

# Grundlagen der Mineralogie

Gerhard Heide

Institut für Mineralogie

Professur für Allgemeine und Angewandte Mineralogie

Brennhausgasse 14

03731-39-2665 oder -2628

`gerhard.heide@mineral.tu-freiberg.de`

`http://www.mineral.tu-freiberg.de/mineralogie/lehre.html`

## Organisatorisches

- ▶ 2 SWS Vorlesung
- ▶ 2 SWS Übungen („Kratz- und Beißkurs“)
- ▶ Selbststudium
  - ▶ Übungssammlung
  - ▶ **Mineralogische Sammlung**  
2. Obergeschoss im Werner-Bau
  - ▶ Lehrbuch der Mineralogie, Rösler
  - ▶ Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, Ramdohr & Strunz
  - ▶ Manual of Mineralogy, Klein & Hurlbut
  - ▶ (Mineralogie, Okrusch & Matthes)
  - ▶ Strunz Mineralogical Tables, Strunz & Nickel

## Organisatorisches

- ▶ Selbststudium
  - ▶ Vorlesung „Grundlagen der Geowissenschaften“
  - ▶ Deutsche Mineralogische Gesellschaft [www.dmg-home.de](http://www.dmg-home.de)
  - ▶ International Mineralogical Association (IMA)  
[www.ima-mineralogy.org](http://www.ima-mineralogy.org)
  - ▶ [webmineral.com](http://webmineral.com)
- ▶ Klausur: 4. oder 11. Juli

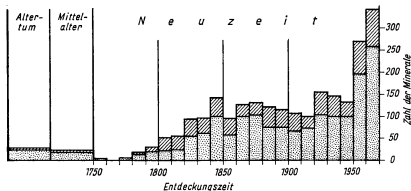
- ▶ Verständnis: Mineralbildung, -wachstum, -umwandlung
- ▶ Bestimmung: Mineraleigenschaften
- ▶ Mineralnutzung
- ▶ Mineralbestimmung: „Dienstleistung“ Gesteinsbestimmung



*Gneis*



⇒ Gesteinsbildende Minerale



**ab 1800** Abraham Gottlob Werner (1749–1817):

äußere Kennzeichen

Mikroskopie, Chemie

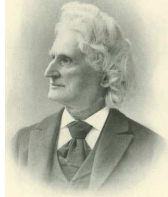
**ab 1920** Max von Laue (1879–1959):

röntgenographische Methoden

**ab 1950** Elektronenmikroskopie, Spektroskopie,  
Spektrometrie, Thermoanalyse, etc.

▶ 1970: ca. 2000

▶ 2005: ca. 4400 Minerale



## Kristallchemische Grundlage

- ▶ James Dwight Dana (1813–1895):  
78 Klassen
- ▶ Hugo Strunz (1910\*): IX Klassen
- ▶ Einteilung
  - ▶ Elemente
  - ▶ einfache Verbindungen:  $A_2X$ ,  $AX$ ,  $AX_2$  etc
  - ▶ Verbindungen mit komplexen Anionen:  
Sulfate, Carbonate, Silicate etc.
- ▶ Einteilung nach  
fallendem Kationen-Anionen-Verhältnis, Verknüpfung  
komplexer Anionen, Wassergehalt und „fremden“ Anionen

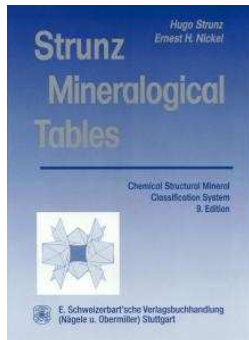


- ▶ 

Kationen	Anionen bzw. -komplexe	
$A_u^{[12]} B_v^{[8]} C_w^{[6]}$	$[(X, Y, Z) \parallel (R_x O_y)_z]$	$n \cdot H_2O$

## Strunz'sche Systematik: Mineralklassen

- ▶ I. Elemente
- ▶ II. Sulfide
- ▶ III. Halogenide
- ▶ IV. Oxide und Hydroxyde
- ▶ V. Nitrate, Carbonate, Borate
- ▶ VI. Sulfate, Chromate, Molybdate, Wolframate
- ▶ VII. Phosphate, Arsenate, Vanadate
- ▶ VIII. Silicate
- ▶ IX. Organische Verbindungen



