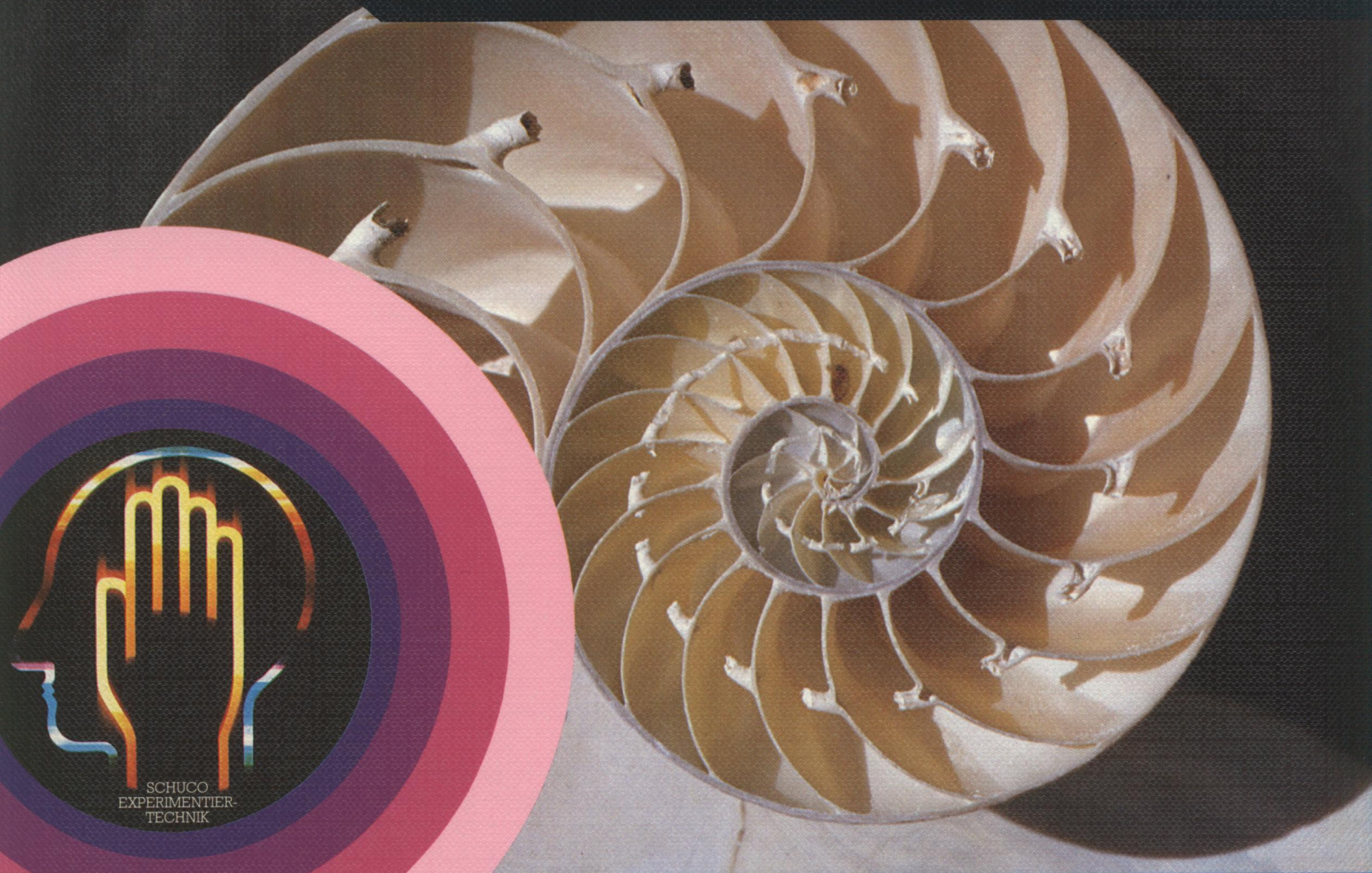


Schuco[®]

ARCHITEKT NATUR



Anleitungsbuch
zum Experimentierkasten
„Architekt Natur“



**Vorsicht !
Chemikalien bitte nicht in Reichweite von Klein-
kindern gelangen lassen. Geeignet ab 12 Jahre.**

Copyright: G. A. Mangold – Fürth 1984

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

1. Auflage, Fürth 1984

Printed in Germany – Imprimé en Allemagne

G. A. Mangold GmbH + Co KG

8510 Fürth/Bay. · Lange Straße 69–75 · Telefon 0911 / 7 8181

Die Natur als Architekt

Vom Schneekristall
bis zum Schneckenhaus

Herausgeber

Prof. Dr. Wolfgang Kuhn
Ingeborg Westermeier
Georg Adam Mangold

Die Natur als Architekt

Vom Schneekristall
bis zum Schneckenhaus

von
Professor Dr. Wolfgang Kuhn,
Universität Saarbrücken

in Zusammenarbeit mit
Ingeborg Westermeier, München

Georg Adam Mangold, Fürth 1984

	Seite
Das mußt du wissen und beachten	6
Ein unverwüstlicher Würfel	8
Ohne Kochsalz kein Leben	8
Eine erstaunliche Sache	9
Im Reich der Kristalle herrscht Ordnung	
Die Probe aufs Exempel	10
Keine Angst vor etwas Theorie	10
Ionen und Moleküle	
Kristallgitter	
Raumgitter und Ionengitter	
Kristalle „wachsen“	11
Gesättigte Lösungen	
langames und schnelles Auskristallisieren	
Das Wachstum der Lebewesen ist etwas ganz anderes	13
Wie findet sich, was zusammengehört ?	14
Kochsalz-Ionen und Zuckermoleküle	
Kristalle wachsen gesetzmäßig	
Ein Kapitel – notfalls zum Überschlagen	16
Kristallsysteme	
Die Sache mit der Achse	
Was geschieht eigentlich beim Lösungsvorgang ?	18
Lösungsmittel Wasser	
Die Temperatur des Lösungsmittels	
Wo aber bleibt die Energie ?	19
Kristallwasser	
Übersättigte Lösungen	
Bewegungsenergie	
Kaltgesättigte Lösungen	
Heißgesättigte Lösungen	
Kristallisationskerne	
Wie kann man Kälte machen ?	23
Eine Kältemischung	
Schneekristalle	
Streusalz gegen Straßenglätte	25
Wir bauen ein Modell des Salzkristallgitters	27
Auch das „Atomium“ in Brüssel ist ein Raumgitter und läßt sich nachbauen	29
Was verrät die Spaltbarkeit ?	29
Spaltflächen und Spaltebenen	
Was ist eine Elementarzelle?	
Teures Wasser im Kristall	31
Versuche zum Thema Kristallwasser	

