

# Metall

Dr. Sascha Peters hat die Rubrik „Wissenswertes“ für die Kapitel Kunststoffe, Metalle, Papier, Holz, Textilien und Verbundwerkstoffe verfasst.



„Bremer Stadtmusikanten“, Bronzeguss, Bildhauer: Gerhard Marcks

„Elektrisch leitfähig“, „hochfest“, „magnetisch“, „Licht reflektierend“, „gieß- und umformbar“, „korrosionsbeständig“: Das Eigenschaftsspektrum metallischer Werkstoffe ist riesig. Metalle haben die zivilisatorische Entwicklung des Menschen durch alle Epochen begleitet. Erste Funde deuten auf die erstmalige Verwendung in Anatolien vor rund 12000 Jahren hin. Die Entdeckung der Vorteile bestimmter Werkstoffe und die Entwicklung von Techniken zu deren Gewinnung gaben ganzen geschichtlichen Zeiträumen einen Namen. „Kupfersteinzeit“, „Bronzezeit“, „Eisenzeit“ so die Verwendungshistorie der Metalle. In der Kupferzeit haben die Menschen zunächst in Vorderasien Verfahren zur Verhüttung von Kupfererzen entwickelt. 1500 Jahre später waren sie imstande, harte Bronzelegierungen, also Mischmetalle aus Kupfer und Zinn, zu erzeugen. Völker, die im 2. Jahrtausend vor Christus die Verarbeitung von Bronze beherrschten, konnten sich gegenüber denen durchsetzen, die noch auf primitive Waffen und Werkzeuge aus Stein oder Kupfer angewiesen waren. Gehärteter Stahl hat das beeindruckende Alter von 3000 Jahren. Die Römer bauten ihre Vormachtstellung im Mittelmeerraum auf Waffen aus Eisen auf, die wesentlich härter waren als die aus Bronze. So folgten die Machtkonstellationen in der Antike der Fertigkeit im Umgang mit den jeweils am weitesten entwickelten metallischen Werkstoffen. Die Verarbeitung von Gold war schon in Troja und bei den Kelten bekannt. Silber wurde von den Römern auf der iberischen Halbinsel abgebaut. Mit dem Untergang des Römischen Reiches gerieten auch einige Erkenntnisse zur Verarbeitung metallischer Werkstoffe in Vergessenheit. Erst im 14. Jahrhundert setzte der mittelalterliche Mensch die Verhüttung von Eisen in Holzkohlehochöfen ein. Mit der Erfindung der Kokshochöfen zur Stahlerzeugung und der Dampfmaschine nahm die industrielle Revolution des 18. und 19. Jahrhunderts ihren Anfang. Eisen und Stahl waren ihre prominentesten Werkstoffe.

Heute haben neben Metallen vor allem auch Kunststoffe und Keramiken eine große Bedeutung für technische Anwendungen. Produkte müssen in den hoch entwickelten Industrienationen kostengünstig herzustellen sein und auf den Anwendungsfall exakt eingestellt werden können. Vor diesem Hintergrund ist die Bedeutung von Kunststoffen in den letzten 50 Jahren enorm gestiegen. Durch die sich verschärfenden ökologischen Anforderungen werden immer häufiger Karosserieelemente im Fahr- und Flugzeugbau durch hochfeste, faserverstärkte Polymerwerkstoffe ersetzt. Der nächste Entwicklungsschub wird insbesondere im Bereich der Verbundmaterialien erwartet, da sich die heutigen komplexen Anforderungsprofile nur noch durch Kombination unterschiedlicher Materialien erreichen lassen. So wird an Metallverbänden mit einer ausgesprochen hohen Härte geforscht, die aber gleichzeitig wenig Gewicht aufweisen sollen. Außerdem sind hochtemperaturbeständige Metalllegierungen für die Luft- und Raumfahrttechnik besonders interessant.

Obwohl die Bedeutung metallischer Werkstoffe in den letzten Jahren zugunsten von Kunststoffen und Materialverbänden nachgelassen hat, teilt man in der Wissenschaft traditionell immer noch die Werkstoffe in die Hauptgruppen „Metalle“, „Nichtmetalle“ und „Verbundwerkstoffe“ ein.

## Einteilung der Werkstoffe

Metalle	Eisenwerkstoffe	Stähle (Konstruktionsstahl, Baustahl, Werkzeugstahl, Edelstahl)
		Eisengusswerkstoffe (Gusseisen, Stahlguss)
	Nichteisenwerkstoffe	Schwermetalle (Dichte > 5 g/cm <sup>3</sup> : Blei, Kupfer, Nickel, Chrom)
		Leichtmetalle (Dichte < 5 g/cm <sup>3</sup> : Titan, Magnesium, Aluminium)
Nichtmetalle	Naturwerkstoffe	Steine, Holz, Naturtextilien
	Künstliche Werkstoffe	Kunststoffe, Industriesteine, Glas, Keramiken
Verbundwerkstoffe	Faserverbünde	GFK, CFK, RFK, Faserzement
	Schichtverbünde	Bimetalle, Holzverbundplatten, Sicherheitsglas
	Teilchenverbundwerkstoffe	Polymerbeton, Hartmetalle, Holzspanplatte

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbundwerkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeitsschutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinsel

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

Allgemeines	
Kunststoff	
Gummi	
Verbundwerkstoffe	
Holz	
Kork	
Papier	
Pappe	
Karton	
<b>Metall</b>	
Textilien	
Leder	
Kunstleder	
Bänder	
Ketten	
Schläuche	
Klein- und Formteile	
Zeichnen	
Grafik	
Büro	
Werkzeug	
Arbeitschutz	
Klebstoff	
Klebeband	
Formen	
Abformen	
Gießen	
Farben	
Chemie	
Pinsel	
Basteln	
Werken	
Floristik	
Deko	
Display	
Event	
Modellbau	
Möbel	
Licht	
Systeme	
Behälter	
Taschen	
Verpackung	
Bücher	
Magazine	
Medien	
Karten	
Spielzeug	
Accessoires	
Anhang	

## Charakteristische Metalleigenschaften

Ein massives Stück Metall erscheint auf den ersten Blick als homogener Stoff. Betrachtet man seine Oberfläche unter dem Mikroskop, zeigt sich eine kristalline Struktur. Dieses Gefüge besteht aus Kristalliten, winzigen Körpern aus regelmäßig angeordneten Atomen. Dem kristallinen Aufbau haben Metalle ihr besonderes Eigenschaftsprofil zu verdanken, die sie zu nahezu universell einsetzbaren Werkstoffen gemacht hat. Kristallgitter bestehen aus positiv geladenen Atomrümpfen und freien, negativ geladenen Teilchen, den Elektronen. Diese sind keinem bestimmten Atom zugeordnet, sondern bewegen sich frei in einer Wolke im Kristallgitter umher und halten die Atomrümpfe fest zusammen. Metalle weisen daher eine hohe Festigkeit auf. Charakteristisch ist die gute Leitfähigkeit für elektrische Ströme, die auf die delokalisierten, frei beweglichen Elektronen im Metallgitter zurückzuführen ist. Auch die gute thermische Leitfähigkeit geht auf das Vorhandensein des Elektronengases zurück. Wärme entsteht und breitet sich aus, wenn sich Elektronen frei bewegen können. Lichtstrahlen hingegen werden durch die Elektronen nahezu vollständig reflektiert, so dass Metalle einen starken Glanz aufweisen, undurchsichtig sind und für die Fertigung von Spiegelflächen genutzt werden können. Die gute Verformbarkeit metallischer Werkstoffe kann mit dem leichten Versetzen ganzer Atomreihen im Kristallgitter erklärt werden. Verharren die Atome in ihrer neuen Position, spricht man von einer plastischen Verformung. Bei elastischer Verformung springen die Atome nach Rücknahme der Belastung jedoch in ihre Ausgangssituation zurück. Auch die hohen Schmelztemperaturen von Metallen kann man mit dem besonderen Bindungscharakter erklären. Durch die frei beweglichen Elektronen lassen sich allseitig ausgerichtete Bindungskräfte ausmachen, was den Zusammenhalt auch bei hohen Temperaturen gewährleistet.

### Schmelz- und Siedepunkte einiger Metalle

Metall	Schmelzpunkt	Siedepunkt
Eisen	1536 °C	3200 °C
Kupfer	1083 °C	2600 °C
Silber	961 °C	2177 °C
Aluminium	660 °C	2060 °C
Magnesium	650 °C	1110 °C
Blei	327 °C	1740 °C
Zinn	231 °C	2270 °C

### Dichtewerte einiger Metalle und Gewichte (kg/m<sup>2</sup>) von Blechwerkstoffen

Metall	spez. Gew.	s=0,1	s=0,2	s=0,3	s=0,5	s=0,8	s=1,0	s=1,5	s=2,0
Aluminium	2,70 g/cm <sup>3</sup>	0,27	0,54	0,81	1,35	2,16	2,70	4,05	5,40
Messing	8,50 g/cm <sup>3</sup>	0,85	1,70	2,55	4,25	6,80	8,50	12,75	17,00
Kupfer	8,92 g/cm <sup>3</sup>	0,89	1,78	2,68	4,46	7,14	8,92	13,38	17,84
Blei	11,34 g/cm <sup>3</sup>	1,13	2,27	3,40	5,67	9,07	11,34	17,00	22,67
Stahl	7,85 g/cm <sup>3</sup>	0,79	1,57	2,36	3,93	6,28	7,85	11,78	15,70

### Elektrische und thermische Leitfähigkeit einiger Metalle

Metall	elektrische Leitfähigkeit	thermische Leitfähigkeit
Silber	61,3 MS/m	410,3 W/mK
Kupfer	58 MS/m	394 W/mK
Gold	45,2 MS/m	317 W/mK
Aluminium	37,74 MS/m	230 W/mK
Magnesium	22,2 MS/m	157,4 W/mK
Eisen	10,5 MS/m	73,27 W/mK
Zinn	8,67 MS/m	67 W/mK
Blei	4,82 MS/m	34,75 W/mK



Materialmuster von Metallblechen/Dibond bei Modulor

# Metall

- Allgemeines
- Kunststoff Gummi
- Verbundwerkstoffe
- Holz Kork
- Papier Pappe Karton
- Metall**
- Textilien Leder Kunstleder
- Bänder Ketten Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen Grafik Büro
- Werkzeug Arbeitsschutz
- Klebstoff Klebeband
- Formen Abformen Gießen
- Farben Chemie Pinsel
- Basteln Werken Floristik
- Deko Display Event
- Modellbau
- Möbel Licht Systeme
- Behälter Taschen Verpackung
- Bücher Magazine Medien
- Karten Spielzeug Accessoires
- Anhang



„Seashark“ – Schiffsmodell aus 935er Silber, Hersteller: KOCH & BERGFELD Silbermanufaktur F. Blume GmbH

Neben den außerordentlichen physikalischen weisen Metalle in aller Regel auch gute chemische Eigenschaften auf. Besonders Edelmetalle reagieren wenig bis gar nicht auf atmosphärische Einflüsse, Feuchtigkeit oder chemische Substanzen. Gold und Silber oxidieren nicht und erhalten den charakteristischen metallischen Glanz, was sie für Schmuckstücke seit jeher besonders beliebt macht. Es existieren aber auch unedle Metalle wie Eisen, die mit der in der Umgebungsluft enthaltenen Feuchtigkeit reagieren, Oxidschichten ausbilden und anlaufen. Bei Eisenwerkstoffen wird die Oxidschicht Rost genannt. Um unedle Metallwerkstoffe vor Korrosion zu schützen, werden sie mit Beschichtungen versehen (z. B. Chrom) oder mit anderen Elementen legiert. Edeltähle enthalten in vielen Fällen Legierungselemente wie Chrom oder Nickel, die dem Werkstoff eine nicht rostende Oberfläche verleihen.

