

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`

Grundlagen der Mineralogie

2

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

Grundlagen der Mineralogie

3

Organisatorisches

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

Aufgaben der Mineralogie

4

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



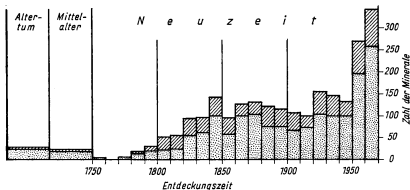
Gneis



⇒ Gesteinsbildende Minerale

Entdeckung der Minerale

5



ab 1800 Abraham Gottlob Werner (1749–1817):

äußere Kennzeichen

Mikroskopie, Chemie

ab 1920 Max von Laue (1879–1959):

röntgenographische Methoden

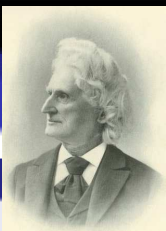
ab 1950 Elektronenmikroskopie, Spektroskopie,
Spektrometrie, Thermoanalyse, etc.

● 1970: ca. 2000

● 2005: ca. 4400 Minerale

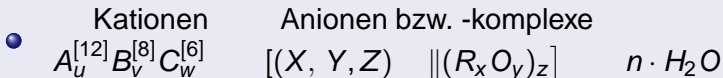
Systematik der Minerale

6



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

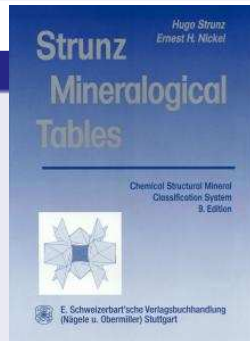


Systematik der Minerale

7

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



I. Elemente

8

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

Abteilung I.B 17 Halbmetalle, Nichtmetalle

Abteilung I.X 6 nicht klassifizierte

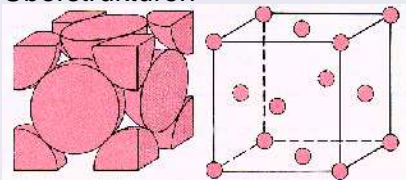
121

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															

Abteilung I.A

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 | ρ |
|------|------------------|--------|-----------------------------|
| ● Cu | 3.615 Å | 1083°C | 8.3–8.9 g/cm ³ |
| Au | 4.078 Å | 1063°C | (16–)19.3 g/cm ³ |
| Ag | 4.086 Å | 960°C | 9.6–12 g/cm ³ |
- Metallglanz, hohes Reflexionsvermögen

Abteilung I.A

10

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

$$\text{Cuprit (Cu}_2\text{O)} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{Cu}$$
- Verwitterungszone von Kupfererzlagerstätten

$$\text{Chalkosin (Cu}_2\text{S)} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{Cu}$$
- 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

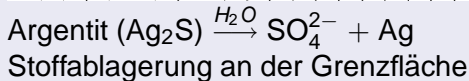
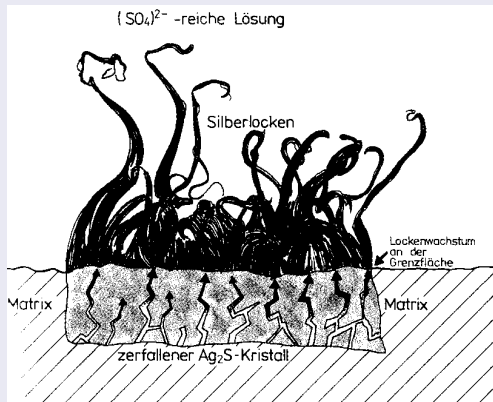
- silber-weiß,
meist braun-schwarz angelaufen
(Argentit: Ag_2S)
- meist derbe Massen, Bleche, Klumpen
auch dendritisch
- sekundär entstanden, lokal in Ag-führenden Lagerstätten



Abteilung I.A

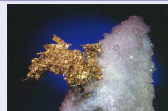
12

Silberlocken und -drähte

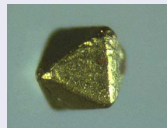


I/A.01-40: gediegenes Gold

- 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: α -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

