Einführung in die Kristallmorphologie
©2008-2025 Klaus Schilling, Speyer

Erste Folie (Titel):

Die Präsentation zeigt keine wissenschaftliche Ausarbeitung. Es ist ein Versuch, dem Thema den Nimbus der Wissenschaftlichkeit zu nehmen und mit Bildern, die Kristallmorphologie ins Blickfeld von Sammlern zu rücken.

Zweite Folie (Ziel der Einführung):

Ziel der Einführung soll sein:

- das kristallografische Wesen von Kristallen deutlich

und die Begriffe

- Kristallgitter,
- Kristallform,
- Tracht und
- Habitus mit Bildern anschaulich und

weiter die Kristallformen an den Beispielen

- Spessartin,
- Fluorit und
- Calcit

mit Bildern erkennbar zu machen.

Dritte Folie (Kristall-Morphologie):

Das Wort Kristall kommt aus dem Griechischen und bedeutet

- wörtlich übersetzt Eis.

Dazu die Legende:
Die Griechen glaubten, dass ihre in den Bergen gefundenen klaren Kristalle aus Eis bestehen, das so lange und tief gefroren ist, dass es nicht mehr auftauen kann.

- Der Bergkristall frei übersetzt „Bergeis“ ist der Namensgeber für Kristalle.

So gesehen dürfen alle drei Abbildungen als Berg-Kristalle bezeichnet werden.

- In der Kristall-Morphologie (= Formenlehre) werden jedoch nur Kristalle mit ebenen Flächen betrachtet – so wie sie rechts im dritten Bild am senkrecht stehenden Kristall ausgebildet sind.

An dieser Stelle einen herzlichen Dank an alle Fotografen, die Ihre Bilder uneigennützig für diese Ausarbeitung zur Verfügung gestellt haben. Auf den Bildern sind die Namen der Fotografen eingetragen.

Vierte Folie (Kristall-Definitionen):

Ein Stellvertreter für die Vielzahl der Mineralien ist in dieser Ausarbeitung der Bleiglanz mit den abgebildeten Kristallformen. Gesetzmäßigkeiten für Kristalle werden exemplarisch an den hier gezeigten Bleiglanzkristallen abgeleitet. Die vorgestellten Gesetze gelten sinngemäß für alle kristallisierten Mineralien.
Als roter Faden für die Ausarbeitung dienen drei Definitionen:

- Duden: Kristall (fester, regelmäßiger ..... .)[(1)]
- Borhardt-Ott: Ein Kristall ist ein anisotroper ..... .[(2)]
- Miletich: Ein Kristall ist ein chemisch ..... .[(3)]

Diese drei Definitionen deuten eine verschiedene Sicht auf Kristalle an.

[(1)] Duden Band 1: Die deutsche Rechtschreibung, Mannheim Leipzig Wien Zürich: Dudenverlag (2001), Seite 578
[(2)] Borchardt-Ott (1997) Kristallographie: Einführung für Naturwissenschaftler, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Seite 7
[(3)] Miletich, Ronald (Heidelberg): Aufbau und Eigenschaften der Minerale, Vorlesungsskript WS 2006/07, Seite 19

Fünfte Folie (Morphologie - Kristallstruktur):

In der Kristallographie werden die äußere und innere Betrachtungsweise unterschieden.
Die Kristallmorphologie (Kontinuum -lückenlos zusammenhängend) sieht die Geometrie der Flächen, Kanten, Ecken und Kristallwinkel (Flächenwinkel) am Kristall.
Die Kristallstrukturforschung (Raumgittergeometrie, Kristallstruktur, Diskontinuum - zusammenhangslos) betrachtet den innere Aufbau der Kristalle aus Atomen.

- Die Definition aus dem Duden beschreibt einen Kristall von außen betrachtet.
- Die Definition von Borchardt-Ott beschreibt den inneren Aufbau.
- Miletich fasst beide Betrachtungsweisen zusammen.

Die erste Begriffserklärung:
Ein homogener Körper ist regelmäßig zusammengesetzt – hier beim Bleiglanz mit Schwefel- und Bleiatomen periodisch, d.h. im Raum in wiederkehrender regelmäßiger Folge verteilt.

Die zweite Begriffserklärung:
Ein Körper von polyedrischer Gestalt ist von vielen ebenen Flächen begrenzt und zeigt Ecken, Kanten und Flächenwinkel.