## Legierungen

Verbindungen aus mehreren Metallen werden als Legierungen bezeichnet. Schon früh hatte man erkannt, dass sich die Eigenschaften metallischer Werkstoffe durch Zulegieren anderer Bestandteile optimieren lassen. So weisen Legierungen ein in manchen Merkmalen verbessertes oder sogar vollkommen andersartiges Eigenschaftsprofil auf als der Ausgangswerkstoff. Legierungen sind härter als das reine Metall, korrosionsbeständiger oder warmformbeständiger; Eigenschaften also, die für technische Anwendungen besonders benötigt werden. Daher werden heute in der Hauptsache Legierungen verarbeitet. Der reine metallische Werkstoff kommt nur selten zum Einsatz. Für Schmuck wäre zum Beispiel 100%iges Reingold überhaupt nicht zu verwenden, da es weich und extrem dehnbar ist. Aus diesem Grund wird es mit Kupfer und Silber auflegiert. Die rötlich-gelbe Goldlegierung 333 besteht beispielsweise zur Hälfte aus Kupfer und zu einem Sechstel aus Feinsilber. 935er Silber wird wegen der guten Verarbeitungsqualitäten gerne für Korpuswaren eingesetzt (siehe Foto). Zur Beschreibung der Zusammensetzung einer Legierung sind in der werkstoffwissenschaftlichen Bezeichnung die einzelnen Bestandteile und ihre Anteile in Prozent aufgeführt. So enthält Messing CuZn28 zum Beispiel 72 % Kupfer und 28 % Zink.

## Zusammensetzung und Verwendung wichtiger Legierungen

Legierung	Zusammensetzung	Verwendung
Invar	Eisen-Nickel-Legierung	Bimetalle, Geräte zur Zeit- und Distanzmessung
Bronze	Kupfer-Zinn-Legierung	Glocken, Skulpturen, Schmuckstücke
Neusilber	Kupfer-Nickel-Zink	Silberersatz, Besteck, Elektroverbinder
Konstantan	Kupfer-Nickel-Mangan	Münzen, elektrische Widerstände
Rotguss	Kupfer-Zinn-Zink	Armaturen, Rohrverbinder, Gleitlager, Zahnräder
Inconel	Nickel-Chrom-Eisen	Hochtemperaturanwendungen in Luft- und Raumfahrt
Messing	Kupfer-Zink	Goldersatz, Schmuck, Armaturen, Blasinstrumente
Lötzinn	Blei-Zinn	Lötmaterial
Elektron	Magnesium-Aluminium	optische Bauteile
Memory-Metall	Formgedächtnislegierung	künstliche Herzklappen
Tulasilber	Silber-Kupfer-Schwefel	Kunstobjekte, Schmuck
Galistan	Gallium-Indium-Zinn	Quecksilberersatz, Gleitpaste
Duraluminium	Aluminium-Kupfer-Magnesium-Mangan-Silizium	Stahlersatz im Flug- und Fahrzeugbau



Fräser, © Paul-Georg Meister / PIXELIO

## Verarbeitung metallischer Werkstoffe

Auf Grund der großen Bedeutung metallischer Werkstoffe wurde in den letzten Jahrhunderten eine Vielzahl industrieller und handwerklicher Techniken zu ihrer Verarbeitung entwickelt.

## Formgebung

Die wichtigsten urformenden Verfahren direkt aus der Metallschmelze sind das Sandgießen, das Kokillengießen, das man für die Herstellung von Zinnfiguren aus dem eigenen Hobbykeller kennt, oder das Druckgießen von beispielsweise komplexen Gehäuseelementen (z. B. Kupplungsgehäuse oder Waffeleisen). Das Feingießen findet Anwendung zur Massenherstellung von Kleinteilen mit komplexen Formgeometrien und geringen Wandstärken, wenn insbesondere eine hohe Oberflächenqualität gefordert ist. Es ist für nahezu alle Metalllegierungen geeignet. Stranggießen

ist das bevorzugte Verfahren zur Überführung der Schmelze in Halbzeugprofile. Werden großvolumige und rotationssymmetrische Bauteile benötigt, ist das Schleudergießen geeignet. Hier wird das flüssige Metall in eine rotierende Kokille eingebracht und durch die Fliehkraft an den Außenrand gedrückt, wo es schließlich erstarrt. In den letzten Jahren haben sich darüber hinaus einige Techniken entwickelt, die insbesondere für den Gestaltungsbereich von Interesse sein können. Hier sei das Schäumen von Aluminium genannt, das als sehr interessantes Material für Außenfasaden seit einiger Zeit in der Szene kursiert. Auf Grund der Möglichkeit zur freien Formgebung wurden außerdem generative Verfahren wie das Lasersintern, das Lasermelting oder das 3D-Printing zur Verarbeitung von Metallpulvern qualifiziert.

### Umformen

Metallische Werkstoffe liegen in aller Regel als Halbzeuge wie Platten, Rohre, Stäbe, Bleche oder Bänder vor, die entweder umgeformt oder zerspannt werden. Für die spanlose Umformung haben die Techniken Biegen, Tiefziehen, Stauchen und Schmieden eine hohe Bedeutung. Druckumformtechnologien wie Walzen, Schmieden, Fließ- oder Strangpressen dienen insbesondere der Weiterverarbeitung von Bauteilen in großen Stückzahlen. Auch bei den umformenden Verfahren wurden neue Techniken entwickelt, die besondere Potenziale für den Gestaltungsbereich aufweisen. So ist es mittlerweile möglich, metallische Blechteile aufzublasen und somit komplexe Rohrstrukturen sehr effizient herzustellen. Eine andere interessante Technologie ist das Explosionsformen. Die Schockwellen einer Sprengstoffdetonation werden auf ein Bauteil übertragen und verformen selbst hochfeste Werkstoffe in Bruchteilen einer Sekunde. Da die Umformkräfte nicht wie beim Tiefziehen durch die Größe der Presse begrenzt sind, gibt es fast keine Einschränkung bei den maximalen Bauteilabmaßen.

### Zerspanen und Schneiden

Die Liste der zerspanenden Trennverfahren ist lang: Drehen, Bohren, Fräsen, Hobeln, Räumen, Sägen, Stanzen und Schleifen sind übliche Techniken. Darüber hinaus finden chemische und elektrochemische Abtragungsverfahren wie das Metallätzen Verwendung. Graviertechniken sind vor allem für die Beschriftung von Blechzuschnitten geeignet. In den letzten Jahren hat sich außerdem der Laserstrahl als sehr flexibles Hilfsmittel für den hochpräzisen Zuschnitt von Bauteilen mit kleinen Stückzahlen als besonders effizient herausgestellt. Schnittfugen von 0,1-0,3 mm sind realisierbar, die sich bei Blechen mit einer Materialstärke von weniger als 1 mm auf einen Wert von etwa 50 Mikrometer reduzieren lassen. Der Laserstrahl hat in manchen Bereichen die traditionellen Gravier- und Ätztechniken ersetzt und eignet sich zudem zum Strukturieren von Bauteiloberflächen.

### Fügen

Verbinden lassen sich Teile aus Metall durch Schweißen, Löten, Schrauben oder Nieten. Außerdem wurde die Klebtechnik weiter entwickelt, so dass sie sich als Alternative für viele Fügeverbindungen an temperaturempfindlichen Bauteilen etabliert hat. Derzeit wird zudem an speziellen Klebstoffen mit elektrisch leitenden Eigenschaften geforscht. Eine interessante Technik zum Schweißen von zwei metallischen Bauteilen ist das Vibrationsschweißen. Hier werden die Oberflächen gegeneinander gerieben, bis sie durch die entstehende Reibungswärme erweichen und zähflüssig werden. Die Fügeverbindung entsteht nach Erstarren der Bauteiloberflächen. Es wird kein zusätzliches Material benötigt. Die Eigenschaft metallischer Werkstoffe, sich nach Erwärmung relativ stark ausdehnen, wird häufig für das Einpassen von rotationssymmetrischen Bauteilen in Bohrungen oder für das Aufbringen von Ringen auf Wellen verwendet. Der Ring wird erwärmt, aufgeschoben und bleibt fest auf der Welle sitzen, wenn er sich beim Abkühlen zusammenzieht. Zum Einpassen in eine Bohrung ist es üblich, das Bauteil stark abzukühlen. Es wird dann leicht eingeführt, dehnt sich nach Erwärmung wieder aus und bleibt fest stecken.

### Beschichten und Veredeln

Für den Korrosions- und Verschleißschutz oder zur Erzeugung interessanter Oberflächeneffekte werden Metallbauteile beschichtet. Überzüge entstehen beispielsweise beim Galvanisieren (z. B. Verchromen) oder Tauchen in die Metallschmelze (z. B. Feuerverzinken). Nichtmetallische Schichten werden durch Oxidieren, Phosphatieren oder Emaillieren (Glasierern) erzeugt und natürlich auch durch den Auftrag von Lacken oder Farben. Insbesondere der Tampondruck hat sich für das Bedrucken von



Aluminiumschaum



Coils, Tafeln und Zuschnitte aus Stahl, Hersteller: ferrex GmbH ([www.ferrexsteel.de](http://www.ferrexsteel.de))



Golden Gate Bridge

- Allgemeines
- Kunststoff  
Gummi
- Verbundwerkstoffe
- Holz  
Kork
- Papier  
Pappe  
Karton
- Metall**
- Textilien  
Leder  
Kunstleder
- Bänder  
Ketten  
Schläuche
- Klein- und  
Formteile
- Zeichnen  
Grafik  
Büro
- Werkzeug  
Arbeitschutz
- Klebstoff  
Klebeband
- Formen  
Abformen  
Gießen
- Farben  
Chemie  
Pinself
- Basteln  
Werken  
Floristik
- Deko  
Display  
Event
- Modellbau
- Möbel  
Licht  
Systeme
- Behälter  
Taschen  
Verpackung
- Bücher  
Magazine  
Medien
- Karten  
Spielzeug  
Accessoires
- Anhang

# Metall

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

Dr. Sascha Peters hat die Rubrik „Wissenswertes“ für die Kapitel Kunststoffe, Metalle, Papier, Holz, Textilien und Verbundwerkstoffe verfasst. Er ist Autor und Mitherausgeber unserer Empfehlung für weitergehende Materialinformationen:



*Handbuch für Technisches Produktdesign, Autor (Text) und inhaltliche Gliederung: Dr. Sascha Peters, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg*

dreidimensional geformten Bauteiloberflächen bewährt. Metalle lassen sich außerdem auch auf einfache Weise mit einer Polymerschicht überziehen. Hier ist das Wirbelsintern ein geeignetes Verfahren. Das Metallteil wird auf eine Temperatur zwischen 100 °C und 300 °C erwärmt und in einen Behälter gehalten, in dem Kunststoffpulver verblasen wird. Die Partikel bleiben an der aufgauten Oberfläche haften, schmelzen auf und bilden nach Abkühlung einen festen Kunststofffilm. Ein hervorragendes Verfahren, um Aluminiumbauteile mit einer farbigen Oxidschicht zu versehen, ist das Anodisieren, das auch unter dem Begriff Eloxieren bekannt ist.