**Abteilung I.A** 98 Metalle, Legierungen, intermetallische Verbindungen (Carbide, Nitride, Phosphide, Silicide)

**Abteilung I.B** 17 Halbmetalle, Nichtmetalle

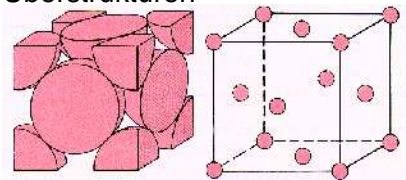
**Abteilung I.X** 6 nicht klassifizierte

**121**

H																He				
Li	Be														B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg														Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe			
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
Fr	Ra	Ac																		

## I/A.01: Cu-Ag-Au-Reihe

- ▶ isotyp: kubisch-flächenzentriertes Gitter **und** Metallbindung
- ▶ Ag-Au unbegrenzt mischbar, mit Cu Bildung von Überstrukturen



- |      | Gitterkonstanten | $T_s$  | $\rho$                      |
|------|------------------|--------|-----------------------------|
| ▶ Cu | 3.615 Å          | 1083°C | 8.3–8.9 g/cm <sup>3</sup>   |
| Au   | 4.078 Å          | 1063°C | (16–)19.3 g/cm <sup>3</sup> |
| Ag   | 4.086 Å          | 960°C  | 9.6–12 g/cm <sup>3</sup>    |
- ▶ Metallglanz, hohes Reflexionsvermögen

## I/A.01-10: gediegenes Kupfer

- ▶ „kupferrote“ Farbe, oft sekundäre Überkrustung
- ▶ duktil (leicht verformbar)
- ▶ dendritische oder moosförmige Aggregate, auch plattig
- ▶ Reduktion von Cu-haltigen Verbindungen und Lösungen  
Cuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) +  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{Cu}$
- ▶ Verwitterungszone von Kupfererzlagern  
Chalkosin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) +  $2\text{O}_2 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{Cu}$
- ▶ Cu-haltige Grubenwässer:  $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$
- ▶ sehr selten: primäre Lagerstätte (z. B. Keweenaw-Halbinsel, Michigan/USA)



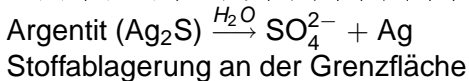
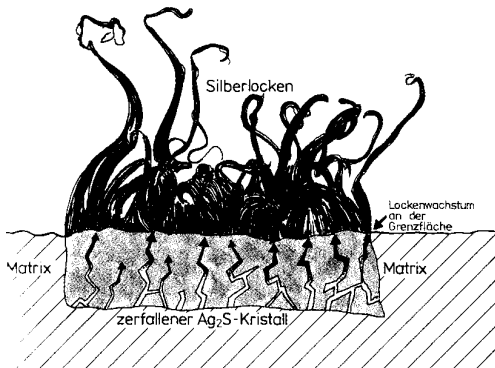
## I/A.01-20: gediegenes Silber

- ▶ silber-weiß,  
meist braun-schwarz angelaufen  
(Argentit:  $\text{Ag}_2\text{S}$ )
- ▶ meist derbe Massen, Bleche, Klumpen  
auch dendritisch
- ▶ sekundär entstanden, lokal in Ag-führenden Lagerstätten



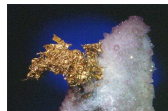
## Silberlocken und -drähte

(SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup>-reiche Lösung

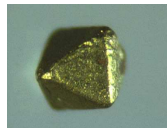


## I/A.01-40: gediegenes Gold

- ▶ goldgelber Metallglanz
- ▶ primär gebildet: „Berggold“ (hydrothermal)
- ▶ sekundäre Lagerstätten (Nuggets, Blättchen): „Seifengold“



Bildbreite: 1 cm



Kristallgröße: 2.5 mm

- ▶ Gewinnung: Auslaugung mit KCN- oder NaCN-Laugen oder Dichtentrennung
- ▶ Währungsmetall, Computerindustrie, Chemie, Zahngold, Schmuck

## I/A.02: Quecksilber-Amalgam-Gruppe

- ▶ I/A.02-10: Hg
- ▶ einziges flüssiges Mineral ( $T_{schm} = -38.9^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{sied} = 357^{\circ}\text{C}$ )
- ▶  $\rho = 13.6 \text{ g/cm}^3$
- ▶ Verwitterungszone von Zinnober-Lagerstätten (HgS)