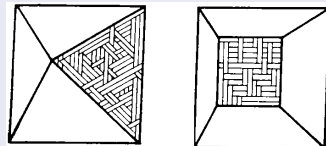
I/A.08: Ni-Reihe

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

Eisenmeteorite

Ätzen eines polierten Anschliffs:

WIDAMANNSTÄTTEN'sche Figuren



- Balken Bänder

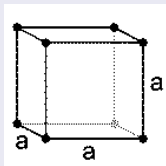
- Ni-arm Ni-reich
- leicht schwer
 ätzbar ätzbar
- Kamacit Taenit
- kubisch kubisch
 innen- allseitig
 zentriertes Gitter flächen-
- Plessit (Fülleisen)

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

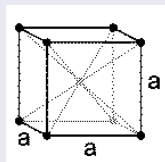
primitives

- Gitter
- (P-Gitter)



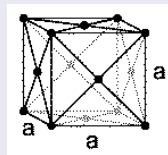
innen- (raum-) zentriertes Gitter

(I-Gitter)



allseitig Gitter

(F-Gitter)

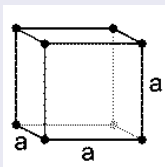


Kubische Gitter

● P-Gitter

● Anzahl der Gitterpunkte pro Elementarzelle:

1



● Raumausfüllung:

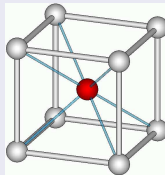
52 %

● Koordiantionszahl:

6

I-Gitter

2



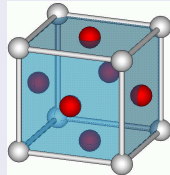
68 %

kubisch dichteste Kugelpackung

8

F-Gitter

4



74 %

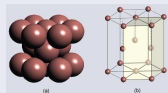
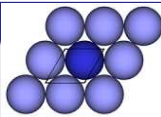
12

Kubische Gitter

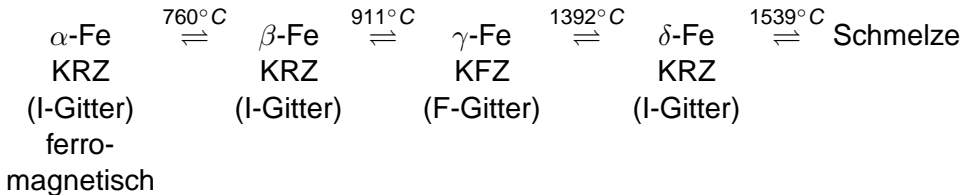
● P-Gitter	I-Gitter	F-Gitter
● Abstand der Gitterpunkt:		
1·a	$\sqrt{3}/2 \cdot a$	$\sqrt{2}/2 \cdot a$
1·a	0.866·a	0.707·a
● Beispiele:		
(Po)	α -Fe, Cr, Ta, W	Cu, Ag, Au,
(CsCl)		Ni, γ -Fe, Al, Pb,
		Pt, Rh, Os, Ir ...

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...

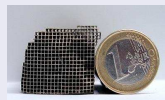


Polymorphie des Eisens



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

Abteilung I.B

24

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

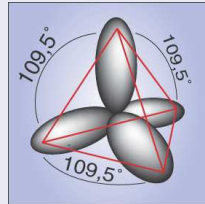
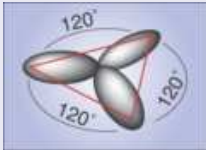
I/B.03: S-Se-Gruppe

- I/B.03-10 Schwefel (Polymorphie)

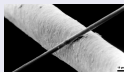
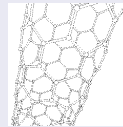
I/B.05 Silicium

