



STAATSINSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT  
UND BILDUNGSFORSCHUNG  
MÜNCHEN

# METALL

im LehrplanPLUS der Realschule in Bayern



Werken 8





Metall im LehrplanPLUS der Realschule in Bayern

Erarbeitet im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht  
und Kultus

**Leitung des Arbeitskreises:**

Simone Eder, ISB

**Mitglieder des Arbeitskreises:**

Günter Trager, Staatliche Realschule Altötting

Martin Hornung, Staatliche Realschule Neusäß

Silvia Rauß, Staatliche Realschule Marktoberdorf

auf der Grundlage des Arbeitshefts für das Fach Werken an Realschulen  
in Bayern, Metall, Jahrgangsstufe 8, Günter Trager, 2010

**Bildrechte:**

Titelbilder (links/mittig/rechts): © ClipDealer

Abb. 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 22, 25, 26, 27, 78, 84, 85,  
96, 97, 98: © ClipDealer

Abb. 2: Genehmigung durch asmus, [www.archaeometallurgie.de](http://www.archaeometallurgie.de)

Abb. 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38,  
39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58,  
59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79,  
80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95: Günter Trager

Abb. 24: Lewis Hine

**Herausgeber:**

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung  
München 2020

**Anschrift:**

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung  
Abteilung Realschule  
Schellingstr. 155  
80797 München  
Telefon: 089 21 70-24 46  
Telefax: 089 21 70-28 13  
Internet: [www.isb.bayern.de](http://www.isb.bayern.de)

## Hinweise zum Einsatz im Unterricht

Die Gliederung im Heft entspricht dem LehrplanPLUS im Fach Werken und deckt alle prüfungsrelevanten Inhalte zu den Kompetenzen des Profulfaches ab. Um Wissen zu vernetzen, werden wichtige Hintergründe und Zusammenhänge ggf. auch vertieft erläutert. **Für die Erhebung von Leistungsnachweisen gilt grundsätzlich der LehrplanPLUS.**

Mit dem Infoheft kann im Unterricht gearbeitet werden, es eignet sich aber auch zum Nachholen, Wiederholen und Lernen zu Hause.



Dieses Zeichen ist bei einigen Schemazeichnungen zu finden. Es bedeutet, dass die Zeichnung prüfungsrelevant ist. Diese Zeichnung muss selbständig angefertigt werden können. **Darüber hinaus gibt es selbstverständlich weitere Sachverhalte, deren zeichnerische Darstellung verlangt werden kann.**



Dieses Zeichen kennzeichnet größere inhaltliche Blöcke, die über den LehrplanPLUS hinausgehen und der weiteren Information dienen.

Es empfiehlt sich, zusätzlich zum vorliegenden Infoheft, die umfassenden illustrierenden Aufgaben sowie Materialien zum LehrplanPLUS für den Unterricht zu nutzen: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/realschule/8/werken>

Zur intensiveren Vernetzung und Strukturierung der **Kenntnisse über Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften** trägt insbesondere die folgende Aufgabenstellung bei: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/zusatzinformationen/aufgabe/kapitel/67579/fachlehrplaene/realschule/8/werken>

Die Auswahl der dort angeführten **Werkstoffeigenschaften** orientiert sich dabei an den Kompetenzerwartungen und Inhalten der verschiedenen Lernbereiche in der Wahlpflichtfächergruppe IIIb; unter anderem verdeutlicht eine tabellarische Übersicht deren Relevanz über die Jahrgangsstufen hinweg.

## Inhaltsverzeichnis

<b>METALL   Kultureller Kontext</b>	
Historische Verwendung von Kupfer, Bronze und Eisen	3
<b>METALL   Werkstoff</b>	
Häufig verwendete Metalle und ihre Eigenschaften (Kupfer, Messing, Aluminium)	5
Metallgefüge	7
Halbzeuge / Handelsformen von Metallen	8
<b>METALL   Werkverfahren</b>	
Messen und Anreißen	10
Einspannen	11
Trennen durch Sägen	11
Trennen durch Schneiden und Scheren	12
Spanen und Entgraten	13
Oberflächenbearbeitung durch Schleifen und Polieren	14
Umformen durch Biegen	15
Umformen durch Treiben	16
Oberflächenbehandlung durch Lackieren	18
Gesundheitsschutz	19
<b>METALL   Funktion, Gestaltung</b>	
Grundlagen der Statik, der Kräfteübertragung und der Kinetik	20
Form- und Funktionszusammenhang	22
<b>METALL   Ökologie</b>	
Probleme der Metallgewinnung	23
CO <sub>2</sub> -Bilanz und Umweltschutz	24

## Historische Verwendung von Kupfer, Bronze und Eisen

Metalle sind seit der Frühgeschichte der Menschen begehrte Materialien, die wegen ihrer außergewöhnlich vielfältigen Eigenschaften in der Menschheitsgeschichte immens wichtig sind.

Die meisten Metalle sind **hart, glänzen**, sind **licht-, gas- und flüssigkeitsundurchlässig, schmelzbar, gießbar, löt- und schweißbar, verformbar**, können **elektrischen Strom und Wärme leiten**, sind **härtbar** und außerdem als **Spurenelemente** im menschlichen Körper unverzichtbar.





**INFO**

**Gold**

war wohl eines der ersten Metalle, das der Mensch in der Frühzeit seiner Geschichte entdeckte und sich nutzbar machen konnte. Er fand es in **gediegener** (d. h. in reiner) Form als Klumpen und Körner in Flussgeröll. Aus der Zeit um **3000 v. Chr.** sind Schmuckstücke aus Gold als Grabbeigaben in der **ägyptischen Kultur** bekannt. Gold war selten und wurde wegen seiner Schönheit, seines beständigen Glanzes und der einfachen Bearbeitbarkeit vor allem für **Schmuck, Zierrat und kultische Gegenstände** verwendet, da es für viele alltägliche Gebrauchsgegenstände und speziell für Waffen zu weich war.

*Abb. 1: Totenmaske Tutanchamuns, ca. 1320 v. Chr., 18. Dynastie*  
Quelle: © ClipDealer

### Kupfer

wurde in gediegener Form **ab 9000 v. Chr.** bearbeitet. Es ist härter als Gold, existiert in größeren Mengen und wurde zunächst in Klumpenform gefunden, z. B. im **Mittelmeerraum** (Der Name der Insel Zypern leitet sich von „kypros“, griechisch für Kupfer her); die Klumpen wurden kalt geschmiedet. Kupfer wurde u. a. für **Haushaltsgegenstände** wie Gefäße und Geräte benutzt. Die Eismumie „Ötzi“ hatte ein Kupferbeil bei sich, jedoch wurden solche **Waffen** bzw. Werkzeuge relativ schnell stumpf. Die ersten **Kupferschmelzöfen** wurden etwa **6000 v. Chr.** in Kleinasien betrieben.

Von dieser Zeit an wurde Kupfer immer häufiger genutzt und die Zeitspanne von diesem Zeitpunkt an bis ca. 2000 v. Chr. wird als Kupferzeit oder Kupfersteinzeit bezeichnet.

Dabei wurde Kupfer auch in Mitteleuropa ein wichtiges **Handelsgut**, Abbau und Verhüttung belasteten durch massive Waldrodungen für die Schmelzöfen und durch Schlackehalden jedoch die Umwelt.



*Abb. 2:*  
Beil der Eismumie „Ötzi“, ca. 3300 v. Chr. (Rekonstruktion)

Quelle: asmus

### Bronze

ist eine **Legierung aus Kupfer und Zinn**. Sie wurde erstmals im **4. Jahrtausend** in **Vorderasien** hergestellt. Später wurde Bronze in China, Ägypten und im antiken Europa genutzt. Dieses damalige High-Tech-Material war so bedeutend, dass es Namen gebend für eine ganze Epoche wurde. Die **Bronzezeit** in Europa beginnt **etwa 2000 v. Chr.** Weil die Legierung Bronze **zäher und härter** und damit für viele Zwecke brauchbarer war als die Ausgangsmetalle, wurde sie eines der begehrtesten Materialien, nicht zuletzt auch wegen des niedrigeren Schmelzpunkts und der viel besseren **Gießbarkeit** im Vergleich zu Kupfer. Probleme hierbei bereitete es teilweise, ausreichende Mengen an Zinn bereitzustellen. Man kannte den offenen Guss, den verlorenen Guss (Wachsausschmelzverfahren) und den Formenguss (Formen aus Sandstein oder Speckstein, die wieder verwendet werden konnten) mit Eingusstrichter und Luftabzugspfeifen. Bronze wurde zu Blech gehämmert, indem nach jedem Treibgang ein Zwischenglühen vorgenommen wurde. Aus Bronze konnten **Waffen** und **Werkzeuge** hergestellt werden, welche denjenigen aus Kupfer weit überlegen waren. Außerdem wurde das Metall in Form von Barren, Reifen oder Doppeläxten als **Zahlungsmittel** verwendet.



*Abb. 3: Wagenlenker von Delphi, ca. 475 v. Chr.*

Quelle: © ClipDealer

### Eisen

zu verhütten gelang in Mitteleuropa **ab 800 v. Chr.**, dem Beginn der **Eisenzeit** in diesem Teil der Welt. Die **Ägypter** fanden schon eher **Meteoreisen** als Klumpen im Sand der Wüste (die extraterrestrische Herkunft des Materials ließ sich aus der inneren Struktur nachweisen) und auch im Nahen Osten kannte man Eisen schon etwas früher.

Man lernte Eisenerz (meist Gemenge aus Gestein und Eisen-Sauerstoff-Verbindungen) zu bearbeitbarem Eisen zu reduzieren: Mit Hilfe von Holzkohle wurde das Erz auf 900 °C erhitzt, so dass ein schlackehaltiger, teigiger Klumpen entstand, die sogenannte Luppe. Die Schlacke (nicht-metallischer Schmelzrückstand) wurde durch mehrmaliges Schmieden aus der Luppe *geschlagen* (daher auch der Name). So entstand ein schmiedbarer Werkstoff für Werkzeuge, Geräte und Waffen.

Das begehrte Material Meteoreisen war selten, es war doppelt so teuer wie Gold.

