



# CHEMISCHE BINDUNGEN METALLBINDUNGEN

## Wichtig:

*Das gesamte Skript darf nur von Teilnehmern dieser Vorlesung als Lehrmaterial verwendet werden. Es darf nicht (auch nicht in Teilen) veröffentlicht, vervielfältigt oder an andere Personen (weder als Ausdruck noch elektronisch) weitergegeben werden.*

# Metalle im PSE

The image shows a standard periodic table of elements. A legend box at the top left contains three categories: 'Metall' (Metals) represented by a dark blue square, 'Übergangsmetall' (Transition metal) represented by a teal square, and 'Nichtmetall' (Non-metal) represented by a light blue square. The table is labeled with 'Periode' (Period) on the left and 'Gruppe' (Group) at the top. The elements are color-coded according to the legend: Metals are dark blue, Transition metals are teal, and Non-metals are light blue. The Lanthanide and Actinide series are shown separately at the bottom, with arrows pointing to their positions in the main table.

■ **Abb. 1.41** Tendenzen des Metallcharakters im PSE und PSE mit Angabe des Metallcharakters

# Metalle & Metallbindungen



Nur sehr wenige Metalle findet man als Elemente in der Natur (z.B. Gold Au).  
Die meisten kommen in Form von Verbindungen vor (Erze) und müssen in einem metallurgischen Prozess aus diesen gewonnen werden (Redox-Reaktionen).



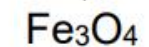
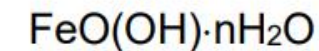
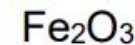
Goldnugget



Bauxit  
(Aluminiumerz)

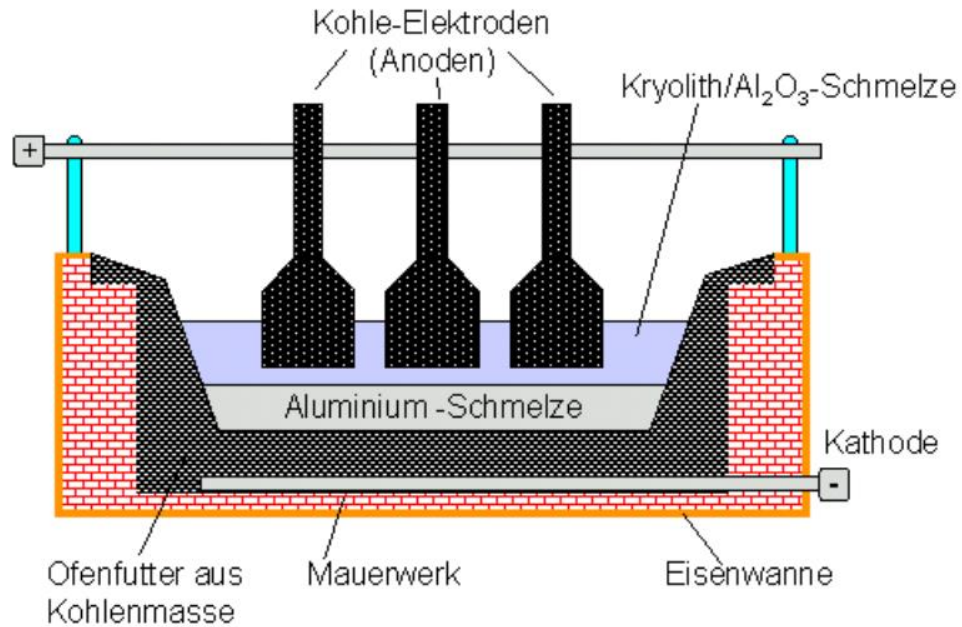


Eisenerze:



