

**DIE FASZINIERENDE WELT DER MINERALE UND KRISTALLE  
EINE INTERAKTIVE AUSSTELLUNG**

von

**Robert Krickl**

Institut für Mineralogie und Kristallographie  
Universität Wien, Althanstrasse 14, A-1090 Wien, Austria

Minerale und Kristalle faszinieren den Menschen schon seit Urzeiten. Doch erst seit relativ kurzer Zeit verstehen wir wie sie aufgebaut und wovon ihre Eigenschaften abhängig sind. Durch die Forschung haben wir gelernt, Minerale geschickt einzusetzen und Kristalle mit den jeweils optimalen Eigenschaften für bestimmte Anwendungen synthetisch herzustellen. In der heutigen Zeit sind wir auf Schritt und Tritt von Mineralen und Kristallen umgeben, denn ohne sie wäre unser modernes Leben gar nicht möglich.

**Motivation**

Selbst während des Lesens dieser Zeilen blicken Sie auf Minerale. Als Füllstoffe und Weißpigmente sind sie wichtige Bestandteile des Papiers. In seinem Leben verbraucht jeder Europäer ungefähr 400 Tonnen Minerale! Hinzu kommen noch zahlreiche andere Kristalle, die der Mensch herzustellen gelernt hat. Nicht zuletzt bestehen wir sogar selbst zu einem guten Teil aus kristalliner Substanz (Hartteile des Skeletts).

Das Verständnis über das Vorkommen und die Eigenschaften von Mineralen hilft uns nicht nur unsere Umwelt besser zu verstehen, sondern stellt auch eine Quelle des Fortschritts dar: Mit der Zeit haben wir von der Natur gelernt und herausgefunden, welche interessanten Eigenschaften Minerale besitzen können und worin deren Ursachen liegen. Heute sind wir sogar in der Lage selbst synthetische Kristalle herzustellen, die für ihre jeweilige Anwendung in Technik, Medizin, usw. optimiert sind.

Minerale und Kristalle sind also aus unserem Leben nicht wegzudenken. Diese Tatsache ist in unserem Bewusstsein jedoch kaum verankert und das Wissen über mineralische Grundstoffe oder den kristallinen Zustand eher mangelhaft. Leider werden durch Kürzung des Lehrplanes in den Schulen Mineralogie und Kristallographie kaum noch behandelt. Dennoch sind das Interesse und die Faszination an „schönen Steinen“ prinzipiell immer vorhanden.

Genau hier soll diese Ausstellung ansetzen: Durch selbstständiges „Begreifen“ und Experimentieren soll in den Besuchern die Faszination geweckt und auf anschauliche Weise das Verständnis über den Aufbau unserer Umwelt und die Ursachen alltäglicher Gegebenheiten vermittelt werden. Die Ausstellung ist als Wanderausstellung konzipiert, um möglichst vielen Menschen aller Altersstufen diese spannende Materie näher bringen zu können. Bevorzugt soll auch mit Schulen zusammengearbeitet werden, um eine Anregung und Ergänzung zum Unterricht zu bieten.

Ich danke den Organisatoren und Verantwortlichen, dass sie es ermöglicht haben die Ausstellung als Rahmenprogramm während der MinPet 2005 nach Schladming zu bringen.

Weitere zukünftige Veranstaltungsorte und -termine werden auf der Homepage [www.min-krist.at](http://www.min-krist.at) angekündigt.

## **Einteilung**

Die Ausstellung ist grundsätzlich in zwei Bereiche gegliedert: Der erste Teil liefert die theoretischen Grundlagen über den kristallinen Aufbau und die daraus resultierenden Eigenschaften. Zunächst wird die Frage geklärt, was denn eigentlich ein Kristall und ein Mineral ist. Es folgt eine Übersicht über einige wichtige kristallphysikalische Eigenschaften: Auf Tafeln und Tischen werden Dichte, Härte, Spaltbarkeit, magnetische, elektrische, thermische und optische Eigenschaften mit Hilfe von reichlichem Anschauungsmaterial und kleinen Experimenten einprägsam zugänglich gemacht. Dabei wird immer darauf hingewiesen, welche Rolle diese Eigenschaften in unserem Alltag spielen.

Der zweite Teil der Ausstellung widmet sich der so genannten „angewandten Mineralogie“, einem innovativen, zukunftsorientierten Themengebiet: Wie werden die speziellen Eigenschaften der Kristalle technisch angewendet? Wo begegnen uns Minerale im täglichen Leben? Woher kommen sie und wofür werden sie gebraucht? Anhand ausgewählter Beispiele aus den Bereichen Körperpflege, Freizeitgestaltung, Elektronik, Automobil, Kunst, Nahrung und Hausbau soll die Präsenz mineralischer und kristalliner Verbindungen im Alltag vergegenwärtigt werden.

Der folgende Text ist als populärwissenschaftlicher Führer und Begleittext für Besucher der Ausstellung gedacht und kann im Nachhinein als kleine Gedächtnisstütze dienen. Aufgrund der Fülle an Ausstellungsmaterial können hier bei weitem nicht alle Details ausgeführt und manche Themen nur kurz angerissen werden. Die Ausstellung lebt davon, dass der Besucher das Material selbst „begreifen“ und auch kleine Versuche anstellen kann. Diese Zusammenfassung ist daher als Rekapitulation des Erlebten gedacht und nicht als Ersatz eines Besuches mit Führung durch die Ausstellung. Es sei darüber hinaus betont, dass der Text für den Laien und nicht für Fachwissenschaftler geschrieben ist.

## Populärwissenschaftlicher Führer zur Ausstellung

### „Die faszinierende Welt der Minerale und Kristalle“

#### I. Die Grundlagen

##### Tafel 1: Minerale und Kristalle

Was ist ein „Mineral“ oder ein „Kristall“ eigentlich und worin liegt der Unterschied?  
In der Literatur kann man folgende Definition des Begriffs „Kristall“ finden:

*„Kristalle sind homogene feste Körper, deren atomare Bausteine eine dreidimensional periodische Anordnung aufweisen.“*

Was bedeutet das konkret? Schon in der Schule lernt man, dass Materie in verschiedenen Aggregatzuständen vorkommen kann. Die bekanntesten sind der feste, der flüssige und der gasförmige Zustand. Kristalle treten (per definitionem) lediglich unter den Festkörpern auf.

Ebenfalls wissen wir heute, dass die Materie (der wir auf der Erde begegnen) aus kleinsten Bausteinen, den Atomen, aufgebaut ist.

