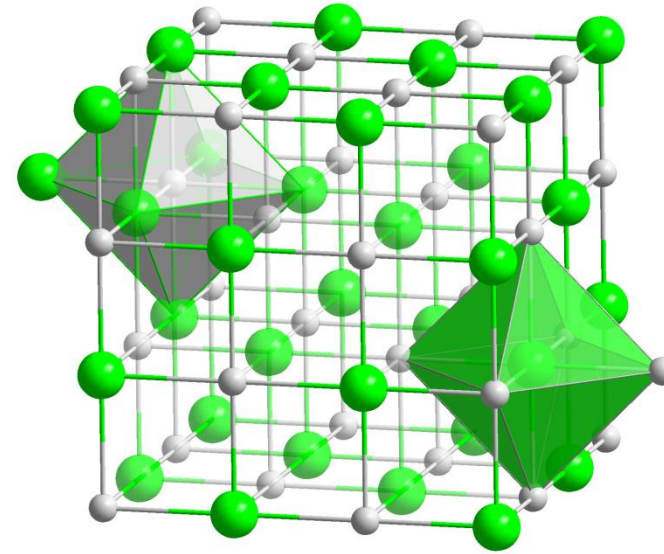


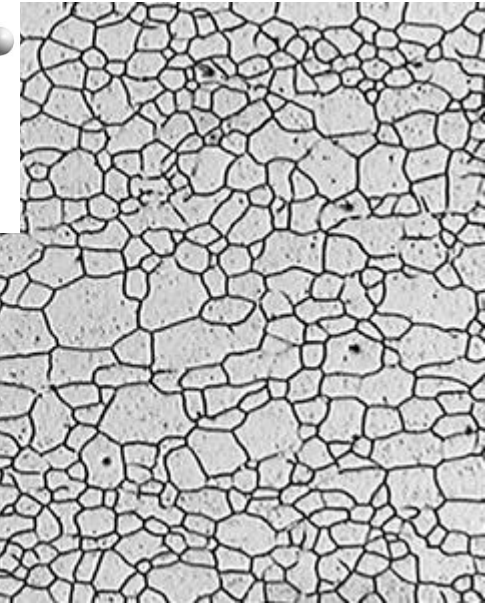
# Werkstofftechnik

## Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

### Vorlesung



Quelle: De Academic



Quelle: Olympus

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Definition metallischer Werkstoffe

Ein Metall hat überwiegend metallische Eigenschaften:

- Elektrische Leitfähigkeit
- Thermische Leitfähigkeit
- Verformbarkeit / Duktilität (Zähigkeit, unempfindlich gegen Schläge)
- Mittlere Festigkeit, mittlere Steifigkeit
- Glänzende Oberfläche (undurchsichtig)
- Manchmal: Ferromagnetismus

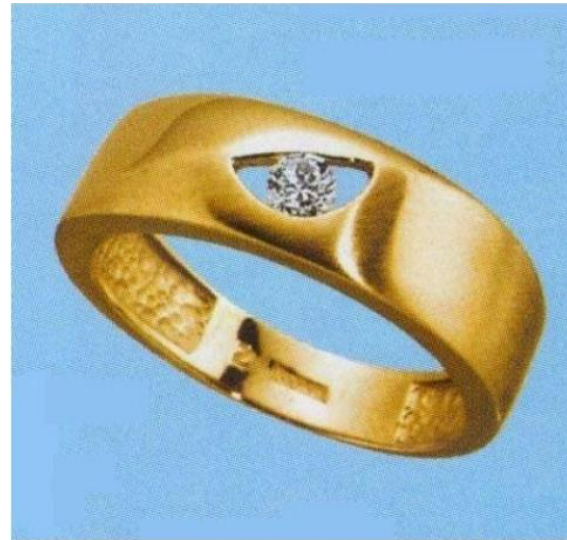
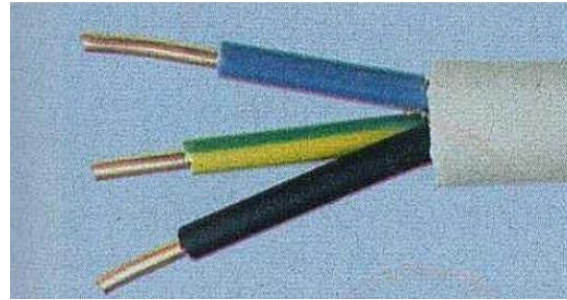
Ein **reines Metall** ist ein Element des Periodensystems.

Eine **Legierung** ist eine Mischung verschiedener Elemente (mindestens ein Metall).  
Die Legierung hat metallische Eigenschaften.

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Metallische Eigenschaften

- Optisch: Metallischer Glanz
- Mechanisch: Plastische Verformbarkeit
- Elektrisch: gute elektrische Eigenschaften  
(Temperatur  $\downarrow \rightarrow$  Leitfähigkeit  $\uparrow$ )
- Thermisch: Gute Wärmeleitfähigkeit



Quelle: LMW – H.W. Bergmann

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Metallische Eigenschaften

Stoff	Spezifischer Widerstand $\rho$ bei RT ( $\Omega \cdot m$ )	
Bernstein	$1 \cdot 10^{18}$	} <b>Isolatoren</b>
Quarzglas	$5 \cdot 10^{16}$	
Paraffin	$3 \cdot 10^{16}$	
Hartgummi	$1 \cdot 10^{16}$	
Polyvinylchlorid (Vinidur)	$10^{13} - 10^{14}$	
Polymetacrylatharz (Plexiglas)	$10^{13}$	
Glas	$5 \cdot 10^{11}$	
Phenolharz (Pertinax)	$10^8 - 10^{11}$	
Keramische Werkstoffe	$10^7 - 10^{12}$	
Schiefer	$1 \cdot 10^6$	
Silizium	$2,3 \cdot 10^{-2}$	<b>Halbleiter</b>
NiCr20	$1,5 \cdot 10^{-6}$	<b>Legierungen</b>
Blei	$22 \cdot 10^{-8}$	} <b>Leiter (Metalle)</b>
Eisen	$10 \cdot 10^{-8}$	
Kupfer	$1,8 \cdot 10^{-8}$	
Silber (höchste elektr. Leitfähigkeit aller Metalle)	$1,6 \cdot 10^{-8}$	
Blei ( $T < 7,22$ K; supraleitend)	$< 10^{-26}$	<b>Supraleiter</b>

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Bindung zwischen Atomen

### Kovalente Bindung

Die Atome bilden zur Auffüllung ihrer äußersten Schale aus ihren Valenzelektronen gemeinsame Elektronenpaare, durch welche die positiven Atomrümpfe zusammengehalten werden.

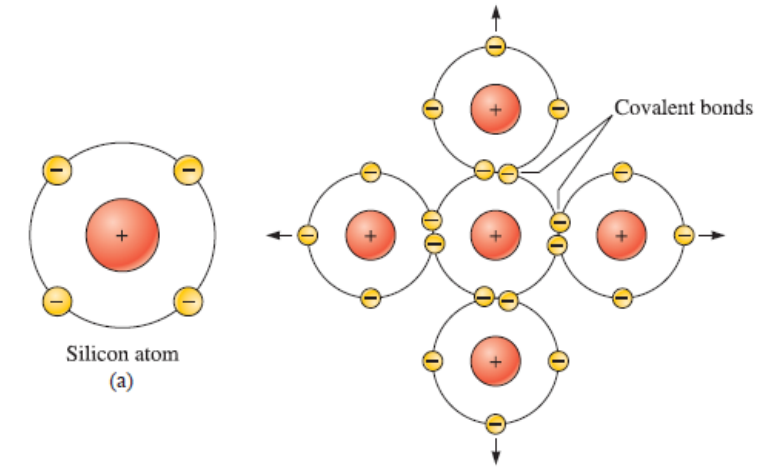
### Ionenbindung

Ein Atom gibt Valenzelektronen an ein anderes Atom ab. Dadurch wird das abgebende Atom positiv, das aufnehmende Atom negativ geladen.

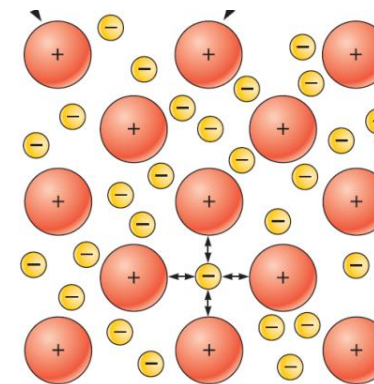
### Metallische Bindung

Die Atome werden von einer gleichmäßig verteilten, frei beweglichen Elektronenwolke (Elektronengas) aus Valenzelektronen umgeben, welche die positiven Metallionen zusammenhält.