Dies soll es dann aber auch gewesen sein, denn auch nur die grobe Charakterisierung all dieser Techniken würde den Rahmen dieses Kataloges sprengen. Die Verarbeitungshinweise zu metallischen Werkstoffen beschränke sich daher auf einfache handwerkliche Verfahren, die ohne aufwändige Ausstattung und teures Werkzeug ausgeführt werden können. Detaillierte Informationen zu allen Verarbeitungstechnologien der metallischen Werkstoffe werden im „Handbuch für technisches Produktdesign“ gegeben.

## Eisenwerkstoffe

Erst relativ spät, im 12. vorchristlichen Jahrhundert nämlich, verbreitete sich im südöstlichen Mittelmeerraum eine Technik, mit der das wenig edle Eisen geschmolzen und als Werkstoff verwendet werden konnte. Von da an haben Eisenwerkstoffe die gesellschaftliche Entwicklungsgeschichte begleitet und entscheidend geprägt. Sie verschafften dem Römischen Reich einen Vorsprung in der Waffentechnik. Die europäischen Alchimisten verwendeten es für ihre Versuche, assoziierten Eisen mit Männlichkeit und gaben ihm das Zeichen  $\sigma$ . Im 18. Jahrhundert war die Entwicklung einer Technik zur Verhüttung von Eisen mit Koks der Auslöser für die industrielle Revolution. Maschinen, Eisenbahnen, Kanäle und Hochhäuser wurden durch diesen Werkstoff erst möglich. Heute sind Eisen- und Stahlerzeugnisse die wichtigsten Metallwerkstoffe in der Industrie überhaupt. Die Höhe der Stahlproduktion eines Landes wird daher gerne als Indikator für dessen wirtschaftliches Wachstum verwendet. Lag die weltweite Rohstahlproduktion im Jahr 1990 noch bei etwa 770 Millionen Tonnen, erreichte sie in 2005 einen Wert von 1.132 Millionen Tonnen. Die Volksrepublik China war mit 349,4 Millionen Tonnen absoluter Spitzenreiter unter den stahlproduzierenden Ländern.

Reines Eisen hat eine Dichte von 7,85 g/cm<sup>3</sup> und schmilzt bei Temperaturen über 1539 °C. Es wird heute durch Reduktion des Eisenoxids aus Erzen mit Kohlenstoff im Hochofen gewonnen. Diese bis zu 50 Meter hohen Türme werden in abwechselnden Schichten mit Eisenerz und Koks befüllt und von unten befeuert. Die Lagen sinken im Ofen ab, werden durch die aufsteigenden, heißen Dämpfe getrocknet, erwärmt und reduziert. Am Ende des 8 Stunden dauernden Vorgangs wird das flüssige Eisen abgeführt.

Im Hochofen erzeugtes Roheisen enthält eine ganze Reihe von Fremdelementen wie Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor oder Schwefel. Es weist durch den enthaltenen Kohlenstoff eine gegenüber Reineisen reduzierte Schmelztemperatur von 1450 °C auf. Zudem ist es hart und spröde und daher für die Weiterverarbeitung nur wenig geeignet. Eine der Hauptaufgaben eines Stahlwerks ist es daher, die störenden Stoffe zu entfernen und den Eisenwerkstoff durch gezielte Zuführung von Legierungselementen auf die konkrete Anwendung auszulegen. Da in über 90 % aller Metalleanwendungen weltweit Eisenwerkstoffe Verwendung finden, werden tausende unterschiedlicher Stahl- und Eisenerzeugnisse angeboten. Alleine in Deutschland sind es mehr als 7.500 Sorten. Das Verfahren, mit dem Fremdbestandteile aus dem Eisen entfernt werden, ist unter der Bezeichnung Frischen bekannt. Insbesondere der Kohlenstoffgehalt wird reduziert, da er für die Verarbeitungseigenschaften von Eisenwerkstoffen entscheidend ist. Stahl enthält zwischen 0,06 % und 2,06 % Kohlenstoff. Es lässt sich sehr gut schmieden und umformend bearbeiten. Deshalb werden Stähle auch als Knetlegierungen bezeichnet. Bei Gusseisenlegierungen übersteigt der C-Gehalt die Grenze von 2,06 %. Sie sind leicht zu vergießen und hart aber auch spröde. Der weitaus größte Teil der Eisenproduktion wird zur Rohstahlerzeugung genutzt.

## Legierungselemente und ihre Einflüsse auf Stahl- und Eisengusserzeugnisse

### Legierungsmetalle

Element	... erhöht	... vermindert	Beispiele
Aluminium Al	Zu widerstand, Eindringen von Stickstoff		34CrAlMo5
Chrom Cr	Zugfestigkeit, Härte, Warm-, Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit	Dehnung (in geringem Maße)	X5CrNi18-10 Nichtrostender Stahl
Cobalt Co	Härte, Schneidhaltigkeit, Warmfestigkeit	Kornwachstum bei höheren Temperaturen	HS10-4-3-10 Schnellarbeitsstahl mit 10% Co, z. B. für Drehmeißel
Mangan Mn	Zugfestigkeit, Durchhärbarkeit, Zähigkeit, (bei wenig Mn)	Zerspanbarkeit, Kaltformbarkeit, Grafitausscheidung bei Grauguss	28Mn6 Vergütungsstahl, z. B. für Schmiedeteile
Molybdän Mo	Zugfestigkeit, Warmfestigkeit, Schneidhaltigkeit, Durchhärtung	Anlasssprödigkeit, Schmiedbarkeit (höherer Mo-Anteil)	56NiCrMoV7 Warmarbeitsstahl, z. B. für Strangpressdorne
Nickel Ni	Festigkeit, Zähigkeit, Durchhärbarkeit, Korrosionsbeständigkeit	Wärmedehnung	EN-GJS-NiCr30-3 Austenitisches Gusseisen mit Kugelgrafit
Vanadium V	Dauerfestigkeit, Härte, Warmfestigkeit	Empfindlichkeit gegen Überhitzung	115CrV3 Werkzeugstahl z. B. für Gewindebohrer
Wolfram W	Zugfestigkeit, Härte, Warmfestigkeit, Schneidhaltigkeit	Dehnung (in geringem Maße), Zerspanbarkeit	HS6-5-2 Schnellarbeitsstahl mit 6% W, z. B. für Räumnadeln

### Nichtmetallische Elemente

Element	... erhöht	... vermindert	Beispiele
Kohlenstoff C	Festigkeit und Härte (Maximum bei 0,9%), Härbarkeit, Rissbildung (Flocken)	Schmelzpunkt, Dehnung, Schweiß- und Schmiedbarkeit	C60 Vergütungsstahl mit $R \approx 800\text{N/mm}^2$
Wasserstoff H2	Alterung durch Versprödung, Zugfestigkeit	Kerbschlagzähigkeit	Wird bei Stahlherstellung entfernt, z. B. mit Vakuumbehandlung
Stickstoff N2	Versprödung, Austenitbildung	Alterungsbeständigkeit, Tiefziehfähigkeit	X2CrNiMoN17-13-5 Austenitischer Stahl
Phosphor P	Zugfestigkeit, Warmfestigkeit, Korrosionswiderstand	Kerbschlagzähigkeit, Schweißbarkeit	Macht die Schmelze von Stahlguss und Gusseisen dünnflüssig
Schwefel S	Zerspanbarkeit	Kerbschlagzähigkeit, Schweißbarkeit	10SPb20 Automatenstahl
Silizium Si	Zugfestigkeit, Dehnungsgrenze, Korrosionsbeständigkeit	Bruchdehnung, Schweißbarkeit, Zerspanbarkeit	60SiCr7 Federstahl mit einer Zugfestigkeit $R \approx 1600\text{N/mm}^2$

Tabellen nach H.-J. Bargel, G. Schulze: „Werkstoffkunde“, Springer Verlag 2004;  
H. Kiessler: „Kleine Stahlkunde für den Maschinenbau“, Verlag Stahleisen 1992

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbundwerkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

**Metall**

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeitschutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinsel

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Metall



Pflock im Hafen von Šibenik, Eisenguss

## Eisengusslegierungen

Eisengusslegierungen sind Werkstoffe, die auf Grund ihrer einfachen gießtechnischen Verarbeitung die industrielle Revolution maßgeblich begleitet haben. Gerade in der Architektur haben sie einige bedeutende Bauwerke möglich gemacht. So wurde die weltweit erste „Ironbridge“ in Coalbrookdale (England) im Jahr 1779 aus Gusseisen errichtet. Gründe waren die preisgünstige Verarbeitung und die guten mechanischen Eigenschaften. Auffallend war damals eine Formensprache, die man aus dem Handwerk kannte. Offenbar revolutionierten Eisenwerkstoffe die damalige Welt so rasant, dass die intellektuelle Auseinandersetzung über die weiten Möglichkeitsräume den technischen Entwicklungen um Jahre hinterher lief. Noch heute können wir den Charme der Gründerzeit an den Pfeilern alter Bahnhofshallen erkennen. Andere traditionelle Beispiele für Eisengusswerkstoffe sind Gully- und Kanalisationsdeckel.

**Eigenschaften:** Waren früher die mechanischen Qualitäten von Eisengusswerkstoffen ausschlaggebend für Ihre Anwendung, so machen heute vielmehr ihre Dauerfestigkeit und Dämpfungseigenschaften für gewisse Produkte populär. Ihre Eigenschaften werden neben dem Kohlenstoffgehalt (2,06-6,67 %) vor allem durch den Siliziumanteil bestimmt, der in der Regel über 1,5 % liegt. Neben Silizium enthält Eisenguss weitere Legierungsbestandteile wie Chrom, Mangan, Schwefel, Phosphor oder Nickel. Die Dichte von Eisenguss liegt zwischen 7,2 g/cm<sup>3</sup> und 7,4 g/cm<sup>3</sup> und damit unter dem Wert von reinem Eisen.

Unterschieden werden Gusseisen und Tempereguss. Sie weisen gute Fließeigenschaften auf, sind sehr hart, aber spröde und reagieren auf Schlagbeanspruchungen äußerst empfindlich. Der Kohlenstoff ist im Gusseisen entweder als Lamellen- oder Kugelgrafit eingelagert. Gusseisen mit Lamellengrafit ist wegen der grauen Färbung vor allem als Grauguss bekannt. Die stäbchenförmigen Lamellen geben dem Werkstoff zwar eine gute Gleitwirkung, Wärmeleitfähigkeit und Dämpfungseigenschaft, wirken aber bei Zugbelastung als Kerben (Kerbwirkung), so dass Grauguss nur eine sehr niedrige Zugfestigkeit aufweist (100-350 N/mm<sup>2</sup>). Gusseisen mit Kugelgrafit ist sehr viel fester (400-900 N/mm<sup>2</sup>). Allerdings fällt das Dämpfungsvermögen wesentlich geringer aus als bei Grauguss. Tempereguss erstarrt wegen seiner besonderen Zusammensetzung vollkommen grafitfrei. Da der Werkstoff direkt nach der Erstarrung noch sehr spröde ist, kann er für technische Anwendungen erst nach einer Wärmebehandlung verwendet werden. Er wird daher zwischen 950-1050 °C über mehrere Tage getempert.