Man spricht von einem Kristall, wenn diese Atome eine strenge Ordnung über weite Strecken aufweisen. Ein gutes Beispiel ist das uns allen bekannte Steinsalz, welches wir auch zum Würzen der Speisen verwenden („Kochsalz“). Es besitzt die chemische Formel NaCl. Betrachtet man den Steinsalz-Kristall auf atomarer Ebene, so fällt die strenge Ordnung der Elemente Natrium und Chlor auf [vgl. Strukturmodell von Steinsalz auf Tafel 1]: Entlang der Würfelkanten wechseln Na- und Cl-Atome einander regelmäßig ab: ...–Na–Cl–Na–Cl–... Räumlich gesehen ist jedes Na-Atom in geometrisch definierter Form von sechs Cl-Atomen umgeben und umgekehrt.

Das Gegenteil des kristallinen ist der so genannte amorphe Zustand, in dem die Atome keine strenge Ordnung über größere atomare Bereiche aufweisen und mehr oder weniger regellos verteilt sind. Ein typischer amorpher Festkörper ist Glas. Was bedeutet dann der zwar häufig auftauchende aber in sich widersprüchliche Begriff „Kristallglas“? Können Kristalle frei wachsen, bilden sie ebene, glatte Flächen aus. Dies folgt aus der atomaren Ordnung, da für einen kristallinen Festkörper glatte Flächen den energetisch günstigsten Fall einer räumlichen Begrenzung darstellen. Bei „Kristallglas“ handelt es sich um Glas, dem durch Schleifen glatter Flächen das Aussehen eines Kristalls verliehen wird. Nichtsdestotrotz ist dieser Begriff irreführend, da Glas keinen kristallinen Aufbau besitzt und von selbst nie glatte Grenzflächen ausbilden würde.

Was ist ein Mineral? Diese Definition ist gar nicht so einfach und so gab es im Laufe der Geschichte eine Reihe von unterschiedlichen Definitionsvarianten. Heute versteht man unter Mineral etwa Folgendes:

*„Ein Mineral ist ein natürlich vorkommender, anorganisch entstandener, homogener Festkörper, mit einer definierten chemischen Zusammensetzung und mit einem geordneten atomaren Aufbau.“*

Stark vereinfacht ausgedrückt handelt es sich also um einen Kristall, der „von selbst“ d.h. ohne das Zutun von Menschen und anderen Lebewesen, in der Natur entstanden ist. Es existieren jedoch auch einige wenige Ausnahmen.

Minerale sind nicht nur glitzernde Steine, welche die Vitrinen von Museen und Sammlern zieren, sondern sind vor allem auch ein wichtiger Bestandteil unserer natürlichen Umwelt: Sie bauen die festen Gesteine und Sedimente der Erdkruste auf, auf der wir leben. Jeder Stein besteht aus Mineralen. Heute sind etwa 4000 unterschiedliche Minerale bekannt. Einige kennt und nutzt der Mensch bereits seit Jahrtausenden.

Der Schlüssel zum Verständnis der Minerale und Kristalle liegt in ihrem atomaren Aufbau, der spezielle und zum Teil kurios anmutende, physikalische Eigenschaften erst ermöglicht. Eigenschaften können generell „isotrop“ – das heißt richtungsunabhängig – oder „anisotrop“ – das heißt richtungsabhängig – sein. Kristalle zeichnen sich in vielen Fällen durch Anisotropie aus.

### ***Tafel 2: Kristallstruktur***

Eine Kristallstruktur repräsentiert den geordneten atomaren Aufbau eines Kristalls und kann mittels sich mosaikartig wiederholender Einheiten beschrieben werden. Diese Einheiten werden Elementarzellen genannt und enthalten die Gesamtinformation des Raumgitters. Sie besitzen immer sechs Flächen und acht Ecken. Die Längen der Kanten und die Größen der Winkel können aber unterschiedlich sein. Es ergeben sich genau sieben mögliche Symmetrien für Raumgitter, nach denen alle Kristalle in sieben Kristallsysteme eingeteilt werden [vgl. Abbildung auf Tafel 3]: Man unterscheidet das trikline (trkl), monokline (mkl), orthorhombische (orhomb), trigonale (trig), tetragonale (tetr), hexagonale (hex) und kubische (kub) Kristallsystem. Dessen Angabe lässt bereits Rückschlüsse auf die möglichen Symmetrien und Eigenschaften zu und es wird daher im Folgenden zusätzlich zur chemischen Formel eines Minerals angeführt.

### ***Tafel 3: Symmetrie***

Eine grundlegende Eigenschaft, die sich aus dem geordneten atomaren Aufbau der Kristalle ergibt, ist die Symmetrie. Unter Symmetrie versteht man die gesetzmäßige Wiederholung eines Motivs. Je nachdem wie ein Motiv wiederholt, bzw. wieder mit sich zur Deckung gebracht werden kann, spricht man von unterschiedlichen Symmetrieelementen oder auch Symmetrieelementen. Einige wichtige Symmetrieelemente in Kristallen sind:

- Spiegelebenen: Spiegelung eines Motivs an einer imaginären Ebene
- Inversionszentrum: Spiegelung eines Motivs an einem imaginären Punkt
- Drehachsen: Drehung eines Motivs um eine imaginäre n-zählige Drehachse um einen Betrag von  $360^\circ/n$  [vgl. jeweilige Veranschaulichungen auf Tisch 3].

Aufgrund des dreidimensional periodischen Aufbaus des Kristallgitters, kann es hier nur 1-, 2-, 3-, 4-, und 6-zählige Drehachsen geben. 5-, 7- und höherzählige Drehachsen sind nicht realisierbar. Eine anschauliche Erklärung für den zweidimensionalen Fall wäre z.B. die Tatsache, dass es nicht möglich ist, eine Ebene lückenlos mit regelmäßigen Fünfecken zu bedecken, was hingegen mit gleichseitigen Drei-, Vier- und Sechsecken möglich ist [vgl. Versuch mit geometrischen Plättchen auf Tisch 3]. Daraus folgt, dass es nur eine begrenzte Anzahl von Symmetrien gibt, die mit dem Kristallbau vereinbar sind.

Die Symmetrie, die durch die atomare Anordnung der Atome vorgegeben ist, ist aber auch makroskopisch anhand der Kristallform sichtbar [vgl. Fluorit-Kristall und dessen Kristallstruktur auf Tafel 3]. Des Weiteren ist sie entscheidend für das anisotrope oder isotrope Verhalten gewisser Kristalleigenschaften.

Symmetrie an sich ist aber nicht auf das Mineralreich beschränkt, sondern ein wesentlicher Bestandteil der Natur und Kunst. So besitzen wir Menschen (wie fast alle höheren Tiere) eine Spiegelsymmetrie: Rein äußerlich sind linke und rechte Körperhälfte ident und ermöglichen schnelles Vorwärtstommen.