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kochsalz hat Geschichte gemacht	36
Ein einfacher Nachweis für Kochsalz	45
Jeder Stoff hat seine Visitenkarte	46
Zum letzten Mal: Kochsalz !	47
Unveränderliche Kennzeichen – auch bei Stoffen	48
Aggregatzustände	
2 verschiedene Schwefelkristalle	
Sublimation	
Wann und wie bilden sich Kristalle?	
Wir stellen „Berliner Blau“ her	
Du kannst Kristalle züchten	59
Kristallisationskeime	
Was ist ein Impfkristall?	
Mischkristalle – eine ganz besondere Zucht	61
Ein Mobile aus Kristallmodellen	64
Die 6 wichtigsten Kristallsysteme	
Lebewesen geben der Materie eine bestimmte Form	68
Blattformen	
Zähne und Zahnformen	
Kristalle in der lebenden Zelle	71
Biokristalle	
Oxalate in Pflanzen	
Raphiden und Kristalldrüsen	
Die Gestalt der Lebewesen – ein ungelöstes Rätsel	73
Ein Quarzkristall im Brennesselhaar	
Versuche mit dem Mikroskop	
Kunstformen bei Einzellern	
Unregelmäßige Gehäuse aus regelmäßigen Kristallen	77
Die Entstehung von Kalkstein	
Kunstvolle Schneckenhäuser	

Das mußt du wissen und beachten

Der Begriff „Kristall“ leitet sich von dem griechischen Wort „krystallos“ ab, das ursprünglich nur für Eiskristalle, später dann auch für Bergkristalle verwendet wurde. Die Griechen glaubten nämlich, Bergkristall sei so altes Eis, daß es nicht mehr schmelzen kann. Früher hielt man ihre durch ebene Flächen begrenzte Formen für das wesentliche Kennzeichen der Kristalle. Heute weiß man, daß der regelmäßige Aufbau das wesentliche Merkmal ist.

Der kristalline Zustand ist der normale Aufbau der festen Materie.

Diesen Satz wirst du bei der Arbeit mit dem Experimentierkasten bestätigen finden – an vielen Beispielen.

Wir wünschen dir viel Spaß dabei und die notwendige Geduld, die für manche Versuche notwendig ist. Du wirst sehen, es lohnt sich.

Doch nun noch ein paar Tips zu den Chemikalien und den Geräten.

Die **Lupe** hat eine 8fache Vergrößerung. Reinige sie nur mit klarem Wasser, wenn sie verschmutzt ist. Am besten besorgst du dir ein Brillentuch vom Optiker, diese Tücher hinterlassen keine Fusseln. Klappe die Lupe stets wieder zusammen, wenn du nicht mit ihr arbeitest.

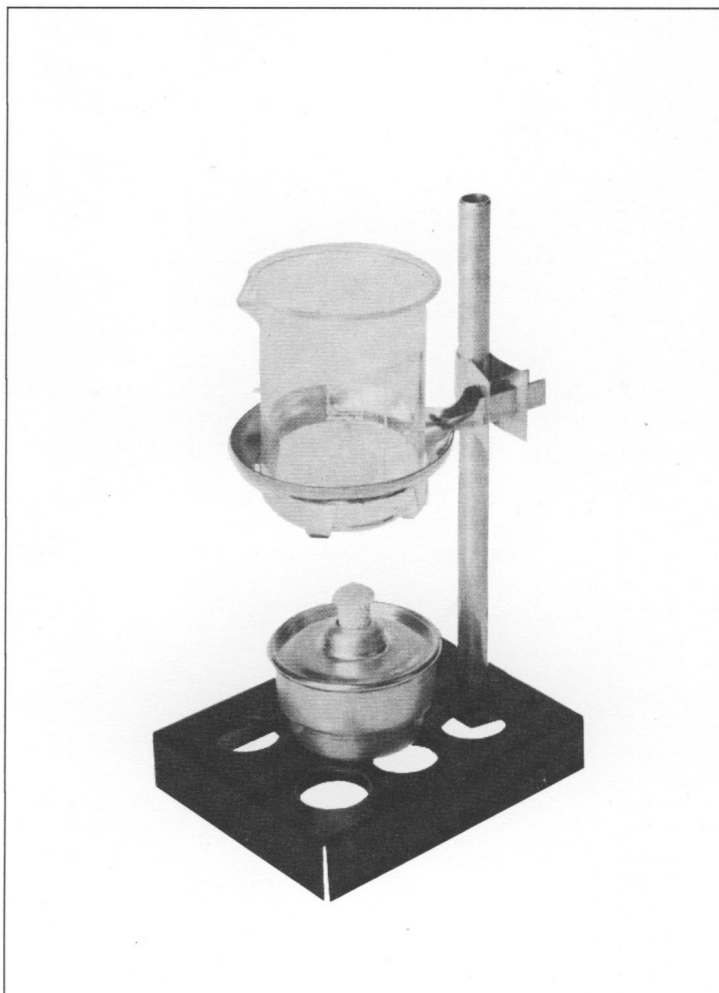
Chemikalien gehören nicht in Kinderhand. Wenn du kleinere Geschwister hast, solltest du den Kasten mit den Chemikalien gut verwahren und nichts unaufgeräumt stehen lassen. Alle Chemikalien kannst du in einem Chemie-Fachgeschäft oder in der Apotheke in den benötigten kleinen Mengen nachkaufen. Wasche dir nach dem Arbeiten mit Chemikalien gründlich die Hände, bevor du ißt.