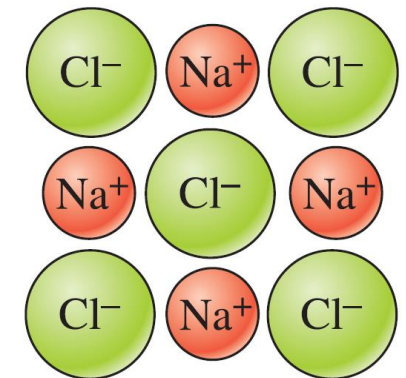
*Kovalente Bindung (z.B. Kunststoffe, Glas, Keramik)*



*Metallische Bindung (z.B. Fe, Al, Cu)*



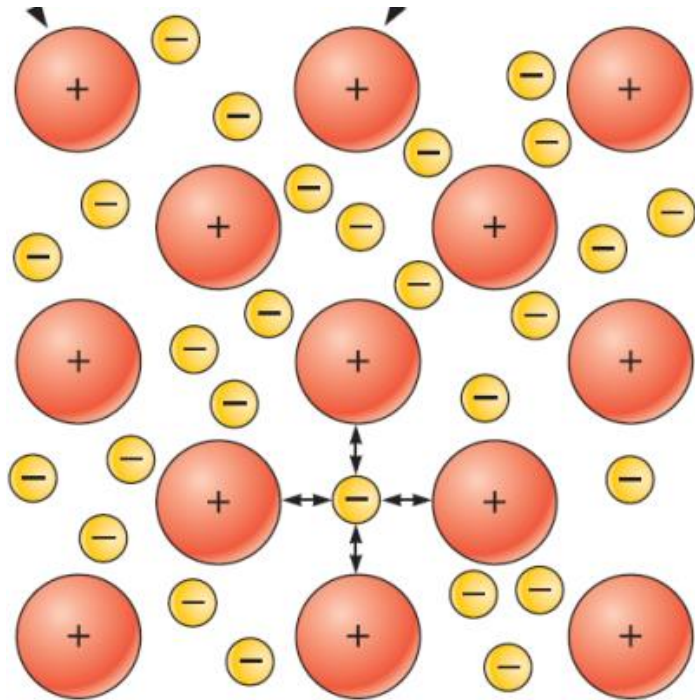
*Ionenbindung (z.B. NaCl)*



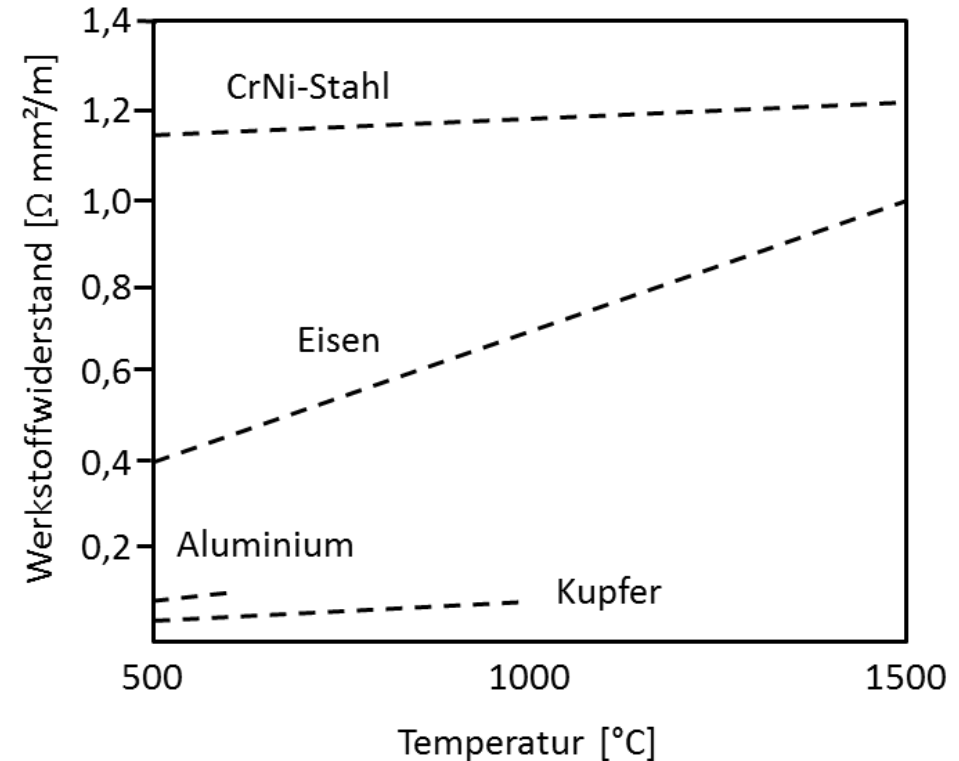


# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Besonderheit der metallischen Bindung



Metallische Bindung (z.B. Fe, Al, Cu)



Mit steigender Temperatur nimmt die elektrische Leitfähigkeit metallischer Werkstoffe ab.

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Kräfte zwischen den Atomen

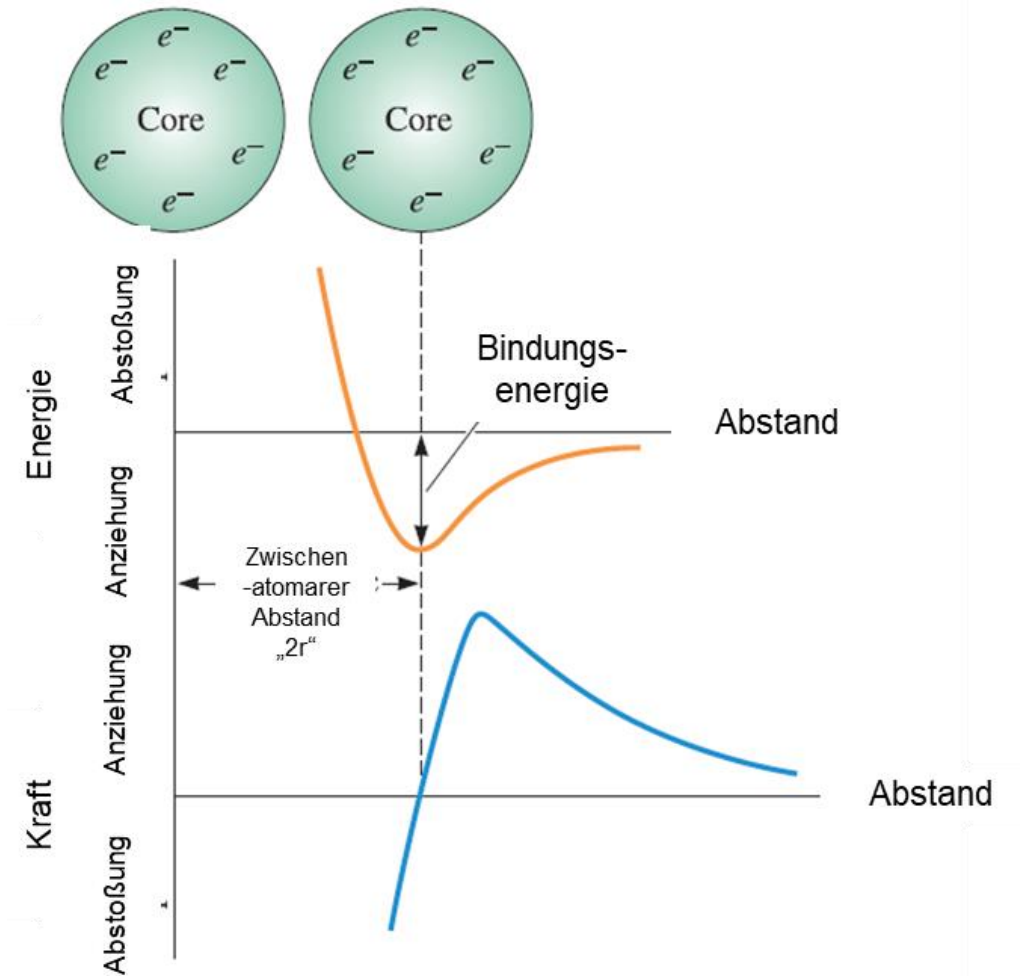
Um die Atome auf ihren vorgeschriebenen Abständen zu halten, sind sowohl anziehende als auch abstoßende Kräfte notwendig.