Im Folgenden soll auf einige interessante kristallphysikalische Eigenschaften eingegangen werden, die wichtige Rollen sowohl in der Technik als auch im Ablauf unseres modernen Alltags spielen:

### ***Tafel 3: Dichte***

Die Dichte ist zwar keine spezielle Eigenschaft des kristallinen Zustands, doch in Bezug auf die Identifikation von Mineralen und deren Anwendung sehr wichtig. Physikalisch gesehen repräsentiert sie die Masse pro Volumeneinheit eines Körpers. Besitzen zwei gleich große Körper eine unterschiedliche Dichte, so ist jener mit der geringeren Dichte der leichtere.

Minerale können Dichten innerhalb eines großen Wertebereiches aufweisen [vgl. Dichte-Skala auf Tafel 3]: Eis ( $\text{H}_2\text{O}$ , hex) besitzt eine sehr niedrige Dichte von ca.  $0,9 \text{ g/cm}^3$ . Aufgrund seiner besonderen Kristallstruktur ist es „leichter“ als Wasser (ca.  $1,0 \text{ g/cm}^3$ ) und schwimmt daher. Das ist auf den ersten Blick verwunderlich, denn in den meisten Fällen besitzen Festkörper eine größere Dichte als ihre Schmelze. Doch diese „Anomalie“ hat große Auswirkungen: Wegen seiner niedrigeren Dichte ist das Volumen von Eis größer als jenes derselben Menge Wasser. Das ist der Motor der Frostsprengung, die als wichtiger Bestandteil der Gesteinsverwitterung das Bild unserer Erde mit der Zeit verändert. Noch viel tiefgreifender ist die Tatsache, dass ohne diese Anomalie möglicherweise Leben auf der Erde nicht möglich wäre, da Gewässer sonst „von unten“ vollständig zufrieren würden.

Am anderen Ende des Dichte-Spektrums finden wir mit ca.  $22,6 \text{ g/cm}^3$  das Metall Osmium (Os, kub), welches auch als sehr seltenes Mineral in der Natur vorkommt.

Zwischen diesen Extremwerten sind alle bekannten Minerale angesiedelt. Deren Dichte ist von zwei Faktoren abhängig:

1. der Kristallstruktur: dicht gepackte Strukturen besitzen eine höhere Dichte als „lockere“. Graphit (C, hex) und Diamant (C, kub) bestehen beide ausschließlich aus dem Element Kohlenstoff. Aufgrund der unterschiedlichen Struktur besitzt Diamant eine Dichte von  $3,5 \text{ g/cm}^3$ , Graphit aber nur von  $2,2 \text{ g/cm}^3$ .
2. der Art der eingebauten Elemente: Bleiglanz (PbS, kub) besitzt die gleiche Struktur wie Steinsalz (NaCl, kub). Da aber Blei (Pb) ein viel schwereres Element als Natrium (Na) ist, ist die Dichte von Bleiglanz ( $7,4 \text{ g/cm}^3$ ) auch deutlich höher als jene von Steinsalz ( $2,1 \text{ g/cm}^3$ ).

Die Dichte ist für jede Verbindung charakteristisch und wird sogar schon seit der Antike zur zerstörungsfreien Materialanalyse herangezogen: Der berühmte griechische Mathematiker Archimedes konnte mit Hilfe der Dichtebestimmung feststellen, dass die Krone seines Königs nicht aus reinem Gold (Au, kub) besteht [vgl. nachgebautes Experiment auf Tafel 3]. Während des Badens soll ihm aufgefallen sein, dass ein untergetauchter Körper so viel Wasser verdrängt, wie seinem Volumen entspricht. Daraufhin verglich er die Menge des verdrängten Wassers der Krone mit einem reinen Goldbarren gleicher Masse. Die Krone verdrängte mehr Wasser – ihr Volumen war daher größer und bei gleicher Masse musste daher ihre Dichte niedriger sein. Bei dem Material konnte es sich also nicht um reines Gold gehandelt haben.

Auf diesem Prinzip basiert die Dichtebestimmung mittels so genannter hydrostatischer Waage, mit der noch heutzutage die Dichte von Mineralen und Kristallen bestimmt wird. Heute spielt die Dichte aber nicht nur bei der Bestimmung von Mineralen eine große Rolle, sondern ist auch eine wichtige technische Größe: Für manche Anwendungen benötigt man eine möglichst große Masse auf kleinem Raum (z.B. Tariergewichte in Flugzeugen, Bleigewichte zum Wuchten von Autoreifen,...), anderswo ist genau das Gegenteil erwünscht (z.B. Rennwagen mit Magnesium-Rahmen, Satelliten aus Beryllium-Metall,...).

#### ***Tafel 4: Härte***

Die Härte ist eine weitere charakteristische Materialeigenschaft, die auch zur Identifizierung herangezogen wird. Es gibt unterschiedliche Methoden die Härte einer Substanz zu bestimmen und zu klassifizieren. Die in der Mineralogie gebräuchlichste ist die Bestimmung der *Ritzhärte nach Mohs*. Friedrich Mohs, ein deutscher Mineraloge, publizierte im Jahr 1810 (als er gerade Professor in Graz war) seine zehnteilige qualitative Härteskala, die bis heute Bedeutung hat. Jede Mohs'sche Härte wird durch ein Standardmineral definiert [vgl. Härteskala auf Tafel 4]. Zur Bestimmung der Härte eines unbekanntes Minerals überprüft man, mit welchem der zehn Standardminerale es sich gerade noch ritzen lässt. Zur raschen Abschätzung gab Mohs zusätzlich andere Referenzen an: Minerale bis zu Härte 2 kann man mit dem Fingernagel ritzen, bis Härte 5 mit einem Stahlmesser. Das bedeutet, dass Stahl, den wir als Inbegriff der Härte auffassen, in der Welt der Minerale eher mittelmäßig abschneidet. Materialien über Mohs Härte 6 ritzen Glas. Diamant mit der Härte 10 ist das härteste bekannte Material und ist nur von sich selbst ritzbar. Wie kann man dann Diamanten schleifen? Nur mit anderen Diamanten und das auch nur, weil die Härte des Diamants eine anisotrope Größe ist. Beim Diamantschliff wird versucht den Richtungen mit der größten Härte auszuweichen. Die Härteanisotropie zeigt sich besonders deutlich beim Mineral Disthen ( $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$ , trkl) [vgl. Ritzversuch bei Tafel 4]: Während er in Längsrichtung der großen Fläche des tafeligen Kristalls mit einem Stahlmesser ritzbar ist, ist das in der Richtung senkrecht dazu nicht möglich.