Deine **Geräte** solltest du immer sauber halten. Verschmutzte Kolben und Reagenzgläser führen zu falschen Versuchsergebnissen.

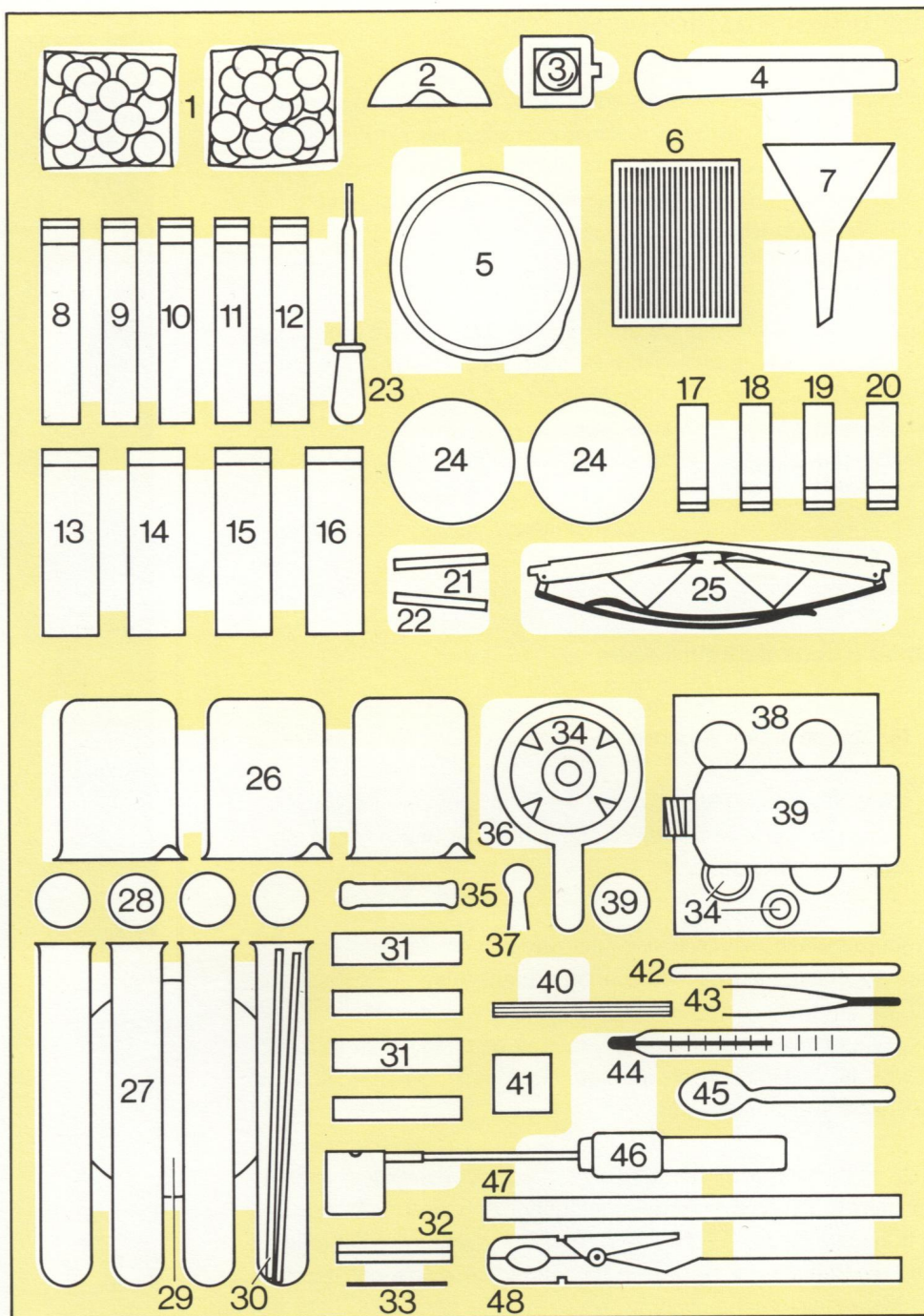
Und noch etwas zum Arbeiten mit Reagenzgläsern: Wenn du mit der Hand oder mit dem Reagenzglashalter das Glas erwärmst oder erhitzen willst, halte stets die Öffnung des Glases von dir weg und achte darauf, daß in Richtung der Öffnung niemand steht. **Benutze deine Schutzbrille.**

Am besten ist es darüber hinaus, wenn du dir zum Arbeiten eine Kunststoffunterlage kaufst, denn es kann ja einmal vorkommen, daß du etwas verschüttst oder daß etwas aus dem Reagenzglas herausspritzt.

Wie du mit dem **Brenner** umgehen mußt, findest du im Text. Auf der Abbildung siehst du das zusammengesetzte Stativ. Das Foto wird dir sicher helfen. Du erkennst darauf auch, daß der Reagenzglasständer und die Unterlage für den Brenner ein und dasselbe Gerät sind.