Als abstoßende Kraft wirkt die Coulomb'sche Kraft zwischen den Elektronenhüllen, die der Bindungskraft entgegenwirkt.

Der zwischenatomare Abstand ist der Gleichgewichtsabstand, bei dem sich abstoßende und anziehende Kräfte gegenseitig aufheben. Das Energieminimum entspricht der Bindungsenergie.

*Bindungsenergie [kJ/mol] der vier Bindungsarten*

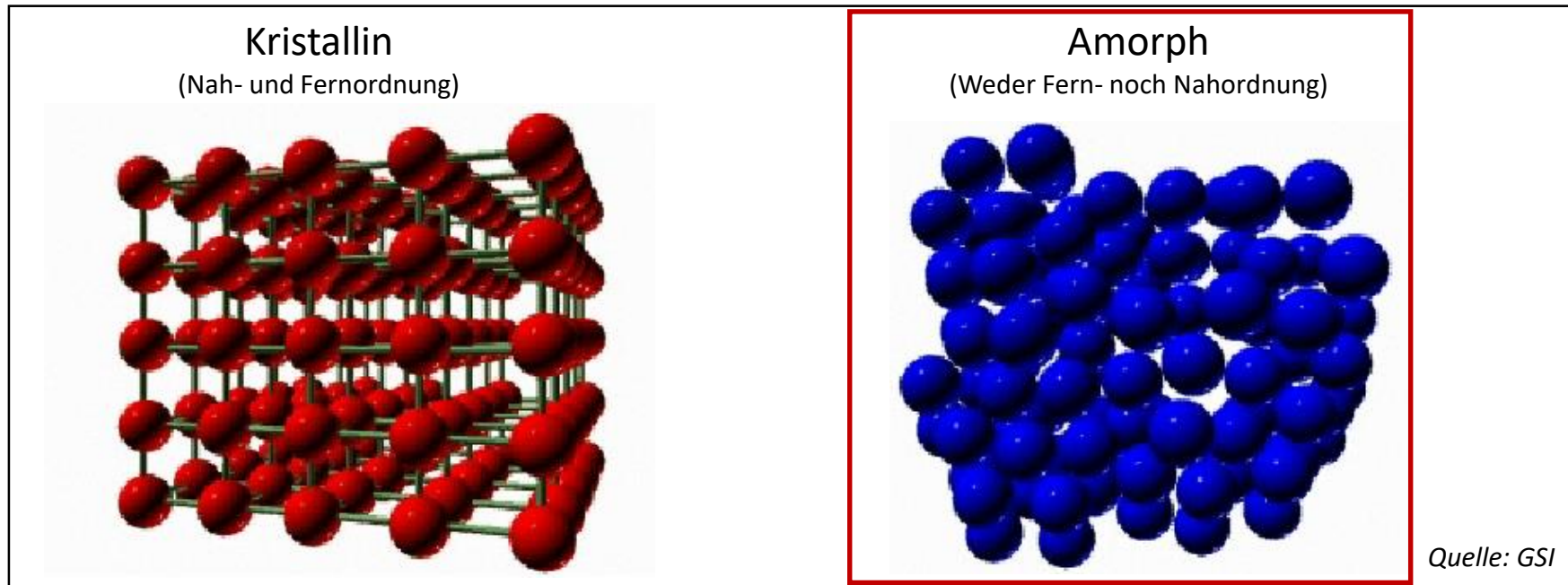
Ionisch	600 – 1500
Kovalent	500 – 1250
Metallisch	100 – 800
Van der Waals	< 50



# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Anordnung der Atome im festen Körper

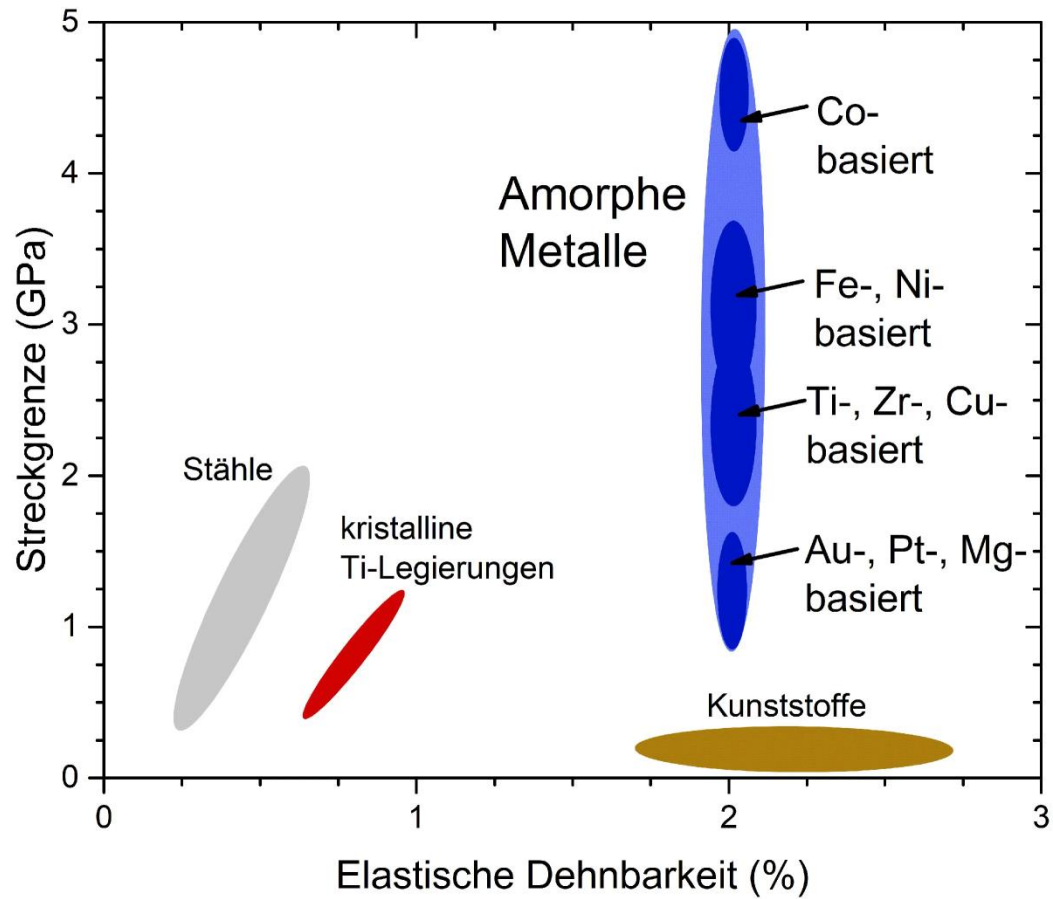
- Kristallin aufgebaut sind Metalle und deren Legierungen.
- Amorph aufgebaut sind insbesondere Gläser, viele Kunststoffe und Gummisorten.
- Auch Metalle können bei hohen Abkühlgeschwindigkeiten aus der Schmelze amorph erstarren.
- Notwendige Abkühlgeschwindigkeiten: Metallisches Glas  $\sim 10^6$  K/s, Silikatglas  $\sim 0,1$  K/s.





# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Eigenschaften amorpher metallischer Werkstoffe

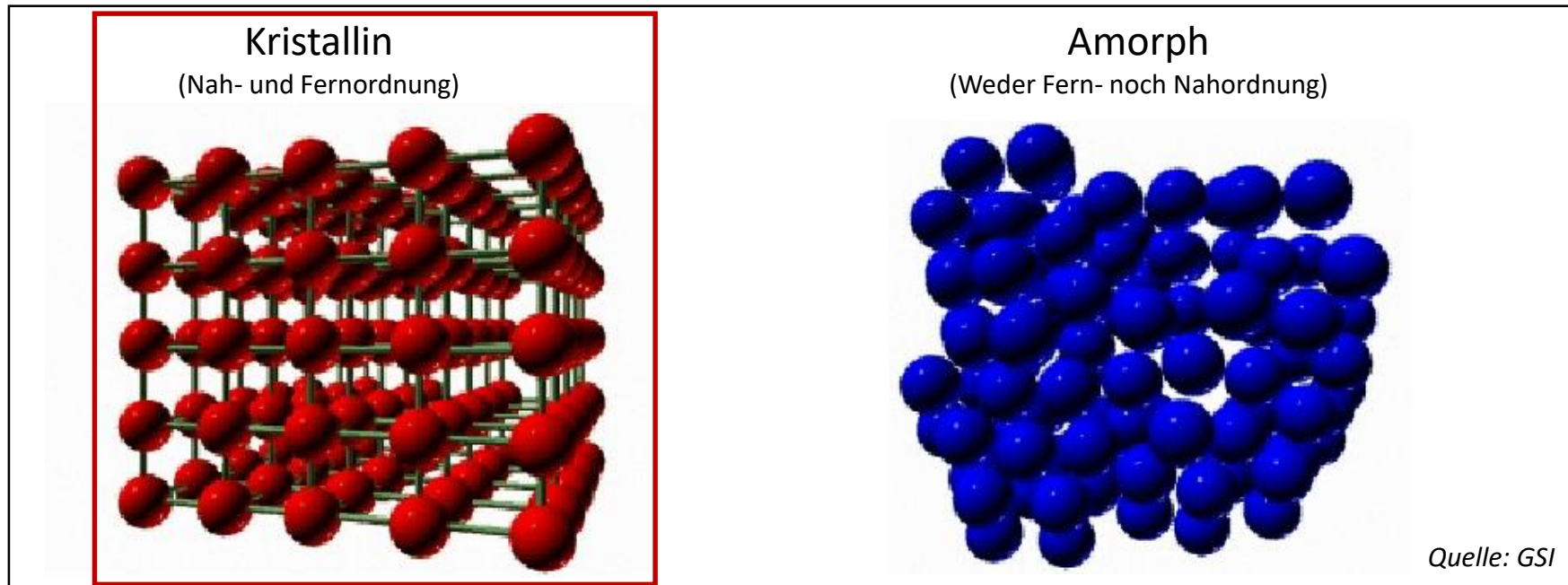


Quelle: Heraeus

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Anordnung der Atome im festen Körper

- Kristallin aufgebaut sind Metalle und deren Legierungen.
- Amorph aufgebaut sind insbesondere Gläser, viele Kunststoffe und Gummisorten.
- Auch Metalle können bei hohen Abkühlgeschwindigkeiten aus der Schmelze amorph erstarren.
- Notwendige Abkühlgeschwindigkeiten: Metallisches Glas  $\sim 10^6$  K/s, Silikatglas  $\sim 0,1$  K/s.

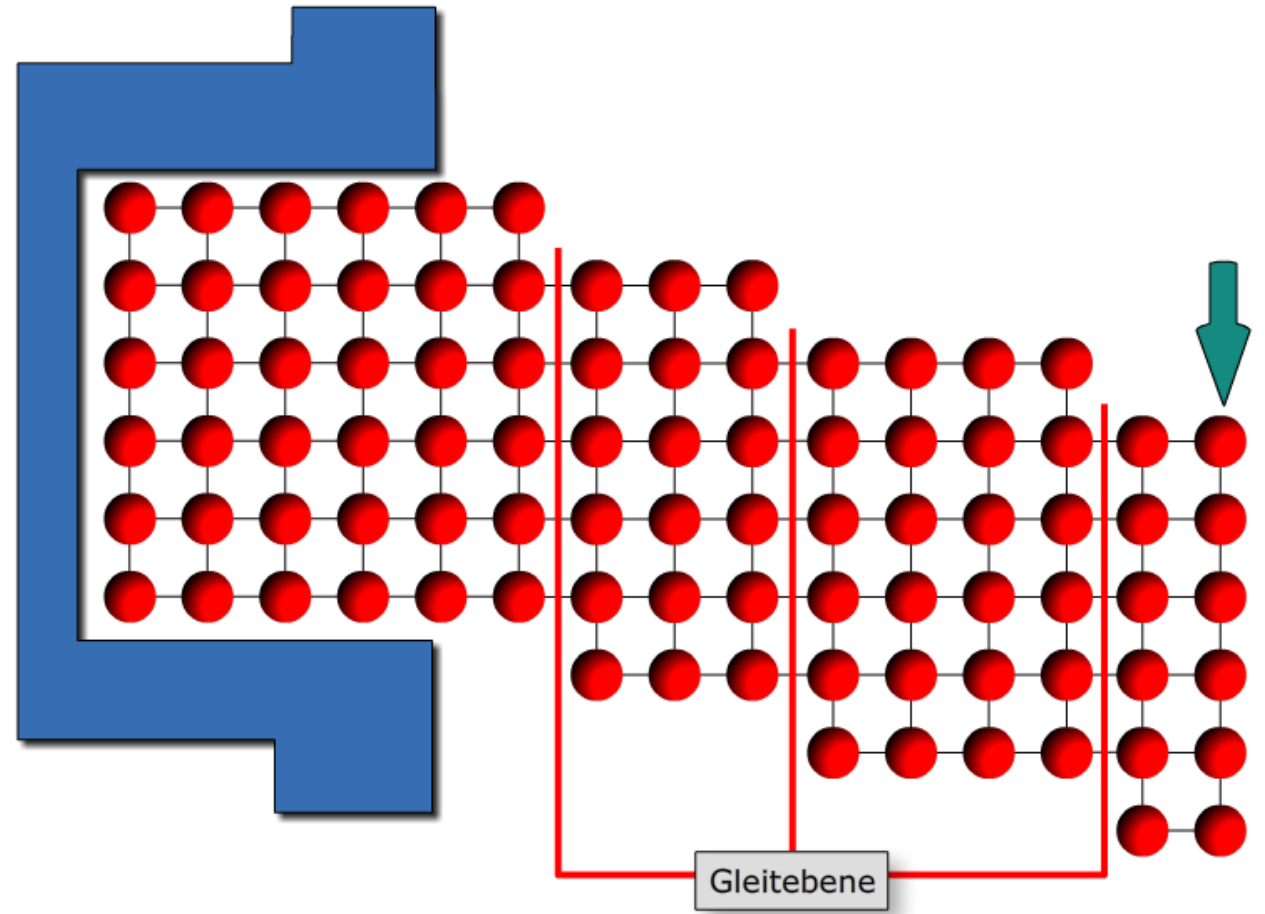


# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Eigenschaften kristalliner metallischer Werkstoffe

- Wird die kritische Spannung (z.B. Streckgrenze) nicht erreicht, wird die elastische Rückstellkraft nicht überwunden. Die Atome kehren bei Entlastung in ihre Gleichgewichtslage zurück (**elastische Umformung**).
- Unter der Wirkung ausreichend hoher Schubspannung (z.B. oberhalb der Streckgrenze) können sich einzelne Kristallbereiche als Gleitpaket um viele Atomlagen verschieben (**plastische Umformung**).
- Die Orientierung und Anzahl der Gleitebenen ist abhängig von der Kristallstruktur.