Im Allgemeinen ist für den Mineraliensammler nur die äußere Betrachtungsweise zugänglich. Bei dieser Ausarbeitung soll die Verbindung der beiden Betrachtungsweisen Gesetzmäßigkeiten anschaulich machen.

Sechste Folie (Anordnung der Bausteine):

Der kleinste Baustein des Bleiglanzes, allgemein als Elementarzelle bezeichnet, ist würfelförmig und hat eine Baulänge (Gitterkonstante) von 5,94 Å.

Hinweis: Solch ein Baustein ist sehr klein. Auf eine Strecke von 5,94mm (ca. Bleistiftdicke) passen 10 Millionen Bausteine.

In dieser Elementarzelle sind vier Atome Schwefel und vier Atome Blei regelmäßig angeordnet.

- Reduziert man die Atome der Elementarzelle bis auf ihre Schwerpunkte, dann kann man sich die Elementarzelle auch als würfelförmigen Baustein vorstellen.
- In der animierten Grafik wird die räumliche Anordnung der Elementarzellen (Bausteine) simuliert.

Die dritte Begriffserklärung:

Eine dreidimensionale periodische Anordnung meint hier die gleichmäßig wiederkehrende und lückenlose Anordnung der Elementarzellen im dreidimensionalen Raum.

Fernordnung = geordnete endlose Aneinanderreihung der Atome in einem Festkörper über makroskopische Bereiche hinweg. Beispiele sind riesige Bergkristalle, Berylle, Feldspäte u.a. ...

Nahordnung = geordnete Aneinanderreihung der Atome in kleinsten Bereichen bei Flüssigkeiten (z.B. Flüssigkristalle) und amorphen Festkörpern (Glas, Obsidian u.a.).

Siebte Folie (Dekreszenz):

Ein Blick in die Historie der Kristallforschung[5] – hier ein Abzug einer Seite aus einem Lehrbuch von Haüy. Schon René Just Haüy (1743-1822) – in der Literatur gerne als der Vater der Kristallographie bezeichnet - betrachtete die Kristalle aufgebaut aus Bausteinen, er nennt diese „integrierende Moleküle“.

Die Legende berichtet, dass die entscheidende Idee geboren wurde, als ihm ein Kalkspat aus den Händen glitt und am Boden in eine Vielzahl rhomboederförmige Spaltstücke zerbrach.

Dazu die Frage: Wie weit kann man Minerale in Spaltstücke zerkleinern, ohne dass diese ihre mineralspezifischen Eigenschaften verlieren?

Haüy beschreibt die Dekreszenz [4] als einen Mechanismus wie sich die integrierenden Moleküle zu einer Kristallform zusammenfügen. Ausgehend von einem Würfel werden auf jeder Würfelseite weitere Schichten aufgelegt, wobei deren Seiten um Molekülreihen abnehmen.

- Abnahme um <u>eine</u> Molekülreihe in beiden Richtungen ergibt $\rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow$ das Rhombendodekaeder.
- Abnahme von einer Reihe in der einen und zwei Reihen in der anderen Richtung ergibt das Pentagondodekaeder.

Besonders reizvoll ist diese Betrachtung von Haüy, da er hier schon eine Verbindung zwischen der inneren und äußeren Betrachtung von Kristallen beschreibt, wie diese heute noch als Grundlage der Kristallmorphologie gilt.

[4] Gerhard Wahrig: Deutsches Wörterbuch, Bertelsmann Lexikon-Verlag, Gütersloh Berlin München Wien 1968,1973

[5] aus Fabian, Eginhard (1986): Die Entdeckung der Kristalle, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, Seite 115

Achte Folie (Raumgitterprinzip):

Alle bisher gemachten Ausführungen zur Morphologie oder Kristallstruktur führen zur gleichen Gesetzmäßigkeit. In den beiden Bildern wird das Gesetz von *außen* und *innen* betrachtet angedeutet.

- Das Raumgitterprinzip ..... .[6]

Die Form und Abmessungen der Raumgitterzellen entsprechen dem Format der Elementarzelle. So gesehen ist das Format (Form und Abmessungen) des Raumgitters eine mineralspezifische Eigenschaft.