Teil Nr.	Bezeichnung	Inh.	Best. Nr.
1	Wattekugeln rot/gelb	(Btl.) 2	349 4343
2	Abdampfschale (Porzellan)	1	349 4010
3	Fadenzählerlupe	1	349 4338
4	Pistill	1	349 4340
5	Mörser	1	349 4339
6	Zahnstocher	(Btl.) 1	349 4342
7	Trichter	1	349 4024
8	Vorratsröhrchen mit Eisen-3-Chlorid	1	349 4050
9	Vorratsröhrchen mit Chrom-Alaun	1	349 4332
10	Vorratsröhrchen mit Aluminium-Alaun	1	349 4333
11	Vorratsröhrchen mit Fixiersalz	1	349 4334
12	Vorratsröhrchen mit Sodakristallen	1	349 4335
13	Vorratsröhrchen mit Natriumsulfat	1	349 4044
14	Vorratsröhrchen mit Schwefel	1	349 4046
15	Vorratsröhrchen mit Kupfersulfat	1	349 4042
16	Vorratsröhrchen mit Ammoniumchlorid	1	349 4038
17	Vorratsröhrchen mit Blutlaugensalz gelb	1	349 4060
18	Vorratsröhrchen mit Naphtalin	1	349 4330
19	Vorratsröhrchen mit Kaliumpermanganat	1	349 4331
20	Vorratsröhrchen mit Magnesiumsulfat	1	349 4103
21	Marienglas	(Btl.) 1	349 4336
22	Glimmer	(Btl.) 1	349 4337
23	Tropfpipette mit Hütchen	1	349 4352
24	Uhrschälchen	2	349 4349
25	Schutzbrille	1	349 4149
26	Becherglas	3	349 4001
27	Reagenzglas	4	349 4005
28	Korken	4	349 4029
29	Filterpapier	10	349 4353
30	Magnesia-Stäbchen	2	349 4075
31	Petrischale mit Deckel	2	349 4346
32	Styroporstücke	2	349 4354
33	Klinge	1	349 4345
34	Spiritusbrenner	1	349 4016
35	Docht	1	349 4018
36	Glashalter	1	349 5119
37	Federklammer	1	349 4014
38	Grundplatte	1	349 4012
39	Plastikflasche für Salzsäure	1	349 4065
40	Objektträger	5	349 4350
41	Deckgläser	20	349 4351
42	Glasstab	1	349 4347
43	Pinzette	1	349 4348
44	Thermometer	1	349 5039
45	Plastiklöffel	1	349 4022
46	Schmelzlöffel	1	349 4341
47	Ständerstab	1	349 4013
48	Reagenzglasklammer	1	349 4015
49	Anleitungsbuch (ohne Abb.)	1	349 4355



Ein unverwüstlicher Würfel

Nach zwei Arten von kristallisierten Stoffen braucht man in keinem Haushalt lange zu suchen: **Kochsalz** und **Zucker** sind immer vorrätig. Kristallisierter Zucker kommt allerdings in der Natur nicht vor, wohl aber auskristallisiertes Kochsalz. Es bildet riesige unterirdische **Salzlagerstätten**, deren Schichten 800 – 1000 m mächtig sein können.

Salz läßt sich wie Kohle bergmännisch abbauen. Eine modernere Methode besteht jedoch darin, in diese Salzsichten Wasser zu pressen. Das Salz löst sich im Wasser auf, die Lösung wird dann wieder nach oben – man sagt: „über Tage“ – gepumpt und dann in Sudhäusern eingedampft. Das Salz kristallisiert wieder aus.

Salz, das nach einem solchen Verfahren gewonnen wird, nennt man **Siedesalz**.

Ohne Kochsalz kein Leben

Du brauchst zum Arbeiten:

etwas Kochsalz, etwas Zucker, ein Blatt dunkles Papier als Unterlage, Lupe, Porzellanmörser mit Pistill und – wenn du hast – ein Mikroskop.

Wenn du einen halben Kaffeelöffel Salz auf ein dunkles Blatt Papier schüttest, hast du ziemlich genau jene Menge Kochsalz vor dir, die ein Mensch Tag für Tag mit seinem Urin ausscheidet. Mindestens ebensoviel – etwa 5 g – muß er also täglich zu sich nehmen – ja, sogar noch etwas mehr, weil auch mit dem Schweiß Kochsalz abgesondert wird.

Salz ist nämlich nicht nur als Gewürz, sondern vor allem auch für zahlreiche Lebensvorgänge unentbehrlich. Ohne Salz könnten z. B. unsere Nerven und unser Gehirn ihre Aufgaben nicht erfüllen, und die Bildung der für unsere Verdauung so wichtigen Salzsäure im Magen wäre unmöglich!



Bergkristall ist durchsichtiger Quarz. Von ihm stammt der Name „Kristall“, weil man im Altertum glaubte, es handele sich dabei um so altes Eis, daß es nicht mehr zu Wasser schmelzen könne! (Kristall bedeutet „Eis“ im Griechischen).



Große, miteinander verbackene Kochsalz-Kristallwürfel aus einem Steinsalzlager.

Salz spielt für den gesamten Wasserhaushalt des Körpers eine wichtige Rolle. Allein unser Blut enthält annähernd 1 % Salze, hauptsächlich Kochsalz. Das sind bei einem Erwachsenen immerhin 50 Gramm – also 5 gestrichene Teelöffel voll! Zu wenig Salz ist für die Gesundheit ebenso nachträglich wie ein Zuviel gefährlich. Dabei muß man jedoch beachten, daß viele Nahrungsmittel, wie z. B. Wurst und Käse, „verstecktes Salz“ enthalten. Der Körper ist also keineswegs allein auf das Salz angewiesen, das den Speisen als Gewürz zugesetzt wird. Im Gegenteil: man sollte so wenig wie möglich nachsalzen.

In hohen Mengen ist Kochsalz sogar ein richtiges Gift. Man kann Fisch oder Fleisch durch Einpökeln mit Salz bekanntlich haltbar machen. Die Nahrungsmittel verderben nicht mehr, weil diese Salzmenge bereits die Bakterien abtötet.

Eine erstaunliche Sache!

Ja, das ist es also wirklich, das Kochsalz, erstaunlich! Betrachte es jetzt einmal unter der Lupe. Am besten gibst du eine kleine Menge – vielleicht eine Messerspitze voll – auf das dunkle Papier als Unterlage. Halte die Lupe nun dicht ans Auge und beuge den Kopf so weit über die Salzkörner, bis du sie klar und deutlich siehst. Es sind lauter Würfel – größere und kleinere!

Betrachte nun anschließend auch ein paar Zuckerkörner und vergleiche.

Die Zuckerkörnchen sind ebenfalls Kristalle, sehen jedoch ganz anders aus: sie sind länger als breit und besitzen mehr schräge Flächen als die gradflächigen, regelmäßig würfelförmigen Kochsalzkristalle.