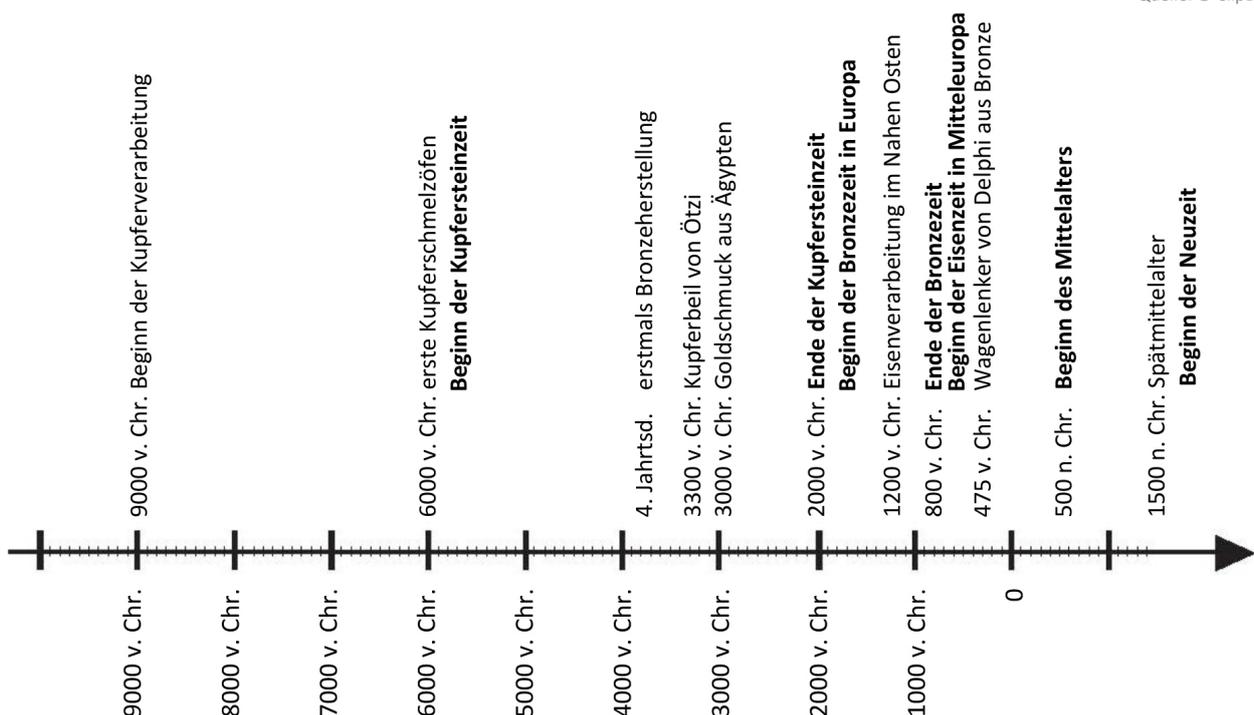
Die **Kelten** waren in der Gewinnung und Verarbeitung von Eisenerz führend in Europa. Sie benutzten **Schachtöfen** zum Schmelzen von Eisen und Blasebälge, um die erforderlichen hohen Temperaturen zu erreichen. Sie beherrschten auch das Härten, Ätzen und Tauschieren (Einlegen von Edelmetallen in andere Metalloberflächen).

Waffen aus diesem neuartigen Material waren wohl aufgrund ihrer **Härte** und **Stabilität** so beeindruckend überlegen, dass sie in die Welt der Sagen Eingang fanden, wie z. B. das Schwert Balmung, welches Siegfried gehörte, dem Helden aus der Nibelungensage. Wegen der Neigung des Metalls, sich durch Rosten zu zersetzen, haben sich wohl etliche Erzeugnisse nicht bis in unsere Tage erhalten.



**Abb. 4:** Ross- und Feldharnische des 16. Jahrhunderts im Metropolitan Museum of Art in New York City

Quelle: © ClipDealer



## Häufig verwendete Metalle und ihre Eigenschaften



Abb. 5: Sudpfanne einer Brauerei aus Kupfer

Quelle: © ClipDealer

### Kupfer

ist ein **chemisches Element** mit der **Dichte  $8,92 \text{ g/cm}^3$**  und gehört mit seiner **rötlichen** Farbe zur Gruppe der **Buntmetalle**. Sein Schmelzpunkt liegt bei  **$1083 \text{ °C}$** . Es bildet beim Kontakt mit Kohlensäure der Luft oder des Wassers eine sehr widerstandsfähige graugrüne **Patina** (Schutzschicht) gegen weitere Korrosion (Werkstoffzerstörung im Kontakt mit der Umgebung). Deshalb eignet es sich gut für Dach- einblechungen, Regenrohre und Abdeckungen. Kommt das Metall mit organischen Säuren (Essigsäure, Fruchtsäure, Körperschweiß) in Berührung, kann sich jedoch der giftige **Grünspan** bilden. Weil Kupfer elektrischen **Strom** und **Wärme** sehr gut leiten kann, wird es oft im Elektrobereich, z. B. für Kabel oder Kühlkörper verwendet. Kupfer ist **weich** und **plastisch**. Es lässt sich nur mechanisch härten und gut **kalt formen**, z. B. beim Treiben einer Schale, Biegen von Draht oder beim Formen eines Nietkopfes. Kupfer ist leicht **lötbar**, vielseitig **legierbar** und dient als Ausgangsmaterial für Messing (Kupfer und Zink) und Bronze (Kupfer und Zinn) sowie als härtender Legierungszusatz für weiche Metalle wie Gold und Silber (z. B. für Münzen und Schmuck), Zinn und Aluminium.

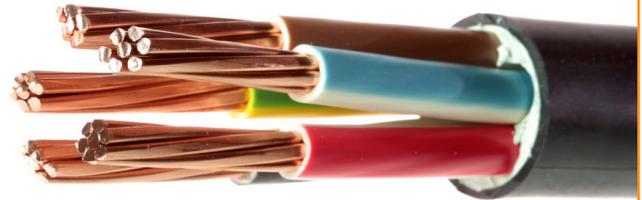


Abb. 6: Fünfadriges Elektrokabel mit Kupferseelen

Quelle: © ClipDealer

### Messing

ist **kein chemisches Element**, es ist eine **Legierung** (Mischung aus verschiedenen Metallen, meist im Schmelzfluss hergestellt) **aus Kupfer und Zink** mit variierenden Kupferanteilen und gehört zu den **Buntmetallen**. Seine Dichte liegt zwischen der von Kupfer ( $8,92 \text{ g/cm}^3$ ) und Zink ( $7,14 \text{ g/cm}^3$ ). Es ist schon seit dem dritten Jahrtausend v. Chr. aus Assyrien und Babylonien bekannt.

Messing ist von **gelblicher** Färbung und am gebräuchlichsten mit etwa 20 bis 50 Prozent Kupferanteil, wobei mehr Zink den Gelbton kalt und hell erscheinen lässt und mehr Kupfer eine sattere und tiefgoldene Färbung hervorruft.



Abb. 7: Messingzahnräder eines Uhrwerks

Quelle: © ClipDealer

Der Schmelzpunkt von Messing sinkt mit steigendem Zinkgehalt und liegt etwa bei  **$900\text{--}925 \text{ °C}$** . Messing ist **härter** als Kupfer, die **Verformbarkeit** ist abhängig von seiner Zusammensetzung und der Herstellung. Es erweist sich überdies als **beständiger gegen mechanische Einwirkungen** und als **korrosionsbeständiger** als Kupfer, außerdem zeigt es eine **hochwertigere Optik**. Außerdem wirkt Messing antibakteriell und antiviral.

Verwendet wird Messing bis heute aufgrund dieser Eigenschaften unter anderem für Schrauben, Beschläge, Scharniere, Gehäuse, Fahrzeugteile, Teile der Feinmechanik (z. B. Uhrädchen), Armaturen, Schmuck und liturgische Gefäße.

## Aluminium

ist ein **chemisches Element** mit der **Dichte 2,70 g/cm<sup>3</sup>**, das erstmals 1827 industriell gewonnen werden konnte. Es gehört zur Gruppe der **Leichtmetalle** und hat einen Schmelzpunkt von etwa **660 °C**.

Die hohen **Herstellungskosten** machten das Metall anfänglich sehr teuer und so wurde es auch für wertvollen Schmuck genutzt. Heute wird es relativ günstig angeboten und wegen vieler vorteilhafter Eigenschaften geschätzt.

Es ist sehr **leicht** (fast dreimal leichter als Eisen), dies ist überall dort von Nutzen, wo es auf geringes Gewicht ankommt, wie z. B. im Flugzeug- und Fahrzeugbau.

Unlegiert ist es **weich** und **plastisch**, **geschmacks-** und **geruchsneutral** und selbst in dünnen Schichtstärken **dampf-** und **lichtundurchlässig**. Deshalb wird es gerne für Verpackungsmaterial in Form von Folien und Behältern eingesetzt.

An der Luft überzieht sich Aluminium mit einer dünnen, harten und schwer schmelzbaren **Oxidschicht**, die es vor Korrosion schützt, die aber auch das Schweißen erschwert. Eine schützende Schicht kann auch technisch erzeugt werden, dabei wird das Metall „**eloxiert**“ (der Begriff leitet sich her aus den Wörtern „**elektrisch oxidieren**“). Die hohe **Witterungsbeständigkeit** ist für Produkte im Außenbereich wichtig, wie z. B. bei Fensterrahmen und Fassadenverkleidungen. **Legiert** man Aluminium mit anderen Metallen, kann es sehr **fest** und **hart** werden, was es auch als Konstruktionsmaterial im Baubereich interessant macht. Seine gute **Wärmeleitfähigkeit** wird z. B. für Pfannen und Bügeleisensohlen genutzt.

Interessant ist, dass manche Aluminiumlegierungen durch eine bestimmte Wärmebehandlung **aushärtbar** sind. In dieser stabilen Form kommen sie z. B. unter dem Handelsnamen „Dural“ auf den Markt.



**Abb. 8:**  
Teil eines Motors, Block mit Zylinderfräsungen aus einer Aluminiumlegierung  
Quelle: © ClipDealer



**Abb. 9:** Vernietete Aluminiumaußenhaut eines Flugzeugs  
Quelle: © ClipDealer



**Abb. 10:**  
Bedachung aus Aluminiumblech  
Quelle: © ClipDealer



**Abb. 11:**  
Fensterrahmen aus Aluminiumprofilen  
Quelle: © ClipDealer



**Abb. 12:**  
Formatkreissäge mit Tisch und Queranschlag aus Aluminium  
Quelle: © ClipDealer

# Metallgefüge

## Kristallstruktur

Betrachtet man einen Metallgegenstand mit dem bloßen Auge, so sieht man an der Oberfläche keine Untergliederungen, das Material erscheint als einheitlicher Stoff. Unter dem Elektronenmikroskop jedoch kann man erkennen, dass Metalle eine komplizierte feine Struktur aus vielen kleinen Körnern besitzen, die regelmäßig geformt sind. Diese haben sich beim Erstarren des Materials gebildet und werden auch Kristalle genannt. Metalle besitzen also eine **kristalline** Struktur.

Bei noch weiterer Vergrößerung stellt man fest, dass innerhalb der Kristalle die Atome in genauen Abständen und Winkeln angeordnet sind. Stellt man sich die Atome durch Linien miteinander verbunden vor, so ergeben sich sogenannte **Kristallgitter** oder Raumgitter.

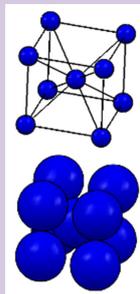
### INFO

Metalle können verschiedene Kristallgitter aufweisen:



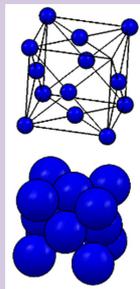
#### Kubisch-raumzentriertes Kristallgitter

Die Verbindungslinien zwischen den vier Atomen (sie stehen für die Bindungskräfte der Atome untereinander) ergeben einen Würfel, an dessen Ecken sich die Atome befinden. Außerdem existiert noch ein Metallatom in der Mitte des Würfels. Ein solches Gitter weisen z. B. die Metalle Chrom, Wolfram und Vanadium auf, außerdem Eisen unter 911 °C.



#### Kubisch-flächenzentriertes Kristallgitter

Es existiert ebenfalls eine Würfelstruktur mit Eckatomen. Weitere sechs Atome verteilen sich mittig auf die sechs Oberflächen. Diese Gitterform findet sich z. B. bei Aluminium, Kupfer, Nickel und bei Eisen über 911 °C.



#### Hexagonales Kristallgitter

Die Metalle verteilen sich auf die zwölf Ecken eines Sechskantprismas. Hinzu kommt jeweils ein Atom in der Mitte der Deckfläche und der Grundfläche, außerdem liegen drei Atome innerhalb des Prismas. Zink, Magnesium und Titan weisen z. B. ein solches Kristallgitter auf.