#### ***Tafel 5: Spaltbarkeit***

Eine weitere anisotrope mechanische Eigenschaft, die sehr typisch für bestimmte kristalline Verbindungen ist, ist die Spaltbarkeit. Unter Spaltbarkeit versteht man die Eigentümlichkeit vieler Kristalle bei Druck, Zug oder Schlag entlang bestimmter atomarer Gitterebenen zu spalten. Da diese von der atomaren Struktur und Bindung abhängig sind, sind die entstehenden Spaltkörper oft charakteristisch für verschiedene Minerale und können auch zur Identifizierung herangezogen werden.

Sehr bekannt ist z.B. die ausgezeichnete Spaltbarkeit der Glimmer (z.B. Muskovit  $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$ , mkl), die aufgrund einer ausgeprägten atomaren Schichtstruktur bevorzugt parallel zu den Schichten spalten und so sehr dünne Blättchen bilden können. Schlägt man mit dem Hammer auf Calcit ( $\text{CaCO}_3$ , trig), so erkennt man, dass die entstehenden Spaltstücke einander immer sehr ähnlich sind: es handelt sich um kleine Rhomboeder mit glatten, glänzenden Flächen [vgl. Versuch: Zerschlagen eines Calcits mit Hammer]. Das Steinsalz spaltet nach dem Würfel, der Fluorit ( $\text{CaF}_2$ , kub) nach dem Oktaeder. Auch der Diamant besitzt eine gute Spaltbarkeit nach dem Oktaeder. Trotz seiner Härte ist er somit nicht unzerstörbar. Manche Minerale wie z.B. Quarz ( $\text{SiO}_2$ , trig) besitzen keine Spaltbarkeit. Bei mechanischer Beanspruchung bricht Quarz „muschelrig“, ähnlich wie Glas.

### **Tafel 6: Elektrische Eigenschaften**

Die Beherrschung der Elektrizität öffnete dem Menschen eine Welt voller neuer Möglichkeiten, deren rasante Entwicklung unvermindert anhält. Ohne Minerale wäre das wohl nicht zu bewerkstelligen gewesen. Heute leiten wir noch immer den Strom durch Leitungen aus Kupfer, erzeugen ihn in Generatoren, die mit Glimmer isoliert sind und machen Kabelstränge durch Talk ( $\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ , mkl) biegsam. Diese Liste könnte noch lange fortgesetzt werden.

Einige Minerale sind *elektrisch leitfähig* [vgl. Minerale im Stromkreis auf Tafel 6]. Ein Beispiel wäre Graphit. Aufgrund seiner Leitfähigkeit wird er heute beispielsweise als Elektrodenmaterial eingesetzt. Die höchsten Leitfähigkeitswerte bei Raumtemperatur weisen Metalle auf. Obwohl Silber (Ag, kub) hier bessere Eigenschaften besitzt, bestehen die Leitungen heute fast ausschließlich aus dem billigeren und in Massen verfügbaren Kupfer (Cu, kub). Beide Edelmetalle kommen in der Natur auch selten gediegen (d.h. in ihrer Reinform als Elemente) vor, doch werden sie heutzutage aus anderen Erzmineralen (meist Metallsulfiden) gewonnen.

Manche Materialien verlieren unterhalb einer (sehr tiefen) Temperatur ihren elektrischen Widerstand vollständig. Dieses Phänomen bezeichnet man als „*Supraleitung*“. Seit den späten 1980ern sind kristalline Verbindungen bekannt, bei denen die Sprungtemperatur der Supraleitung über dem Siedepunkt des flüssigen Stickstoffs ( $-196^\circ\text{C}$ ) liegt. Heute wird durch Kristallographen intensiv an diesen „Hochtemperatur-Supraleitern“ geforscht, die in Zukunft bisher ungeahnte technische Möglichkeiten eröffnen könnten.

Neben der Leitfähigkeit gibt es noch eine Reihe weiterer elektrischer Eigenschaften, die der Allgemeinheit weniger bekannt, aber aus der modernen Technik nicht wegzudenken sind: Aus mineralogischer Sicht besonders interessant sind die Pyro- und die Piezoelektrizität, da diese Effekte beide an Mineralen entdeckt wurden.

Es sollen holländische Seeleute gewesen sein, denen auffiel, dass Turmaline (z.B. Dravit  $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH},\text{F})$ , trig), nachdem man sie erhitzt hatte, in der Lage waren Aschepartikel anzuziehen. *Pyroelektrische Kristalle* laden sich beim Erwärmen oder Abkühlen elektrisch auf. Dieser Effekt kann nur in Kristallen und auch nur in solchen mit bestimmten atomaren Symmetrien auftreten. Heute setzt man die so genannten Pyroelektrika beispielsweise in Bewegungsmeldern ein: Eine geringe Temperaturerhöhung durch eine, in mehreren Metern Entfernung vorbeigehende Person, reicht aus, um eine Spannung zu erzeugen und einen Alarm auszulösen oder Licht einzuschalten.

Quarz ist eine der ersten Substanzen an denen der piezoelektrische Effekt beobachtet wurde. Unter *Piezoelektrizität* versteht man die Eigenschaft mancher Kristalle, sich bei Beanspruchung durch Druck oder Zug elektrisch aufzuladen [vgl. Schema auf Tafel 6]. Viele elektrische Drucksensoren basieren auf diesem Prinzip. Umgekehrt geraten diese Kristalle beim Anlegen eines elektrischen Wechselfeldes in Schwingung. Aufgrund dieser Eigenschaft ist synthetischer Quarz im täglichen Leben allgegenwärtig: So genannte „Schwingquarze“ finden sich in fast jeder Armbanduhr, PC, Handy,... wo sie als präzise Taktgeber dienen. Vibrieren Piezo-Kristalle in einem gewissen Frequenzbereich, können sie Schallwellen erzeugen. Auf diese Weise funktionieren nicht nur Ultraschallgeräte und Sonaranlagen, sondern in Form von Mikrolautsprechern sind sie auch für die Melodien von Handys und elektronischen Geburtstagskarten verantwortlich.

### ***Tafel 7: Magnetische Eigenschaften***

Bereits in der Antike erkannten die Menschen, dass besondere Steine in der Lage waren, Eisenspäne auf „magische“ Weise anzuziehen. Der Magnetismus verdankt seinen Namen dem Mineral an dem er erstmals beobachtet wurde: dem „Stein aus Magnesia“, dem Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , kub). Heute sind viel stärkere Permanentmagnete als Magnetit bekannt und es wird laufend nach Verbindungen gesucht, die noch bessere magnetische Eigenschaften besitzen [vgl. Versuch auf Tafel 7: sehr kleiner Magnet hält großes Gewicht].