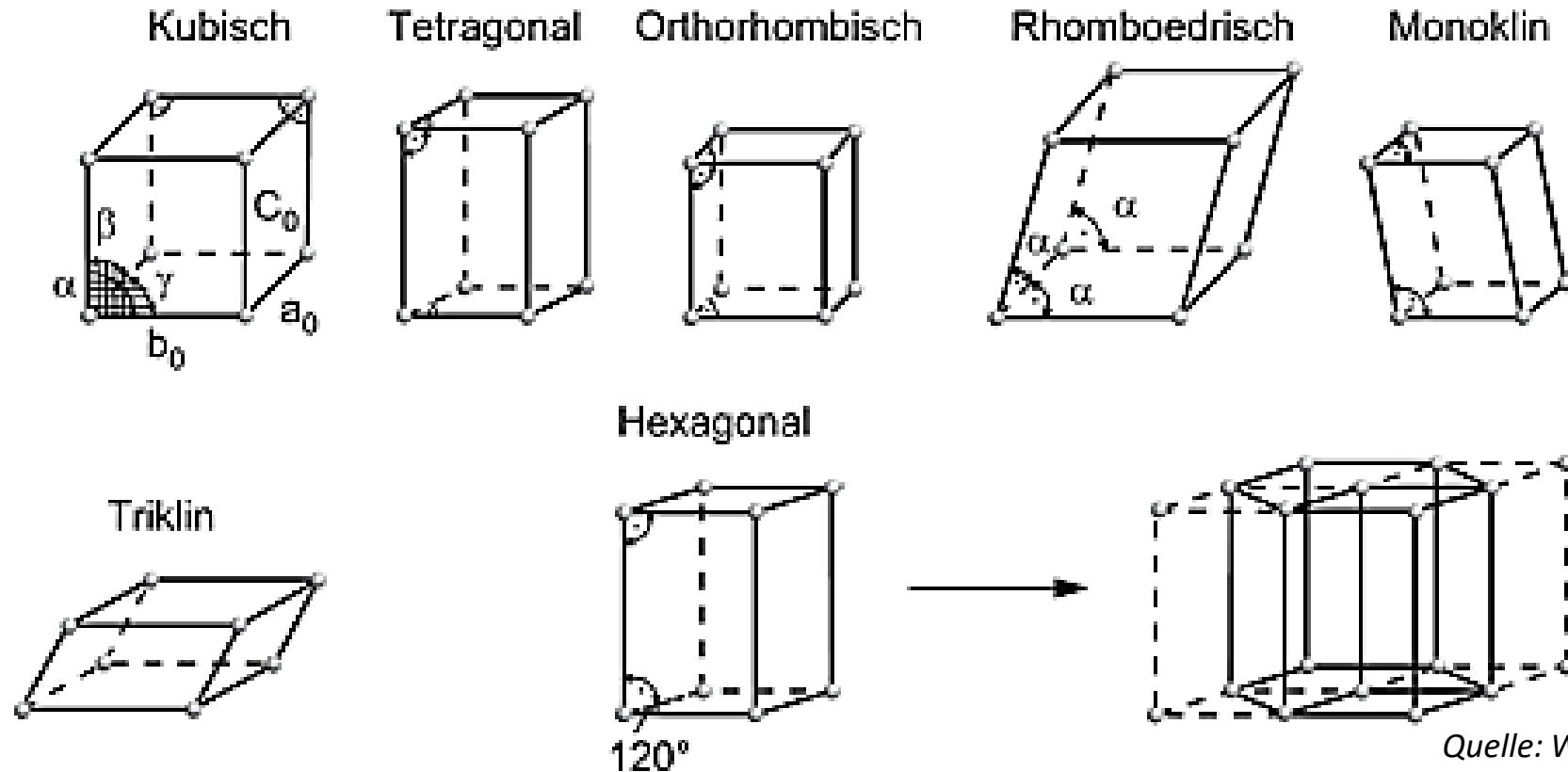
Die plastische Umformung basiert auf der Verschiebung von Gleitebenen im **Kristall**.



Quelle: GSI

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Kristalliner Aufbau metallischer Werkstoffe



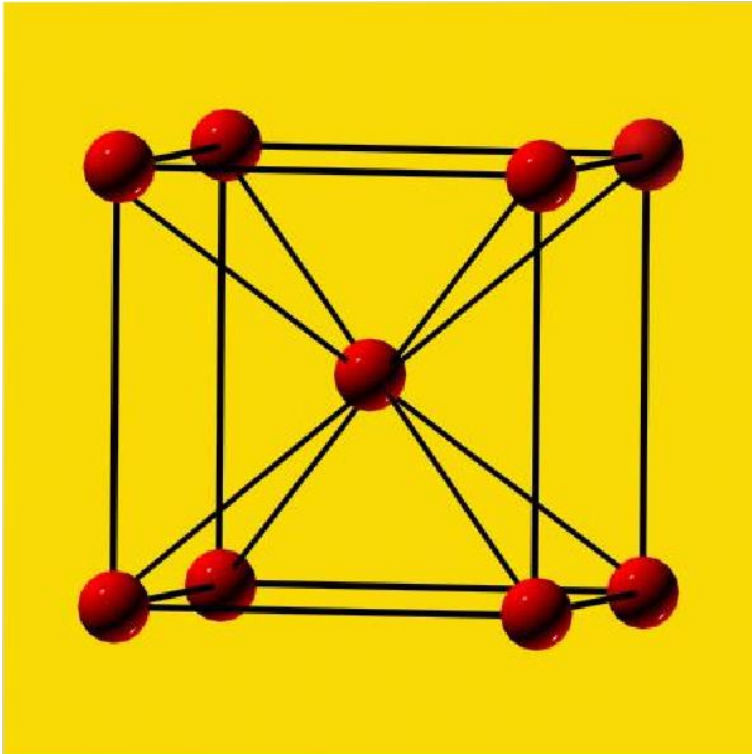
Quelle: Werkstoffkunde für Ingenieure

Insgesamt gibt es 7 Kristallsysteme, die sich nach den drei Gitterkonstanten und Winkeln zwischen den Achsen unterscheiden lassen.

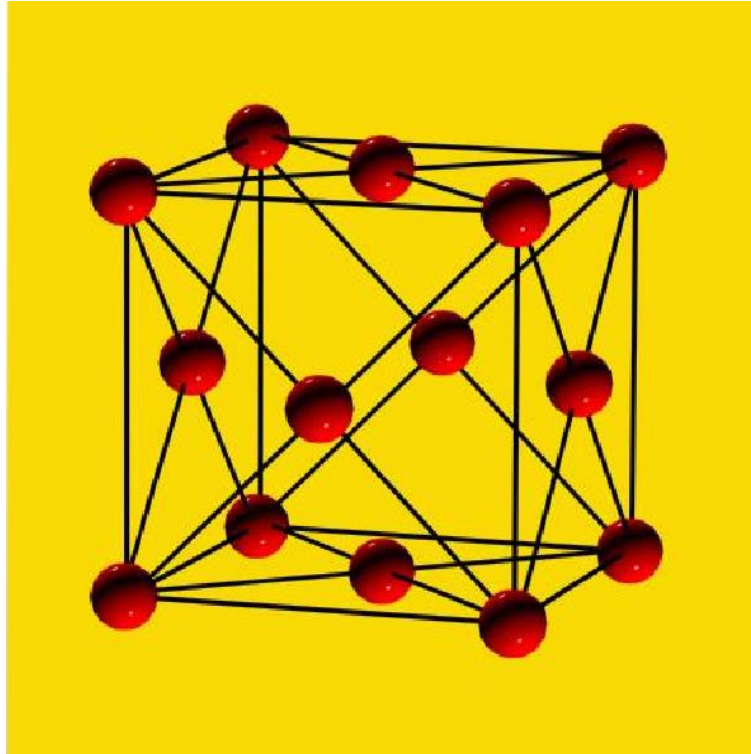
# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

Wesentliche Kristallsysteme metallischer Werkstoffe (Schwerpunktmodell)

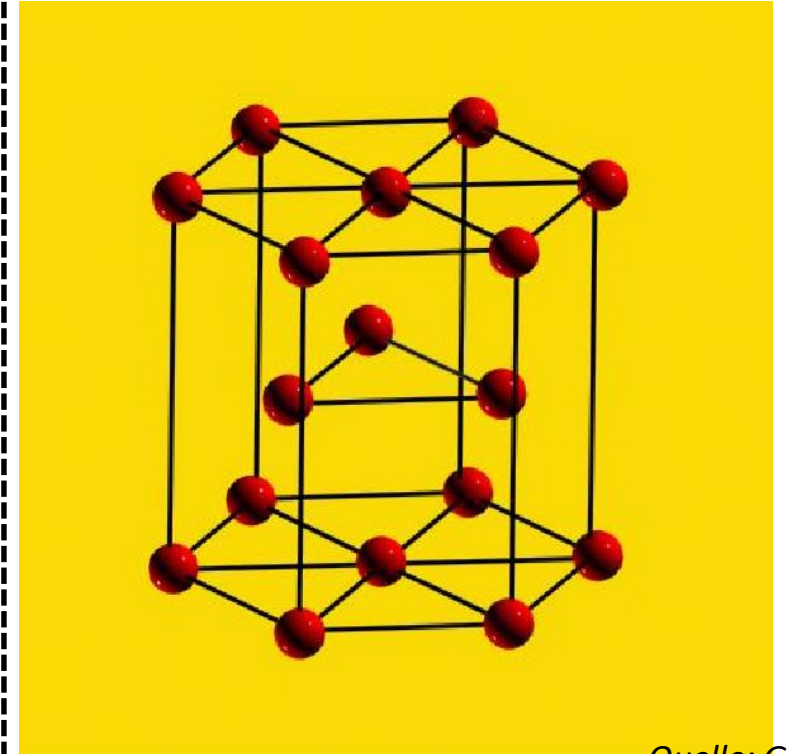
Kubisch-raumzentriert (**krz**)