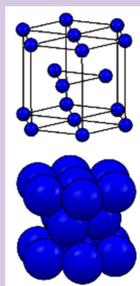


Abb. 15–17

Die **Anordnung der feinen Körner** in den Metallen bezeichnet man als **Metallgefüge**. Dieses kann sehr unterschiedlich ausgeprägt sein.

Durch die Behandlung mit **Hitze** oder durch **Umformungsprozesse** wie Walzen oder Treiben können das Metallgefüge und die **Korngrößen beeinflusst** werden.



Abb. 13: Kristalline Struktur von Zink nach dem Galvanisieren auf einer Eisenoberfläche  
Quelle: © ClipDealer



Abb. 14: Kubisch ausgebildeter Pyrit (ein Eisenerz)  
Quelle: © ClipDealer

## Änderung der Kristallstruktur beim Biegen

Der Werkvorgang des Biegens verändert die Kristallstruktur folgendermaßen:

An der **Außenseite** der Biegung **dünnen die Kristalle** aus und die Abstände zwischen ihnen werden größer. Das Material wird spröde und rissig. An der **Innenseite** der Biegung **verdichten** sich die Kristalle, was ebenfalls die Sprödigkeit erhöht.

Nur innerhalb der **neutralen Zone in der Mitte verändert sich die Kristallstruktur vorerst nicht**.

Biegt man das Material immer wieder, so wird es ermüden, spröde und brechen.

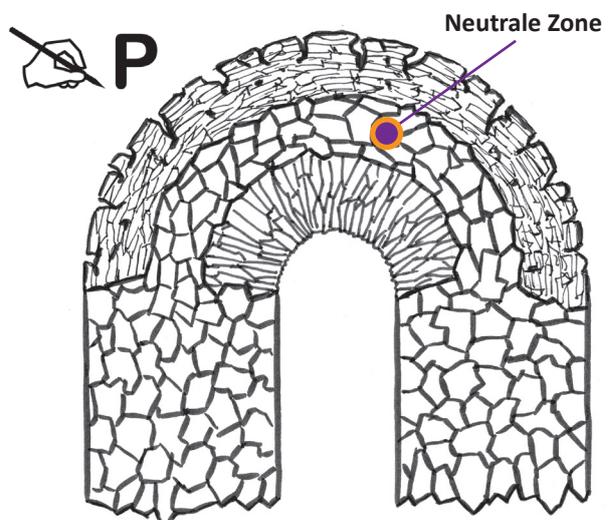


Abb. 18: Schematische Darstellung des Kristallgefüges nach dem Biegen, mit neutraler Zone in der Mitte

## Halbzeuge / Handelsformen von Metallen

Metalle werden als **Halbzeuge** gehandelt. Das sind Zwischenprodukte, die durch Walzen oder Ziehen aus dem Rohmaterial entstanden sind.



Abb. 19: Weißblechdosen

### BLECHE

werden als Tafeln ab 0,2 mm Stärke gehandelt.

#### Häufig verwendete Bleche:

- Kupferblech** (z. B. für Dachrinnen)
- Messingblech** (z. B. für Beschläge)
- Aluminiumblech** (z. B. für Flugzeugtragflächen)
- Schwarzblech** (Eisenblech ohne Korrosionsschutz, rostet leicht; z. B. für Konstruktionen)
- Weißblech** (gegen Korrosion verzinnertes Eisenblech; z. B. für Konservendosen)
- verzinktes Blech** (an der Oberfläche im Tauchbad verzinkt, witterungsbeständig; z. B. für Dächer)



Abb. 20: Aluminiumfolie

### FOLIEN

sind Produkte, die eine noch geringere Stärke als Bleche aufweisen und als Rollen oder Formate angeboten werden.

#### Häufig verwendete Folien:

- Aluminiumfolien** (z. B. im Haushalt und für Verpackungen)
- Kupferfolien** (z. B. für Kupferdrückarbeiten und Abschirmungen elektronischer Bauteile und Kabel)
- Blattgold** (zum Vergolden von Oberflächen)



Abb. 21: Schmuck aus Silberdraht gestrickt

### DRÄHTE

weisen meist ein kreisrundes Profil auf, werden aber auch in anderen Profilen auf Rollen oder als Stangen angeboten.

#### Häufig verwendete Drähte:

- Kupferdraht** (z. B. für elektrische Kabel), **Messingdraht** (z. B. für Verzierungen), **Silberdraht** (z. B. für Schmuck)

außerdem:

- geglühter Stahldraht** (weich, rostet leicht, z. B. zum Binden von Kränzen)
- Federstahldraht** (hart, federt in seine ursprüngliche Form zurück, z. B. für Federn in mechanischen Uhren)
- verzinkter Draht** (Oberfläche aus Zink, korrosionsbeständig, gut lötbar, z. B. für Zäune und Konstruktionen)
- Aluminiumdraht** (weich, sehr gut formbar, z. B. für Floristik)



Abb. 22: Verschiedene, auch ausgefallene Profile Quelle: © ClipDealer

### PROFILE

gibt es als Stäbe und Schienen, außerdem als Vollprofile, Hohlprofile in unterschiedlichen Querschnitten, wie z. B. als T-Profil, U-Profil, L-Profil, Flachprofil oder Rundstab.

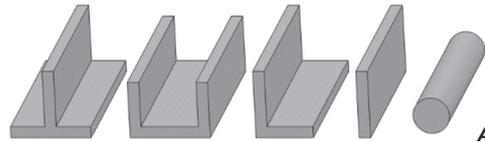


Abb. 23

Die Vielzahl auch **ausgefallener Profile** ermöglicht unzählige technische und konstruktive Anwendungen.



Abb. 24:  
Montage eines Doppel-T-Trägers beim Bau des Empire State Buildings in New York  
Quelle: Lewis Hine



Abb. 25:  
Trägerstruktur  
Quelle: © ClipDealer

### DOPPEL-T-TRÄGER

vereinen in sich enorme **Stabilität** und **Elastizität** bei relativ **wenig Gewicht**. Gewährleistet wird dies durch die Verbindung zweier Gurte mit einem Mittelsteg, die sowohl Querschnitts- als auch Biegekräfte aufnehmen können.

Der neuartige Träger ermöglichte seit dem 19. Jh. den Ingenieurbau und revolutionierte damit das Bauwesen. So konnten in **Skelettbauweise** in kurzer Zeit Bauwerke in noch nie dagewesenen Ausmaßen und Spannweiten aus in Fabriken vorgefertigten Elementen rationell errichtet werden. Maßgebend hierfür war das Empire State Building in New York.



Abb. 26: Doppel-T-Träger  
Quelle: © ClipDealer



Abb. 27: Transportfähige Edelstahlrohre Quelle: © ClipDealer

### ROHRE

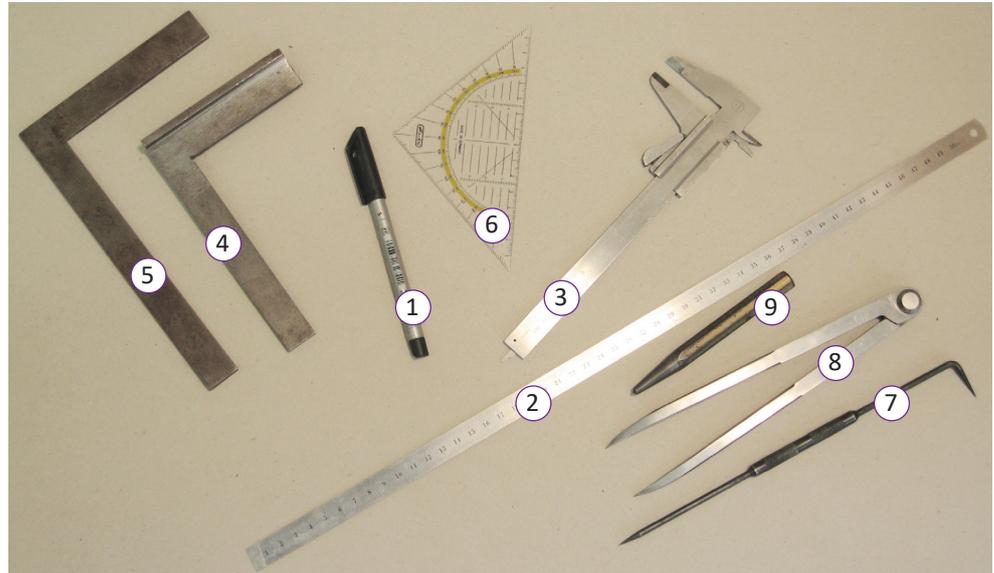
gibt es in unterschiedlichen Wandstärken und Durchmessern, oft werden die Maße in Zoll (engl. inch) angegeben.

Ein Zoll (1“) entspricht dabei 2,54 cm.

Als in der Länge geschlossene Hohlkörper werden Rohre als **Leitungssysteme** genutzt, aufgrund ihrer hohen **Steifigkeit** und ihres **geringen Gewichts** jedoch ebenso als Konstruktionselemente oder für **Achsen** und **Wellen**.

## Messen und Anreißen

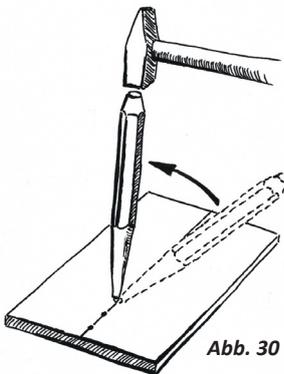
- 1 Folienstift
- 2 Stahlmaßstab
- 3 Schublehre
- 4 Stahl-Anschlagwinkel
- 5 Stahl-Flachwinkel
- 6 Lineal/Geodreieck
- 7 Reißnadel
- 8 Reißzirkel
- 9 Körner



**Abb. 28:**  
Verschiedene Werkzeuge  
und Hilfsmittel zum Messen,  
Anzeichnen und Anreißen

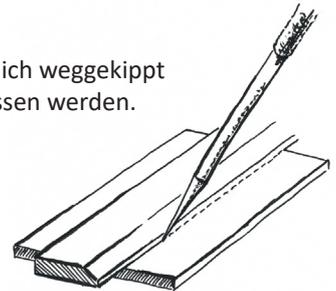
### Anreißen

Als Führung dient ein Stahllineal bzw. eine Stahlschiene. Die Reißnadel wird vom Lineal seitlich weggekippt und geneigt an diesem entlanggezogen. Je härter das Blech ist, desto kräftiger muss angerissen werden.



**Abb. 30**

**Abb. 29:** Anreißen entlang einer Stahlschiene



### Körnen

Körnerpunkte werden genau auf der Risslinie oder auf die Kreuzung zweier Risslinien gesetzt. Beim Ansetzen neigen wir den Körner, damit wir die Lage der Spitze sehen. Beim Ankörnen oder Vorkörnen wird er senkrecht gehalten und es entsteht durch einen dosierten Hammerschlag die Körnung.

### Die Schublehre (Messschieber)

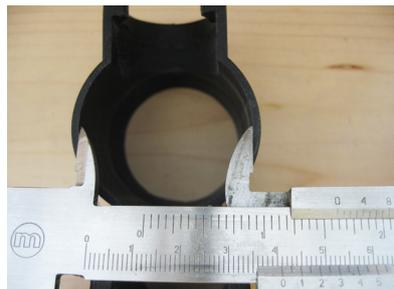
Mit ihr können mit Hilfe des sog. Nonius auch Zehntelmillimeter gemessen werden. Elektronische Schublehren besitzen eine digitale Anzeige, auf der bequem die Maße abgelesen werden können.