- 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



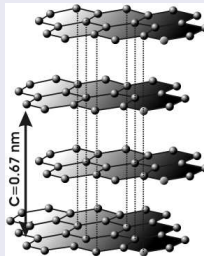
Abteilung I.B

26



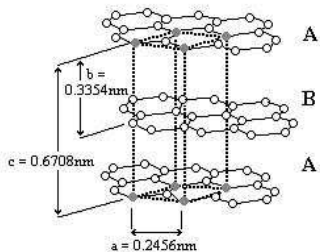
I/B.02-10 Graphit

- 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,

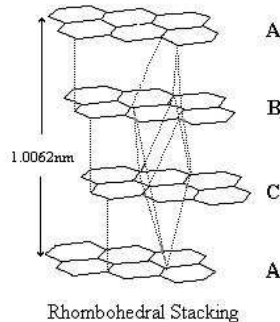


Leitfähigkeit

Graphit-Polymorphie



ABABAB
P $6_3/mmc$



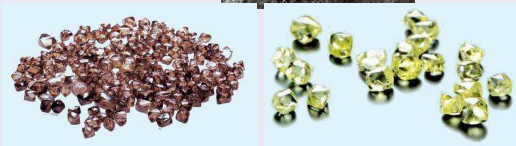
ABCABC
 $R\bar{3}m$

I/B.02-40 Diamant

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



Seifen



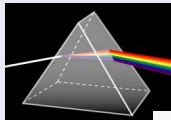
- hohe Lichtbrechung ($n=2.4175-2.4178$)
 ⇒ hohe Reflexion
 ⇒ kleiner Winkel der Totalreflexion: 24°

Abteilung I.B

29

I/B.02-40 Diamant

- hohe Dispersion $n_F - n_C = 0.044$

Dispersion $n = f(\lambda)$ 

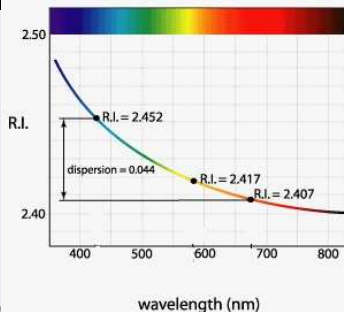
Quarz	0.013
Saphir	0.018
Kronglas	0.019
Spinell	0.020
Almandin	0.024
Flintglas	0.036
Diamant	0.044

- luminesziert oft

$$\lambda_F = 486.1327$$

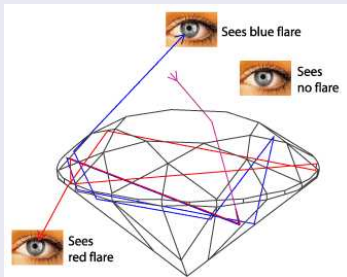
$$\lambda_C = 656.2725$$

(H-Linien)



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

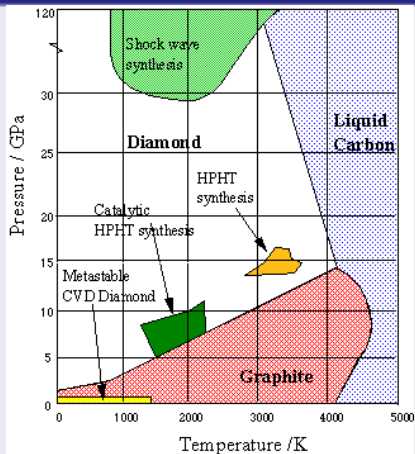
	Land	Mio. Karat
1	Russische Föd.	36
2	Botsuana	30
3	Australien	24,3
4	Kongo, Dem. Rep.	23
5	Kanada	11,2
6	Südafrika	10,8
7	Angola	6,2
8	Namibia	1,7
9	Ghana	1
10	Brasilien	0,8

Abteilung I.B

32

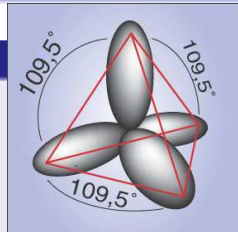
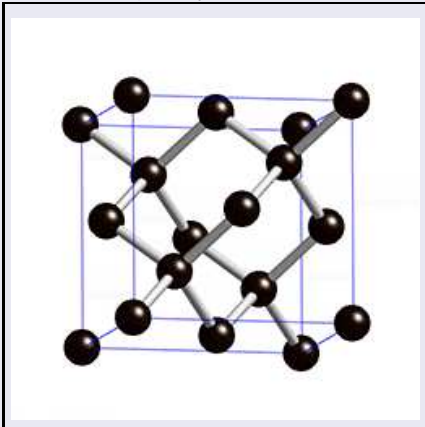
I/B.02-40 Diamant