Unter den Eisengusswerkstoffen nimmt Stahlguss eine Sonderrolle ein. Er wird in der Regel in Formen gegossen und hat einen Kohlenstoffgehalt zwischen 0,15 % und 0,45 %. Stahlguss verbindet die hohe Härte und Zähigkeit von Stählen mit den sehr guten Verarbeitungseigenschaften von Gusseisen und kommt dann zum Einsatz, wenn Härte und Festigkeit von Grau- bzw. Tempereguss nicht mehr ausreichen.

**Anwendung:** Grauguss ist der gängigste Eisengusswerkstoff. Wegen der sehr guten Dämpfung findet er im Maschinenbau breite Anwendung. Kanaldeckel werden in der Regel aus diesem Material gegossen. Die im Vergleich besseren mechanischen Eigenschaften machen Gusseisen mit Kugelgrafit für Kupplungen, Kurbelwellen, Auto- und Motorenteile geeignet. Tempereguss hat sich für dünnwandige Bauteile mit komplexer Geometrie bewährt. Typische Verwendungsbeispiele für Stahlguss sind Schiffspropeller, Turbinen- und Motorgehäuse oder Kranhaken.

**Verarbeitung:** Wie der Nae schon sagt, lassen sich Eisengusswerkstoffe sehr leicht gießtechnisch verarbeiten. Auf Grund des hohen Kohlenstoffgehalts können allerdings weder Tempereguss noch Gusseisen anschließend durch Schmieden oder andere Umformtechniken bearbeitet werden. Nach dem Erstarren in der Gussform ist lediglich die zerspanende Bearbeitung möglich. Schweißarbeiten an Eisengusswerkstoffen sind selten, grundsätzlich aber durchführbar.

**Alternativen:** Stahlwerkstoffe, Kohlefaserverstärkte Kunststoffe, Leichtbaumetalle wie Aluminium oder Magnesium

### Kohlenstoffgehalt verschiedener Eisengusslegierungen

Legierung	Gehalt
Stahlguss	0,15-0,45 %
Gusseisen mit Lamellengrafit	2,6-3,6 %
Gusseisen mit Kugelgrafit	3,2-4,0 %
Tempereguss	2,5-3,5 %

- Allgemeines
- Kunststoff Gummi
- Verbundwerkstoffe
- Holz Kork
- Papier Pappe Karton
- Metall**
- Textilien Leder Kunstleder
- Bänder Ketten Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen Grafik Büro
- Werkzeug Arbeitsschutz
- Klebstoff Klebeband
- Formen Abformen Gießen
- Farben Chemie Pinsel
- Basteln Werken Floristik
- Deko Display Event
- Modellbau
- Möbel Licht Systeme
- Behälter Taschen Verpackung
- Bücher Magazine Medien
- Karten Spielzeug Accessoires
- Anhang

## Stahl

Man kennt dies aus fast allen Gebieten Lateinamerikas und Teilen Südosteuropas. Zwischen eine Verschalung aus Bretterwänden wird zähflüssiges Beton gekippt. Ein neues Haus entsteht. Um die tragenden Wände des Gebäudes zu stabilisieren und vor äußeren Kräften und Stürmen zu schützen, werden kreisförmige Stahlprofile eingegossen. Dies nennt man Bewehrung. Für das mitteleuropäische Auge befremdlich ist allerdings die Tatsache, dass die Stahlstangen noch Jahre nach Bezug des Hauses gerne bis zu einem halben Meter nach oben herausluden. Für den Nachwuchs wird offenbar vorgesorgt. Denn wird das Haus zu klein, setzt man einfach eine Etage oben drauf. Und dann sind die Stahlstumpen von großer Hilfe.

**Eigenschaften:** Stähle sind Eisenlegierungen mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 0,06 % und 2,06 %. Durch Zulegieren anderer Werkstoffe, den so genannten Stahlveredlern, wird es zum vielseitigsten Werkstoff überhaupt. Beispiele stahlveredlender Legierungsbestandteile sind Mangan, Chrom, Nickel, Kobalt, Wolfram, Molybdän und Vanadium. Durch Chrom wird er beständiger gegen Korrosion, verschleißfester und härter. Allerdings nimmt die Dehnfähigkeit deutlich ab. Vanadium macht Stahl dauerfest und weniger spröde, und Wolfram verschafft ihm eine hohe Warmfestigkeit. Die Durchhärtung und Zähigkeit wird durch Beimischung von Mangan als Legierungselement erhöht, jedoch sinken die Verarbeitungsqualitäten bei der zerspannenden Bearbeitung ebenso wie der Grad der Verformbarkeit bei niedrigen Temperaturen. Durch das Beimischen von Silizium kann die Zerspanbarkeit dann wieder gesteigert werden.

**Anwendung:** Durch die Vielzahl der möglichen Legierungszusammensetzungen kann ein Stahlwerkstoff fast exakt auf seinen Anwendungsfall eingestellt werden. Je nach Gehalt von Legierungselementen spricht man von unlegiertem, niedrig legiertem oder hoch legiertem Stahl. Niedrig legiert ist er dann, wenn die Summe der Legierungsbestandteile die 5 % Prozent-Marke nicht übersteigt. Enthält ein Stahl von einem bestimmten Legierungselement mehr als 5 %, gilt er als hoch legiert. Um die Vielzahl der Stahlwerkstoffe besser unterscheiden zu können, hat sich ein Ordnungssystem etabliert, in dem sowohl die unlegierten als auch die legierten Stahlsorten in Grund-, Qualitäts- und Edlestähle eingeteilt werden.

Grundstähle enthalten nur wenige Stahlveredler. Sie werden auf einfache Weise hergestellt, sind preiswert und für keine Wärmebehandlung vorgesehen. Daher weisen sie nur mäßige Gebrauchseigenschaften auf und sind nur bei geringen Beanspruchungen einsetzbar. Im Gegensatz dazu werden Edlestähle durch eine spezielle Zusammenstellung eben für diese hochwertigen Einsatzfälle ausgelegt. Sie sind hochrein, enthalten zum Teil einen großen Anteil an Legierungselementen und sind für die Wärmebehandlung bestimmt. Anschließend weisen Edlestähle in aller Regel eine hohe Zähigkeit und Härte auf. Qualitätsstähle liegen in ihrem Anwendungsprofil zwischen den Grund- und Edlestählen. Vom Gesetzgeber sind keine Anforderungen an Reinheit oder an das Verhalten bei einer Wärmebehandlung vorgeschrieben.

Neben der Einteilung entsprechend der Menge beigemischter Legierungsbestandteile werden zahlreiche Bezeichnungen verwendet, die den Einsatzzweck der unterschiedlichen Stahlsorten ausdrücken. Demnach teilt man Stähle in die Hauptgruppen Bau-, Konstruktions- und Werkzeugstähle ein. An Baustähle werden vielfältige Anforderungen gestellt. Sie sollten eine hohe plastische Verformbarkeit bei schlagartiger Beanspruchung aufweisen, gut zu verarbeiten, warmfest, korrosions- und hitzebeständig sein und je nach Einsatzzweck über eine gute Leitfähigkeit für Wärme verfügen. Zu den Baustählen zählen beispielsweise Hochbau-, Spann-, Draht- und Schienenstähle.

Einsatz-, Nitrier- und Vergütungsstähle sind Konstruktionswerkstoffe, die sich im Besonderen für eine Wärmebehandlung eignen. Die Randzone von Einsatzstählen ist sehr hart, so dass sich diese Stahlsorte vor allem für Zahnräder oder andere hochbelastete Bauteile eignet. Wird ein sehr verschleißfester Werkstoff benötigt, eignen sich Nitrierstähle, die durch Einbringung von Stickstoff in den Randzonenbereich eine extrem hohe Härte aufweisen. Vergütungsstähle kommen für dynamisch beanspruchte Maschinenteile wie Wellen, Achsen und Walzen zur Anwendung, da sie durch Härten und anschließendes Anlassen eine enorme Festigkeit aufweisen.



Stahlbewehrter Beton



„NOON watch“, nickelfreier Stahl, Design: Peter Naumann

Allgemeines	
Kunststoff Gummi	
Verbundwerkstoffe	
Holz Kork	
Papier Pappe Karton	
<b>Metall</b>	
Textilien Leder Kunstleder	
Bänder Ketten Schläuche	
Klein- und Formteile	
Zeichnen Grafik Büro	
Werkzeug Arbeitschutz	
Klebstoff Klebeband	
Formen Abformen Gießen	
Farben Chemie Pinsel	
Basteln Werken Floristik	
Deko Display Event	
Modellbau	
Möbel Licht Systeme	
Behälter Taschen Verpackung	
Bücher Magazine Medien	
Karten Spielzeug Accessoires	
Anhang	

# Metall

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbundwerkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

**Metall**

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeitsschutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinself

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

## Kohlenstoffgehalt verschiedener Stähle

Legierung	Gehalt
unlegierte Baustähle	0,17-0,5 %
unlegierte Einsatzstähle	0,1-0,9 %
unlegierte Vergütungsstähle	0,2-0,6 %
legierte Werkzeugstähle	0,5-1,4 %
unlegierte Werkzeugstähle	0,2-2,06 %

Werkzeugstähle werden, wie der Name schon sagt, hauptsächlich zur Anfertigung von Werkzeugen verwendet. Man teilt sie entsprechend ihrer Eignung für die unterschiedlichen Temperaturbereiche in Kalt-, Warm- und Schnellarbeitsstähle ein. Kaltarbeitsstahl wird bis zu einer Temperatur von maximal 200 °C eingesetzt und eignet sich insbesondere für den Formenbau in der Kunststoffverarbeitung und für Tiefziehwerkzeuge. Beispiele sind 145 Cr 6 für Reibbahnen oder Chromstahl X 210 Cr 12 für Schnittwerkzeuge. Übersteigen die Temperaturen die Marke von 200 °C deutlich, wird auf einen Warmarbeitsstahl zurückgegriffen (z.B. X30WCrV5-3 oder X40CrMoV5-3). Sie sind warmfest, sehr zäh und werden für die spanlose Formgebung von Metallwerkstoffen verwendet. Typische Anwendungen sind Gießkokillen, Pressstempel oder Schmiedegesenke. Zerspan- und Umformwerkzeuge bestehen meist aus Schnellarbeitsstählen, die auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung bis zu einer Temperatur von 600 °C verwendbar sind. Sie haben die höchste Wärme- und Anlassbeständigkeit aller Stahlwerkstoffe. In der Kennung deuten die Buchstaben HS auf einen Schnellarbeitsstahl hin. Die Zahlen geben den Anteil der Legierungselemente Wolfram (W), Molybdän (Mo), Vanadium (V) und Kobalt (Co) in Prozent an. HS 18-1-2-5 enthält beispielsweise 18 % W, 1 % Mo, 2 % V und 5 % Co. Mit Schnellarbeitsstählen können hohe Schnittgeschwindigkeiten und Schneidleistungen erzielt werden.

**Verarbeitung:** Die Verarbeitbarkeit von Stahl ist vielfältig und richtet sich nach den Legierungsbestandteilen. Während sich beispielsweise der Baustahl St 37 gut schweißen aber nur mäßig zerspanen lässt, ist der Automatenstahl 9 S Mn Pb 28 wegen seiner hohen Festigkeit für die Zerspanung sehr gut geeignet. Durch die hohen Härtewerte der meisten Stahlwerkstoffe ist die handwerkliche Bearbeitung meist schwierig und nur mit schweren Werkzeugen möglich. Wer sich eine Stahlwerkstatt einrichtet, sollte sich daher umfassend über die Stahlverarbeitung und die dafür benötigten Werkzeuge informieren. Zu diesem Thema sind zahlreiche Bücher veröffentlicht.