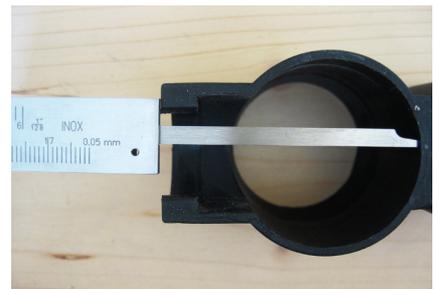
**Abb. 31:**  
Mechanischer Messschieber



**Abb. 32:** Außenmaß



**Abb. 33:** Innenmaß/Lichte Weite



**Abb. 34:** Tiefenmaß

## Einspannen

Mit Einspannhilfen wie z. B. dem Parallelschraubstock können Werkstücke fest eingespannt werden. Um weichere Metallstücke vor der Riffelung der Stahlbacken eines Schraubstocks zu schützen, verwendet man Schutzbacken aus Aluminium oder Kunststoff.



**Abb. 35:**  
Parallelschraubstock mit Schutzbacken



**Abb. 36:**  
Maschinenschraubstock



**Abb. 37:**  
Schraubzwinde



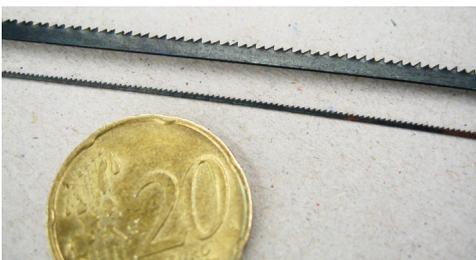
**Abb. 38:**  
Feilkloben zum Halten kleiner Werkstücke

## Trennen durch Sägen

Die **Handbügelsäge** dient zum spanenden Trennen von Metallteilen. Sie wird mit beiden Händen bewegt, wobei die eine Hand fest das Heft greift. Mit der Führungshand fasst man das Werkzeug am vorderen Ende des Spannbügels. Das Werkstück wird fest eingespannt, der Schnitt ins Material erfolgt nahe am Schraubstock. Damit das Sägeblatt beim Ansägen nicht verrutscht, kann mit der Kante einer Feile eine Führungskerbe in das Metall gefeilt werden.

Die Handbügelsäge arbeitet auf Stoß, also belastet vom Körper weg und entlastet zurück. Die feine Zahnteilung des Sägeblatts ergibt einen sauberen Schnitt, welcher jedoch einige Zeit in Anspruch nimmt. Um das Klemmen in der Schnittfuge zu vermeiden, besitzen die Sägeblätter in der Regel eine Wellenschränkung, weil die Sägezähne für die sonst gängige Zahn-schränkung, wie z. B. bei Holzsägeblättern, zu fein und zu hart sind.

Handbügelsägen und ihre Sägeblätter sind aus Stahl und sollten daher trocken gelagert, bzw. bei längerer Lagerung leicht eingefettet werden, damit sie nicht rosten. Beim Sägen nutzt man nach Möglichkeit die gesamte Blattlänge, so dass die Zahnung gleichmäßig abgenutzt wird.



**Abb. 39:**  
Metallsägeblätter: Puksäge, Laubsäge

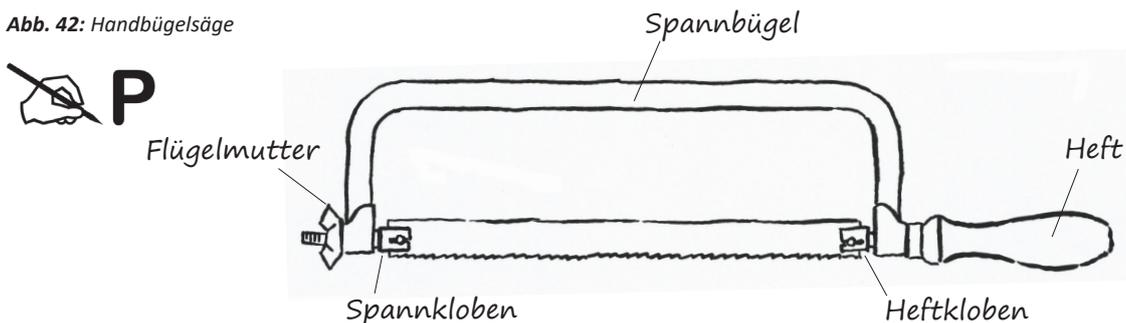


**Abb. 40:**  
Dekupiersäge und Laubsäge



**Abb. 41:**  
Wellenschränkung

**Abb. 42:** Handbügelsäge



## Trennen durch Schneiden und Scheren

### Das Prinzip des Scherens

Beim Schneidevorgang dringen die Schneiden der Schere von beiden Seiten in das Material ein. Die Mittelschicht des Werkstoffes wird durch Scherkräfte abgerissen, „abgeschert“, indem die Schneiden aneinander vorbeigleiten.

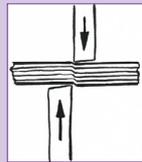


Abb. 43

### Das Prinzip des Abzwickens

Beim Trennvorgang treffen zwei Schneiden genau aufeinander. Sie dringen dabei von beiden Seiten in das Metall ein und verdrängen das durchtrennte Material zur Seite.

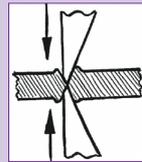


Abb. 44

### Der Seitenschneider

wird zum spanlosen Trennen von dünnen und weichen Drähten benutzt. Er besitzt hierfür kurze, kräftige Schneidebacken mit scharfen, meißelförmigen Schneiden, die beim Trennen aufeinander treffen und so das Material abzwicken, ähnlich wie bei einer Kneifzange.

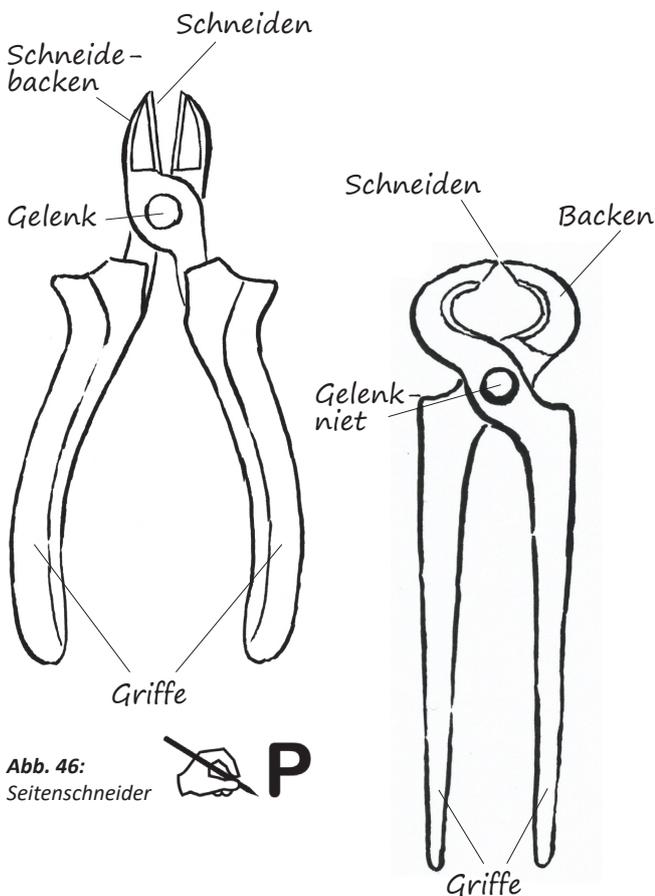


Abb. 46: Seitenschneider

Abb. 47: Kneifzange

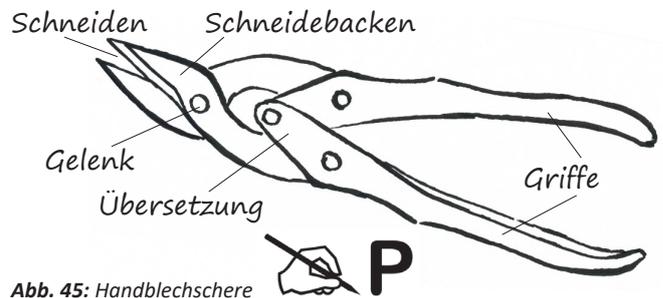


Abb. 45: Handblechschere

### Die Handblechschere

dient zum spanlosen Trennen von dünnen und weichen Blechen und ist meist entsprechend größer und massiver als der Seitenschneider. Die starken und keilförmigen Schneidebacken berühren sich jeweils nur in einem Punkt und stehen unter Spannung. Dadurch wird die Schneidkraft erhöht und ein Einklemmen des Materials verhindert. Es gibt rechts- und linksgängige Scheren. Die Schere wird, wenn sie keine Rückstellfeder besitzt, so gehalten, dass ein oder zwei Finger zwischen den Schenkeln des Griffes den Öffnungswinkel regulieren. Beim Arbeiten mit Blechscheren ist zu beachten, dass der Öffnungswinkel der Schneidebacken nicht zu groß ist, weil sonst das Blech nach vorne herausrutscht und der Schnitt nicht bis zur Scherenspitze ausgeführt wird, da anderenfalls leicht Stufen an der Schnittkante entstehen. Außerdem soll der Schnitt so ausgeführt werden, dass die Abfallseite und nicht der Werkstückbereich nach unten gedrückt wird.

### Die Hebelblechschere

ist auch für dickere Bleche geeignet, da durch die Hebelwirkung die Kraft beim Schneiden verstärkt wird. Ein passend eingestellter Niederhalter verhindert, dass das Blech dabei nach oben kippt und verkantet.

Abb. 48: Hebelblechschere

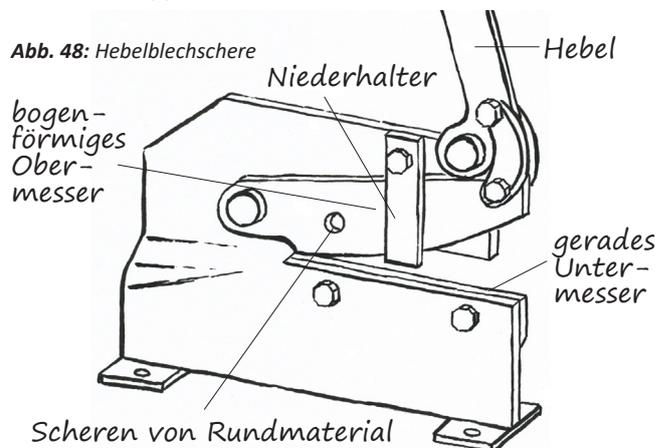


Abb. 49: Querriss, sog. „Stufe“



## Spanen und Entgraten

Beim **Bohren** von Metallen treten sehr große Kräfte auf, da das Material der Bearbeitung einen großen Widerstand entgegensetzt.

Die verwendeten **Spiralbohrer** sind aus HSS-Stahl (Hochleistungs-Schnellschnitt-Stahl) und besitzen an ihrer Spitze zwei schräge Hauptschneiden und eine kurze Mittelschneide. Bohrungen werden immer angerissen und vorgekörnt, damit der Bohrer nicht auf der Metalloberfläche verläuft. Um passgenaue Bohrungen herzustellen, ist es bei großen Durchmessern angebracht, erst mit kleineren Bohrern vorzubohren und anschließend auf den gewünschten Nenn-durchmesser aufzubohren.



Abb. 50

### Wie beim Bohren von Holz gilt als Faustregel:

Kleiner Bohrer, große Drehzahl,  
großer Bohrer, kleine Drehzahl.