Was aber beiden gemeinsam ist, gilt für alle Kristalle:

„Kristalle sind gesetzmäßig von ebenen Flächen begrenzte Naturkörper“.

Und das bedeutet, daß ihre Gestalt nicht zufällig oder willkürlich einmal so und einmal anders ist, sondern sich immer nach dem gleichen **Gesetz** aufbaut. Im Reich der Kristalle herrscht eine wunderbare Ordnung. Kochsalzkristalle sind z. B. stets ganz regelmäßige Würfel mit 6 ebenen Flächen, die in rechtwinkligen Kanten aneinandergrenzen. Kochsalzkristalle sehen wie ein Spielwürfel aus.

Die Probe aufs Exempel

Gib nun eine Messerspitze Kochsalz in den Porzellanmörser und zerreibe das Salz kräftig mit dem Pistill. Streue dann etwas von dem feinen Pulver auf das dunkle Papier und untersuche das Pulver unter der Lupe!

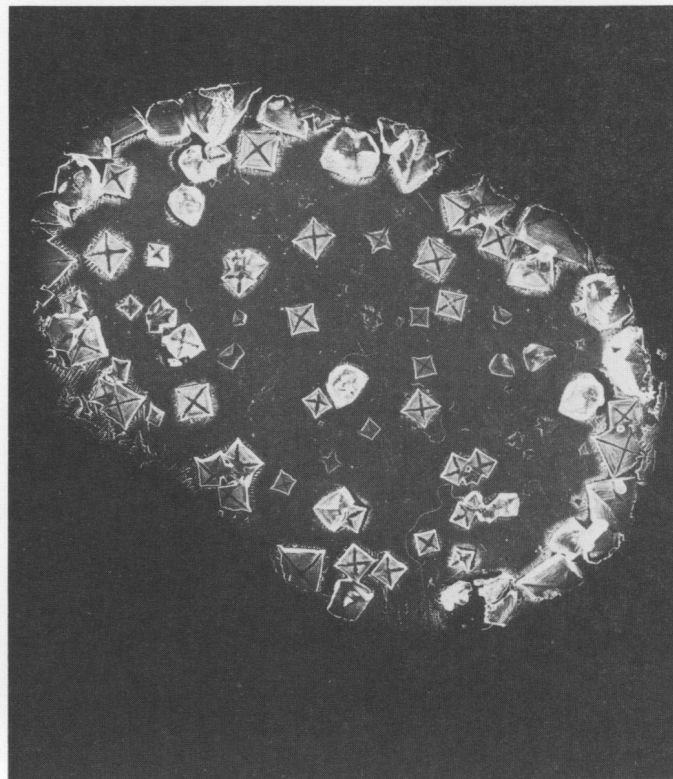
Wenn du ein Mikroskop besitzt, bringe ein wenig von dem Salzstaub auf einen Objektträger und betrachte ihn mit zunehmender Vergrößerung.

Du wirst feststellen, daß die größeren Salzwürfel in kleinere und kleinste Stückchen zerbrochen sind. Alle haben jedoch gerade Kanten, und hier und dort entdeckst du auch wieder winzige Kristallwürfel, die selbst wieder in noch kleinere Würfel zerfallen können.

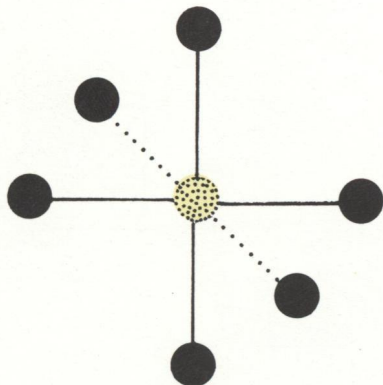
Keine Angst vor etwas Theorie

Aus der Chemie wissen wir, daß Kochsalz eine Verbindung der beiden chemischen Elemente Natrium (mit dem chemischen Zeichen Na) und Chlor (mit dem chemischen Zeichen Cl) ist. Wenn Kochsalz nun in Wasser aufgelöst wird, dann trennen sich die Atome und schwimmen frei in der Lösung – aber jedes besitzt eine elektrische Ladung und wird nun „**Ion**“ genannt.

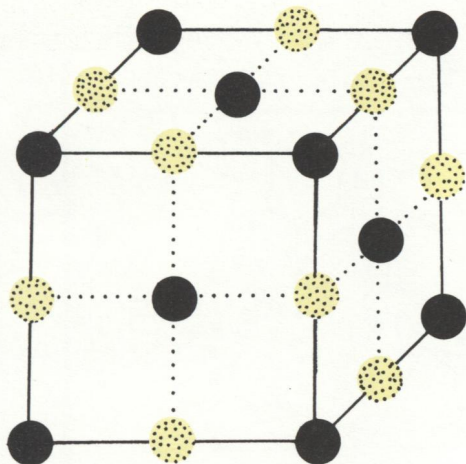
Natriumionen sind positiv geladen, und man schreibt Na^+ . Chlorionen dagegen tragen eine negative elektrische Ladung: Cl^- . Verdunstet nun das Wasser, so ziehen sich die entgegengesetzt geladenen Ionen wie Magnete an. Jedes Natrium-Ion hält durch seine Anziehungskraft oben, unten, rechts, links, vorne und hinten je ein



Würfelförmige Kochsalzkristalle, aus einem Tropfen Salzlösung auf einem Objektträger während des Verdunstens auskristallisiert.



Räumliche Anordnung der zu einem Chlorion „gehörenden“ sechs Natriumionen (voll schwarz). Die gepunktete Linie stellt die Bindekräfte dar, die ein Natriumion, das nach vorn aus der Papierebene herausragt, und ein zweites, entsprechend nach hinten aus der Ebene herausragendes, an dem Chlorion halten.