Unsere Erde ist selbst auch ein großer Magnet, nicht zuletzt wegen ihres mineralischen Kerns aus Eisen und Nickel, zweier Metalle, die magnetische Eigenschaften besitzen. Auf dem Prinzip, dass sich kleine Magnete nach dem Erdmagnetfeld ausrichten, beruht der Kompass. Die ersten Kompassnadeln besaßen „Nadeln“ aus Magnetit. Von einigen Tierarten wie zum Beispiel Tauben, ist ebenfalls bekannt, dass sie sich nach dem Erdmagnetfeld orientieren können. Das bewerkstelligen sie mittels spezieller Organe, in denen sich kleinste Magnetit-Kristalle befinden.

Aufgrund ihres Verhaltens in einem Magnetfeld kann man Verbindungen grob in drei Gruppen einteilen:

- diamagnetische Stoffe werden von den Polen eines Magneten schwach abgestoßen (z.B. Quarz, Graphit,...)
- paramagnetische Stoffe werden von den Polen eines Magneten schwach angezogen (z.B. Platin, Pyrit,...)
- ferromagnetische Stoffe werden von den Polen eines Magneten stark angezogen (z.B. Eisen, Magnetit,...).

Unter speziellen Umständen kann man starke Diamagnete über starken Ferromagneten sogar frei schweben lassen [vgl. Versuch auf Tafel 7: frei schwebender Graphit].

Die magnetische Eigenschaft der Kristalle ist sowohl abhängig von der Art der eingebauten Elemente als auch von der Kristallstruktur. Pyrit ( $\text{FeS}_2$ , kub) und Magnetkies ( $\sim\text{FeS}$ , trkl) sind zwar aus denselben chemischen Elementen aufgebaut, jedoch besitzen sie eine unterschiedliche Struktur und sind anhand ihrer magnetischen Eigenschaften leicht unterscheidbar [vgl. Versuch auf Tafel 7: Unterscheidung der Minerale Magnetkies und Pyrit mittels eines Magneten].



### **Tafel 8: Thermische Eigenschaften**

Ähnlich der elektrischen Leitfähigkeit gibt es auch in Bezug auf die *Wärmeleitfähigkeit* gute und schlechte Leiter. Die Natur hat den Menschen mit „Detektoren“ zur Wahrnehmung der Wärmeleitfähigkeit ausgestattet: die Nervenzellen in unserer Haut. Bei gleicher Ausgangstemperatur fühlt sich ein Stück Metall auf der Haut kalt, ein Stück Holz hingegen warm an [vgl. Versuch auf Tafel 8]. Der Grund liegt darin, dass die Körperwärme durch das thermisch gut leitende Metall schnell abgeführt wird, während sie sich an der Oberfläche des thermisch schlecht leitenden Holzes staut. Unterschiedliche Minerale besitzen unterschiedlich gute Wärmeleit-eigenschaften: Eine Skulptur aus Marmor wird uns aufgrund der relativ guten Wärmeleitfähigkeit des Calcits angenehm kühl vorkommen. Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , mkl) leitet die Wärme weniger gut und trägt beim Hausbau in Form von Gipskartonplatten zur Wärmeisolation bei.

Eine weitere thermische Eigenschaft ist die *Wärmedehnung*. Die allermeisten Substanzen, auch die meisten Minerale, dehnen sich beim Erwärmen aus, was in verschiedenen Situationen berücksichtigt werden muss (z.B. Wärmedehnfugen auf Brücken). In der Welt der Kristalle finden sich aber auch Materialien, die sich bei steigender Temperatur nicht ausdehnen oder sogar zusammenziehen. Ein praktisches Beispiel finden wir in fast jeder Küche: Die Kochplatten von Elektroherden bestehen in vielen Fällen aus Cordierit-Glaskeramik. Die synthetischen Cordierite – in der Natur  $(\text{Mg,Fe})_2(\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18})$  (orthomb) – dehnen sich bei Temperaturerhöhung, die beim Kochen auftritt (und mehrere  $100^\circ\text{C}$  betragen kann) kaum aus. Bei Kristallen kann die Wärmeausdehnung anisotrop, also richtungsabhängig, sein. Schleift man aus einem Calcit-Kristall eine perfekte Kugel und erwärmt diese, dann wird man nach einiger Zeit eine Verformung der Kugel feststellen. In einer Richtung hat sie sich ausgedehnt, in den Richtungen senkrecht dazu sogar ein wenig zusammengezogen. Aufgrund der anisotropen thermischen Ausdehnung ist aus der Kugel ein Ellipsoid geworden [vgl. Abbildung auf Tafel 8].

### **Tafel 9: Optische Eigenschaften**

Die optischen Eigenschaften eines Materials werden durch die Wechselwirkung von Licht und Materie bestimmt. In der klassischen geometrischen Optik beschreibt man Licht als elektromagnetische Welle: Als sichtbares Licht bezeichnen wir jenen kleinen Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums, den wir mit unseren Augen wahrnehmen können.

Das Licht pflanzt sich im Vakuum mit der größten uns bekannten Geschwindigkeit von etwa  $300000 \text{ km/s}$  aus. In jedem anderen Medium ist das Licht um einen charakteristischen Betrag langsamer. Man spricht im Vergleich auch von „optisch dichten“ Medien, in denen sich das Licht langsamer ausbreitet, und „optisch dünnen“ Medien, in denen sich das Licht schneller ausbreitet. Tritt ein Lichtstrahl von einem Medium in ein anderes Medium mit unterschiedlicher „optischer Dichte“ ein, so wird er an der Grenzfläche zwischen diesen beiden Medien „gebrochen“, das heißt der Lichtstrahl erfährt eine Richtungsänderung.

Beim Übergang von optisch dünnen zu optisch dichten Medien spricht man von einer „Brechung zum Lot“, beim Übergang von optisch dicht zu optisch dünn von einer „Brechung vom Lot“. Bei der Brechung vom Lot kann der Fall eintreten, dass der Brechungswinkel den Wert von  $90^\circ$  überschreitet. Ab diesem Zeitpunkt kann das Licht nicht mehr in das optisch dünnere Medium eintreten und wird vollständig reflektiert [vgl. Versuch: Totalreflexion an einem Plexiglaskörper auf Tafel 9]. Man nennt diesen Effekt „*Totalreflexion*“.

Die Eigenschaft der Totalreflexion wird beispielsweise bei der Herstellung von Diamantschmuck ausgenutzt: Die Winkel im klassischen Brillantschliff sind so gewählt, dass das Licht möglichst oft zum Betrachter zurück totalreflektiert wird. Erst dieser Schliff verleiht dem Diamanten sein unvergleichliches „Feuer“ [vgl. Brillantmodell und Schema auf Tafel 9].