### Zusätzlich gilt für Metalle:

Je weicher das Material, desto höher darf die Schnittgeschwindigkeit sein. Dabei ist das Werkstück grundsätzlich fest einzuspannen, da herumwirbelnde und hochgerissene Teile ein Verletzungsrisiko darstellen.

Auch Bleche und kleinere Werkstücke müssen mit einer Zange bzw. mit einem Feilkloben gehalten oder in den Maschinenschraubstock eingespannt werden. Größere Formate lassen sich ggf. mit Schraubzwingen auf dem Bohrtisch fixieren. **Nichts darf mit der bloßen Hand gehalten werden!**

Die Bohrspäne werden in wendelförmigen Nuten aus dem entstandenen Bohrloch herausgeleitet und brechen in der Regel bei Metallen nicht von selbst ab. Um Verletzungen durch die scharfen und heißen Späne zu vermeiden, wird der Bohrer kurz zurückgezogen, damit die Späne nicht unnötig lang werden. Die Spanabfuhr ist sehr wichtig, da bei verstopften Spannuten, gerade beim Bohren von Metallen, im Bohrloch sehr große Reibungswärme entsteht und das Metall sehr heiß wird. Dabei kann sogar der Bohrer ausglühen, somit weich und unbrauchbar werden. Ausgeglühte Metalle erkennt man an einer blauschwarzen Färbung. Dem Ausglühen kann man durch Kühlmittel/Schneidöl vorbeugen. Hierdurch wird auch durch die Schmierwirkung die Wandung der Bohrung sauberer, weil sich nicht so leicht Späne festsetzen.

Gegen herumspritzende Splitter, die vor allem beim Bohren in spröden Metallen vorkommen, muss eine Schutzbrille getragen werden.

## Die Ständerbohrmaschine

ermöglicht präzise, senkrecht geführte Bohrungen bei exakt regulierter Drehzahl und Bohrtiefe. Hierbei wird unter das Metall eine plane Bohrunterlage aus Holz gelegt bzw. mit eingespannt. Meist wird das gesamte Metallteil durchbohrt und der Bohrer dringt auch in die Bohrunterlage ein. Im Metall entsteht ein Durchgangsloch.

Wird der Tiefenanschlag an der Bohrmaschine so eingestellt, dass der Bohrer nicht komplett durch das Metall dringt, dann erzeugt man ein sog. Sackloch.

(Weitere Informationen zur Ständerbohrmaschine und ihren Einzelteilen findet man im Infoheft Holz 7 auf Seite 15.)



Abb. 51



Abb. 52



Abb. 53

Abb. 51: Stufenbohrer, v. a. für Bleche

Abb. 52: Senker in verschiedenen Größen

Abb. 53: Ständerbohrmaschine

Beim Bohren entstehende Grate, besonders am Ausgang von Durchgangslöchern, müssen entfernt werden. Hierzu dienen Senker.

Mit diesen können aber nicht nur Grate beseitigt werden, sondern Bohrungen können an der Materialfläche so geweitet werden, dass z. B. der Kopf einer Senkkopfschraube in die kegelförmige Vertiefung passt und nichts von der Schraube an der Oberfläche übersteht.

### Feilen

sind spanabhebende Werkzeuge und werden benutzt, um Volumen zu formen, Oberflächen und Kanten zu bearbeiten und Kanten zu entgraten.

#### Arbeitsweise:

Zur Arbeit wird das Werkstück sicher im Schraubstock eingespannt. Die eine Hand umschließt fest das Feilenheft und führt die nötige Vorschubbewegung aus, die andere Hand dosiert den Druck am Feilenende. Da das Werkzeug auf Stoß arbeitet, wird belastet nach vorne geschoben und entlastet zurückgezogen. Dabei nimmt man, um die Feilbewegung ausgleichen zu können, Schrittstellung ein.

Während und nach der Arbeit wird das Feilenblatt mit einer Feilenbürste parallel zu den Hieben gereinigt, damit diese frei bleiben und die Feile einwandfrei arbeitet. Um die Feilen nicht unnötig abzunutzen, sollten sie nicht mit anderen Werkzeugen in Berührung kommen und geordnet nebeneinander gelagert werden. Feilen, die im Gegenlicht glänzen, sind stumpf! Bei längerer Lagerung sollten Feilen gegen Rost leicht eingeölt werden.

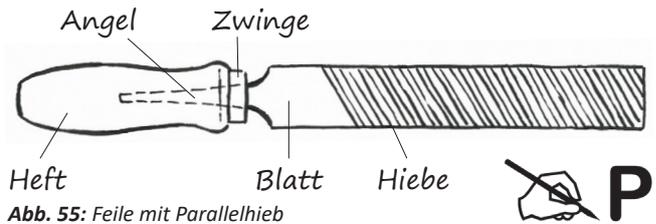
**Tipp:** Damit sich kein Metall in den Hieben festsetzen kann und diese „zuschmiert“, kann man die Hiebe vor der Arbeit mit Kreide einreiben.



**Abb. 56:** Werkzeugblock mit verschiedenen Schlüsselfeilen, die für sehr feine Arbeiten verwendet werden



**Abb. 54:** Verschiedene Feilenprofile



**Abb. 55:** Feile mit Parallelhieb

### Dreikantschaber

Grate an Metallteilen können mit Feilen beseitigt werden. Hierfür verwendet man aber auch den Dreikantschaber, der mit seinen scharfen Kanten an den Kanten des Werkstücks entlanggezogen wird.

Dreikantschaber werden aber auch benutzt, um Metalloberflächen zu glätten oder zu formen. Dabei werden Späne aus dem Material geschabt.



**Abb. 57:** Verschiedene Dreikantschaber, in der Mitte mit Polierstahl am rechten Ende

## Oberflächenbearbeitung durch Schleifen und Polieren

### Schleifen

Beim Schleifen werden feinste Späne vom Material abgenommen, was Oberflächen glättet und Kanten von Graten befreit oder bricht. Im Metallbereich wird meist Schleifleinen der Vorzug vor Schleifpapier gegeben, da es mechanisch stärker beansprucht werden kann, was dem harten Werkstoff Rechnung trägt.

Geschliffen wird, wie bei Holz, unter Verwendung eines Schleifklotzes vom groben Schleifmittel zum feinen. Der letzte Schliff wird oft unter Verwendung von Wasser ausgeführt und mit Körnungen des Schleifmittels teils deutlich über P1000, was feinste Oberflächen erzeugt.

Schleifmittel werden auch dazu eingesetzt, um absichtlich eine gleichmäßig matte Oberflächenstruktur zu erzeugen. (Weitere Informationen zu Schleifmitteln findet man im Infoheft Holz 7 auf Seite 19.)

### Polieren

dient der Erzeugung spiegelglatter Oberflächen. Dabei reiben winzigste Schleifkörnchen die Flächen glatt. Die Körnchen gibt es als Pulver (oft Metalloxide) oder sie befinden sich in Schleifpasten oder Schleifwachsblöcken und werden von Hand mit Polierlappen, -schwämmchen oder -wolle auf die Flächen übertragen oder maschinell mittels sogenannter Schwabbel-scheiben. Dies sind viele dicht aufeinandergelagte kreisrunde Stoffscheiben, die in eine Poliermaschine eingespannt werden und schnell rotieren.

**Abb. 58:** Poliermaschine mit zwei verschiedenen Schwabbel-scheiben und Polierwachs im Vordergrund



## Umformen durch Biegen

Die plastische Umformung eines Metalls beginnt, wenn es über seine Elastizitätsgrenze hinaus gebogen wird. Hört die formverändernde Kraft auf zu wirken, kehrt das Material also nicht mehr in seine ursprüngliche Form zurück.

### Biegen mit Zangen

Viele Biegevorgänge von Drähten und kleineren Blechen können mit verschiedenen Zangen ausgeführt werden. Das Biegen von rechten Winkeln ist mit Flachzangen unproblematisch, mit Rundzangen können unterschiedliche Radien gebogen werden, je nachdem, wie weit man z. B. einen Draht in das Zangenmaul schiebt.



Abb. 59: Flachzange und Rundzange



Abb. 60: Biegen großer Radien



Abb. 61: Biegen kleiner Radien

### Biegen im Schraubstock

Ein Blech wird hierzu an der Risslinie zusammen mit einem Biegeklötz aus Hartholz eingespannt. Zur Schonung der Metalloberfläche werden Kunststoff- oder Aluschutzbacken benutzt. Das freie Ende des Blechs wird von Hand gebogen und am Knick mit einem Holz- oder Kunststoffhammer bearbeitet. Es kann auch ein Schlosserhammer mit einer Hartholzzulage verwendet werden.

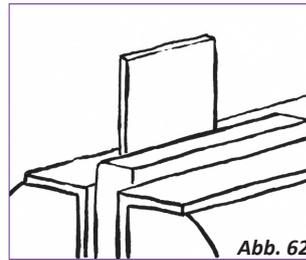


Abb. 62

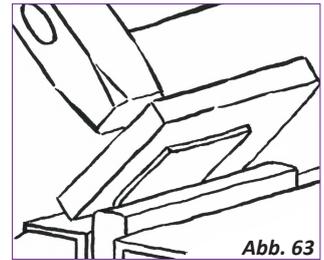


Abb. 63



### INFO

#### Biegen mit Faulenzern

Zum Biegen mehrerer gleicher Teile können Faulenzern benutzt werden. Dies können z. B. Holzstäbe mit verschiedenen Profilen sein. Das Ende eines Drahtes wird mit solch einem Stab fest eingespannt, der Stab wird in engen Windungen mit dem Draht umwickelt und entweder mit dem Seitenschneider aufgezwickelt oder mit der Laubsäge und einem Metallsägeblatt aufgesägt, wobei der Holzstab der Länge nach zersägt wird.

So entstehen beispielsweise exakt gleiche Kettenglieder, die, nachdem sie ineinandergehängt und in eine Ebene gebogen wurden, noch verlötet werden können.



Abb. 64: Faulzern für runde Kettenglieder

Aber auch kompliziertere Formen sind möglich, indem man auf einem Brettchen Nägel nach einem aufgezeichneten Schema einschlägt, die Nagelköpfe dann abzwickelt und den Draht in der gewünschten Weise um diese Stifte windet.



Abb. 65: Faulzern mit Nagelstiften



Abb. 66: Fibel aus Draht

## Umformen durch Treiben

Unter Treiben versteht man das Bearbeiten von Blechen zu gewölbten Formen durch Auftiefen mit Hilfe von Treibhäm- mern.

Ist die Unterlage beim Treiben hohl oder weich, wird das Material nach unten gedehnt und an den Rändern nach oben gebogen und ermöglicht so die Bildung einer Mulde. Wird der Treibhammer auf einer harten Unterlage ein- gesetzt, entsteht eine seitliche Verdrängung des Materials, das Blech wölbt sich auch hierbei. Es erwärmt sich leicht und wird zunehmend hart und spröde, dadurch besteht die Ge- fahr von Rissbildung. Durch Ausglühen bis zur Rotglut, zum Beispiel im Muffelofen, würde das Blech z. T. die ursprüngliche Plastizität zurückgewinnen. Die dabei entstehende Zunderschicht muss vor dem Weiterarbeiten durch Abschre- cken des glühenden Werkstücks im Wasser oder nach dem Abkühlen mechanisch mit Stahlwolle o. Ä. oder im Säurebad beseitigt werden. Säurereste auf dem Metall werden dann unter fließendem Wasser entfernt.