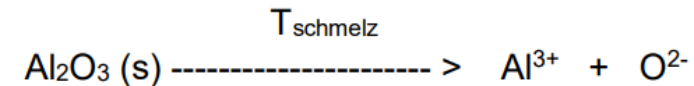
# Gewinnung von Metallen

## Schmelzflusselektrolyse z.B. zur Gewinnung von Aluminium



**Schmelze:** Aluminiumoxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / Kryolith.  
Kryolith ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) dient nur dazu den Schmelzpunkt (Smp.) von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  herabzusetzen.  
Smp. ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) =  $2050^\circ\text{C}$ ; Smp. ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_3\text{AlF}_6$ -Gemisch) =  $950^\circ\text{C}$

In der Schmelze befinden sich  $\text{Al}^{3+}$  Kationen und  $\text{O}^{2-}$  (Oxid) Anionen:



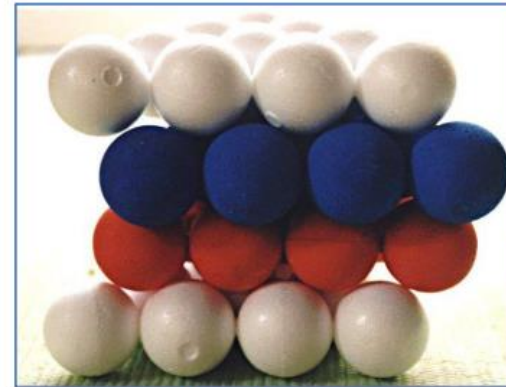
# Metalle – Struktur & Eigenschaften

**Struktur: Metallkristall** – Metalle bilden dichte Kugelpackungen aus dicht gepackten Kugelebenen

In den Lücken können sich kleine Nichtmetallatome einlagern (z.B. H, C, N) und die Härte erhöhen



Kugelebene



Kugelpackung

# Gitterstrukturen der Metalle

## Hexagonal dichteste Packung

- Schichtenfolge: ABAB...
- Packungsdichte: 74%
- Eigenschaften: schlecht formbar, gut gießbar
- Beispiele: Mg, Ti, Zr, Co, Zn

## Kubisch dichteste Packung

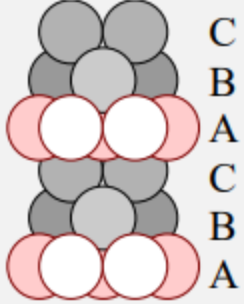
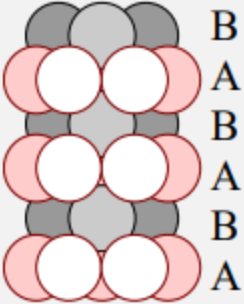
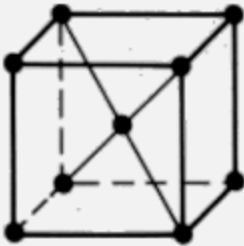
- Schichtenfolge: ABCABC...
- Packungsdichte: 74%
- Eigenschaften: relativ weich, leicht plastisch verformbar (walzen, ziehen, pressen, schmieden)
- Beispiele: Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Pt, Al

## Kubisch raumzentriert

- Packungsdichte: 68%
- Eigenschaften: schlecht formbar, sehr hart, spröde
- Beispiele: 5. u. 6. Nebengruppe (V, Nb, Ta, Cr, Mo, W) und auch Alkalimetalle (Unterschiede in Eigenschaften (sehr weich) durch geringe Anzahl der Außenelektronen)