- Die animierte Grafik zeigt die Lage der Kristallflächen im Kristallgitter. Jede Kristallfläche ..... .[7]

Die Netzebenen und Gittergeraden liegen immer in Gitterknotenpunkten.

[6] P. Ramdohr, H. Strunz (Nachdruck 1980) Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, Stuttgart Enke, Seite 3
[7] Borchardt-Ott (1997) Seite 29

Neunte Folie (Winkelkonstanz):

Ein weiteres grundlegendes Gesetz in der Kristallmorphologie ist das Gesetz der Winkelkonstanz . Niels Stensen (1636-1686) hat dieses Gesetz in einem Vorläufer zu einer Dissertation 1669 am Beispiel von verzerrten Quarzkristallen beschrieben.[8]

- Die animierte Grafik zeigt, dass dieses Gesetz nicht nur für Verzerrungen sondern auch unabhängig von der Kristallgröße gilt. Das Gesetz der Winkelkonstanz ist auch ein Beleg für die Raumgitternatur der Kristalle.

[8] aus Fabian, Eginhard (1986) Seite 98

Zehnte Folie (Anisotropie):

Die noch fehlende Begriffserklärung:

Aus der Vielzahl der anisotropen Eigenschaften sollen hier stellvertretend die Spaltbarkeit am Fluorit und Calcit, die Doppelbrechung am Calcit sowie die Farbe und Härte am Disthen (zwei Härten) stehen.

- Die physikalischen Eigenschaften sind aufgrund der Raumgitternatur in Kristallen richtungsanhängig.
  Die beiden Fluoritoktaeder zeigen die Richtung der Spaltbarkeit am Fluorit, die unabhängig von der Kristallgröße ist aber immer in gleicher Richtung verläuft.

  Das Gleiche zeigen die Spaltrhomboeder aus Calcit. Auch die Doppelbrechung am Calcit zeigt sich als anisotrope Eigenschaft. Der zweite Lichtstrahl liegt je nach der Anordnung der Rhomboeder einmal rechts oder links bzw. oberhalb oder unterhalb zum ersten Lichtstrahl.

  Weiter sind die Farbe und Ritzhärte von Mineralien richtungsabhängig. Ein typischer Vertreter dazu ist der Kyanit oder Disthen – was frei übersetzt „zwei Härten“ bedeutet, dessen Ritzhärte, hier parallel bzw. rechtwinklig zur senkrechten Kristallsystemachse geprüft, sich erheblich unterscheidet. Auch die Farbe variiert bei verschiedenen Kristallflächen (100),(010) und (001).

- Dazu zwei Abbildungen von einem Bleiglanzkristall zum Vergleich von *außen* und *innen* betrachtet.
  Die unterschiedlich langen Pfeile weisen auf die verschiedene Anordnung der Atome auf den Kristallflächen in Pfeilrichtung hin. Damit wird anschaulich, warum Eigenschaften von Kristallen richtungsabhängig sind.

Hinweis: Die anisotropen Eigenschaften sind mineralspezifische Merkmale und können daher auch zur Bestimmung von Mineralien dienen.

Elfte Folie (Korrespondenzprinzip):

Dass die Gesetze der inneren und äußeren Betrachtungsweise sich gegenseitig bestätigen ist in der Kristallmorphologie als so genanntes Korrespondenzprinzip[9] formuliert. Die Grafik zeigt wie die Anordnung der Atome im Bleiglanz mit der Oberfläche eines Bleiglanzkristalls korrespondiert.

[9] Klockmann (1980), Seite 8

Zwölfte Folie (Kristallform):

Wie korrespondieren Kristallflächen mit der Elementarzelle?

Zur Darstellung dieser Zusammenhänge ist in der Grafik eine Elementarzelle in ein Achsenkreuz (x, y, z) gestellt. Die Kristallflächen verlaufen – wie zuvor schon gezeigt – durch die Eckpunkte (Gitterknotenpunkte) der Elementarzelle.

- Dabei sind im positiven Oktanten sieben Flächenlagen möglich, die sich zu drei Fällen zusammenfassen lassen.