Abb. 71: Treibmulden aus Holz



Abb. 72: Faust, Stiftamboss



Abb. 73:

Richtplatte: Auf ihr können sowohl verbogene Drähte gerade gerich- tet werden, als auch unerwünschte Verformungen an Blechen bzw. ge- triebenen Gegenständen behoben werden. Dies geschieht durch ge- zielte und wohl dosierte Hamme- schläge, meist mit einem Gummi- oder Kunststoffhammer.

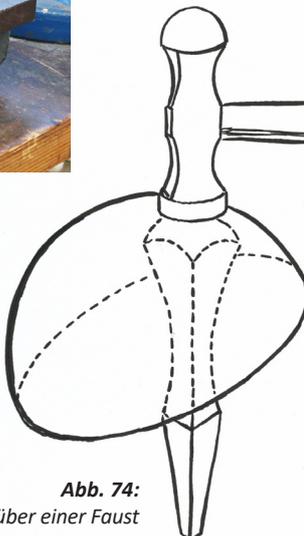


Abb. 74:

Planieren einer Schale über einer Faust

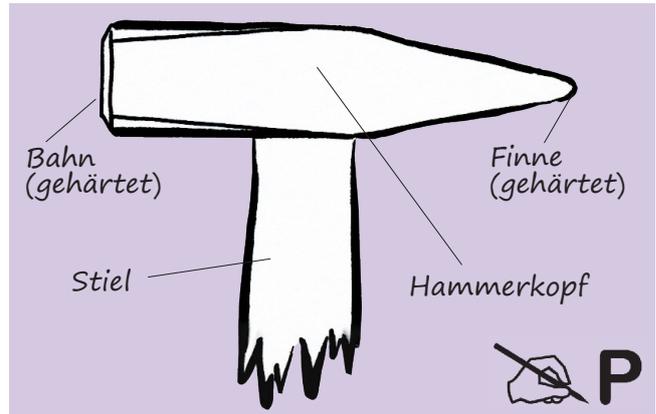


Abb. 67: Schlosserhammer

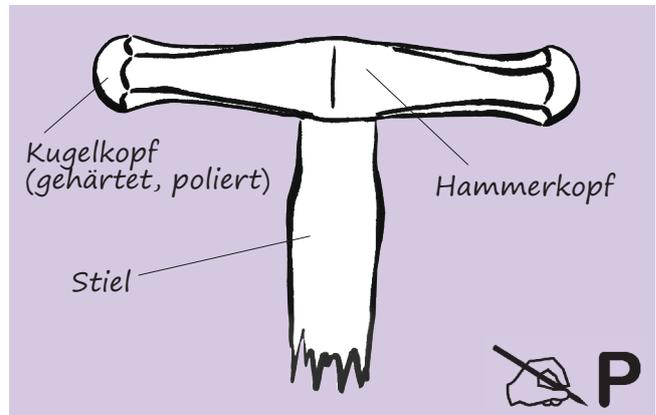


Abb. 68: Kugelhammer

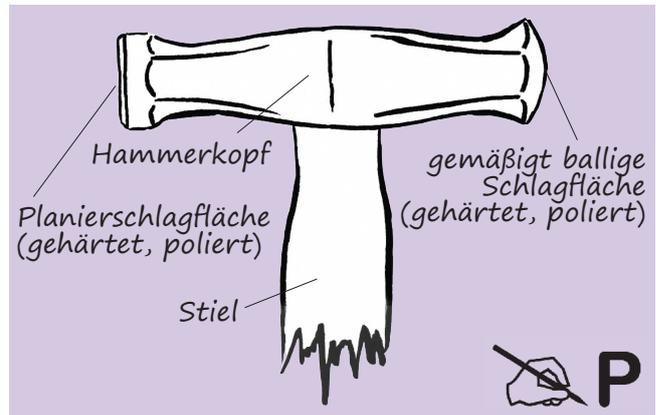


Abb. 69: Planierhammer



Abb. 70: Gummihammer, Kunststoffhammer

Arbeitsplan zum Treiben einer Schale



Abb. 75: Treibhammer mit Kugelköpfen



Abb. 76: Treiben einer Kupferronde in einer Treibmulde

Arbeitsschritt	Werkzeuge/ Werkhilfsmittel	Arbeitshinweise
Planen der Werkarbeit und Aufzeichnen des Quadrats auf die Kupferplatte	Papier, Stahllineal, Zirkel, Bleistift, Folienstift, Winkel	wasserfesten Folienstift benutzen
Ausschneiden des Kupferquadrats	Hebelblechschere/Handblechschere	
Markieren des Rondenzentrums (evtl. leicht ankörnen) und Anreißen der Ronde auf das Kupferquadrat	Folienstift, Stahllineal (evtl. Körner, Schlosserhammer), Reißzirkel	Mittelpunkt über Diagonalen, Achtung: Körnerschlag nur ganz leicht, sonst Risse beim Treiben
Tangentiale Näherungsschnitte an die Ronde Ausschneiden der Ronde	Handblechschere/Hebelblechschere	ca. 2 bis 3 mm Abstand zum Riss, Linie muss noch stehen bleiben
Feilen der exakten Rundung der Ronde Kanten entgraten	Metallfeilen grob bis fein, Schraubstock, Schutzbacken, Feilen	Nicht quer feilen, nicht zu hoch einspannen
Auftiefen der Schalenmunde	Treibmulde und Kugelhammer, evtl. Kunststoffhammer	gleichmäßig dichte Hammerschläge spiralförmig von außen nach innen
Ausrichten der Schalenwölbung und des Schalenrandes	Richtplatte, evtl. Treibklotz, Gummi- oder Kunststoffhammer	Auftiefen und Ausrichten stetig wiederholen, bis Schale tief genug ist
Ausglühen, wenn die Schale tiefer werden soll	Muffelofen	Kupfer muss rot glühen
Entzundern der Oberfläche	Schale mit Wasser, Säurebad, Bürste, Scheuerpulver, Stahlwolle	
Hämmern einer gleichmäßigen Oberflächenstruktur innen (hart auf hart)	Kugelhammer und Amboss	spiralförmig gesetzte feine Schläge gezielt bis fast zum Rand
Hämmern einer gleichmäßigen Oberflächenstruktur außen (hart auf hart)	Tellerhammer oder Planierhammer und Faust mit Halbkugel	Form darf sich nicht mehr ändern
Nacharbeiten des Randes Säubern der Oberfläche	feine Feile, Schleifstein, Stahlwolle	

## Oberflächenbehandlung durch Lackieren

Um das Aussehen einer Oberfläche zu konservieren und um sie vor Korrosion zu schützen, kann sie nach dem Säubern und Entfetten oder nach dem Patinieren lackiert werden. Hierzu wird im Metallbereich häufig die Technik des Zaponierens benutzt. Dabei wird farbloser Zaponlack aufgetragen, der nicht zum Abblättern neigt, da er nach dem Trocknen elastisch bleibt. Der Auftrag erfolgt mit einem weichen Pinsel. Es ist darauf zu achten, den Lack gleichmäßig und ohne Luftbläschen aufzubringen. Die Trocknungszeit von Zaponlack ist kurz.



Abb. 77: Handelsüblicher Zaponlack

Des Weiteren gibt es eine Vielzahl verschiedener Lacke unterschiedlichster Farben auf dem Markt, die kaum Gestaltungswünsche offen lassen. Aus Spraydosen oder mittels Airbrush-Pistole in mehreren dünnen Schichten aufgetragene Lacke haben den Vorteil, dass keine Pinselspuren entstehen können.



Abb. 78: Autolackierung in staubfreiem Raum

Quelle: © ClipDealer



### INFO

#### Oberflächenbehandlung durch Patinieren

Durch Kontakt mit Luft oder Wasser bildet sich an der Oberfläche der meisten Metalle eine Oxidschicht (z. B. als Patina auf Kupfer). Solche Oberflächenveränderungen können auch gezielt herbeigeführt werden. In Wasser gelöste Schwefelleber, mit einem Lappen oder Pinsel auf Kupfer aufgetragen, verleiht diesem z. B. einen braunen bis schwarzen Farbton. Vor der Behandlung der Oberfläche muss diese völlig fett- und oxidfrei sein.

Möglich ist ein Reinigen mit Benzin, verdünnten Säuren oder mit Stahlwolle. Wichtig ist, dass alle mechanischen Arbeitsvorgänge wie Schleifen oder Polieren vor dem Patinieren erledigt werden, weil durch diese die Patina wieder abgetragen würde. Dies kann jedoch auch erwünscht sein, wenn z. B. die erhabenen Stellen der Oberfläche metallisch rein hervortreten sollen.



Abb. 79: Kupferplakette ohne Patina

Abb. 80: Kupferplakette mit Schwefelleber und Stahlwolle behandelt

## Gesundheitsschutz

Metall ist ein härteres Material als z. B. Holz oder Kunststoff. Die hohen Widerstandskräfte erfordern, dass das Werkstück während der Bearbeitung immer fest eingespannt ist. Die häufigsten Verletzungen beim Arbeiten mit Metall sind Schnitt-, Stich- und Quetschverletzungen durch den Werkstoff selbst oder durch Werkzeuge. Aber auch Verbrennungen, Verätzungen, Reizungen, Vergiftungen oder Gefährdungen der Atemwege müssen vermieden werden.

**Grundsätzlich gilt:** Ordnung am Arbeitsplatz, Konzentration auf die eigene Arbeit sowie Aufmerksamkeit für die umgebende Situation (andere Schülerinnen und Schüler) helfen Unfälle zu vermeiden.

Gefahrenursache		Schädigung	Gegenmaßnahmen
Grate	<ul style="list-style-type: none"> <li>scharfe Grate an Blechen, Schnittkanten, Sägekanten und Bohrungen</li> </ul>	Schnittverletzungen und Schürfwunden	<ul style="list-style-type: none"> <li>zeitnahes Entgraten und Anfasen der Kanten</li> <li>umsichtiges Arbeiten</li> <li>Schutzhandschuhe – v. a. beim Transport von Blechen, nie aber an rotierenden Maschinen!</li> </ul>
Dämpfe	<ul style="list-style-type: none"> <li>gefährliche Dämpfe aus Lösungsmitteln in Lacken, Verdünnern, Klebstoffen und Pinsel- bzw. Oberflächenreinigern</li> <li>kleinste Farbpartikel beim Sprühen von Farben</li> </ul>	Schädigung der Atemwege, Vergiftungen, Allergien	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lüften des Arbeitsplatzes</li> <li>Absaugvorrichtungen</li> <li>Atemschutzmasken</li> <li>evtl. im Freien arbeiten</li> <li>wenn möglich nass schleifen</li> </ul>
Stäube	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schleifstäube unterschiedlichster Metalle</li> <li>Abriebe von Schleifmitteln und Poliermittelstäube</li> </ul>		