- 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

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



I/B.03: S-Se-Gruppe

I/B.3-10: α -Schwefel

- geringe Härte
- schwefelgelbe Farbe
- niedrige Schmelzpunkt 112,8 °C
- verbrennt an Luft



Abteilung I.B

36

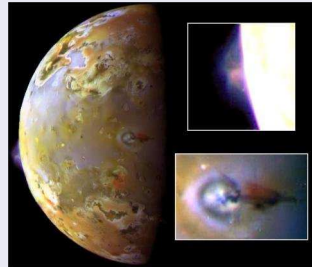
I/B.03: S-Se-Gruppe

I/B.3-10: α -Schwefel

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



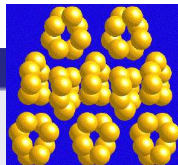
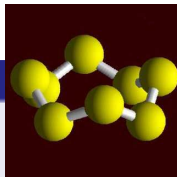
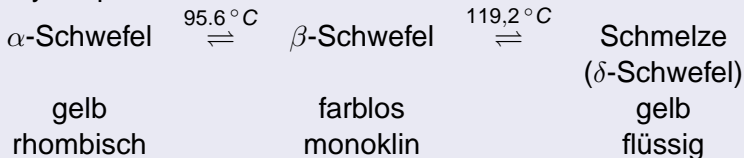
- Jupitermond Io



I/B.03: S-Se-Gruppe

I/B.3-10: α -Schwefel

- Molekulkristall: S_8 -Moleküle
- Polymorphie:

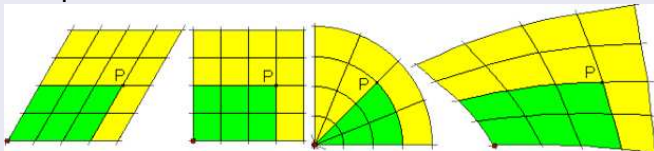


Kristallsysteme

38

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 (ϕ, r, h) und Kugel-Koordinatensysteme (ϕ, ρ, 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 **Symmetrieelemente** des Kristalls!

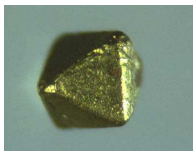
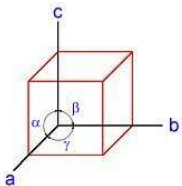
Kristallsysteme

40

Kubisches
Kristallsystem

$$a = b = c$$

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

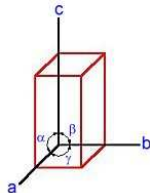


Gold, Silber, Kupfer
Platin, Diamant, Eisen (, Si)

Tetragonales
Kristallsystem

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

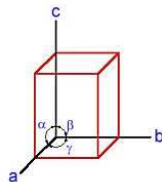
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Rhombisches
Kristallsystem

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

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



α -Schwefel

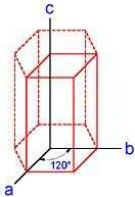
Kristallsysteme

41

Hexagonales
Kristallsystem

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

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

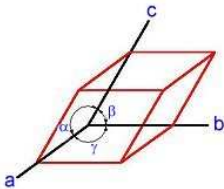


Graphit

Trigonales
Kristallsystem

$$a = b = c$$

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



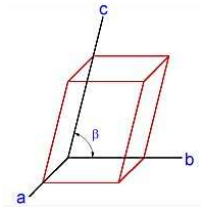
Kristallsysteme

42

Monoklines
Kristallsystem

a, b, c bel.

β bel., $\alpha, \gamma = 90^\circ$



Triklines
Kristallsystem

a, b, c bel.

α, β, γ bel.