Schema des Aufbaus eines Kochsalzwürfels aus Natriumionen (voll schwarz) und Chlorionen (punktiert). Es sind hier nur die drei sichtbaren Außenflächen des Würfels dargestellt, um das Bild nicht zu verwirrend werden zu lassen.

Clor-Ion fest, und um jedes negative Chlorion ordnen sich sechs positive Natriumionen.

Könnte man diesen Anziehungsvorgang zwischen den unterschiedlich geladenen Ionen sichtbar machen, dann erschien uns das Ergebnis wie ein Gitter, auf dem regelmäßig angeordnet die Natrium- und Chlorionen sitzen.

Da sich dieses **Kristallgitter** nach allen Seiten des Raumes hin ausdehnt, handelt es sich nicht um ein Flächen-, sondern um ein **Raumgitter**. Und da es aus Ionen aufgebaut ist, bezeichnet man es gleichzeitig auch als **Ionengitter**.

Beim Zucker haben wir es aber nicht mit einem Raumgitter aus Ionen zu tun, sondern mit einem Gitter aus Molekülen. Hier entsteht also ein **Molekülgitter**.

Die Regelmäßigkeit und Ordnung, die sich in der Gestalt eines Kristalls zeigt, entsteht demnach als Folge der chemischen Eigenschaften seiner Bestandteile.

Und damit ist es erst einmal genug mit der Theorie.

Kristalle „wachsen“

Du brauchst zum Arbeiten:

Reagenzglas, Ständer, Kochsalz, Pipette, Uhrglas, 2 Objektträger, Lupe, den Brenner mit Gestell und Stativ.

Auch wenn du es nicht ohne weiteres glaubst: nicht nur Menschen, Tiere und Pflanzen wachsen, sondern auch Kristalle – und du kannst ihr Wachstum sogar beobachten.

Fülle ein Reagenzglas etwa zur Hälfte mit Wasser. Gib eine Messerspitze Kochsalz dazu, verschließe die Öffnung des Glases mit dem Daumen und schüttle kräftig so lange, bis sich alles Salz gelöst hat.

Gib nun nach und nach noch weiteres Kochsalz in kleinen Dosen dazu, bis es sich schließlich nicht mehr löst und sich ein ungelöster Rest unten im Reagenzglas sammelt. Du hast jetzt eine sogenannte **gesättigte Lösung** hergestellt. Das Wasser kann kein weiteres Salz mehr aufnehmen.

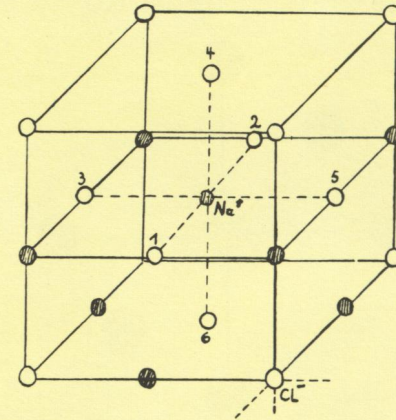
Für den nächsten Versuch brauchst du zum erstenmal den Brenner. Wenn der Docht noch nicht eingezogen ist, mußt du es tun. Dann füllst du den Brenner mit Spiritus und wartest, bis der Brennstoff in den Docht gestiegen ist. Jetzt kannst du vorsichtig mit einem Streichholz die Flamme entzünden.

Übertrage nun mit der Pipette einen Tropfen der gesättigten Kochsalzlösung auf einen sauberen Objektträger. Fasse den Träger mit der Reagenzglasklammer an einem Ende fest an und ziehe ihn ein paarmal durch die Flamme. Halte den Objektträger so, daß der Tropfen nicht abperlen kann. Wenn das Wasser verdunstet ist, legt man den Objektträger am besten auf eine feuerfeste Petrischale.

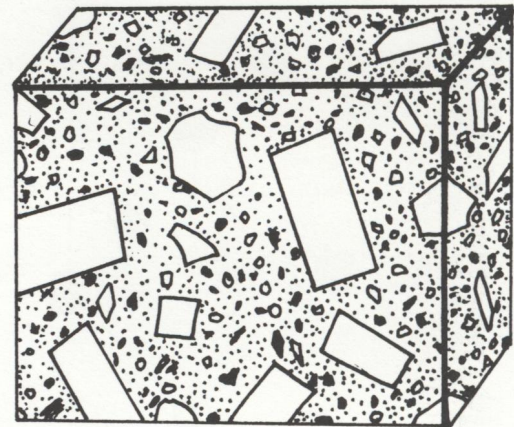
Gib nun auf einen anderen Objektträger ebenfalls einen großen Tropfen von der gesättigten Salzlösung. Achte darauf, daß er nicht auseinanderfließt. Am besten deckst du das Uhrglas als Staubschutz umgekehrt über den flach liegenden Objektträger mit dem Wassertropfen. Warte, bis das Wasser verdunstet ist und untersuche beide Objektträger mit der Lupe!

Beim schnellen Verdunsten des Wassers durch Erhitzen kristallisiert das darin gelöste Kochsalz ebenso schnell aus. Es bilden sich dabei aber nur sehr kleine, höchstens am Rande des Tropfens etwas größere Kristallwürfel aus. Oft entstehen aus unzähligen winzigen Würfeln regelrechte Salzkrusten.