Abb. 81, 82: Schutzhandschuhe und -brille

### Weitere Gesundheitsgefahren und Schutzmaßnahmen bei der Arbeit mit Metall:

- Werkzeuge wie Reißnadeln und Zirkel haben gehärtete Spitzen, welche Stichwunden verursachen können. Sie sollten nicht ungeordnet herumliegen und evtl. mit einem Korken abgesichert sein, der zudem die Spitze schützt.
- Bei der Verwendung von Blechscheren kann durch konzentriertes Arbeiten vermieden werden, dass Finger gequetscht werden. Bei der Hebelblechschere können herabfallende oder zurückschnellende Hebel zu Prellungen führen. Die Rückstellvorrichtung muss intakt sein. Keiner darf direkt hinter demjenigen stehen, der den Hebel bedient. Bei Nichtbenutzung muss die Hebelblechschere mit dem Sicherungsbolzen gesichert werden.
- Bei der spanenden Bearbeitung fallen scharfkantige Späne an, die Schnittwunden zur Folge haben können, sie dürfen nicht mit der Hand weggewischt werden, sondern werden mit einem Besen zusammengefegt.
- Um die Bildung langer Späne zu verhindern, die beim Herumwirbeln zu Schnittverletzungen führen können, wird der Vorschub öfter unterbrochen, damit die Späne abbrechen.
- Um Augenverletzungen zu verhindern, muss man zum Schutz vor scharfkantigen und heißen umherfliegenden Spänen, die sich vom Bohrer lösen, eine Schutzbrille tragen.
- Beim Bohren von Metall entsteht wegen der hohen Reibung Hitze. Die Gefahr sich Brandwunden zuzuziehen droht beim Berühren des heißen Werkstücks und der heißgelaufenen Bohrer. Deshalb sind Kühl-Schmier-Mittel und Geduld angebracht. Der Bohrer kühlt auch ab, wenn er hin und wieder zum Lüften aus dem Bohrloch gezogen wird.
- Auch beim Polieren kann das Werkstück sehr heiß werden, was Brandwunden nach sich ziehen kann. Geduld und Arbeitspausen verhindern dies. Damit das Werkstück nicht auf einen zu geschleudert werden kann und dabei Prellungen oder Schnittwunden entstehen, darf es nur an den Bereich der Polierscheibe gedrückt werden, der sich vom Körper wegdreht.
- Lösungsmittel werden auch über die Haut aufgenommen und können zu Vergiftungserscheinungen und Benommenheit führen. Hautkontakt mit lösungsmittelhaltigen Stoffen ist deshalb strikt zu vermeiden.
- Außerdem gilt immer: **Umweltschutz ist Gesundheitsschutz**, denn nur in einer intakten Umwelt kann ein gesundes Leben gelingen!



Abb. 83: Messerscharfer, nadelspitzer Blechanschnitt

# Grundlagen der Statik, der Kräfteübertragung und der Kinetik

## STATIK

Die Statik (griechisch *statike* ‚Kunst des Wägens‘) ist ein Teilgebiet der Mechanik, das sich mit unbewegten, ruhenden Körpern befasst. Bei diesen befinden sich alle Kräfte im Gleichgewicht; die Statik wird daher auch als „**Lehre vom Gleichgewicht**“ bezeichnet.

Für den Bereich Werken ist vor allem die **Baustatik** sehr interessant.

Baustatik oder die Statik der Baukonstruktionen befasst sich mit der Sicherheit und Zuverlässigkeit von tragenden Konstruktionen und Strebewerken im Bauwesen. Hierzu werden von Ingenieuren die an einem Bauwerk und seinen Teilen auftretenden Kräfte und deren Auswirkungen darauf berechnet, um festzustellen, ob ein Bauwerk gebrauchstauglich ist.

Wichtig für gut funktionierende Konstruktionen ist, dass alle Kräfte, die innerhalb von Gebäudeteilen wirken oder die auf ein Bauwerk einwirken, im **Gleichgewicht** sind. Sind sie das nicht, können Gebäude oder Teile davon sich verformen, verschieben, kippen oder in sich zusammenbrechen.



**Abb. 84:**  
Gestapelte Steine in statischem Gleichgewicht Quelle: © ClipDealer

**Ingenieure müssen diesbezüglich viele Einwirkungen berücksichtigen:**

### INFO

Hierzu für die abgebildete Brücke ein paar Beispiele:

- Eigengewicht:** Was wiegen die Metallstreben, der Asphalt, usw.?
- Nutzlast:** Wie viele Fahrzeuge kann die Brücke verkraften?
- Windlast:** Wie kräftig drückt der Wind an der Brücke?
- Schneelast:** Wie viele Tonnen Schnee verträgt die Konstruktion?
- Wasserdruck:** Kann die Brücke z. B. Hochwasser aushalten?
- Erddruck:** Bewegen sich die Ufer und drücken auf die Brücke?
- Fahrzeuganprall:** Hält ein Pfeiler einen Verkehrsunfall aus?
- Erdbeben:** Kann die Konstruktion einem Erdbeben standhalten?
- Eisdruck:** Wieviel Eis aus dem Fluss darf an die Brücke stoßen?
- Eislast:** Wieviel Gewicht an Eis darf sich an die Brücke anlegen?
- Temperatur:** Wie weit dehnt sich die Konstruktion bei Hitze?
- Schwingungen:** Gerät die Brücke durch Wind oder Autos in Schwingung?



**Abb. 85:**  
George-Washington-Brücke über den Hudson River in New York  
Quelle: © ClipDealer

Einige **grundlegende Prinzipien**, wie Kräfte in Bauwerken so verteilt werden können, dass sie im Gleichgewicht sind, kann man an der Brücke erkennen.

- Lasten können auf **Strebepfeilern** ruhen. Eine oder mehrere senkrechte Stützen tragen hierbei eine waagrechte Last, die darauf im Gleichgewicht ist. Das gesamte Gewicht der Fahrbahn wird bei der Brücke letztlich von den mächtigen senkrechten Metallpfeilern getragen, die das Gewicht in die Sockel am Boden ableiten können.
- Belastungen können über **Strebesysteme** aus Raumfachwerk-Konstruktionen aufgenommen werden. Hierzu dienen meist Kombinationen aus Streben, die in vielen Dreiecksformen räumlich miteinander verbunden sind. Die Metallstreben der Brücke bilden sowohl am Pfeiler, als auch unter der Fahrbahn solche Dreiecksformen, die sich gegenseitig stützen und stabilisieren.
- Kräfte können auch über **Seile** so verteilt werden, dass sie im Gleichgewicht sind. Bei der Brücke hängt die gesamte Fahrbahn an vielen senkrechten Stahlseilen, die wiederum an einer dicken Stahltrasse festgemacht sind, welche die Kräfte zu den Stützpfelern überträgt.

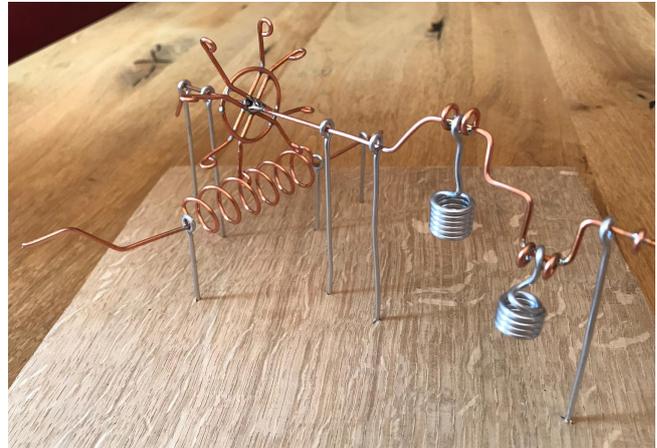
Im **Werkunterricht** werden dieselben Prinzipien genutzt, wenn stabile Konstruktionen entstehen sollen. Dabei ist es egal, ob eine Kugelbahn aus Papierröllchen konstruiert werden soll, eine Brücke aus miteinander verlöteten Metallstäben aus Draht entsteht oder ein Flugzeugrumpf aus Holzleisten aufgebaut wird.

**KINETIK**

Die Kinetik (griechisch *kinesis* „Bewegung“) ist ebenfalls ein Teilgebiet der Mechanik und befasst sich mit Körpern in Bewegung. Sie beschreibt die Änderung und Übertragung von Bewegungsgrößen (Ort, Bewegungsrichtung, Art der Bewegung, Geschwindigkeit und Beschleunigung) unter Einwirkung von Kräften. Es geht also immer auch um **Kräfteübertragung**.

Eine schnelle Bewegung soll z. B. in eine langsame umgewandelt werden oder eine Drehbewegung soll ihre Richtung ändern und in eine geradlinige Hin- und Her- oder Auf- und Ab-Bewegung verwandelt werden. Auch lassen sich Drehbewegungen oder geradlinige Bewegungen in Pendelbewegungen umsetzen.

Zum Beispiel mit Rädern und Zahnrädern verschiedener Größe und mit Antriebsstangen (Pleuelstangen), die exzentrisch (außermittig) an einem Achsstummel (dem sog. Exzenter) an Rädern angebracht sind, lässt sich vieles davon verwirklichen. Dabei helfen auch Kurbelwellen, Schneckenantriebe oder Langlöcher als Führungen, wenn es darum geht, Kräfte und Bewegungen zu übertragen und dabei umzuwandeln. Auf diese Weise können auch **Getriebe** entstehen, wenn die Einzelteile so kombiniert sind, dass sie sinnvoll ineinandergreifen oder miteinander verbunden sind (siehe auch Infoheft Holz 7, S. 21).



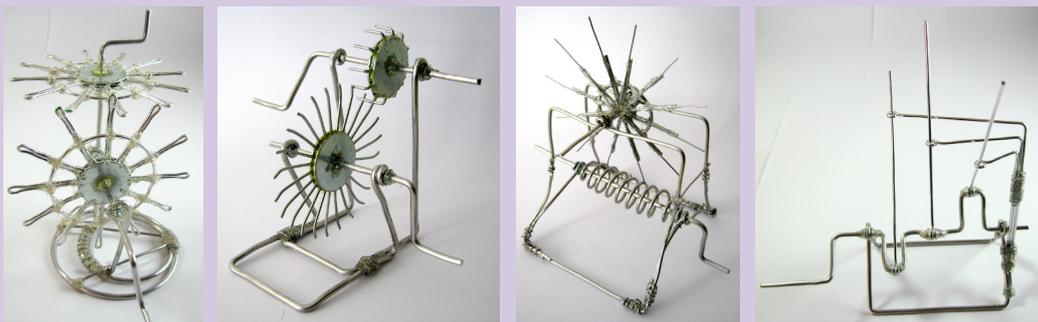
**Abb. 86:** Kinetische Maschine aus Draht mit einer Kurbelwelle links, Schülerarbeit – passende Materialien und die Beschränkung auf Funktionalität ergeben ein harmonisches Ganzes (s. dazu S. 22)

**INFO**



**Beispiele für verschiedene Formen der Kräfteübertragung anhand von Funktionsmodellen zum Kurbeln aus Draht.** Weitere Hinweise zu den abgebildeten und zu weiteren Maschinen, z. B. Materiallisten, Bauanleitungen, etc. unter:

<https://www.lehrplanplus.bayern.de/zusatzinformationen/aufgabe/lernbereich/67620/fachlehrplaene/realschule/8/werken> (Kinetische Maschinen, Variante I und II)



**Abb. 87–90:** Speichenräder, Übersetzung mit Kronenrad, Schneckenantrieb, Kurbelwelle



**Abb. 91–93:** Parallelschubkurbel, Kardanwelle, Kreuzschubkurbel

## Form- und Funktionszusammenhang

„Was gut aussieht, fliegt auch gut.“ Dieser Satz bedeutet unter Flugzeugmodellbauern, dass ein technisch einwandfrei konstruierter Flugzeug in der Regel mit einem ansprechenden Äußeren einhergeht. Dieser Satz kann auch auf technische Konstruktionen außerhalb des Flugzeugbaus übertragen werden.

Wenn sich alle wesentlichen Teile eines technischen Gerätes, einer Maschine oder eines Bauwerks in einem **harmonischen Gleichgewicht** befinden, dann stehen die Chancen gut, dass dieses Objekt seine **Funktion erfüllt**. Eine „gute Form“ entsteht, wenn die Konstruktion den Ansprüchen der Funktion voll und ganz entspricht. Übertriebene Gestaltungselemente, die für die Funktion überflüssig sind, wirken „falsch“ und fehl am Platz, sie stören die Harmonie.