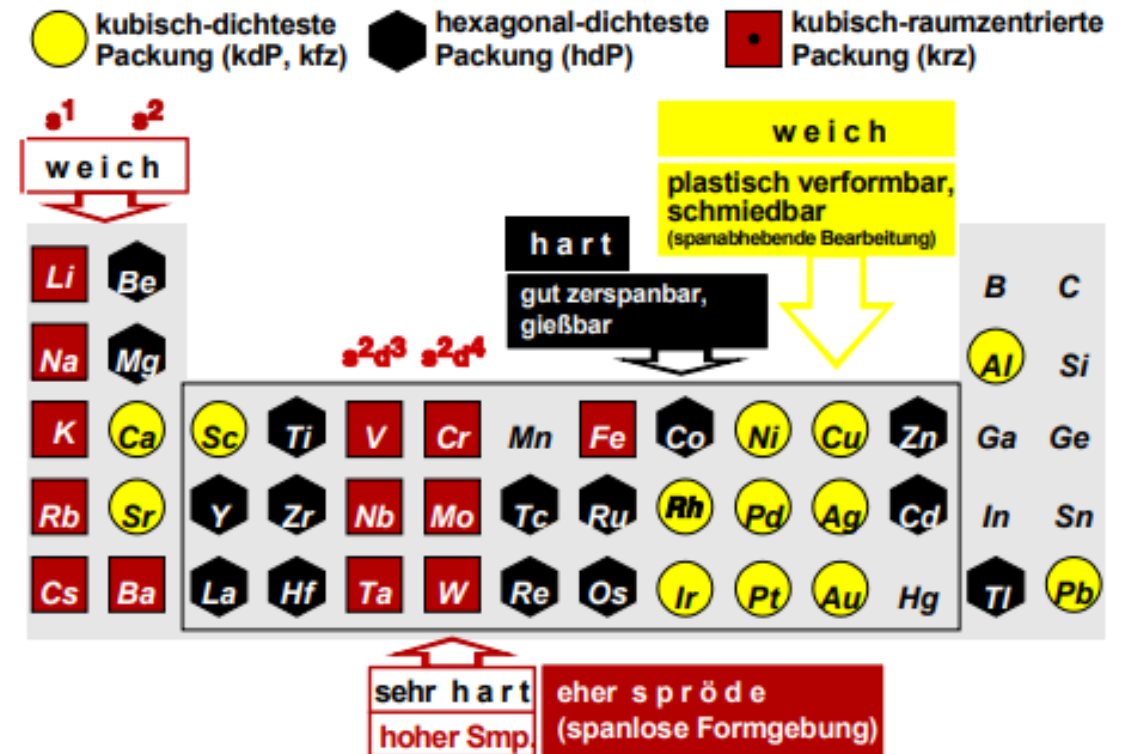


# Metallgitter

▼ Metallgitter		
Kubisch dichteste Packung (kdP) = flächenzentriert (kfz)	Hexagonal dichteste Packung (hdP)	Kubisch raumzentriert (krz) innenzentriert
Kupfer- oder Goldstruktur	Magnesiumstruktur	Wolframstruktur
 <p>Schichtfolge: <b>A B C ...</b>  C in Oktaeder-, B in Tetraederlücken  Koordinationszahl: <b>12</b></p> <p>Packungsdichte:  <math>P = Z \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 / a^3 = 74 \%</math></p> <p><math>Z = 4</math> Atome pro Elementarzelle  <math>a = 0,365 \text{ nm}</math> Gitterkonstante (<math>\gamma</math>-Fe)  <math>r = \text{Atomradius}</math></p>	 <p>Schichtfolge: <b>A B...</b>  B in Tetraederlücken  KZ <b>12</b></p> <p>Packungsdichte: <b>74 %</b></p> <p><math>Z = 4</math> Atome pro Elementarzelle  <math>a = 0,163 \text{ nm}</math> Gitterkonstante (Mg)</p>	 <p>innenzentriertes Würfelgitter,  vorzugsweise für große Atome.  KZ <b>8</b></p> <p>Packungsdichte: <b>68 %</b></p> <p><math>Z = 2</math> Atome pro Elementarzelle  <math>a = 0,287 \text{ nm}</math> Gitterkonstante (<math>\alpha</math>-Fe)  <math>r = \sqrt{3}a / 4 = 0,124 \text{ nm}</math> Atomradius</p>

# Besonderheiten und Trends

- Härteste Metallgitter:  
Wolfram, Molybdän und Chrom (6-wertig)
- Diamant besitzt das stabilste Kristallgitter
- Osmium besitzt höchste Dichte aller Elemente
- Links im Periodensystem stehen leicht ionisierbare, niedrigschmelzende Elemente.
- Einwertigen Alkalimetalle sind besonders weich und reaktionsfreudig
- Härte und Schmelzpunkte nehmen in den Hauptgruppen von oben nach unten ab (siehe v.a. Kohlenstoffgruppe)
- Härte und Schmelzpunkte nehmen in den Perioden zu (z. B. Rb → Sr → In → Sn → Sb).

