wasserbrause.

Beim Randschichthärten wird nur eine Randschicht des Werkstücks von rund 5 mm Dicke gehärtet, die auf Härtetemperatur erwärmt war. Der Werkstückkern bleibt ungehärtet. Zum Randschichthärten werden spezielle Stähle verwendet.

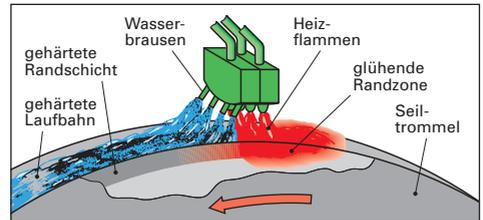


Bild 1: Randschichthärten einer Seiltrommel

Einsatzhärten

Beim Einsatzhärten wird die Randschicht eines Bauteils aus kohlenstoffarmem Stahl in speziellen Einsatzverfahren mit Kohlenstoff angereichert und anschließend gehärtet (**Bild 2**).

Zum Einsatzhärten werden Stähle mit 0,1 bis 0,2 % Kohlenstoff verwendet (Seite 41). Sie sind wegen des niedrigen Kohlenstoffgehalts nicht härtbar. Die Anreicherung der Randschicht mit Kohlenstoff, **Aufkohlen** genannt, erfolgt durch Einbringen der Bauteile in kohlenstoffabgebende Einsatzmittel und Glühen bei 850 °C bis 930 °C während mehrerer Stunden oder Tage. Dabei diffundiert Kohlenstoff in die Randschicht des Werkstücks, die damit härtbar ist.

Zum Aufkohlen gibt es mehrere Verfahren: Aufkohlen in festem Einsatzmittel (Pulveraufkohlen) erfolgt durch Einpacken der Werkstücke in einen, mit Kohlegranulat gefüllten Kasten, der in einen Glühofen geschoben wird. Zum Aufkohlen in flüssigem Einsatzmittel (Salzbadaufkohlen) werden die Werkstücke in eine kohlenstoffabgebende Salzschmelze getaucht und dort gehalten. Beim Gasaufkohlen werden die Werkstücke in einen gasdichten Glühofen gebracht, der von kohlenstoffabgebendem Gas durchströmt wird.

Nach dem Aufkohlen werden die Bauteile entweder direkt mit der Aufkohlungstemperatur abgeschreckt oder nach Abkühlen erneut auf Härtetemperatur erwärmt und dann abgeschreckt. Dabei härtet nur die aufgekohlte Randschicht, der kohlenstoffarme Werkstückkern bleibt ungehärtet.

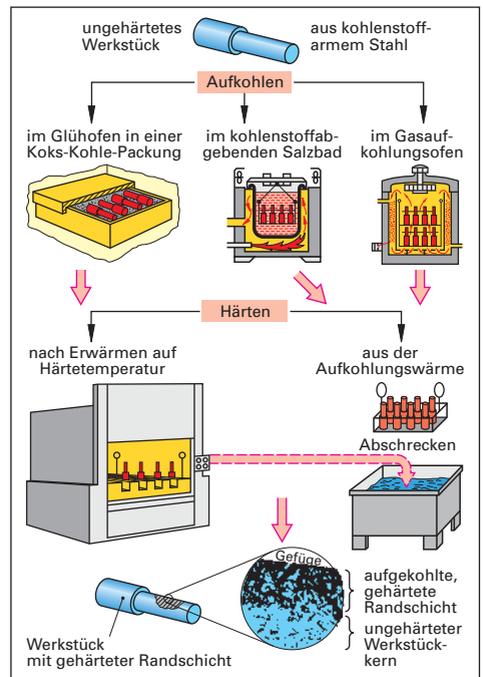


Bild 2: Arbeitsablauf beim Einsatzhärten

Nitrieren

Nitrieren ist ein thermochemisches Behandeln zum Anreichern der Randschicht eines Werkstückes mit Stickstoff. Hierbei wird das Werkstück in einem Glühofen gasförmigem Stickstoff ausgesetzt, der in die Randschicht eindringt. Es bildet sich eine dünne, äußerst harte Nitrid-Randschicht. Nach dem Nitrieren braucht nicht abgeschreckt zu werden. Zum Nitrieren eignen sich nur spezielle Stähle (Seite 41).

Beim **Carbonitrieren** bzw. **Nitrocarburieren** wird die Randschicht des Werkstücks durch Glühen in einem Salzbad gleichzeitig aufgekühlt und nitriert (carbonitriert). Durch anschließendes Härten erzielt man eine harte Randschicht, die besonders fest mit dem Werkstückkern verklammert ist.