Derselbe **gestalterische Grundsatz**, den du schon aus der 7. Jahrgangsstufe kennst, gilt natürlich auch für alle Konstruktionen aus Metall (s. Infoheft Plastische Massen 7, S. 14):

„form follows function“



**Abb. 94, 95:**

Keine überflüssigen Teile bei stabiler Statik – Das Flugzeug wiegt nur 10 Gramm, ist voll fernsteuerbar und „fliegt auch gut“.

### INFO



Hinzu kommt, dass Metall eine gewisse **Härte** aufweist und der mechanischen Bearbeitung **einen hohen Widerstand** entgegensetzt. Deshalb tritt bei diesem Werkstoff, eventuell noch mehr als bei vielen anderen, ein weiterer Grundsatz in den Vordergrund, die **materialgerechte Verarbeitung**.

Damit ist gemeint, dass der Werkstoff ganz spezielle Formen zulässt und umgekehrt nicht jede Form für das Material sinnvoll ist.

So kann z. B. ein dicker Draht handwerklich zu einem rechten Winkel gebogen werden, die Ecke wird jedoch abgerundet sein. Dies ist die materialgerechte Form. Hämmert man die Ecke so, dass sie ihre Rundung verliert und „scharf“ wird, so zwingt man dem Material eine Form auf, die ihm nicht entspricht. Was im Kleinen für die Ecke gilt, setzt sich in allen Bereichen eines Werkstücks fort. Dabei entsteht eine Gesamtform, die zum Werkstoff Metall passt und aus sinnvollen Bearbeitungsschritten und Werktechniken hervorgegangen ist. Die Fähigkeit, dies zu erkennen und zu würdigen, hängt stark von der Erfahrung des Betrachters ab.

Neben mehr oder weniger **gerundeten Biegekanten** sind für Gegenstände aus dem Werkstoff Metall sehr häufig auch **gespannte Oberflächen** mit einer leichten Wölbung typisch. Diese entstehen, wenn Flächen gebogen werden oder bei allen Arten der Formgebung durch das Treiben.

Ebenso typisch für Werkstücke aus diesem Material sind ihr **metallischer Glanz** und ihre glatten, **makellosen Oberflächen**, wenn diese unbearbeitet sind. Werden die Flächen bearbeitet, so erhalten sie, z. B. durch den Kugelhammer beim Treiben, eine gleichmäßige Oberflächenstruktur.

Metall verzeiht **Bearbeitungsfehler** nur schwer. Kratzer durch das Abgleiten der Reißnadel, eine falsche oder zu tiefe Körnung, Abdrücke der Riffelung des Schraubstocks oder ein falsch gebogener Radius lassen sich kaum wieder gut machen. Nicht selten ist eine Arbeit durch eine geringfügige Unachtsamkeit verdorben.

Die **materialgerechte Verarbeitung** kann bei der Beurteilung eines Werkstücks in jedem der folgenden Bereiche eine Rolle spielen: **Handwerkliche Verarbeitung – Funktionalität – Gestaltung**

## Probleme der Metallgewinnung

Seitdem die Menschen begannen, Metalle für sich nutzbar zu machen, wurden **technische Fortschritte** angestoßen, deren Auswirkungen noch immer nicht abzusehen sind. So basieren auch die Robotik und die Möglichkeit, künstliche Intelligenz mit weltweit vernetzten Datenspeichern zu erschaffen, auf der Nutzung von Metallen.

Allerdings waren all diese Entwicklungen seit jeher mit **Problemen** verbunden, denn die Gewinnung und die Verarbeitung von Metallen gehen mit einer erheblichen Beeinträchtigung der **Umwelt** und der Ausbeutung materieller und energetischer **Ressourcen** einher.

### Zerstörung von Lebensräumen durch Entzug der Lebensgrundlagen

- Abholzung von Wäldern und Zerstörung und Verbrauch der Natur- und Agrarlandschaften durch
  - gigantische **Gruben**, die beim Abbau der Metalle im **Tagebau** entstehen
  - **Rückhaltebecken** für Grubenwasser und Giftschlamm
  - **Abraumhalden** von Schutt, der beim Abbau der Metalle und Metallerze übrig bleibt
  - riesige **Schlackeberge** aus Abfallprodukten, die bei der Verhüttung anfallen
  - den Bau von **Verarbeitungsanlagen** und **Transportwegen**
  - **Kohleabbau** im Tagebau zur Energiegewinnung für den Hochofenprozess bei der Verhüttung
- massive Absenkungen des Grundwasserspiegels durch Entnahme von Süßwasser für verschiedene Prozesse bei der Metallgewinnung

### Zerstörung von Lebensräumen und Gefährdung der Gesundheit durch Verseuchung der Lebensgrundlagen

- **Schlacke**, die nicht ordnungsgemäß entsorgt wurde und sogar für den Straßenbau oder für Küstenbefestigungen benutzt wurde, setzt Giftstoffe wie z. B. Schwermetall und Arsen in den Boden und das Meer frei.
- Flüsse und das Grundwasser werden verseucht durch **Giftstoffe im Grubenwasser** oder **Salz** aus den Lagerstätten der Salzwüsten und Salzseen bei der Lithiumgewinnung, weil für die Gewinnung vieler Metalle enorme Mengen an Süßwasser eingesetzt werden.
- Ganze Landstriche mit ihren Orten und Flüssen werden durch immer wiederkehrende Umweltkatastrophen verseucht, weil zum Beispiel die Dämme von riesigen Lagerbecken brechen oder undicht sind, in denen giftige **Grubenwässer** oder **Abfallschlämme** gelagert werden. Solche Schlämme entstehen, wenn in einem Schaumbad giftige Substanzen die Metalle, wie z. B. Kupfer, Gold, Silber oder Aluminium vom übrigen Gestein abscheiden sollen. Der Schlamm kann toxische Elemente, wie Zyanid, Blei, Cadmium, Quecksilber, Arsen und Chrom enthalten. Bei der Aluminiumgewinnung entsteht als Produktionsrückstand sogenannter Rotschlamm, ein giftiger und ätzender Bauxitschlamm.
- Weite Gebiete werden durch **Abgase** und **Stäube** vergiftet, wenn z. B. Schwefeldioxid entweicht, das bei der Gewinnung von Kupfer aus sulfidischen Erzen in großen Mengen entsteht oder Natriumhydroxid-Staub, der für die Weiterverarbeitung von Lithium benutzt wird, vom Wind über weite Flächen verteilt wird.



**Abb. 96:** Durch Kupfergewinnung verseuchte Landschaft  
Quelle: © ClipDealer

Besonders in Entwicklungsländern und in Ländern mit populistischen, autokratischen und korrupten Regierungen werden Lebensräume durch Minengesellschaften zerstört, die sich dort oft nicht um Umweltschutz kümmern, sondern nur darum, sich finanziell maximal zu bereichern. Nicht selten geschieht dies mit Duldung freier, demokratischer Staaten und unter der Beteiligung oder sogar Federführung von Firmen aus solchen Ländern.

Nur wenn wir alle unser Konsumverhalten überdenken und auf nachhaltige, haltbare, reparierbare und recycelbare Produkte setzen, können wir die Schäden in Grenzen halten.

Ein kritisches und lehrreiches Spiel zum Thema findest du unter:

<https://www.lehrplanplus.bayern.de/zusatzinformationen/aufgabe/lernbereich/67620/fachlehrplaene/realschule/8/werken>

## CO<sub>2</sub>-Bilanz und Umweltschutz

Auch der im Vergleich zu einigen anderen Werkstoffen hohe **Energieverbrauch** beim Abbau und der Weiterverarbeitung macht Metall zu einem nicht unproblematischen Werkstoff. Die **CO<sub>2</sub>-Bilanz** fällt je nach Metall auf den ersten Blick durchaus ungünstig aus:

Während zum Beispiel Stahlprofile, die im Bauwesen benutzt werden, für etwa ein Kilogramm CO<sub>2</sub>-Ausstoß in die Atmosphäre je Kilogramm des Werkstoffs verantwortlich sind, sind dies für Kupferteile bereits zwei Kilogramm CO<sub>2</sub> je Kilogramm des Metalls. Aluminium hat hierbei eine sehr ungünstige Bilanz. Für jedes Kilogramm Aluminium, das wir verwenden, wurden über fünf Kilogramm CO<sub>2</sub> ausgestoßen. Bedenkt man, dass in einer Holzkonstruktion verbaute Holzbalken sogar CO<sub>2</sub> in sich gebunden haben, wird klar, dass mit dem Werkstoff Metall sparsam umgegangen werden sollte und er nach Gebrauch unbedingt der **Wiederverwertung und Wiederverwendung** zugeführt werden muss. Dies umso mehr, da Metalle nicht unbegrenzt und überall aus der Erdrinde gewonnen werden können, während Holz immer wieder nachwächst.

Andererseits stellt sich die Umweltbilanz von Metallen ganz anders dar, wenn man die mögliche lange Lebensdauer von Produkten aus diesem Material mit einrechnet. Manche Dinge oder Konstruktionen aus Metall sind nahezu unzerstörbar und der anfänglich hohe Herstellungsaufwand und die Belastungen für die Umwelt relativieren sich umso mehr, je länger die Objekte existieren und genutzt werden. Auch wenn das verwendete Metall nach dem Lebenszyklus eines Produkts problemlos zu recyceln ist, schlägt dies in Bezug auf Umweltaspekte positiv für das Material zu Buche, weil Recycling z. B. einen viel geringeren Energieaufwand erfordert, als das Metall neu zu gewinnen. Das heißt aber auch, dass Objekte aus Metall, die so konzi-



Abb. 97: Moderne Holzkonstruktion in Sevilla

Quelle: © ClipDealer



Abb. 98: Moderne Metallbrücke in Singapur

Quelle: © ClipDealer

piert sind, dass sie schnell kaputt gehen und dann auch noch sehr schwer zu recyceln sind, weil etwa viele Verbundstoffe oder andere problematische Materialien mit verbaut wurden, sehr ungünstig für die Umwelt sind.

Wenn wir Dinge aus Metall kaufen und verwenden oder wenn wir Metall für Werkarbeiten oder im Alltag nutzen, sind wir dazu aufgerufen, das Material intelligent und mit Bedacht einzusetzen.

### Maßnahmen für einen umweltbewussten Umgang mit dem Werkstoff Metall:

Maßnahmen im Werkunterricht	Maßnahmen im Alltag
• Werkstück sorgfältig planen	• unnötige Metallprodukte nicht kaufen oder herstellen
• Formen mit möglichst wenig Verschnitt aufzeichnen	• Metallprodukte so lange wie möglich verwenden
• Reste für kleine Werkstücke verwenden	• kaputte Metallprodukte reparieren, statt sie zu entsorgen
• Reste sortenrein sammeln und dem Recycling zuführen	• Produkte aus alternativen Werkstoffen in Betracht ziehen
• Einsatz problematischer Metalle für Werkstücke überdenken	• Produkte leihen und verleihen, anstatt sie mehrmals anzuschaffen
• Werkstücke an Abfallstücken erproben	• Metallabfälle dem Recycling zuführen
• fachgerechtes Arbeiten verhindert, dass Teile beschädigt und entsorgt werden müssen	• Elektroschrott konsequent zum Wertstoffhof bringen
• einwandfreies Werkzeug hilft Ausschuss zu vermeiden	• Verzicht auf neueste Elektronik-Geräte
• Lackreste fachgerecht entsorgen und nicht ins Wasser gelangen lassen	• Spezialreinigerreste fachgerecht entsorgen