## I/A.07: Fe-Reihe

- ▶ I/A.07-10:  $\alpha$ -Eisen I m3m  
terrestrisches Eisen: selten, Reduktion von Fe-Erz in Basalten durch Kohle
- ▶ I/A.07-20: Kamacit (Nickeleisen, Balkeneisen, Ni-arm)  
meteoritisches Eisen

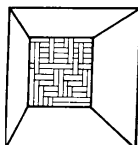
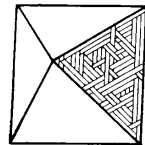
## I/A.08: Ni-Reihe

- ▶ I/A.08-10: Nickel F m3m
- ▶ I/A.08-20: Taenit (Eisenickel, Bandeisen, Ni-reich: 27-65 Ma-% Ni,  $\gamma$ -Eisen, Hochtemperatur-Modifikation)  
meteoritisches Eisen

## Eisenmeteorite

Ätzen eines polierten Anschliffs:

WIDAMANNSTÄTTEN'sche Figuren



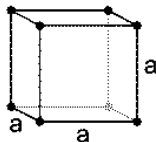
- |   |                     |             |
|---|---------------------|-------------|
| • | Balken              | Bänder      |
| • | Ni-arm              | Ni-reich    |
| • | leicht              | schwer      |
|   | ätzbar              | ätzbar      |
| • | Kamacit             | Taenit      |
| • | kubisch             | kubisch     |
|   | innen-              | allseitig   |
|   | flächen-            | flächen-    |
|   | zentriertes         | zentriertes |
|   | Gitter              | Gitter      |
| • | Plessit (Fülleisen) |             |

## Kubische Gitter

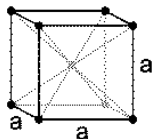
- ▶ 14 Bravais Gitter: 3 kubische (KS:  $a=b=c$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ )
- ▶ typisch für Metalle und Ionenkristalle: nicht gerichtete Bindungen
- ▶ auch viele Oxide

primitives

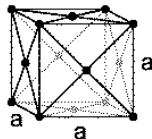
- ▶ Gitter
- ▶ (P-Gitter)



innen- (raum-) zentriertes Gitter (I-Gitter)



allseitig zentriertes Gitter (F-Gitter)

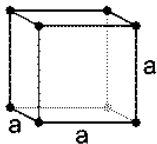


## Kubische Gitter

▶ P-Gitter

▶ Anzahl der Gitterpunkte pro Elementarzelle:

1



▶ Raumausfüllung:

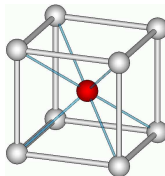
52 %

▶ Koordiantionszahl:

6

I-Gitter

2



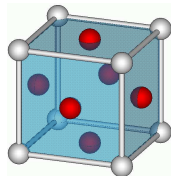
68 %

kubisch dichteste Kugelpackung

8

F-Gitter

4



74 %

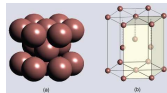
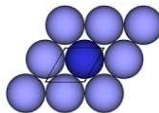
12

## Kubische Gitter

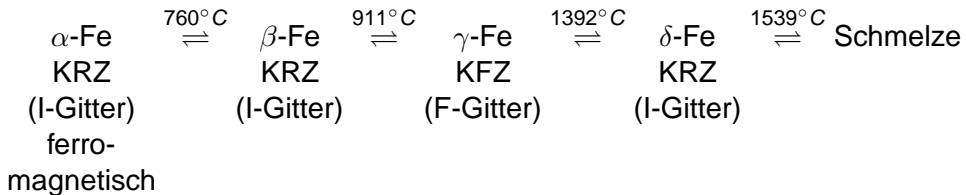
▶ P-Gitter	I-Gitter	F-Gitter
▶ Abstand der Gitterpunkt:		
1·a	$\sqrt{3}/2 \cdot a$	$\sqrt{2}/2 \cdot a$
1·a	0.866·a	0.707·a
▶ Beispiele:		
(Po)	$\alpha$ -Fe, Cr, Ta, W	Cu, Ag, Au,
(CsCl)		Ni, $\gamma$ -Fe, Al, Pb, Pt, Rh, Os, Ir ...