Als Grundregel gilt, dass Stahlsorten mit einem geringen Kohlenstoffgehalt leichter umzuformen sind als solche, mit einem hohen Anteil und vielen Legierungsbestandteilen. Wärmebehandlungen erhöhen die Festigkeit und verringern den Abrieb, so dass sich zwar die mechanischen Eigenschaften verbessern, die Verarbeitbarkeit aber deutlich schwieriger wird. Die bevorzugten Fügeverfahren für Stahlwerkstoffe sind das Schweißen und Löten. Für die Oberflächenbehandlung zum dauerhaften Färben von Stahl hat sich ein einfaches Verfahren bewährt, das im Gestaltungsbereich und Modellbau gerne angewendet wird. Hierzu werden Stahlbauteile auf Temperaturen zwischen 220 °C und 300 °C erwärmt, was auch im Küchenbackofen erfolgen kann. Da sich die Anlauffärbung nachträglich nur durch mühsames Abschleifen wieder entfernen lässt, empfiehlt sich vorab der Test an einem Reststück. Vor dem Verfärben muss die Oxidschicht von der Metalloberfläche entfernt werden. Dies kann mit stark verdünnter Schwefelsäure, durch Abschleifen oder Reinigen mit Flussmittel, wie es beim Löten verwendet wird, erfolgen. Wenn die Oxidschicht komplett entfernt wurde, perlen beim abschließenden Spülen keine Wassertropfen mehr ab.

Neben der thermischen Behandlung kann eine schwarze Färbung auch auf chemischem Weg erfolgen. Die von der Oxidschicht befreiten Stahlteile werden hierzu in ein Wasserbad getaucht, in dem auf 3,5 Liter Wasser 6 Teelöffel Natriumthiosulfat gelöst wurden. Der Tauchvorgang sollte so lange wiederholt werden, bis sich die Schwarzfärbung eingestellt hat. Zum Schluss wird mit kaltem Wasser abgespült.

**Lieferformen:** Rohstahl wird in flüssiger Form erzeugt und zu Blöcken, Knüppeln, Strängen oder auch Formteilen gegossen. Stahlhalbzeuge werden normalerweise durch Ziehen oder Walzen aus den Rohstahlkörpern erzeugt. Sie sind als T- und U-Träger, Hohl- und Rohrprofile, Bleche und Bänder, Flach- und Rundstahl sowie als Drahtwerkstoffe in einem weiten Dimensionierungsbereich erhältlich.

**Alternativen:** Kohlefaserverstärkte Kunststoffe, Eisengusswerkstoffe, Leichtbauwerkstoffe wie Aluminium oder Magnesium

## Verfärbung von Stahl bei verschiedenen Temperaturen

Farben	Temp.
silbriggelb	220 °C
hellgelb	225 °C
strohgelb (hell-dunkel)	230-245 °C
dunkelgelb	250 °C
gelbbraun	255 °C
braun	260 °C
rotbraun (hell-dunkel)	260-270 °C
purpur (hell-dunkel)	275-290 °C
blau	295 °C
dunkelblau	300 °C

## Edelstahl

Die Gebäude des kanadischen Architekten Frank O. Gehry sind keine gewöhnlichen Häuser, sondern wirken auf Grund ihrer außergewöhnlichen Formenvielfalt fast wie Skulpturen im Raum. Charakteristisch sind kippende Räume, gebrochene Geometrie, umgekehrte Formen und Rundungen in allen Variationen. Um seine Formsprache nach außen hin noch viel deutlicher zur Geltung zu bringen, setzt Gehry häufig auf das Element der Lichtreflexion und stattet seine Entwürfe mit Metallfassaden aus. Beste Beispiele sind das Guggenheim Museum in Bilbao oder die Walt Disney Concert Halle in Los Angeles. Um die Fassaden vor Korrosion zu schützen, verwendet der Kanadier gerne Edelstahl wie beim Neuen Zollhof in Düsseldorf. Diese Stahlsorte ist hochfest, witterungsbeständig und rostet nicht. Sie eignet sich daher für Außenanwendungen wie Balkonberüstungen, Schornsteine und Stadtmöbiliar (Parkbänke, Haltestellen für Bus und Bahn).

**Eigenschaften:** Jedoch wissenschaftlich korrekt ist unsere Vorstellung von Edelstählen nicht, denn es existieren für besondere Anwendungen auch edle Stahlsorten, die chemisch wenig beständig sind und auch rosten können. In der Fachliteratur werden Stahlwerkstoffe daher dann als Edelstähle bezeichnet, wenn sie einen hohen Reinheitsgrad besitzen und durch genaue Einstellung des Eigenschaftsprofils für eine besondere Wärmebehandlung und spezielle Anwendungen vorgesehen sind. Edelstähle sind hart und zäh und eignen sich für hochbeanspruchte Bauteile. Sie enthalten weniger als 0,035 % Schwefel und Phosphor, können mit Nickel, Titan oder Molybdän legiert oder mit Stahlveredlern in ihren Qualitäten optimiert werden. Kennzeichnend ist ein hoher Chromgehalt, der in der Regel einen Anteil von 10 % übersteigt. Nichtrostende Edelstähle enthalten zudem meist mehr als 2,5 % Nickel und weniger als 1,2 % Kohlenstoff. Edelstahlflächen sind korrosions- und hitzebeständig, hygienisch, leicht zu reinigen, optisch ansprechend und daher für Anwendungen in der Küche, im Sanitärbereich und für die Innenarchitektur sehr geeignet. Auch spiegelnde Oberflächen können hergestellt werden, so dass Edelstahl selbst bei Schmuckstücken Verwendung findet.

**Anwendung:** Edelstähle sind überaus vielfältig anwendbar. Typische Anwendungen reichen von Produkten mit hoher Witterungsbeständigkeit für den Außenbereich, über Messer und Bestecke im Haushalt, bis hin zu medizintechnischen Produkte. Darüber hinaus finden Edelstähle bei Sportartikeln Verwendung und werden zu Bauteilen für Pumpen, Duschkabinen oder Wasseraufbereitungsanlagen verarbeitet, wo die hohe Korrosionsbeständigkeit besonders geschätzt wird. Aus Edelstahl sind beispielsweise Armaturen, Wasserkocher, Spülbecken, chirurgische Instrumente, Zapfanlagen, chemische Apparate, Silos für den Agrarbereich, Kaffeemaschinen, Weinbaupfähle, Leitern im Schwimmbad, Öfen, Kessel und Waschmaschinen.

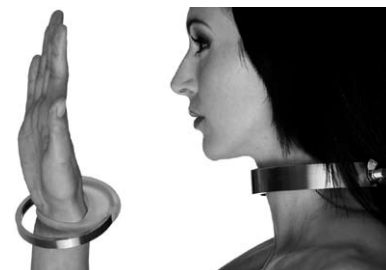
**Verarbeitung:** Die Bearbeitung von Edelstählen ist auf Grund der hohen Festigkeit schwer. Bleche können gewalzt, tiefgezogen und gebogen werden. Für die Oberflächenbehandlung kommen Schleif- und Poliertechniken zur Anwendung. Grob gebürstete Edelstahlflächen sind im Möbelbereich sehr beliebt. Die zerspanende Bearbeitung ist meist nur mit scharf geschliffenen Werkzeugen aus hochlegiertem Schnellarbeitsstahl oder Hartmetall möglich. Es existieren auch Edelstahlwerkstoffe, die sich sehr gut schweißen lassen.

**Lieferformen:** Edelstähle werden in der Regel als Blechmaterial angeboten. Typische Edelstahlsorten sind: X20Cr13, X2CrNi12, X5CrNi18-10, X8CrNiS18-9, X5CrNiMo17-12-2, X15CrNiSi25-21, X6CrNiTi18-10, X6Cr17. Das X in der Bezeichnung bedeutet, dass es sich um einen hochlegierten Stahl mit Legierungselementen von mehr als 5 % handelt. Die Zahl dahinter gibt den mit 100 multiplizierten Kohlenstoffgehalt an. Darauf folgen die Legierungselemente mit dem jeweiligen Anteilen in Prozent. X5CrNi18-10 enthält also, 5 % Kohlenstoff, 18 % Chrom und 10 % Nickel.

**Alternativen:** Nickel, Titan, Stahl mit Beschichtungen



„Neuer Zollhof“ im Düsseldorfer Medienhafen, Edelstahlfassade, Architekt: Frank O. Gehry



„Schmuckkollektion“, Edelstahl, Polymethylmethacrylat (PMMA), Silikon, Design: Fabian Seibert

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

**Metall**

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinsel

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Metall

- Allgemeines
- Kunststoff  
Gummi
- Verbundwerkstoffe
- Holz  
Kork
- Papier  
Pappe  
Karton
- **Metall**
- Textilien  
Leder  
Kunstleder
- Bänder  
Ketten  
Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen  
Grafik  
Büro
- Werkzeug  
Arbeitsschutz
- Klebstoff  
Klebeband
- Formen  
Abformen  
Gießen
- Farben  
Chemie  
Pinself
- Basteln  
Werken  
Floristik
- Deko  
Display  
Event
- Modellbau
- Möbel  
Licht  
Systeme
- Behälter  
Taschen  
Verpackung
- Bücher  
Magazine  
Medien
- Karten  
Spielzeug  
Accessoires
- Anhang



Alukoffer, © Claudia Hautumm / PIXELIO

## Aluminium (Al)

Aluminium ist ein sehr leichtes Metall und daher für den Flug- und Fahrzeugbau von besonderem Interesse. 1994 war der Automobilhersteller Audi einer der ersten, der in einem Serienfahrzeug eine Aluminiumkarosserie einsetzte. Die ersten A4-Modelle liefen vom Band, und es war noch sehr schwierig, den Werkstoff komplikationsfrei zu verarbeiten, da beim Schweißen starker Verzug auftrat. Heute werden die Techniken beherrscht und Aluminium hat sich zu einem der bedeutendsten technischen Materialien überhaupt entwickelt.

Die Aluminiumerzeugung ist sehr energieaufwendig. Für die Herstellung einer vergleichbaren Menge Kupfer wird etwa nur 1 % der Energie benötigt. Ein Teil der Aluminium produzierenden Industrie hat sich daher in den letzten Jahren auf Island fokussiert, wo Erdwärme und Wasser für die Stromerzeugung in großer Menge vorhanden sind. Die Energiekosten sind für die wirtschaftliche Aluminiumgewinnung so entscheidend, dass es sich rechnet, das Rohmaterial Bauxit zur Energiequelle zu bringen. Mittlerweile machen Aluminiumprodukte etwa 20 % des gesamten isländischen Exportvolumens aus. 2002 hat die isländische Regierung sogar dem Bau der größten Aluminiumhütte Europas zugestimmt. Die Energie soll aus einem Staudamm kommen, der das Schmelzwasser des Gletschers Vatnajökull auffängt. Was ein Segen für die Wirtschaft zu sein scheint, wird langsam zu einer Bedrohung für die einzigartige Natur einer Atlantikinsel.