- 1.Fall: Die Fläche schneidet eine Systemachse. Auf den Flächen bilden Schwefel- und Bleiatome, im regelmäßigen Wechsel angeordnet, Reihen die parallel zu den nicht geschnittenen Systemachsen liegen. Diese Reihen sind um eine halbe Länge der Elementarzelle zueinander versetzt.
- Solch eine Fläche lässt sich im positiven Oktanten dreimal aufstellen. Die Anordnung und Besetzung der Atome auf den Flächen ist gleich, die Flächen sind äquivalent = gleichwertig.
- Zieht man in die Betrachtung die entsprechenden Flächen auf den negativen Achsenabschnitten mit ein, dann ergeben diese Fläche zusammen als Kristallform das Hexaeder - den Würfel.

- Eine Menge von äquivalenten Flächen ..... [10].

- 2.Fall: Die Fläche schneidet zwei Systemachsen. In der Richtung parallel zur nicht geschnittenen Systemachse sind die Schwefel- und Bleiatomen im regelmäßigen Wechsel angeordnet. In der zweiten Richtung liegen abwechselnd Reihen, die aus Blei- oder Schwefelatomen bestehen. Auch solche Flächen lassen sich im positiven Oktanten dreimal aufstellen.
- In allen Oktanten gibt es zusammen zwölf gleichwertige Flächen dieser Art, diese bilden zusammen als Kristallform das Dodekaeder.

- 3.Fall: Die Fläche schneidet drei Systemachsen. Auf der Fläche sind im Beispiel nur noch Bleiatome regelmäßig angeordnet.
- In den acht Oktanten ist je ein Fläche in dieser Ausbildung vorhanden. die zusammen als Kristallform das Oktaeder bilden.

[10] Borchardt-Ott (1997) Seite 135

Dreizehnte Folie (Formen kombinieren):

Zu meist treten an einem Kristall mehrere Kristallformen kombiniert auf.

Mit dieser Folie wird die Kombination der drei Formen Würfel, Dodekaeder und Oktaeder schrittweise dargestellt.

- Am Anfang der Kombination soll der Würfel stehen.
- Im zweiten Schritt wird der Würfel mit dem Rhombendodekaeder im selben Achsenkreuz zur Kombination übereinander gestellt
- und beide Formen miteinander kombiniert.

Hinweis: Ein Einzelkristall mit mehr als einer Kristallform entspricht – mathematisch betrachtet – der Durchschnittsmenge der vorhandenen Kristallformen.

- Im dritten Schritt wird zur Kombination aus Würfel und Dodekaeder das Oktaeder gestellt
- und zur Kombination aus drei Formen kombiniert.

Vierzehnte Folie (Tracht und Habitus):

Zur Beschreibung der Morphologie werden auch der Habitus und die Tracht von Kristallen angegeben. Ein Vergleich der abgebildeten Bleiglanzkristalle soll helfen, diese Begriffe deutlich zu machen.

- Erster Vergleich zum Begriff Habitus:
  Der Habitus wird durch das ..... .
  Die animierte Grafik zeigt zwei Kristallformen, in verschiedenem Größenverhältnis und variiert so den Habitus. Die Animation wird bei zwei Stellungen gestoppt. Jede dieser Stellungen zeigt den Habitus von hier abgebildeten Kristallen.

  Welche Stellung passt zu welchem Kristall?

  Der Habitus der Bleiglanzkristalle entspricht in der ersten Stellung mehr dem Oktaeder (blau) – im Bild oben links, in der zweiten Stellung mehr einem Würfel (rot) im Bild unten rechts.

- Zweiter Vergleich zum Begriff Tracht:
  Die Tracht beschreibt die ausgebildeten Kristallformen.
  Die animierte Grafik zeigt, wie die Tracht der Bleiglanzkristalle auf den Fotos kombiniert werden kann.

  Die erste Kombination zeigt die Tracht der Kristalle auf den diagonal gegenüber liegendenden Bildern.

  Die zweite Kombination zeigt die Tracht der Kristalle auf dem mittleren Bild.

- Die vier aufgesetzten Grafiken zeigen die realen Bleiglanzkristalle als Idealkristalle in gleicher Tracht aber unterschiedlichem Habitus.

Hinweis: Unter anderem bestimmen Druck, Temperatur und Lösungsgenossen entscheidend, wie der Habitus oder die Tracht beim Kristallwachstum ausgebildet werden. In einem gleichen Milieu bilden sich in der Regel gleichförmige Kristalle aus. Als Beispiel dazu kann das Foto in der Mitte der Folie betrachtet werden.