Auch in der modernen Technik spielt die Totalreflexion eine große Rolle: Auf diesem Prinzip basieren Glasfaser-Lichtleiter, mit denen heute große Datenmengen ohne nennenswerten Verlust übertragen werden können. Das Mineral Ulexit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , trkl) ist ein natürlicher Lichtleiter. Der eigentümliche Effekt der entsteht, wenn man eine Unterlage durch diesen Stein betrachtet, hat ihm auch die Bezeichnung „TV-rock“ eingetragen [vgl. Versuch auf Tisch 9].

Brechung und Totalreflexion sind keine speziellen Eigenschaften des kristallinen Zustands und können ebenso an Gläsern und anderen transparenten amorphen Festkörpern und an Flüssigkeiten beobachtet werden. Im Gegensatz zu Gläsern ist in den meisten Kristallen (jenen mit nicht kubischer Symmetrie) die Geschwindigkeit, mit der sich das Licht in ihnen ausbreitet, von der Durchstrahlungsrichtung abhängig. Daraus resultiert der erstaunliche Effekt der „*Doppelbrechung*“, der 1669 von E. Bartholinus an einem Calcit-Kristall entdeckt wurde: Ein Lichtstrahl wird beim Eintritt in den Kristall in zwei Strahlen aufgespaltet. Betrachtet man eine Unterlage durch den Kristall, so erscheint jedes Detail doppelt [vgl. Versuch auf Tisch 9].

### **Tafel 10: Farbe**

Eine weitere wichtige Materialeigenschaft, die auf der Wechselwirkung von Licht und Materie beruht, ist die Farbe. Viele Minerale können durch schöne Farben eine so große Faszination auf uns ausüben, dass wir sie zu Schmuckzwecken einsetzen.

Es gibt eine Reihe sehr unterschiedlicher *Farbursachen*. Eine der häufigsten ist der Einbau von färbenden Nebengruppenelementen wie z.B. Chrom, Eisen oder Kupfer. Die Farbe, die wir sehen, wird jedoch nicht nur von der Art und der Wertigkeit der eingebauten Metalle beeinflusst, sondern ist auch von der Kristallstruktur abhängig. So besitzen die Minerale Malachit  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$  (mkl) und Azurit  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  (mkl) einen sehr ähnlichen Chemismus mit zweiwertigem Kupfer als färbenden Metallion, doch aufgrund der unterschiedlichen Kristallstruktur ist Malachit grün und Azurit blau.

Oft reichen bereits geringe Mengen bestimmter Fremdelemente aus, um an sich farblosen Mineralen prächtige Farben zu verleihen. Ein schönes Beispiel bietet das Mineral Beryll  $\text{Al}_2\text{Be}_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})$  (hex). Geringe Gehalte gewisser Übergangsmetalle, die das Aluminium in der Kristallstruktur teilweise ersetzen, sind für die Färbung verantwortlich. Die Farbvaritäten des Berylls besitzen klingende Namen (Smaragd, Aquamarin) und sind bekannte Edelsteine [vgl. Abbildungen auf Tafel 10].

Interessanterweise ist auch die Farbe mancher Kristalle von der Betrachtungsrichtung abhängig. Besitzt ein Mineral in unterschiedlichen Richtungen unterschiedliche Farben und Helligkeiten, so spricht man von „*Pleochroismus*“. Der visuelle Farbeindruck, den manche Kristalle erzeugen, ist sehr sensibel gegenüber geringen Unterschieden der spektralen Zusammensetzung des Lichts. Ein Mineral, welches diesen Effekt deutlich zeigt, ist der Alexandrit ( $\text{Al}_2\text{BeO}_4$ , orhomb, mit geringem  $\text{Cr}^{3+}$ -Gehalt): Bei Tageslicht erscheint er grün, im Kunstlicht rot [vgl. Versuch auf Tafel 10].

Die Farbe ist ein wichtiges Erkennungsmerkmal vieler Minerale. Eine weitere Bestimmungshilfe ist die Farbe eines mit dem Mineral auf einer rauhen, weißen Kachel gezogenen Strichs [vgl. Versuch auf Tisch 10]. Dieser muss nicht mit der ersichtlichen Farbe des Minerals übereinstimmen: So ist beispielsweise der Strich des silbrig schwarz glänzenden Hämatits ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , trig) nicht schwarz, sondern rot. Diese Eigenschaft brachte ihm auch den Namen „Blutstein“ ein. So wie die kleinen Scherben einer durchsichtigen Fensterscheibe weiß erscheinen, erzeugt auch das Pulver eines Minerals mitunter einen anderen visuellen Farbeindruck als ein kompakter Kristall. Die *Strichfarbe* ist nichts anderes als die Farbe des Mineralpulvers.

Jenseits des Bereiches des sichtbaren Lichtes liegt der ultraviolette Spektralbereich. Manche Minerale sind in der Lage die unsichtbaren UV-Wellen zu absorbieren und in Form von sichtbarem Licht wieder abzustrahlen [vgl. Versuch auf Tisch 10]. Diese Eigenschaft bezeichnet man als *UV-Lumineszenz*. Man unterscheidet prinzipiell zwischen zwei Typen: Bei der so genannten „Fluoreszenz“ verschwindet der Leuchteffekt – und damit die Farbe – mit dem Abschalten der UV-Quelle. Bei der so genannten „Phosphoreszenz“ leuchten die Minerale hingegen noch eine Weile nach dem Abschalten nach.

### ***Tafel 11: Mineralogie in Österreich***

Auf dieser Tafel wird ein Überblick über die Studiemöglichkeiten gegeben und der Verein der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft vorgestellt.

In folgenden Städten Österreichs kann man derzeit ein mineralogisches Studium belegen: Wien, Graz, Leoben, Salzburg und Innsbruck.

Die Österreichische Mineralogische Gesellschaft (ÖMG) steht allen Mineralienliebhabern offen und ermöglicht so den Austausch zwischen Wissenschaftlern, Museen und Sammlern.

Es werden geboten:

*Vorträge:* An den Veranstaltungsorten Wien, Graz, Leoben, Salzburg und Innsbruck finden regelmäßig öffentliche Vorträge statt.

*Buchband:* Jedes Mitglied erhält jährlich den neuen Buchband „Mitteilungen der ÖMG“.

*Bestimmungsabende:* Hilfe bei der Bestimmung „problematischer“ Minerale an den Universitäten und Museen.

*Tagungen:* Jedes zweite Jahr findet eine große Tagung der ÖMG statt („MinPet“).

*Exkursionen:* Lehrfahrten zu interessanten Mineralvorkommen im In- und Ausland.