Ein Großteil der deutschen Aluminiumproduktion wird daher in Deutschland bereits seit Jahren aus recyceltem Sekundäraluminium gewonnen. Für die Aufbereitung aus Schrott fällt etwa nur 10 % der Energiemenge der Erstgewinnung an.

**Eigenschaften:** Neben Magnesium und Titan gehört Aluminium mit einer Dichte von lediglich 2,7 g/cm<sup>3</sup> zur Gruppe der Leichtmetalle. Es ist das am häufigsten vorkommende Metall in der Erdkruste. Etwa 7,5 % des Krustenmaterials bestehen aus Aluminium. Reinaluminium weist nur wenige Spuren anderer Elemente auf. Es hat einen Reinheitsgrad zwischen 98 % und 99,9 %, ist weich und hat nur eine geringe mechanische Festigkeit allerdings bei hoher chemischer Beständigkeit. Diese Aluminiumsorten finden im Verpackungswesen, bei Küchengeräten oder im chemischen Apparatebau Anwendung. Charakteristisch ist die weiß-silbrige Farbe. An der Luft bildet Aluminium eine dünne Oxidschicht auf der Oberfläche aus. Sie schützt das Metall vor Korrosion und Verwitterung. Aluminium leitet Wärme und elektrischen Strom gut. Es ist geschmacksneutral und für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen. Da dünne Al-Folien nur wenig durchlässig sind für Gase, werden sie gerne zur Frisch-Aufbewahrung und zum Transport von Lebensmitteln verwendet. Neben Reinaluminium unterscheidet man Reinstaluminium mit einem Reinheitsgrad zwischen 99,9 % und 99,99 %.

Um die sehr guten Eigenschaften von Aluminium, also geringe Dichte bei sehr hoher Korrosionsbeständigkeit und guter elektrischer Leitfähigkeit, für technische Anwendungen nutzen zu können, werden verschiedene Legierungselemente wie Magnesium, Kupfer, Mangan und Zink zugeführt, die die mechanische Festigkeit erhöhen. Außerdem verbessern Zusätze die Verarbeitbarkeit von Aluminiumwerkstoffen. So können Al-Knetlegierungen besonders gut bei niedrigen Temperaturen verformt werden. Al-Gusslegierungen weisen durch Zusatz von 5-20 % Silizium oder 1-3 % Magnesium sehr gute Gießeigenschaften auf.

**Anwendung:** Aufgrund seines geringen Gewichts bei gleichzeitig guter Festigkeit wird Aluminium im Verkehrswesen, in Flugzeugen, Schienen- und anderen Kraftfahrzeugen verwendet. Die niedrige Dichte wird im Transportwesen geschätzt, und seine Korrosionsbeständigkeit macht es für den Bau interessant. Weitere Einsatzgebiete liegen in der Verpackungs- und Elektroindustrie. Da Aluminium das günstigste Verhältnis von elektrischer Leitfähigkeit zu Dichte aufweist, hat es Kupfer als Werkstoff für Überlandleitungen weitestgehend ersetzt. Im Haushaltsbereich werden beispielsweise Kaffeemaschinen oder Bügeleisen mit Aluminium ummantelt. Der Werkstoff ist eines der wichtigsten Materialien für Einwegverpackungen wie z.B. Getränkedosen, Konserven oder Aluminiumfolie zum Frischhalten von Lebensmitteln. Gebürstete Aluminiumoberflächen sind im Möbel- und Accessoiresbereich seit einigen Jahren beliebt. Im optischen Bereich werden Al-Oberflächen auf Grund ihres hohen Reflexionsvermögens als Spiegelelemente oder für Scheinwerfer verwendet. Radfahrer schätzen das geringe Gewicht eines Aluminiumrahmens.



“CLEVER” – Stadtfahrzeug für 2 Personen in Tandem-Sitzanordnung, Aluminiumleichtbaukonstruktion mit GFK-Kunststoffverkleidung, Hersteller: BMW, Design: Peter Naumann

Allgemeines	■
Kunststoff Gummi	■
Verbund- werkstoffe	■
Holz Kork	■
Papier Pappe Karton	■
<b>Metall</b>	■
Textilien Leder Kunstleder	■
Bänder Ketten Schläuche	■
Klein- und Formteile	■
Zeichnen Grafik Büro	■
Werkzeug Arbeits- schutz	■
Klebstoff Klebeband	■
Formen Abformen Gießen	■
Farben Chemie Pinself	■
Basteln Werken Floristik	■
Deko Display Event	■
Modellbau	■
Möbel Licht Systeme	■
Behälter Taschen Verpackung	■
Bücher Magazine Medien	■
Karten Spielzeug Accessoires	■
Anhang	■

**Verarbeitung:** Aluminiumlegierungen lassen sich in der Regel sehr leicht umformen, biegen, pressen und schmieden. Bei Treibarbeiten mit dem Hammer sollte die hohe Rückfederung des Werkstoffs berücksichtigt werden. Scharf gebogene Kanten reißen leicht ein. Daher sollte möglichst gegen die Walzrichtung des Blechmaterials gearbeitet werden. Al-Gusslegierungen können mit den üblichen Gießtechniken Sand-, Druck-, Fein-, Band- und Kokillengießen formgebend verarbeitet werden. Bei der zerspanenden Bearbeitung werden gute Ergebnisse mit hoher Schnittgeschwindigkeit und großem Spanwinkel erzielt. Bohrer sollten enge Wendeln besitzen. Eine Schmierung und Kühlung mit Bohremulsion oder Seifenwasser ist vorteilhaft. Da beim Zerspanen die Gefahr von Aufbauschneiden droht, ist Schleifen nur mit speziellen Schleifscheiben möglich. Vor dem Lötten bzw. Schweißen müssen Aluminiumformteile von ihrer Oxidationsschicht befreit und die Neubildung verhindert werden. Hierzu kommen Flussmittel und Spezial-Lote zum Einsatz. Beim Schweißen ist die Verwendung eines Schutzgases wie Argon oder Helium zu empfehlen. Einfache Verbindungen können auch beim Kleben erzeugt werden. Hier eignen sich Reaktionsklebstoffe auf der Basis von Epoxidharz, Polyurethan oder Cyanacrylat ganz besonders. Stabilere Klebungen ergeben sich durch leichtes Aufrauen der Klebefläche. Reaktionsklebstoffe sind selbstverständlich auch geeignet, Aluminium mit anderen Materialien zu verbinden. Aluminiumoberflächen können leicht geschliffen und poliert werden. Der entstehende Glanz wird nach der Bearbeitung mit einem Klarlacküberzug fixiert. Ein Bad in 15-prozentiger Soda- oder einer Kochsalzlösung wirkt ähnlich konservierend. Vor einer Lackierung muss nur dann eine Grundierung angebracht werden, wenn der Lack allein nicht ausreichend deckt. Dekorative Oberflächen in den unterschiedlichsten Farben werden an Aluminiumteilen auch durch elektrolytische Oxidation in schwefel- oder chromsauren Bädern aufgebracht. Das Verfahren nennt sich Anodisieren, ist aber auch unter dem Begriff Eloxieren bekannt. Eloxalschichten können transparent oder dicht ausgeführt sein. Sie lassen sich mit dem Laser gravieren. Zur Dekoration wird vielfach anodisiertes Folienmaterial als Geschenkband oder Flitter verwendet.

**Lieferformen:** Aluminiumhalbzeuge werden in Form von Bändern, Blechen, Stangen, Rohren und Profilen vertrieben. Drähte sind in unterschiedlichen Durchmesser vorhanden. Für Verpackungen werden Aluminiumfolien mit Dicken bis in den Mikrometerbereich gefertigt.

**Alternativen:** Magnesium, Stahl, glas- und kohlefaserverstärkte Kunststoffe (GFK, CFK), Kupfer

## Kupfer (Cu)

Die grüne Patina auf dem Dach des Bremer Rathauses ist ein klassisches Indiz für die Verwendung von Kupferblech, einem der traditionellsten Werkstoffe überhaupt. Sie besteht aus ungiftigem Kupfercarbonat und/oder Kupferhydroxidsulfat und schützt das Schwermetall vor Korrosion. Kupferdächer haben eine besonders lange Lebensdauer und können der Witterung für mehrere hundert Jahre ausgesetzt sein. Neben Legierungen, die zu fast 100 % aus Kupfer bestehen, haben vor allem Legierungen aus Kupfer und Zink (z. B. Messing) sowie solchen aus Kupfer und Zinn eine hohe Bedeutung in vielen Anwendungsbereichen. Kupfer-Zinn-Legierungen mit mindestens 60 % Cu sind als „Bronzen“ bekannt. Entsprechend des Anteils der verschiedenen Legierungselemente, unterscheidet man Phosphor-, Zinn-, und Aluminiumbronzen. Sie werden in der Kunst seit Jahrtausenden verwendet. Ein prominentes Beispiel sind die Bremer Stadtmusikanten, die von Gerhard Marcks 1953 gegossen wurden und einen Platz direkt neben dem Rathaus gefunden haben. Angeblich soll das Umfassen der Beine des Esels direkt oberhalb der Knöchel Glück bringen. Auf Grund des hohen touristischen Interesses ist die Patina an diesen Stellen verschwunden.

**Eigenschaften:** Mit einer Dichte von 8,92 g/cm<sup>3</sup> zählt Kupfer zu den Schwermetallen. Im Vergleich weist Magnesium beispielsweise nur einen Dichtewert von 1,74 g/cm<sup>3</sup> auf und ist damit fünf mal leichter. Ohne Patina hat Kupfer eine hellrote Farbe. Man kennt diese insbesondere von Rohren, elektrischen Drähten und Leitungen. Auf Grund seiner außerordentlich guten elektrischen Leitfähigkeit ist die Elektrotechnik der bedeutendste Anwendungsbereich. Ähnlich gute Eigenschaften hat Kupfer bei der Leitung von Wärme. Der Zusatz von Nickel führt zu einer silberweißen oder edelstahlartigen Oberfläche. Daher werden Kupferlegierungen mit Zink



Patina auf einer Kupferlegierung

# Metall

- Allgemeines
- Kunststoff  
Gummi
- Verbundwerkstoffe
- Holz  
Kork
- Papier  
Pappe  
Karton
- Metall**
- Textilien  
Leder  
Kunstleder
- Bänder  
Ketten  
Schläuche
- Klein- und  
Formteile
- Zeichnen  
Grafik  
Büro
- Werkzeug  
Arbeitschutz
- Klebstoff  
Klebeband
- Formen  
Abformen  
Gießen
- Farben  
Chemie  
Pinsel
- Basteln  
Werken  
Floristik
- Deko  
Display  
Event
- Modellbau
- Möbel  
Licht  
Systeme
- Behälter  
Taschen  
Verpackung
- Bücher  
Magazine  
Medien
- Karten  
Spielzeug  
Accessoires
- Anhang

und Nickel auch Neusilber genannt. Der Schmelzpunkt des Werkstoffs liegt bei einer Temperatur von 1083 °C. Die Festigkeitswerte des Materials sind abhängig von den jeweiligen Legierungsbestandteilen. Reinkupfer hat im Vergleich zu seinen Legierungen die geringste Festigkeit. Die Zufuhr von Wärme reduziert diese bei allen Kupfersorten. Auf Grund seiner Kristallstruktur besitzt Kupfer eine hohe Duktilität, also eine sehr gute Verformbarkeit bei gleichzeitig hoher Festigkeit. Gegenüber Sauerstoff, wässrigen Lösungen, schwefelfreien Ölen und anderen organischen Stoffen besitzt das Schwermetall eine gute Korrosionsbeständigkeit. Schwefelhaltige Substanzen greifen Kupfer in der Regel an (Beispiel: vulkanisiertes Gummi). Zusammen mit den Luftnebenbestandteilen Wasserdampf, Kohlensäure und Kohlendioxid oxidiert Luftsauerstoff die Kupferoberfläche und bildet die bekannte grüne Patina, die das Metall langfristig vor weiterer Korrosion schützt und auch beständig gegen Meerwasser ist. Nicht verwechseln sollte man die Patina mit Grünspan. Dieser ist giftiges Kupferacetat, das aus einer Reaktion von Essigsäure mit Kupfer hervorgeht. Daher sind Kupferbehältnisse nicht geeignet zur Lagerung und zum Transport von Fruchtsäften, Weinen und säurehaltigen Flüssigkeiten.