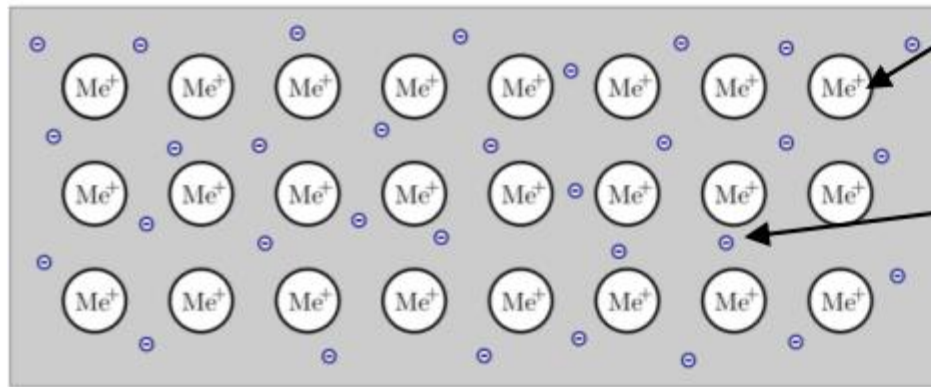




# Elektronengasmodell der Metallbindung

- Gute elektrische Leitfähigkeit
- Gute Wärmeleitfähigkeit
- Metallischer Glanz
- Plastische Verformbarkeit
- Reagieren bei chem. Reaktionen zu Kationen

## Elektronengasmodell:



Metallkationen auf den Gitterplätzen.

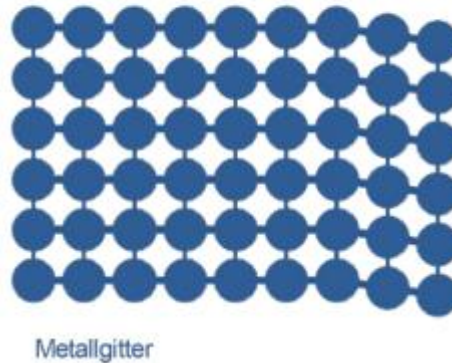
Abgegebene Valenzelektronen.  
Das Elektronen“gas“.

**Frage:** Wie verändert sich die elektrische Leitfähigkeit bei einer Erhöhung der Temperatur?

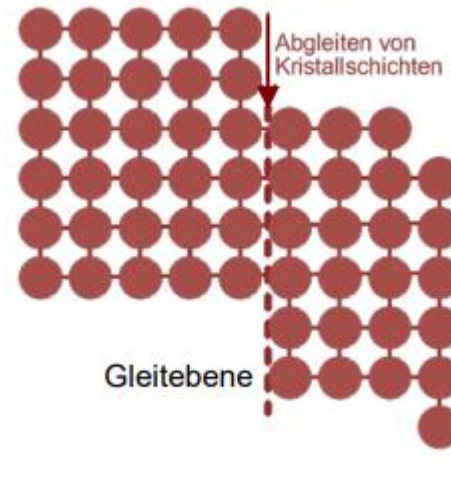
# Plastische Verformbarkeit (Duktilität) der Metalle

Bei der plastischen Verformung durch Hämmern oder Walzen werden Gitterebenen in einem Metallkristall gegeneinander verschoben.  
Dies geschieht, ohne dass der Gleitvorgang durch das Elektronengas behindert wird.