## Zwei Dichteste Kugelpackung

- ▶ 74 % Raumfüllung
- ▶ dichteste Packung in der Ebene:
- ▶ kubisch dichteste Packung (kubische F-Gitter)  
Schichtfolge ABCABC...
- ▶ hexagonal dichteste Packung (hexagonale P-Gitter)  
Schichtfolge ABAB...



## Polymorphie des Eisens

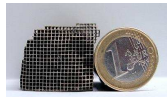


## I/A.14-70 Platin

- ▶ niemals rein: Polyxen (4-21% Fe, Ir, Os, Rh, Pd, Ru) oder Eisenplatin
- ▶ hohe Dichte:  $15\text{--}21.5\text{ g/cm}^3$  (5.1 kg)
- ▶ hohe chemische und thermische Beständigkeit
- ▶ katalytische Eigenschaften:  
Döbereiner Feuerzeug



Autokatalysator ( $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ )



## I/A.14-70 Platin

Rang	Land	Fördermengen 2003 (in t)
1	Südafrika	140
2	Russische Föd.	70
▶ 3	Kanada	18,5
4	USA	4,2
5	Kolumbien	1,4
6	Simbabwe	1,3

- ▶ Vorkommen: ultramafische Magmatite, Metallurgie und früher in Seifen

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F		Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J		Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn	
Fr	Ra	Ac																	

## I/B.02: C-Gruppe (Polymorphie)

- ▶ I/B.02-10 Graphit
- ▶ I/B.02-40 Diamond

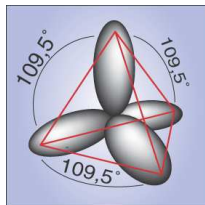
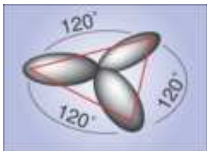
## I/B.03: S-Se-Gruppe

- ▶ I/B.03-10 Schwefel (Polymorphie)

## I/B.05 Silicium

- ▶ I/B.05-10 Silicium

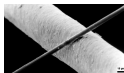
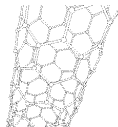
## I/B.02: C-Gruppe



- ▶ I/B.02-10 Graphit
- ▶ I/B.02-40 Diamant
- ▶ Ruß (amorph)
- ▶ Fullerene
- ▶ Nanoröhrchen
- ▶ Kohlenstofffaser



C<sub>60</sub>  
"Buckminster-Fulleren"



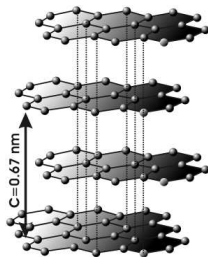


## I/B.02-10 Graphit

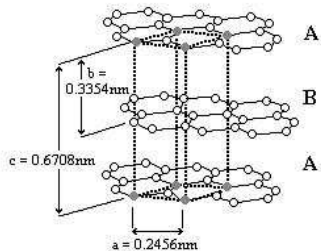
- ▶ sehr weich, metallisch glänzend, schwarz, vollk #
- ▶ Förderung: ca. 600.000 Tonnen (China, Korea, Madagaskar, Simbabwe, Brasilien und Indien) Tagebau und Untertage Pfaffenreuth bei Passau(!)

- ▶ starke Anisotropie:  
Härte,  
Spaltbarkeit,

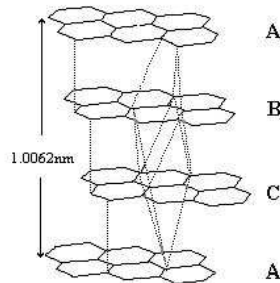
Leitfähigkeit



## Graphit-Polymorphie



Hexagonal Unit Cell



Rhombohedral Stacking

ABABAB  
 $P 6_3/mmc$

ABCABC  
 $R\bar{3}m$

## I/B.02-40 Diamant

- ▶ härteste Mineral: Härte 10 nach Mohs  
(griechisch: durchscheinend und unbezwingbar)
- ▶ Vorkommen: Kimberlite



Seifen



- ▶ hohe Lichtbrechung ( $n=2.4175-2.4178$ )