## Zusammensetzung einiger Kupferlegierungen

Legierung	Kurzbezeichnung	Zusammensetzung
<b>Messing</b>	CuZn 37	37 % Zink, Rest Kupfer
<b>Zinnbronze</b>	CuSn 8	8 % Zinn, Rest Kupfer
<b>Aluminiumbronze</b>	CuAl 10 Fe 3 Mn 2	10 % Aluminium, 2-4 % Eisen, 1,5-3,5 Mangan, <1 % Nickel, Rest Kupfer
<b>Neusilber</b>	CuNi 18 Zn 20	18 % Nickel, 20 % Zink, Rest Kupfer

**Anwendung:** 60 % der gesamten Kupferproduktion wird in der Elektroindustrie zu Kabeln und Leitungen verarbeitet. Ein weiterer großer Anteil geht in den Sanitär- und Baubereich. Typische Verwendungsbeispiele sind Leiterbahnen, Spulen, Wicklungen von Transformatoren und Generatoren. In der Architektur sind Dächer aus Kupferblechen besonders beliebt. Durch seine guten Reflexionseigenschaften für Infrarotstrahlung wird der Werkstoff für die Laser-Herstellung verwendet. Auf Grund der keimhemmenden Wirkung ist Kupfer für den Kesselbau bei Brauereien oder Trinkwasserleitungen beliebt. Ähnliche Eigenschaften werden bei Tür- und Fenstergriffen genutzt. Die gute Wärmeleitung macht den Werkstoff außerdem für Kühlschlangen interessant. Außerdem ist Kupfer seit der Antike ein wichtiger Werkstoff für die Münzherstellung. Heute besteht das 50 €-Cent Stück aus dem so genannten „Nordischen Gold“, einer Legierung aus 89 % Kupfer, 5 % Aluminium, 5 % Zink und 1 % Zinn. Im Kunstbereich kommen Kupferbleche auf Grund der leichten Verarbeitbarkeit häufig zum Einsatz. Emailliertes Kupfer wird auch für Schmuck verwendet.

**Verarbeitung:** Kupfer lässt sich bestens kalt verformen. Mit der entsprechenden Ausrüstung sind selbst Treibarbeiten mit dem Hammer sehr gut durchzuführen. Der Werkstoff lässt sich sehr gut tiefziehen. Auf Grund von Versprödungserscheinungen durch Ausscheidung von Verunreinigungen sollten Biegungen nicht bei Temperaturen zwischen 350 °C und 650 °C vorgenommen werden. Da Kupfer dazu neigt zu schmieren, sind zerspanende Bearbeitungsprozesse wie Fräsen oder Drehen nur mit mäßigem Erfolg durchzuführen. Zur Erzielung passabler Ergebnisse sollten Schneidwerkzeuge (Bohrer, Sägeblätter) hinterschliffen sein und Bohrspitzen einen Spitzenwinkel um 140° besitzen. Da Kupfer zur Aufnahme von Gasen neigt, wird es nur selten vergossen. Cu-Gussteile sind porös und haben kein Gefüge mit gleichmäßig guten Eigenschaften. Zur Herstellung von Halbzeugen werden Cu-Barren warm oder kalt zu Blechen und Bändern gewalzt oder zu Drähten und Rohren gepresst bzw. gezogen. Kupfer lässt sich sehr gut löten. Schweißen unter Schutzgas ist möglich. Zum Kleben eignen sich vor allem Reaktionsklebstoffe auf der Basis von Epoxidharz, Polyurethan oder Cyanacrylat. Für besonders stabile Klebungen sollten die Klebefläche vorher angeraut werden. Auch unterschiedliche Materialien lassen sich mit Reaktionsklebstoffen verbinden. Im Modellbau können auch Ruderer L 530 oder UHU-hart verwendet werden. Zur Erzielung einwandfreier Kupferoberflächen lassen sich Schleif- und Poliertechniken komplikationsfrei anwenden. Soll die Oberfläche glänzend bleiben, ist eine Lackierung mit einem Klarlack unumgänglich. Außerdem sind Kupferwerkstoffe mit chemischen Mitteln ganz hervorragend und dauerhaft zu färben. Die notwendigen Chemikalien gibt es in der Drogerie oder Apotheke. Einen gleichmäßigen Überzug erreicht man, wenn man das Metall vollständig in ein Bad

mit der wässrigen Chemikalienlösung taucht. Der Behälter sollte dabei aus Glas, Porzellan oder Polyethylen sein. Größere Teile müssen mit dem Pinsel oder einem Tuch bestrichen bzw. betupft werden. Gummihandschuhe und Schutzbrille sind empfehlenswert. Vor dem Verfärben muss allerdings die Oxidschicht von der Metalloberfläche entfernt werden. Dies geschieht durch Waschen mit Spülwasser, in stark verdünnter Schwefelsäure, durch Abschleifen oder Reinigung mit Flussmittel, wie es beim Löten verwendet wird. Wenn beim abschließenden Spülen keine Wassertropfen mehr abperlen, ist das Metall sauber. Vor dem Färben ist zu empfehlen, den gewünschten Farbton an einem Reststück zu prüfen.

**Grünspan:** 3 Teile Kupfercarbonat, 1 Teil Ammoniumchlorid (Salmiak), 1 Teil Kupferacetat, 1 Teil Weinstein und 8 Teile Essigsäure (Essigessenz) mischen und mit Pinsel oder Tuch auf das Metall auftragen. Nach einigen Tagen bildet sich die grüne Oberflächenschicht. Grünspaneffekte können auch mit fertigem PATINIERMITTEL und anschließender Nachbehandlung erzeugt werden. Eine preiswertere Alternative ist der Saft des Dosensauerkrauts.

**Braun:** 2 Teelöffel Kalischwefelleber (Kaliumsulfid) in 4,5 Litern heißem Wasser lösen. Das zu färbende Teil dann solange in die Lösung tauchen, bis sich der gewünschte Farbton eingestellt hat. Abschließend mit kaltem Wasser abspülen.

**Schwarz:** 1 Teelöffel Kalischwefelleber (Kaliumsulfid) und gut 1/4 Teelöffel Ammoniakwasser in 1 Liter kaltem Wasser lösen. Das Werkstück eintauchen, bis sich der gewünschte Farbton eingestellt hat.

**Lieferformen:** Kupferdraht ist in Durchmessern von bis zu 0,1 mm erhältlich. Weitere typische Kupferhalbzeuge sind nahtlos gezogene Rohre, gewalzte Bänder und Bleche. Auch Bronzen werden als Rohre, Stangen und Bleche angeboten. Chile ist das Land mit der größten Kupferproduktion weltweit. Auf Grund des stark gestiegenen Werkstoffpreises wird Kupfer in zunehmendem Maße recycelt. Das Preisniveau ist höher im Vergleich zu Stahlwerkstoffen und vergleichbar mit Aluminium.

**Alternativen:** Edelstahl, Chrombeschichtungen, elektrische Leitungen aus Silber

## Messing

Messing ist eine Kupfer-Zink-Legierung mit einem Zinkanteil von maximal 45 % und auf Grund der Besonderheiten bei der Klangentfaltung vor allem als Werkstoff für Blasinstrumente bekannt.

**Eigenschaften:** Für Dekore oder Schmuckstücke ist das goldfarbene Material seit Jahrhunderten im Einsatz. Je nach Legierungsbestandteilen können Messinge aber auch grünlich schimmern oder eine fast rötliche Farbe annehmen. Obwohl der Werkstoff eine gute Witterungsbeständigkeit hat, lässt sich das Stumpfwerden oder der grün-gräuliche Belag meist nicht vermeiden. Messing ist härter als Kupfer, weniger fest als Bronze und zeichnet sich durch gute Korrosionsbeständigkeit und leichte Verform- und Spanbarkeit aus. Die Wärmeleitfähigkeit ist ausgezeichnet. Messing wiegt pro Kubikzentimeter etwa 8,3 g und schmilzt bei Temperaturen zwischen 900 °C und 925 °C. Wegen seiner herausragenden Zerspanbarkeit am weitesten verbreitet ist der Messingwerkstoff mit der Bezeichnung CuZn39Pb2. Er enthält neben 39 % Zink auch Blei. Früher hatte Messing noch eine eigene Bezeichnung, in der der Kupfergehalt besonders herausgestellt wurde. Ms58 enthält beispielsweise einen Cu-Anteil von 58 %. Diese alten Bezeichnungen sind längst nicht verschwunden und tauchen immer mal wieder auf. Messingsorten mit einem Kupferanteil von mehr als 70 % werden Tombak oder Goldmessing genannt.

**Anwendung:** Auf Grund der goldähnlichen Anmutung ist Messing schon seit dem Mittelalter bei Künstlern beliebt. Noch heute werden Beschläge und Dekorbleche in der Möbelindustrie oder Klingelschilder aus dem Material gefertigt. Die gute Witterungsbeständigkeit macht es insbesondere für das Baugewerbe geeignet. Typische Anwendungen hier sind Rohre und Armaturen. In Masse produzierte Drehteile werden auf Grund der guten Zerspanbarkeit häufig aus Messing hergestellt. Messinghülsen für Lippenstifte und Feuerzeuge werden tiefgezogen. Die gute Umformbarkeit macht es auch für die militärische Munitionsherstellung besonders geeignet.



Verschiedene Patiniermuster



Messing Trompete

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

**Metall**

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinsel

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Metall

- Allgemeines
- Kunststoff  
Gummi
- Verbundwerkstoffe
- Holz  
Kork
- Papier  
Pappe  
Karton
- Metall**
- Textilien  
Leder  
Kunstleder
- Bänder  
Ketten  
Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen  
Grafik  
Büro
- Werkzeug  
Arbeitschutz
- Klebstoff  
Klebeband
- Formen  
Abformen  
Gießen
- Farben  
Chemie  
Pinself
- Basteln  
Werken  
Floristik
- Deko  
Display  
Event
- Modellbau
- Möbel  
Licht  
Systeme
- Behälter  
Taschen  
Verpackung
- Bücher  
Magazine  
Medien
- Karten  
Spielzeug  
Accessoires
- Anhang

Zum Löten von Kupferlegierungen oder Schweißen von Stahl kommen Lotmessinge zum Einsatz. Sie enthalten 40-43 % Zink sowie Zinn- und Mangan-Anteile.