Weitere Informationen erhalten Sie unter <http://www.univie.ac.at/mineralogie/oemg.at>

## **II. Minerale und Kristalle im Alltag**

Die früheste Epoche menschlicher Geschichte wird als Steinzeit bezeichnet. Aus Steinen – also aus Mineralen - wurden Werkzeuge, Waffen und Kultobjekte hergestellt. Höhlen, natürliche Hohlräume in Gesteinen, dienten mitunter als Behausung oder rituelle Stätten. Mit Hilfe von Mineralfarben wurden deren Wände mit Malereien verziert. Das Leben der Menschen wurde nicht unwesentlich von Mineralen geprägt.

Streng genommen hat die „Steinzeit“ nie aufgehört, denn nach wie vor sind wir auf die Verwendung von Mineralen und mineralischen Rohstoffen angewiesen.

Ihr mengenmäßiger Gebrauch hat in Relation zur Urgeschichte sogar drastisch zugenommen. Hinzu kommen noch unzählige synthetische Kristalle, die der Mensch herzustellen gelernt hat. Jedoch führen sie alle ein scheinbar verborgenes Dasein. Nur selten sind die Minerale als solche erkennbar und nur selten schenkt man ihnen gebührende Aufmerksamkeit. Doch ohne sie könnten wir heute nicht telefonieren, fernsehen, Strom erzeugen, Auto fahren,...

Obwohl es uns nicht immer bewusst ist, sind wir täglich von vielen Kristallen und Mineralen umgeben. Minerale bauen den Großteil unseres Planeten auf und sind schon aus diesem Grund allgegenwärtig und von großer Wichtigkeit. Mit der Zeit hat der Mensch gelernt ihre besonderen Eigenschaften zu nutzen. Nach der Verwendung unterteilt man mineralische Rohstoffe in folgende Gruppen:

*Erzminerale:* Bestimmte Minerale sind wichtige Rohstoffe zur Gewinnung von Metallen, Halbmetallen und anderen Elementen. Ein Beispiel ist der Kupferkies ( $\text{CuFeS}_2$ , tetr) aus dem Kupfer gewonnen wird.

*Industriemineralie:* Mineralische Rohstoffe, die als solche verwendet werden. Ein einfaches Beispiel wäre Splitt aus Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , trig), mit dem bei Glatteis Straßen und Wege gestreut werden oder das Steinsalz, das wir täglich mit der Nahrung zu uns nehmen.

Manche Minerale sind nicht nur wichtige Erze zur Gewinnung bestimmter Elemente, sondern finden auch als Industriemineralie Verwendung. Ein klassisches Beispiel wäre Quarz: Man gewinnt aus ihm nicht nur das, z.B für die Halbleiterindustrie so wichtige Element Silizium, sondern setzt ihn auch in unverändert mineralischer Form, z.B. als Sand in vielen Anwendungsbereichen ein.

Auch in Österreich werden einige bedeutende Mineralvorkommen abgebaut und zu Produkten weiterverarbeitet, mit denen österreichische Unternehmen weltweite Bedeutung erlangt haben. Anhand ausgewählter Beispiele zeigt die Ausstellung den Weg vom Ausgangs- zum Endprodukt.

Wo begegnen uns Minerale im täglichen Leben? Wollte man alle Anwendungen aufzählen, würde man wahrscheinlich mehrere dicke Buchbände füllen können. Deshalb werden hier nur einige in einem kurzen Überblick vorgestellt:

Manchmal verläuft die erste tägliche Begegnung mit Kristallen für uns leider nicht so angenehm: Wir müssen aufstehen weil der Wecker läutet. Das Piepsen wird mitunter auch durch Piezo-Kristalle verursacht, welche aufgrund der angelegten Wechselspannung mit einer hörbaren Frequenz schwingen. In elektronischen Weckern ist ein Quarz-Kristall eingebaut, der aufgrund seiner piezoelektrischen Eigenschaft als Taktgeber fungiert. Auch die Quarz-Armbanduhr enthält einen „Schwingquarz“. Die kratzfesten „Uhrgläser“ qualitativ hochwertiger Uhren bestehen aus sehr hartem Aluminiumoxid (in der Natur: Korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , trig). Manche Hersteller fertigen auch andere Teile der Uhr aus extrem harter Zirkoniumoxid-Keramik an. Nahezu unverwüsthliche Uhren erhält man heute durch Beschichtung mit Diamant.

Beim Blick in den Spiegel – dessen reflektierende Wirkung von einer Schicht Silber herrührt – putzen wir uns in der Früh die Zähne. Die Zahnpasta ist weiß aufgrund weißer Pigmente ( $\text{TiO}_2$ , in der Natur: Rutil, Anatas) und enthält unterschiedliche mineralische Schleifpartikel (z.B. Calcit), die den Belag von unseren Zähnen scheuern.

Kristalline Verbindungen helfen uns auch noch anderwärtig unser Erscheinungsbild zu verbessern: Die meisten Kosmetika beruhen auf mineralischer Basis (z.B. Talk, Glimmer) und um unangenehmen Körpergeruch zu verhindern, benutzen wir Deostifte aus bakteriziden Alaun-Kristallen.

Unser Auto ist eine Fundgrube vieler Minerale: Ein durchschnittlicher PKW enthält allein um die 12 kg Talk z.B. als Füllstoff in Kunststoffteilen. Weiters werden Quarz, Glimmer, Calcit, Wollastonit ( $\text{CaSiO}_3$ , trkl),... in großen Mengen als Füllstoffe eingesetzt. Metallic- und Farbwechsel-Effekte werden durch behandelte Glimmer-Plättchen im Lack hervorgerufen. Daneben finden unzählige andere kristalline Verbindungen in den unterschiedlichsten Anwendungen ihren Einsatz. Ein großer Teil des Autos besteht aus Metallen: Rahmen, Karosserie und Motor sind aus Stahl, Aluminium oder Magnesium gefertigt, welche aus Erzmineralen gewonnen werden. Metalle sind leicht in die gewünschte Form zu bringen und besitzen gute mechanische Eigenschaften, weisen aber auch charakteristische Schwächen auf. Überall dort, wo Metalle nicht eingesetzt werden können, finden andere Werkstoffe Verwendung: Da Zündkerzen gute elektrische Isolatoren sein und zum Teil hohe Temperaturen aushalten müssen, werden sie aus Aluminiumoxid-Keramik (in der Natur als Korund:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , trig) hergestellt. Der Katalysator-Träger besteht meist aus Cordierit-Keramik, der mit Zeolithen und Platin-Metallen beschichtet ist. Auch die Lambda-Sonde, über welche das jeweilig richtige Luft-Benzin-Gemisch eingestellt wird, funktioniert aufgrund der Ionenleitfähigkeit von Zirkoniumoxid-Keramik.