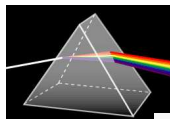
⇒ hohe Reflexion

⇒ kleiner Winkel der Totalreflexion:  $24^\circ$

## I/B.02-40 Diamant

- ▶ hohe Dispersion  $n_F - n_C = 0.044$

Dispersion  $n = f(\lambda)$



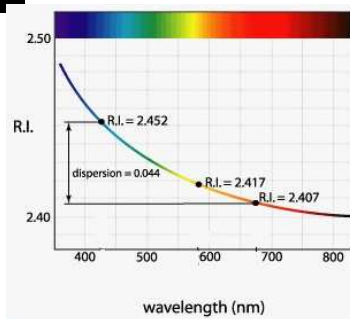
$$\lambda_F = 486.1327$$

$$\lambda_C = 656.2725$$

(H-Linien)

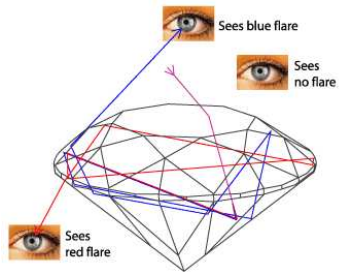
Quarz	0.013
Saphir	0.018
Kronglas	0.019
Spinell	0.020
Almandin	0.024
Flintglas	0.036
Diamant	0.044

- ▶ luminesziert oft



## I/B.02-40 Diamant

### ► Brilliant-Schliff



Grünes Gewölbe, Dresden: 41 Karat, grün, um 1743 aus Inden

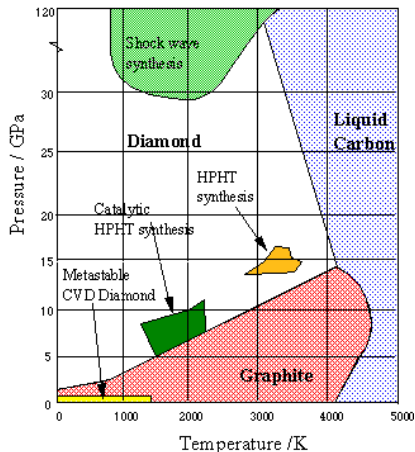
## I/B.02-40 Diamant

- ▶ Industriemineral und Schmuckstein
- ▶ Förderung

	Land	Mio. Karat
1	Russische Föd.	36
2	Botsuana	30
3	Australien	24,3
4	Kongo, Dem. Rep.	23
5	Kanada	11,2
6	Südafrika	10,8
7	Angola	6,2
8	Namibia	1,7
9	Ghana	1
10	Brasilien	0,8

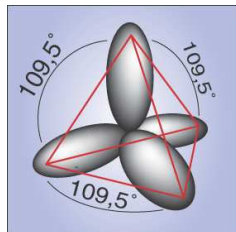
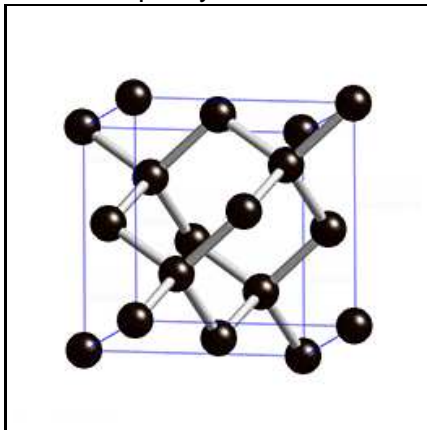
## I/B.02-40 Diamant

- ▶ ab 600 °C
  - ▶ verbrennt an Luft
  - ▶ unter Luftabschluss:  
Umwandlung in Graphit
- ▶ Bildung unter hohem Druck



## I/B.02-40 Diamant

- ▶ Struktur:  $sp^3$ -Hybrid



(F-Gitter)

## I/B.05-10 Silizium

- ▶ äußerst selten, vulkanische Exhalation
- ▶ isotyp mit Diamant ( $a = 3.5668 \text{ \AA}$ ):  $a = 5.431 \text{ \AA}$   
geringere Dichte als Diamant ( $3.51 \text{ g/cm}^3$ ):  $2.33 \text{ g/cm}^3$
- ▶ extreme technische Bedeutung



## I/B.03: S-Se-Gruppe

### I/B.3-10: $\alpha$ -Schwefel

- ▶ geringe Härte
- ▶ schwefelgelbe Farbe
- ▶ niedrige Schmelzpunkt  $112,8^{\circ}\text{C}$
- ▶ verbrennt an Luft