■ Elastische Verformung



■ Plastische Verformung

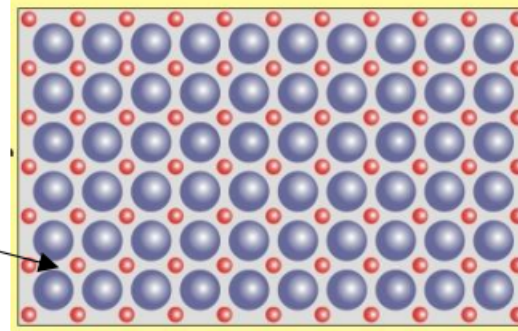


# Anwendungsbeispiel Wasserstoffspeicherung

## b) Metalleinlagerungshydride

- \* Manche Metalle und Legierungen (Palladium Pd, LaNi<sub>5</sub>) können in ihrem Inneren große Mengen an Wasserstoff speichern.  
-- > **Speichersysteme für Wasserstoffgas.**

- \* Die H<sub>2</sub>(g) Moleküle werden im Inneren des Metalls in H-Atome gespalten.  
Die H-Atome lagern sich dann in die Lücken zwischen den Metallatomen ein.



- \* Durch Erhitzen des Metalls kann der Wasserstoff aus dem Metall als H<sub>2</sub> entnommen werden:



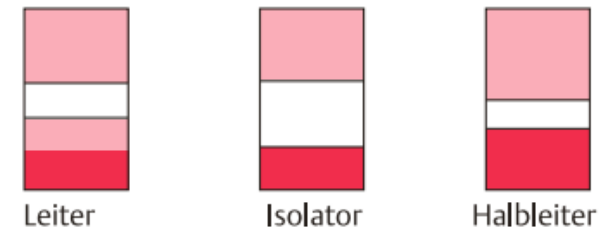
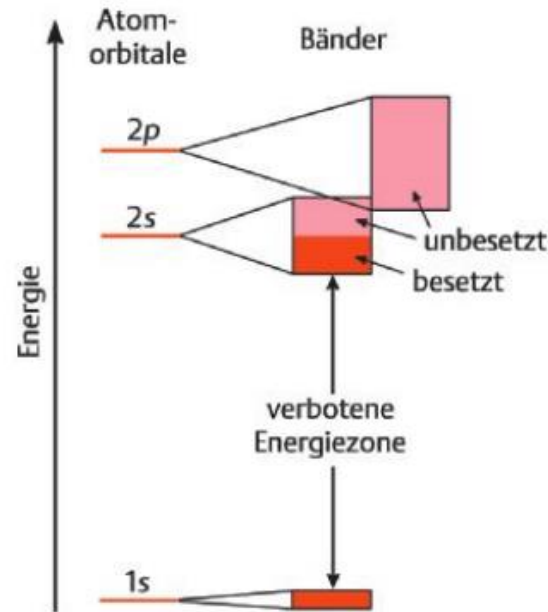
**Anmerkung:** Da Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ein extrem kleines Molekül ist, kann es durch Metalle sehr leicht hindurch diffundieren.

# Bändertheorie – Bindung in Metallen

**Frage:** warum ist Li elektrisch leitend,  
warum ist Be elektrisch leitend?

Li:  $1s^2 2s^1$

Be:  $1s^2 2s^2$



Leiter      Isolator      Halbleiter

unbesetztes Band (Leitungsband) oder unbesetzter Bereich in einem Band  
verbotene Zone  
besetztes Band oder besetzter Bereich in einem Band (Valenzband)

# Bindung in Metallen – Halbleiter

**Frage:** Wie lässt sich erklären, dass Silicium oder Germanium Halbleiter sind?

**Frage:** Was passiert bei einer Dotierung mit Bor, Aluminium oder Gallium (III. Hauptgruppe) bzw. mit Phosphor, Arsen oder Antimon (V. Hauptgruppe)?

# Verständnisfragen - Metallbindungen

1. Welche Eigenschaften haben Metalle?
2. Welche Reaktionen finden bei der Schmelzflusselektrolyse an der Kathode statt?
3. Welche Metallgitter gibt es, welche Eigenschaften sind damit verbunden?
4. Wie verändert sich die elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur?
5. Wie unterscheiden sich Leiter, Halbleiter und Isolatoren?
6. Was ist ein Elektronengas?