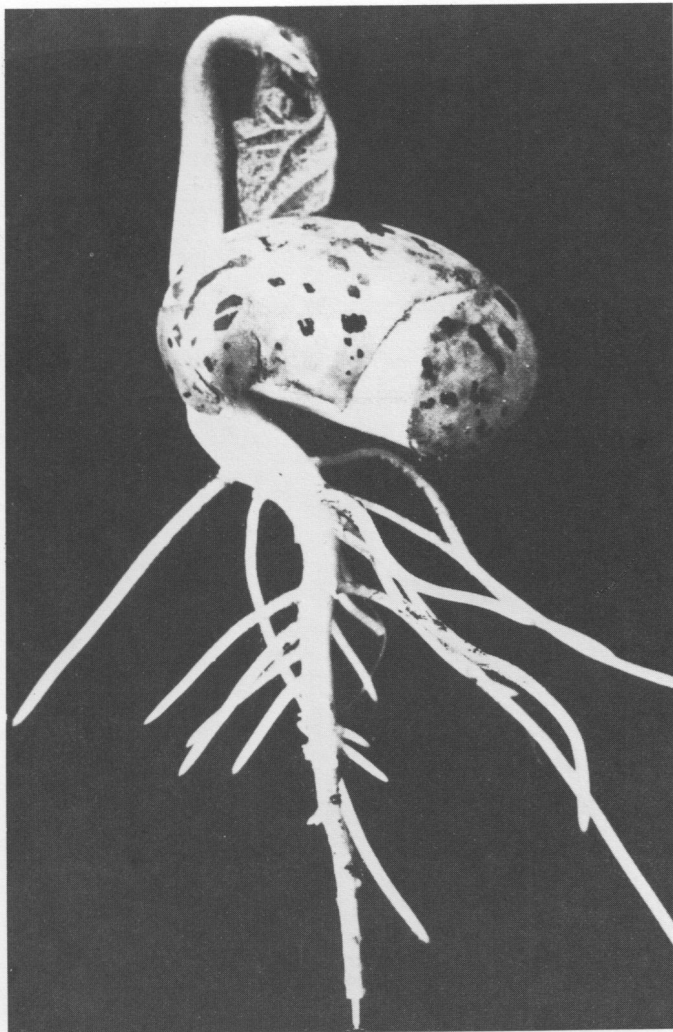
Auf dem zweiten Objektträger hat das Auskristallisieren länger gedauert, weil das Wasser langsamer verdunstete. Die Kristalle hatten also mehr Zeit zum Wachsen und sind daher viel größer geworden. Du kannst an einem neuen Tropfen dieses langsame Heranwachsen unter der Lupe gut verfolgen, wenn du besonders auf den Tropfenrand achtest.



So liegt jedes Na-Ion (Mitte) zwischen sechs Chlorionen (1–6, gestrichelte Linien). An dem Cl-Ion unten rechts an der Würfecke ist durch die gestrichelten Linien angedeutet, wo es – wenn der „Würfel“ in der NaCl-Lösung liegt – Na-Ionen anlagern wird, so daß der Kochsalzwürfel regelmäßig weiterwächst. Das gleiche gilt selbstverständlich für alle Cl- und Na-Ionen an den Ecken und Kanten!



In den langsam erstarrenden Tiefengesteinen hatten die Kristalle Zeit zum Wachsen. In Gesteinen wie dem Porphyr schienen solche großen Kristalle in der Grundmasse zu „schwimmen“. Man kann dies besonders schön an angeschliffenen Steinen sehen!



Das Wachsen eines Kristalls kann mit dem echten Wachstum eines Lebewesens überhaupt nicht verglichen werden! Die keimende Bohne zeigt, daß bei diesem echten Wachstum völlig neue Formen aus den gleichen Stoffen entstehen: Wurzeln, die sich mit Seitenwurzeln verzweigen, nach unten – ein Stengel, an dem sich gerade die beiden ersten Blätter entfalten, nach oben. Später entstehen noch weitere Blätter, Blüten und aus ihnen zuletzt die Früchte. Kochsalz dagegen bildet immer nur würfelförmige Kristalle, die nur ihr Volumen vergrößern!

Für diese Erkenntnis, die du aus den Versuchen gewinnst, gibt es in der Natur ein interessantes Beispiel:

In Gesteinen z. B., die aus glühender Lava in der Tiefe der Erde erstarrt sind und sich dort nur langsam abgekühlt haben, hatten die Mineralien viel Zeit zum Auskristallisieren. Deshalb sind sie noch heute als große Einzelkristalle zu erkennen. Zu diesen sogenannten **Tiefengesteinen** gehört der Granit und auch der Porphyry, bei dem diese Einzelkristalle besonders groß sind.

Gesteine dagegen, die aus der an der Erdoberfläche schneller erkalteten Lava entstanden, besitzen nur winzig kleine Kristalle. Zu ihnen gehört z. B. der Basalt.

Das Wachstum der Lebewesen ist etwas ganz anderes

Wie ein Kochsalzkristall als ständig größer werdender Würfel heranwächst, ist nach dem Bild seines Kristallgitters leicht zu verstehen. Die Na^+ -Ionen außen an seinen Kanten und Flächen ziehen aus der Lösung die entgegengesetzt geladenen Cl^- -Ionen an, sie fangen sie sozusagen ein und halten sie fest. Umgekehrt fangen Cl^- -Ionen vorüberschwimmende Na^+ -Ionen ein. Durch die elektrischen Ladungen und die dadurch bedingten Anziehungskräfte, sowie durch die Ordnung des Gitters kann der Kristall gar nicht anders denn als Würfel ganz regelmäßig größer werden. Es entsteht dabei nichts Neues, nichts Anderes: es bleibt Kochsalz, ohne irgendeinen **Stoffwechsel**. Auch die Form bleibt stets die gleiche: ein Würfel.

Während unser Körper, ein Tier oder eine Pflanze wächst, geschieht aber sehr viel mehr. Die Gestalt verändert sich. Bei einer Pflanze z. B. sehen Samen, Keimling und ausgewachsene blühende Pflanze ganz verschieden aus. Hier entstehen beim Wachstum neue Formen, die vorher nicht da waren. Außerdem findet ein reger **Stoffwechsel** statt: aus Bodensalzen und aus dem Kohlendioxid der Luft bildet eine grüne Pflanze organische Verbindungen, aus

denen sie Wurzeln, Blätter, Sproß, Blüten usw. aufbaut. Der wachsende menschliche Körper baut aus den Nährstoffen der Nahrungsmittel seine vielen verschiedenen Organe auf. Ihre besondere Form – denke etwa an das Auge – ist stets sinnvoll und zweckmäßig, denn sie macht das Organ für eine ganz bestimmte Aufgabe geeignet.