Fünfzehnte Folie(kubisches System):

Der Bleiglanz kristallisiert im kubischen Kristallsystem. Diesem System sind 5 Kristallklassen zugeordnet. Der Bleiglanz steht in der hexkisoktaedrischen (internationales Kurzzeichen m3m) Kristallklasse. Die Kristallklassen sind nach der Kristallform mit den meisten Flächen benannt – hexakisoktaedrisch >> 6 x 8 = 48 Flächen.

In jeder Kristallklasse gibt es sieben Grundformen. Davon sind die Indizes bei vier Kristallformen variabel. Hier treten bei gleichen Formen unterschiedliche Winkeln zwischen den Flächen auf. Der Bleiglanz kann theoretisch alle sieben Kristallformen und 127 Kombinationen mit allen Formen ausbilden. Auf den zuvor gezeigten Bleiglanzbildern waren das Oktaeder, Dodekaeder und Hexaeder zu sehen.

Zum Abschluss und zur Vertiefung die morphologische Betrachtung der zu Beginn gezeigten Mineralien.

Zuerst zwei Mineralien, die mit dem Bleiglanz in derselben Kristallklasse stehen.

- Der Spessartinkristall zeigt eine Kristallform – das Deltoidikositetraeder.
- Der Fluoritkristall zeigt eine Kombination aus Hexaeder und Rhombendodekaeder mit isometrischem, würfeligem Habitus.

Es liegt nahe, dass Mineralien in derselben Klasse auch ähnliche Formen ausbilden. So wie hier der Fluorit im Vergleich zum gezeigten Bleiglanz. Verschiedene Mineralien zeigen eine Vorliebe für bestimmte Formen. Dies gilt z.B. für die Gruppe der Granate, zu denen auch der Spessartin zählt.
Auf den Fotos sind die gleichwertigen - äquivalenten - Flächen deutlich an ihren verschiedenen Ausbildungen zu erkennen – hier die Streifung am Spessartin oder dort glatte bzw. raue Flächen am Fluorit.

Sechszehnte Folie(trigonales System):

Hier die trigonal-skalenoedrische Kristallklasse. In dieser Kristallklasse gibt es Kristallformen mit zwei bis 12 Flächen. Zwei Grundformen in dieser Klasse können in positiver und negativer Aufstellung auftreten. Diese Formen lassen sich hier durch eine Drehung mit 60° um die senkrechte Achse ineinander überführen. Auffallend sind hier auch sogenannte offene Kristallformen (Prisma, Basispinakoid). Offene Kristallformen können nur in Kombinationen auftreten, deren Formen zusammen einen geschlossenen Kristallkörper bilden.

- Am Calcit auf dem linken Foto sind zwei Wachstumsphasen zu sehen.
- In der ersten Phase wurde das positive Rhomboeder ausgebildet.
- Bei der zweiten Phase ist zu der ersten Kristallform das negative Rhomboeder mit geringerer Neigung aufgewachsen.

Die Calcitkristalle im zweiten Bild zeigen eine Kombination von Kristallformen.

- Die Kombination wird mit dem Prisma erster Stellung begonnen. Dazu passt für den großen Kristall das positive Rhomboeder.

Frage: Sind die beiden Kristalle im Bild verdreht zueinander aufgestellt oder sind an beiden Kristallen unterschiedliche Kristallformen zusehen? Ein Hinweis gibt die gleiche Ausbildung der Prismenoberfläche, die eine gleiche Kombination an beiden Kristallen vermuten lässt.
Denkbar wäre noch eine Kombination mit dem negativen Rhomboeder.
Für eine sichere Antwort auf diese Frage sind am Kristall weitere Merkmale erforderlich. Hilfreich wären hier z.B. Spaltrisse, die am Calcit oft beobachtet werden können.

Siebzehnte Folie (besondere Kristallformen):

Die Menge der Einflüsse, die das Milieu in dem die Kristalle wachsen bestimmt, ist in der Vielfalt nahezu unendlich. Daher bilden die Mineralien auch eine nahezu unendliche Anzahl von Erscheinungsformen für Kristalle aus. Hier fünf für Sammler besonders reizvolle Beispiele, deren Erscheinung sich mit der vorgestellten Kristallmorphologie nur teilweise erklären lassen.

Achtzehnte Folie (Schluss):

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.