Kubisch-flächenzentriert (**kfz**)



Hexagonal dichtest gepackt (**hdp**)



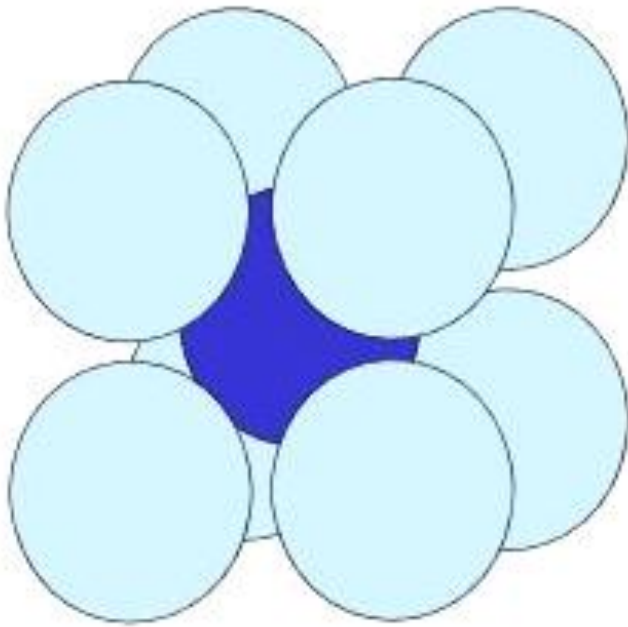
Quelle: GSI



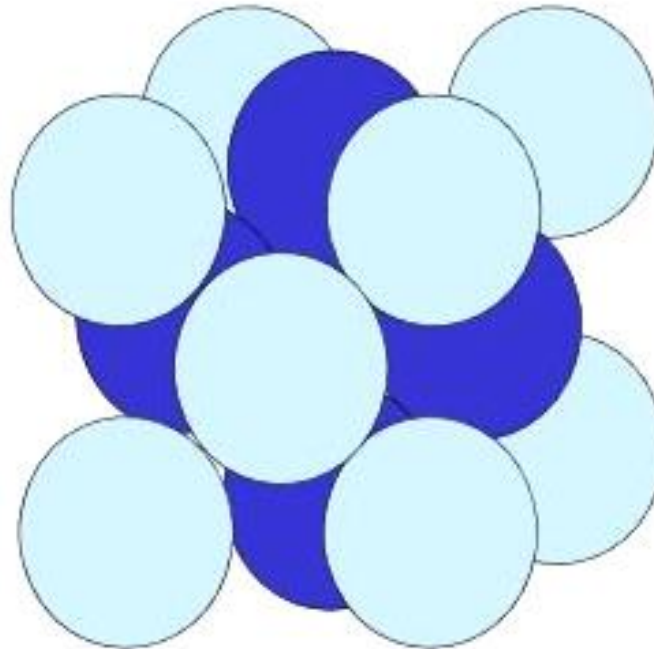
# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

Wesentliche Kristallsysteme metallischer Werkstoffe (Kugelmodell)

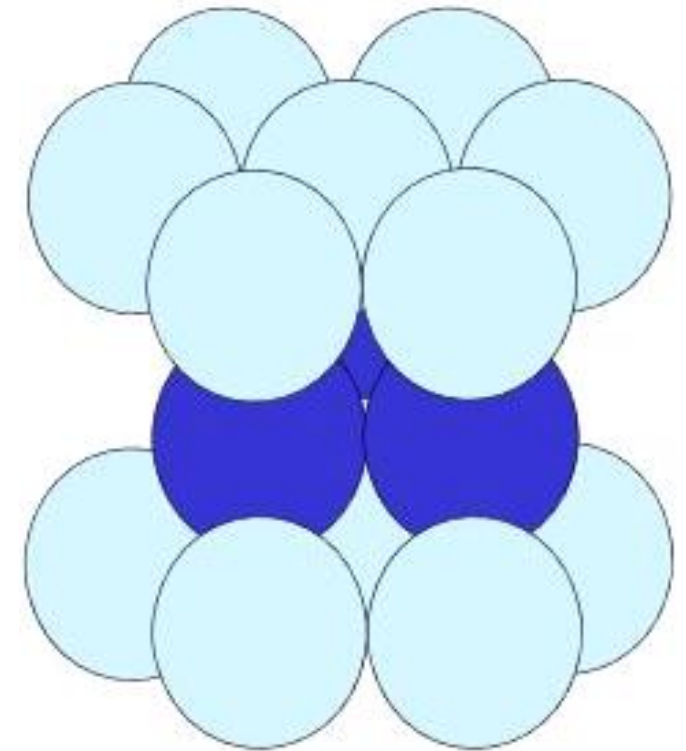
Kubisch-raumzentriert (**krz**)  
(z.B.  $\alpha$ -Fe, Cr, V, Mo, W, Ta,  $\beta$ -Ti)



Kubisch-flächenzentriert (**kfz**)  
(z.B.  $\gamma$ -Fe, Ni, Cu, Ag, Al,  $\beta$ -Co)



Hexagonal dichtest gepackt (**hdp**)  
(z.B.  $\alpha$ -Ti, Mg, Zn,  $\alpha$ -Co)

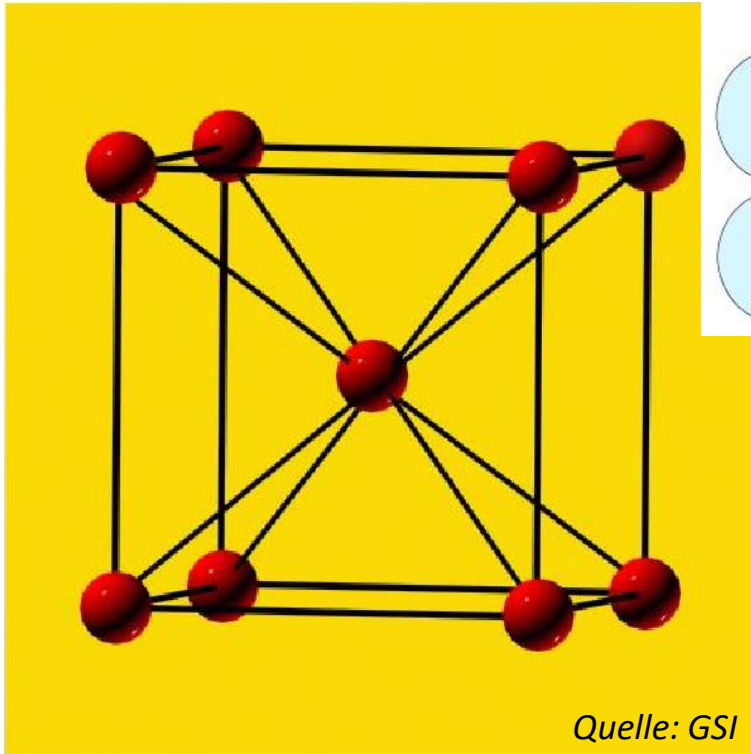


# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

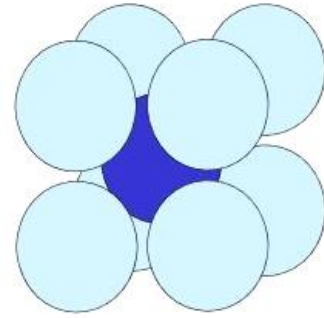
## Wesentliche Kristallsysteme metallischer Werkstoffe

### Das kubisch-raumzentrierte Kristallgitter (krz)

Die Atome ordnen sich so an, dass die Verbindungslinien von Atommittelpunkt zu Atommittelpunkt einen Würfel (Kubus) bilden. Zusätzlich befindet sich ein Atom in der Würfelmitte.