**Verarbeitung:** Messing mit einem Zinkanteil von 28 % (CuZn28) hat das beste Formveränderungsvermögen. Es wird daher bevorzugt für Tiefziehvorgänge verwendet und ist auch unter der Bezeichnung „Kartusch-Messing“ bekannt. Nach starken Verformungen kann eine Wärmebehandlung das Metallgefüge wieder entspannen. Dazu sollte das Metall bis auf maximal 400 °C erwärmt und langsam abgekühlt werden. Gut zu spanende Messingsorten haben einen höheren Zinkanteil als 37 %. An dieser Stelle fällt die Zähigkeit des Werkstoffs abrupt ab, gleichzeitig verbessert sich die Härte, was sich vorteilhaft auf die Bearbeitung auswirkt. Durch Bleizusätze (0,5-3,5 %) wird die Zerspanbarkeit von Messing gesteigert. Beim Messingbohren ist Vorsicht geboten, da der Bohrer völlig unerwartet plötzlich tief ins Material gezogen werden kann. Bohrer und Sägen sollten hinterschliffen sein. Gussmessinge enthalten 36 % bis 43 % Zink und 1 % bis 3 % Blei. Sie weisen sehr gute Eigenschaften bei der gießtechnischen Verarbeitung auf. Wie Kupfer ist auch Messing ganz hervorragend zu löten. Geklebt wird am besten mit Reaktionsklebstoffen, bevorzugt auf der Basis von Epoxidharz, Polyurethan oder Cyanacrylat. Leichtes Aufrauen der Klebefläche erhöht die Stabilität der Klebungen. Messing kann unproblematisch poliert und geschliffen werden. Zur Fixierung des metallischen Glanzes ist die Oberfläche mit Klarlack zu behandeln. Wie Kupfer kann auch Messing mit chemischen Mitteln dauerhaft gefärbt werden. Die Rezepturen findet man im Kupferkapitel.

**Lieferformen:** Durch Walzen wird Messing zu Blechen und Bändern verarbeitet. Drähte und Profile werden gezogen. Gängige Messingsorten für die Drahtherstellung sind CuZn15 oder CuZn30.

**Alternativen:** Edelstahl, Titanitrid-Beschichtung mit goldähnlichen Reflexionseigenschaften, Bronze

## Blei (Pb)

Blei war der Menschheit schon sehr früh bekannt. Es wurde wegen seiner leichten Verformbarkeit und des geringen Schmelzpunktes von nur 327,4 °C besonders geschätzt. Bereits um 3000 v. Chr. schürften die Ägypter danach, im ersten vorchristlichen Jahrtausend wurde es in Griechenland, Spanien, England und Germanien im Bergbau gewonnen. Blei war im Mittelalter eines der bedeutendsten Materialien für die Fenster repräsentativer Gebäude und Kirchen und wurde lange Zeit für Rohre und Dächer verwendet. Nachdem die toxischen Gefahren von Bleidämpfen bekannt wurden, ging die Bedeutung des Werkstoffs für Alltagsgegenstände zurück. Bleiwohle wird heute immer noch zur Abdichtung der Übergänge von Metallarbeiten zum Mauerwerk oder von Muffenverbindungen genutzt. Es hat unabhängig von seiner Anwendung eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer.

**Eigenschaften:** Blei ist eines der weichsten Materialien überhaupt (Mohs-Härte: 1,5), sehr dehnbar, besonders elastisch und daher sehr gut zu verarbeiten. Es zählt mit einer Dichte von 11,34 g/cm<sup>3</sup> zu den Schwermetallen und ist mehr als vier mal schwerer als Aluminium. Seine Farbigkeit kann man mit bläulich-weiß beschreiben. Da Blei auf weißem Papier einen grauen Strich hinterlässt, hat man früher mit Blei geschrieben. Obwohl der Bleistift lange eine Mine aus Graphit enthält, trägt er noch heute eine eigentlich falsche Bezeichnung. Die Leitfähigkeit für Strom und Wärme fällt bei Blei hingegen gering aus. Der Werkstoff hat eine gute Korrosionsbeständigkeit, da sich sehr schnell eine Oxidschicht auf der Oberfläche bildet. Frisch angeschnittenes Blei glänzt. Der Glanz verschwindet allerdings nach kürzester Zeit. Die chemische Beständigkeit von Blei ist ansprechend. Es bleibt stabil beim Kontakt mit Schwefel- oder Salzsäure und hat daher eine gewisse Bedeutung für den chemischen Apparatebau. Bleidämpfe und Bleiverbindungen sind giftig. Daher sollten bei der Verarbeitung Handschuhe getragen werden. Für den normalen Hausmüll sind Bleiabfälle nicht geeignet.

**Anwendung:** Die größte Bedeutung hat Blei als Energiespeicher in der Automobilindustrie, wo etwa 60 % der gesamten Bleiproduktion Verwendung findet. 20 % gehen in die chemische Industrie. An dritter Position stehen Halbzeuge wie Rohre, Bleche, Bänder und Draht. Sie werden im Baubereich eingesetzt, werden für die



Blei ist sehr weich

### Bleisorten

Sorte	Zusammensetzung
Feinblei	Blei mit einer Reinheit von 99,9 %
Hartblei	Blei mit erhöhter Festigkeit durch Zulegieren von Antimon

Ummantelung von See- oder Erdkabeln verwendet und dienen der Abschirmung radioaktiver Strahlung in Röntgenräumen oder bei der Lagerung radioaktiver Abfälle. Durch das hohe spezifische Gewicht werden Bleigewichte beim Tauchen oder zur Straffung von Gardinen verwendet. Als Legierungselement verbessern Bleizusätze die Zerspanbarkeit von Kupferlegierungen. Außerdem wird es bei der Herstellung von Farben (Bleiweiß) und Glas verwendet. Bleiglas hat herausragende optische Qualitäten und eine starke Lichtbrechung.

**Verarbeitung:** Blei ist leicht zu bearbeiten und kann vergossen werden. Bleche entstehen beim Walzen. Rohre werden gepresst. Wegen der geringen Zugfestigkeit kann Blei nicht durch Ziehen bearbeitet werden. Drähte sind auf Grund der geringen Härte nur wenig beständig. Für den Kunstguss wird in der Regel Hartblei mit einem Sb-Anteil von 2-4 % verwendet. Blei kann elektrolytisch beschichtet werden.

**Lieferformen:** Bleibleche werden in Dicken zwischen 0,5 und 15 mm, in Form von Tafeln oder als Rollenmaterial vertrieben. Bleiwolle ist in Verpackungseinheiten zu 25 kg im Fachhandel erhältlich.

**Alternativen:** Zink, Kupfer

### Kurzzeichen und Kennwerte der wichtigsten Metallwerkstoffe

Metalle	Kurzzeichen	Werkstoffnummer	max. Platten- bzw. Stangendurchmesser	Härte (Brinell), HB	Zugfestigkeit Rm in N/mm²	Dehngrenze Rp0,2 / Streckgrenze Re in N/mm²	Bruchdehnung A in %
<b>Stahl</b>							
unlegierte Stähle	S185	1.0035	40		290... 510	175 (Re)	18
	S235JO	1.0114	40		340... 470	225	26
Vergütungsstähle	C35	1.0501	40		520	270 (Re)	19
	25CrMo4	1.7218	40		800... 950	600	14
Nitrierstähle	31CrMoV9	1.8519		248	1000... 1200	800 (Rp0,2)	11
	34CrAlNi7	1.8550		248	850... 1000	650	12
Einsatzstähle	C15	1.0301		131	490... 640	295 (Re)	16
	20Cr4	1.7027		197	730... 920	440	10
Automatenstähle	15S10	1.0710			450... 720	360 (Re)	8
	35S20	1.0726			540... 740	315	8
nichtrostende Edelmetalle	X6Cr17	1.4046	100	200	400... 630	240 (Rp0,2)	20
	X2CrNi18-9	1.4307	160	215	450... 680	175	45
Federstahl	55Cr3	1.7176		310	1320... 1720	1175 (Rp0,2)	6
	54SiCr6	1.7102		270	1320... 1570	1130	6
<b>Eisengusslegierungen</b>							
Gusseisen	GGG-40	0.7040			390	250 (Rp0,2)	15
	GGG-Ni22	0.7670			370	170	20
Temperguss	GTW-40-05	0.8040	12*	220	400	220 (Rp0,2)	5
	GTS-35-10	0.8135	12*	150	350	200	10
Stahlguss	GS-52	1.0552			520	260 (Rp0,2)	18
	GS-22Mo4	1.5419			440... 590	245	22
<b>Aluminiumlegierungen</b>							
Knetlegierungen (Stangenmaterial)	AlMn1	3.0515	30	40	130	90 (Rp0,2)	6
	AlMG1	3.3315	35	40	140	90	6
	Al99	3.0205	18	32	110	80	5
	AlCuMgPb	3.1655	50	100	370	250	7
	AlZn4,5Mg1	3.4335	50	100	350	280	10
Gusslegierungen	G-AlSi12	3.2581.01		45... 60	160... 210	70... 100 (Rp0,2)	5... 10
	G-AlMg3	3.3541.01		50... 60	140... 190	70... 100	3... 8
	GK-AlSi5MG	3.2341.02		65... 85	180... 240	110... 150	2... 5
<b>Kupfer-Knetlegierungen</b>							
Kupfer-Zinn-Legierungen	CuZn28	2.0261.26	5		350... 420	>200 (Rp0,2)	33
	CuZn33	2.0280.10	5		280... 360	<170	50
	CuZn40	2.0360.10	15		340	<240	43
Kupfer-Zinn-Legierungen	CuSn4	2.2016.10	5		330... 380	< 190 (Rp0,2)	50
	CuSn6	2.1020.10	10		350... 410	<300	55
	CuSn8	2.1030.30	5		540... 630	>470	25
Kupfer-Aluminium-Legierungen	CuAl8	2.0920.10	120	90	370	120 (Rp0,2)	35
	CuAl9Mn2	2.0936.97	50	150	590	250	12
	CuAl10Fe3Mn2	2.0936.98	50	180	690	340	7
<b>Kupfer-Gusslegierungen</b>							
	G-CuZn15	2.0241.01		45	170	70 (Rp0,2)	25
	GK-CuZn37Al1	2.0595.02		105	450	170	25
	GZ-CuZn25Al5	2.0598.03		190	750	480	5
	G-CuAl9Ni	2.0970.01		110	500	200	20
<b>Magnesium-Legierungen</b>							
Knetlegierungen	MgMn2	3.5200	80	40	200	145 (Rp0,2)	15
	MgAl6Zn	3.5612	80	44	270	175	10
	MgAl8Zn	3.5812	80	60	310	215	6
Gusslegierungen	G-MgAl9Zn1	3.5912.01		50... 65	160... 220	90... 120 (Rp0,2)	2... 5
	GD-MgAl6	3.5662.05		55... 70	190... 230	120... 150	4... 8
	G-MgAl8Zn1	3.5812.01		50... 65	160... 220	90... 110	2... 6
<b>Titan-Knetlegierungen</b>							
	Ti 99,7	3.7035.10	80	150	390-540	250 (Rp0,2)	22
	Ti Al 5 Sn 2	3.7115.10	80		790	760	6
	TiAl 6 V 4	3.7165.10	80		890	820	6
<b>Bleilegierungen</b>							
	GD-Pb 95 Sb			10	50		15
	GD-Pb 85 SbSn			18	70		8
<b>Zinnlegierungen</b>							
	GD-Sn 80 Sb			30	115		2,5
	GD-Sn 60 SbPb			28	90		1,7

\*Durchmesser der Zugprobe