## I/B.03: S-Se-Gruppe

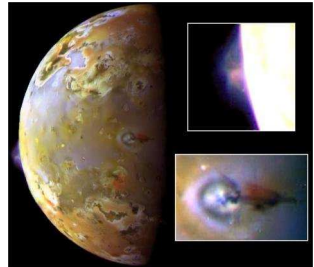
### I/B.3-10: $\alpha$ -Schwefel

- ▶ Vorkommen

- ▶ vulkanische Exhalation (sehr selten)
- ▶ sedimentär durch Reduktion von Bakterien (Alberta, CA)



- ▶ Jupitermond Io



## I/B.03: S-Se-Gruppe

I/B.3-10:  $\alpha$ -Schwefel

- ▶ Molekulkristall: S<sub>8</sub>-Moleküle
- ▶ Polymorphie:

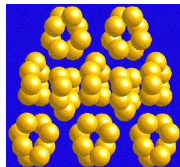
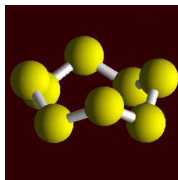


gelb  
rhombisch



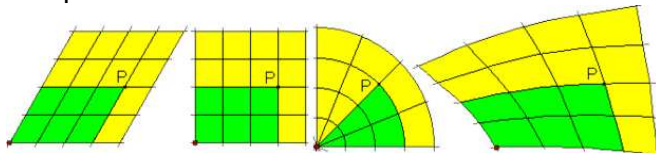
farblos  
monoklin

Schmelze  
( $\delta$ -Schwefel)  
gelb  
flüssig



## Koordinatensysteme

- ▶ Ziel: mathematische Beschreibung von Punkten, Linien und Flächen etc. im Raum
- ▶ Beispiele:



- ▶ Mathematische Koordinatensysteme: Kartesisches Koordinatensystem ( $\vec{e}_1 \perp \vec{e}_2 \perp \vec{e}_3$ ,  $e_1 = e_2 = e_3 = 1$ ), Zylinder ( $\phi, r, h$ ) und Kugel-Koordinatensysteme ( $\phi, \rho, r$ )
- ▶ Geographische Koordinatensysteme  
Gauß-Krüger-Koordinatensystem, UTM-Koordinatensystem
- ▶ Astronomisches Koordinatensystem (ekliptikale oder galaktische)

## Kristallographische Koordinatensysteme

- ▶ Kristallmorphologie: ebene Flächen (Wachstums- oder Spaltflächen), Kanten (Richtungen) und Ecken
- ▶ Kristallstruktur: Position der Atome
- ▶ 7 verschiedene Koordinatensysteme:  
bestimmt durch die **Symetrisselemente** des Kristalls!

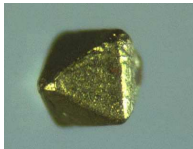
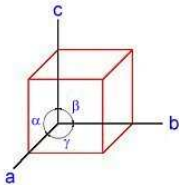
# Kristallsysteme

40

Kubisches  
Kristallsystem

$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

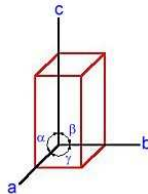


Gold, Silber, Kupfer  
Platin, Diamant, Eisen (, Si)

Tetragonales  
Kristallsystem

$$a = b, c \text{ bel.}$$

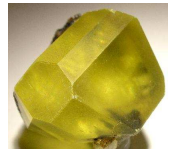
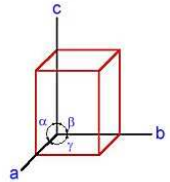
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Rhombisches  
Kristallsystem

$$a, b, c \text{ bel.}$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

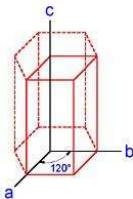


α-Schwefel

Hexagonales  
Kristallsystem

$$a = b, c \text{ bel.}$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$$

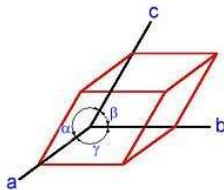


Graphit

Trigonales  
Kristallsystem

$$a = b = c$$

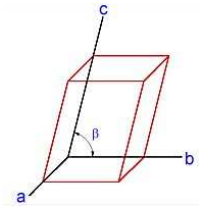
$$\alpha = \beta = \gamma \text{ bel.}$$



Monoklines  
Kristallsystem

$a, b, c$  bel.

$\beta$  bel.,  $\alpha, \gamma = 90^\circ$



Triklines  
Kristallsystem

$a, b, c$  bel.

$\alpha, \beta, \gamma$  bel.