*Quelle: GSI*

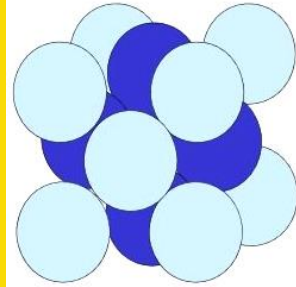
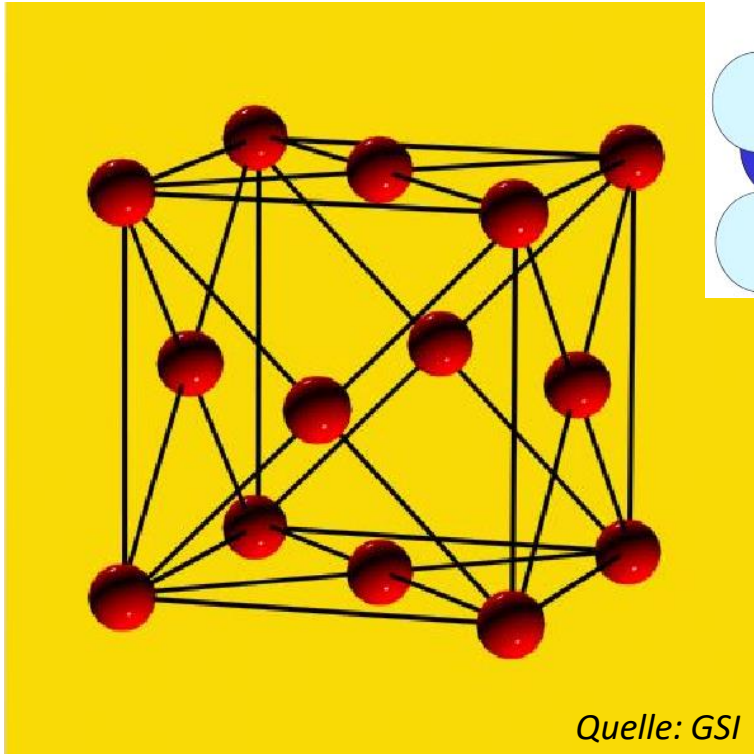


# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Wesentliche Kristallsysteme metallischer Werkstoffe

### Das kubisch-flächenzentrierte Kristallgitter (kfz)

Das kubisch-flächenzentrierte (kfz) Kristallgitter hat ebenfalls einen Würfel als Grundkörper und zusätzlich je ein Atom in der Mitte der Seitenflächen. Es befindet sich kein Atom in der Würfelmitte.

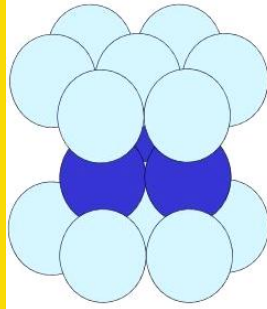
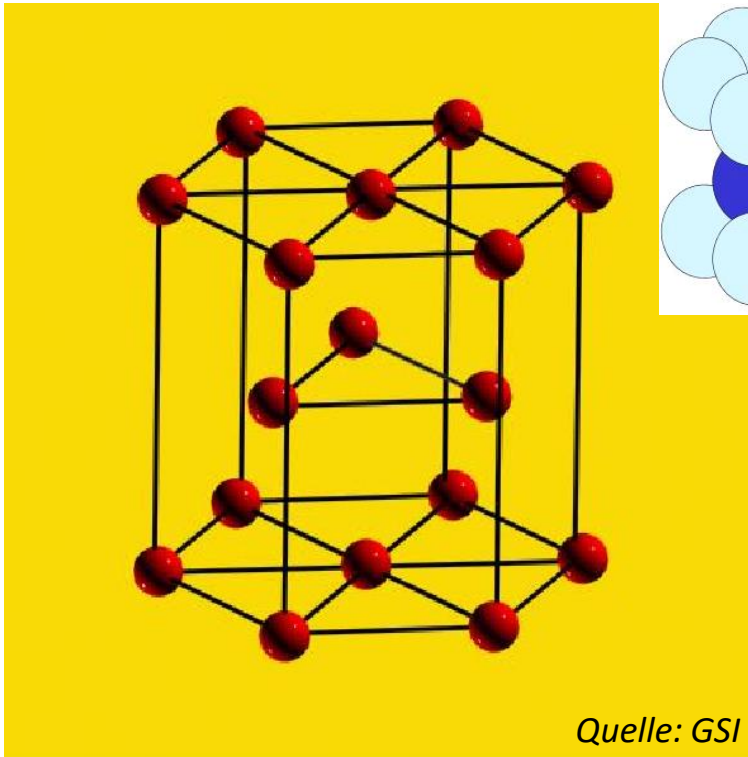


# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Wesentliche Kristallsysteme metallischer Werkstoffe

### Das hexagonal dichtest gepackte Kristallgitter (hdp)

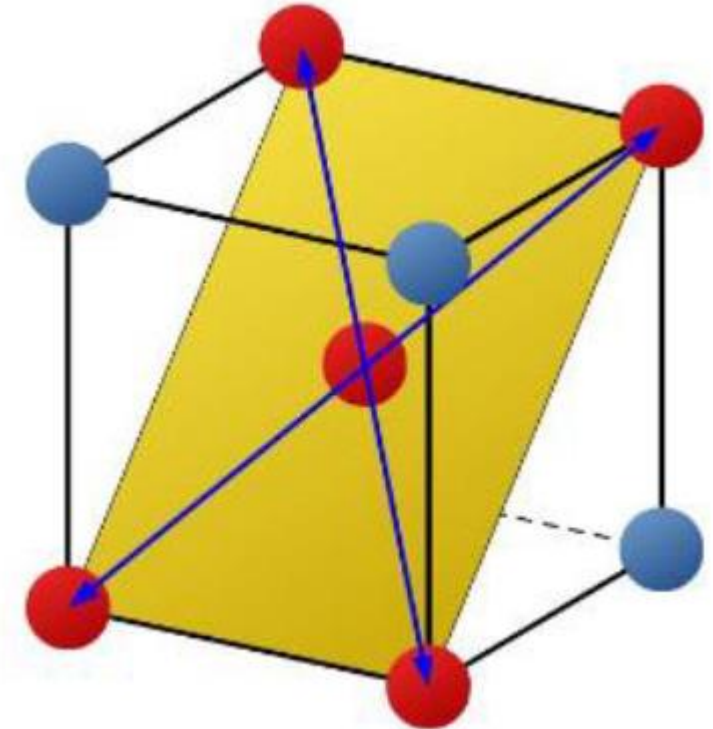
Die Atome bilden ein sechseckiges Prisma mit je einem Atom in der Mitte der Grundflächen sowie drei Atomen innerhalb des Prismas.



# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

## Die Bedeutung der Gleitsysteme im Kristallgitter

- Für eine gute plastische Verformbarkeit muss ein Metall viele unterschiedliche Gleitebenen und eine hohe Anzahl an Gleitrichtungen aufweisen.
- Bevorzugt dienen in einer Gitterstruktur jene Gitterebenen als Gleitebenen, die
  - einen möglichst großen Abstand zueinander haben.
  - Möglichst dicht gepackt sind, d.h. möglichst viele Atome beinhalten.
- Die Kombination aus Gleitebenenanzahl und Gleitrichtungsanzahl entscheidet über die Gleitmöglichkeiten und somit über die Verformbarkeit eines metallischen Werkstoffs.