Die generellen Vorteile von Keramik-Werkstoffen gegenüber Metall sind bestechend: Sie besitzen meist ein geringeres Gewicht, eine weit höhere Härte und sind viel temperaturbeständiger. Diese Faktoren sind im Fahrzeugbau sehr erwünscht und manche Hersteller setzen daher Keramik-Werkstoffe auch schon kommerziell in Kupplung und Bremsen ein.

Die meisten Elektrik- und Elektronik-Bestandteile des Autos funktionieren nur aufgrund der Eigenschaften kristalliner Festkörper. In Rückfahrselektoren, Warntonanlagen und im Direkteinspritzsystem werden Piezokristalle eingesetzt. Kleine Elektromotoren, beispielsweise in elektrischen Fensterhebern oder zum Verstellen der Rückspiegel, enthalten Graphit und kristalline Permanentmagnete. Die Glühdrähte der Scheinwerferlampen und die Drähte der Heckscheibenheizung bestehen aus hochtemperaturbeständigem Wolfram. Diese Liste könnte noch lange fortgesetzt werden.

Müssen wir etwas aufschreiben oder -zeichnen, kommen wir nicht umhin Minerale zu verwenden: Bleistifte bestehen aus Graphit und Tonmineralen. Buntstifte enthalten viele verschiedene mineralische Füllstoffe. Füllfedern besitzen mitunter eine Spitze aus Gold oder Iridium, welche beide in der Natur als Minerale vorkommen. Die Kugel des Kugelschreibers besteht meist aus Wolframcarbid, einer harten kristallinen Substanz. Auch unser bevorzugtes Schreibmaterial, das Papier, besteht zu einem großen Prozentsatz aus Mineralen als Füllstoffe und Weißpigmente (Calcit, Talk,...).

Die ersten gemalten Bilder wurden mit Mineralfarben an die Wände von Höhlen gemalt und dokumentieren die ersten künstlerischen Versuche der Menschheit. Noch heute werden viele Farbpigmente aus Mineralen gewonnen.

Im Sport werden geschickt kristalline Substanzen eingesetzt, die unsere Schlagkraft beim Tennis verstärken, die Vibrationen von Rennski minimieren, Bowlingkugeln härter treffen lassen, Dartpfeilen eine stabilere Flugbahn ermöglichen,... Sportarten wie Beachvolleyball oder Weitsprung wären ohne – zum Großteil aus Quarz bestehenden – Sand nicht vorstellbar. Auch die Linien beim Fußballspiel bestehen aus fein gemahlenden Mineralen (Calcit).

Kristalle und Minerale machen auch vor unserem Esstisch nicht halt: Wir essen mit Besteck aus Stahl, Silber oder Aluminium – Metallen, die allesamt aus Mineralen gewonnen werden – von Tellern aus Porzellan und Gebrauchskeramik - die aus den Ausgangsprodukten Quarz, Kalifeldspat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , mkl) und Kaolinit ( $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ , trkl) hergestellt wurden. Neuerdings gibt es auch Messer aus extrem harter Hochleistungskeramik, die kaum noch geschliffen werden müssen.

Der Geschmack unserer Lebensmittel wird mit Kristallzucker und Speisesalz (3-4g pro Tag) verbessert. Viele andere Kristalle und Minerale nehmen wir unbewusst zu uns: Im Laufe seines Lebens nimmt der Mensch allein etwa 12kg Gips mit der Nahrung zu sich. Bei dem weißen Pulver auf Kaugummis handelt es sich um Talk und die weiße Farbe auf der Haut der Salami wird meist durch Titanoxide (als Rutil oder Anatas aus der Natur bekannt) verursacht.

Nach dem Essen räumen wir Teller und Besteck in den Geschirrspüler. Hier werden Zeolithe – Gerüstsilikate, die auf atomarer Ebene große Hohlräume besitzen – zur Wasserenthärtung und Verbesserung der Waschwirkung eingesetzt. Auch im Waschmittel sind aus diesem Grund Zeolithe enthalten. Weiters sind sie mitunter ein Bestandteil von Katzenstreu, wo sie unangenehme Gerüche absorbieren. Ein neuentwickeltes Bierfass ist mit Hilfe von Zeolithen in der Lage, Bier ohne Strom zu kühlen. Es wird intensiv an der Erforschung und Entwicklung neuer zeolithischer Verbindungen gearbeitet, da sie eine Vielzahl von interessanten Eigenschaften besitzen.

Minerale und ähnliche kristalline Verbindungen können auch ganz entscheidend zu unserer Gesundheit beitragen: Wir nehmen sie als Nahrungsergänzungsmittel, als Trägersubstanz von Tabletten oder als Arzneiwaren zu uns. Die Medizin ist noch in weiterer Hinsicht auf kristalline Substanzen angewiesen und hier spielen auch Minerale eine wichtige Rolle: Fast jeder von uns bekam nach einem Knochenbruch schon einen „Gips“ (in der Tat meist aus Gips). Um Erkrankungen im Magen-Darmbereich feststellen zu können, muss man Röntgenkontrastmittel aus Bariumsulfat (in der Natur als Baryt:  $\text{BaSO}_4$ , orhomb) schlucken. Heutzutage werden Knochenprothesen, wie künstliche Hüftgelenke, auch aus Keramik und Titan angefertigt, da diese körperverträglich und höchst abriebresistent sind. Auch in der Zahnprothetik wird zunehmend zu keramischen Werkstoffen gegriffen: Kronen und Inlays aus synthetischem Spinell ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , kub), Zirkoniumoxid oder Aluminiumoxid (alle in der Natur so oder in ähnlicher Form als Minerale bekannt) sind kaum von echter Zahnschmelze zu unterscheiden.

Nicht zuletzt bestehen wir selbst zu einem großen Prozentsatz aus kristalliner Substanz: Etwa 20 kg unseres Körpers entfallen auf Knochen, welche vornehmlich aus Apatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F})$ , hex) bestehen. Andere Lebewesen setzen auf andere Skelettschmelzen: Besonders weit verbreitet sind „Calcit“ (z.B. Seeigelpanzer), Aragonit ( $\text{CaCO}_3$ , orhomb)(z.B. Sepiaschulp, Perlmutter) und „Skelettopal“ ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )(z.B. Kieselalgen). Obwohl sie vom atomaren Aufbau her ident sind, handelt es sich hierbei aber per definitionem nicht um Minerale, da sie von den Lebewesen gebildet und nicht abiogen in der Natur entstanden sind.

## **Danksagung**

Ich danke den bei der Ausstellung genannten Firmen für die zahlreichen zur Verfügung gestellten Exponate. Für hilfreiche Diskussionen sei den Mitgliedern des Instituts für Mineralogie und Kristallographie der Universität Wien gedankt.