*Mögliche Gleitrichtungen einer  
Gleitebene im krz-Gitter*

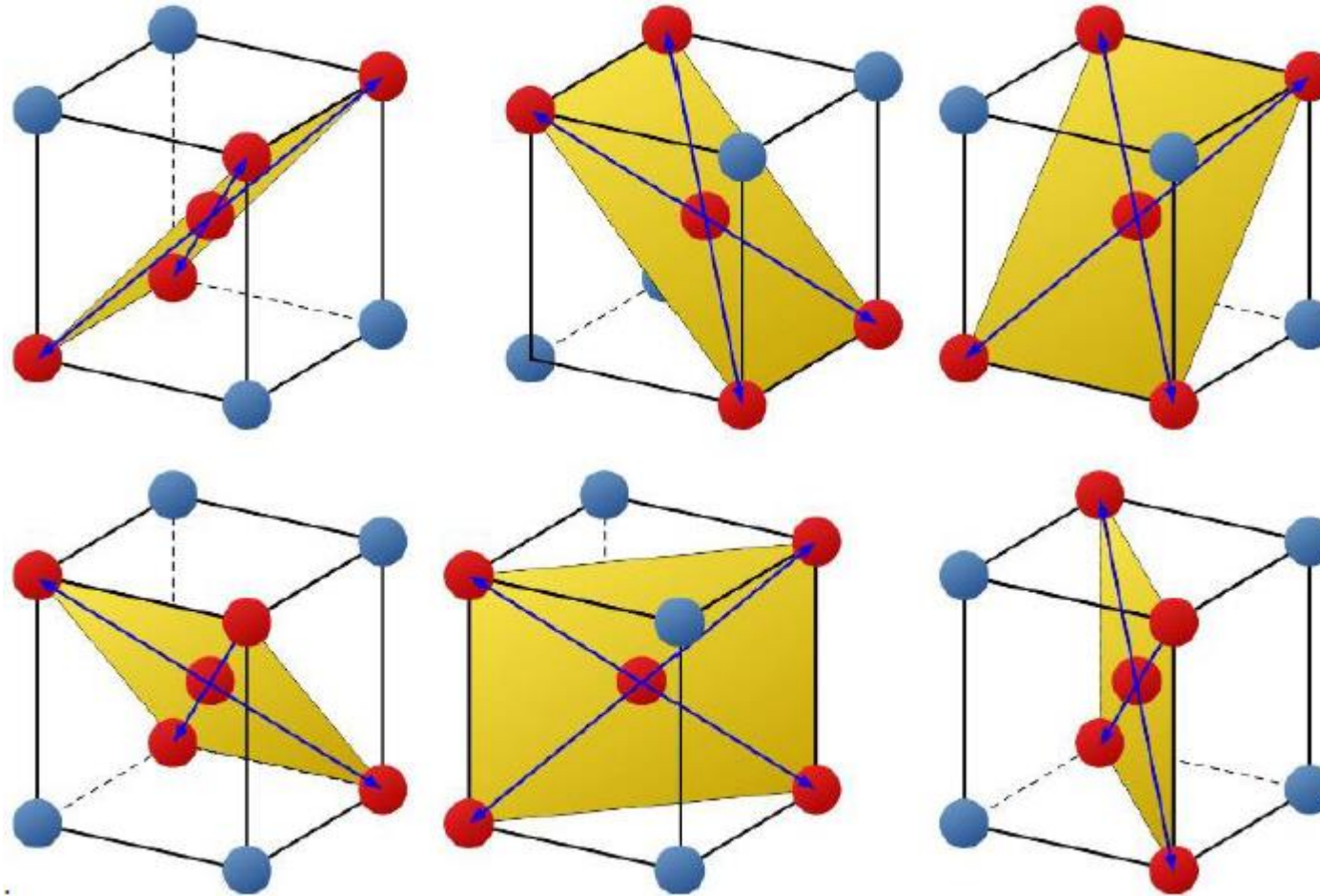
$$\text{Anzahl Gleitsysteme} = \text{Anzahl Gleitebenen} \cdot \text{Anzahl Gleitrichtungen}$$

Quelle: tec-science



# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

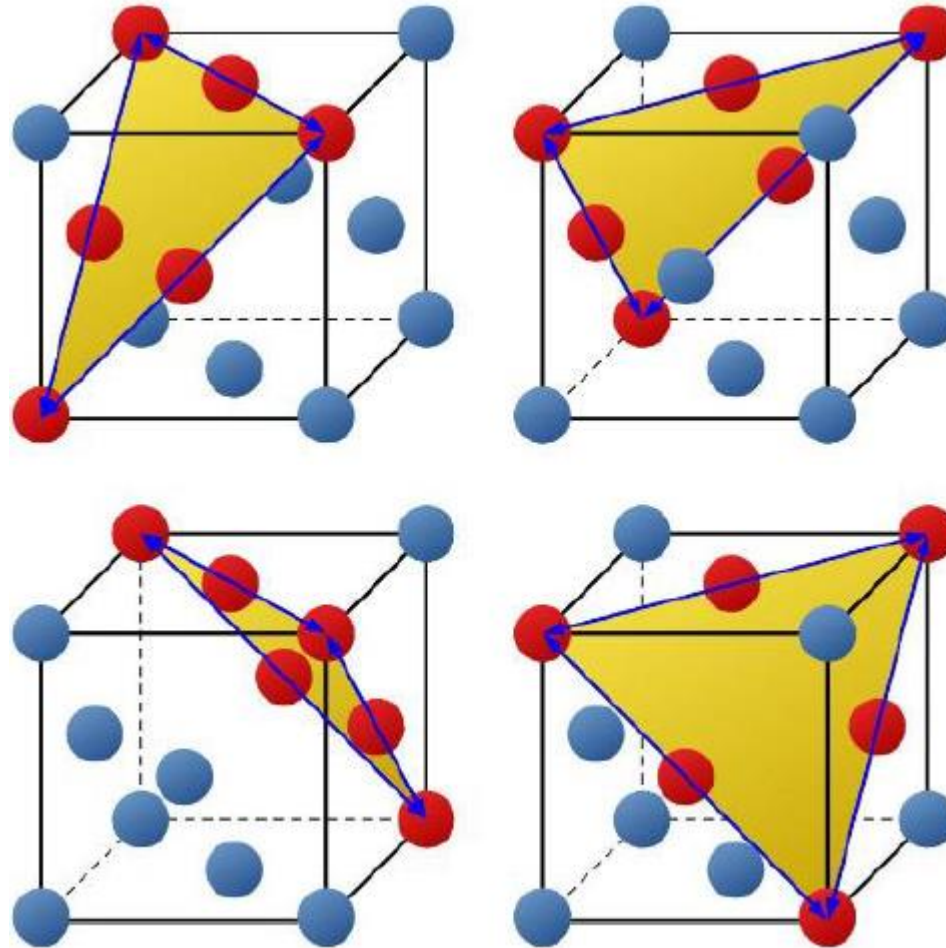
Gleitsysteme im kubisch-raumzentrierten Kristallgitter (krz)



Quelle: tec-science

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

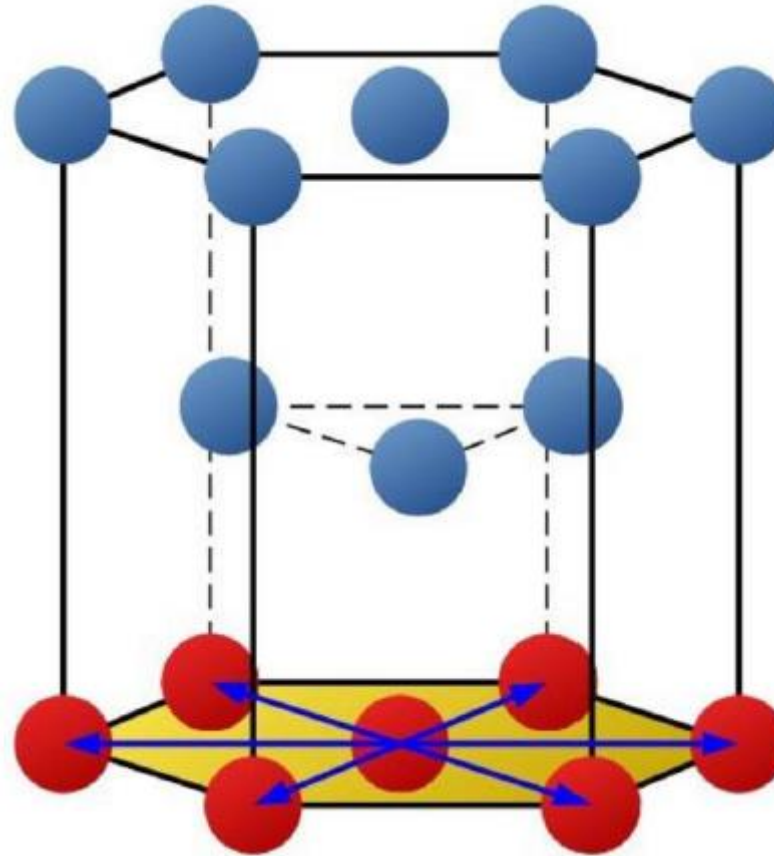
Gleitsysteme im kubisch-flächenzentrierten Kristallgitter (kfz)



Quelle: tec-science

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

Gleitsysteme im hexagonal-dichtest gepackten Kristallgitter (hdp)



*Quelle: tec-science*

# Aufbau metallischer Werkstoffe – Teil 1

Zusammenfassende Bewertung der Kristallsysteme

	<b>kfz</b>	<b>krz</b>	<b>hdp</b>
<b>Anzahl der Gleitebenen</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
<b>Anzahl der Gleitrichtungen</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Gleitsystemanzahl</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>3</b>
<b>Verformbarkeit</b>	<b>Sehr gut</b>	<b>Gut</b>	<b>Gering (bzw. spröde)</b>
<b>Packungsdichte</b>	<b>74% (dichtest gepackt)</b>	<b>68% (locker gepackt)</b>	<b>74% (dichtest gepackt)</b>