Kristalle hingegen, so schön sie auch sein mögen, erfüllen keine Aufgaben. Sie setzen sich in der unbelebten Natur zu Gebilden zusammen wie etwa die Tropfsteine in Tropfsteinhöhlen, die aus Milliarden winziger Kalkkristalle zusammengesetzt sind. Sie wurden wie die Kochsalzkristalle bei unseren Versuchen aus dem Wasser, in dem sie gelöst waren, beim Verdunsten ausgeschieden.

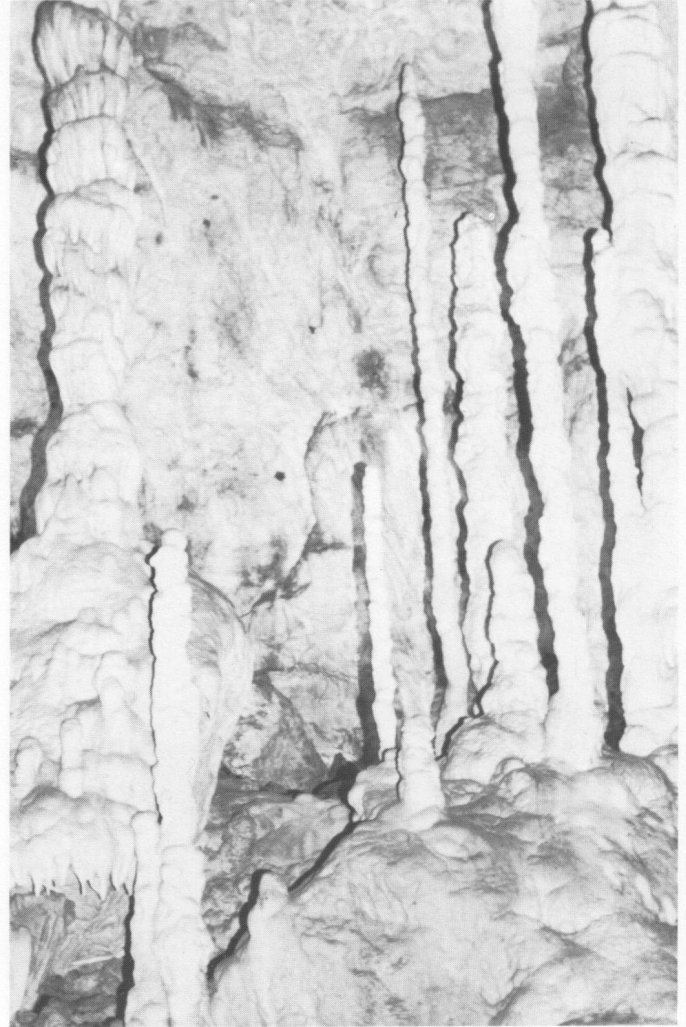
Du siehst: im strengen Sinne dürfte man das Wort Wachstum überhaupt nicht für Kristalle und Lebewesen gemeinsam verwenden, denn es bedeutet in jedem Fall etwas ganz anderes.

Wie findet sich, was zusammengehört?

Was geschieht wohl, wenn zwei kristallisierende Stoffe, etwa Kochsalz und Zucker, aus der gleichen Lösung herauskristallisieren? Du kannst es selber herausfinden.

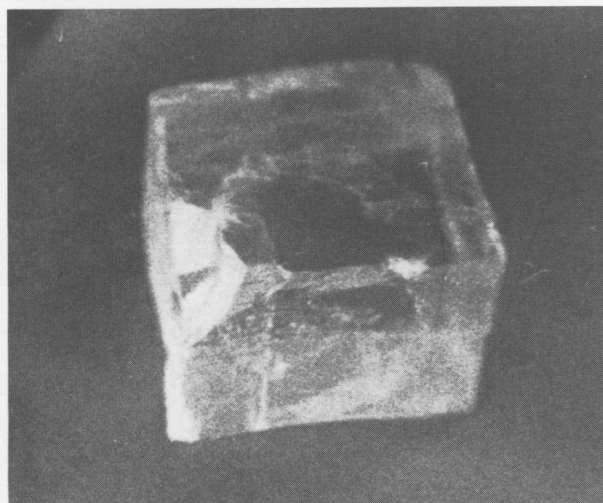
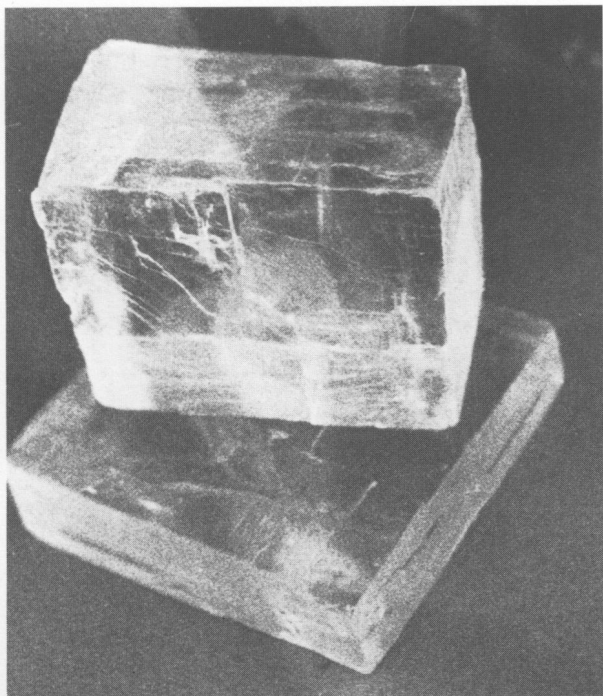
Gieße den Rest der gesättigten Kochsalzlösung vorsichtig ohne den Bodensatz aus ungelöstem Salz in ein anderes Reagenzglas ab. Man nennt diesen Vorgang **dekantieren**. Gib nun nach und nach so viel Zucker zu der Lösung, bis sich auch selbst nach kräftigem Schütteln kein Zucker mehr löst und ein Bodensatz zurückbleibt.

Du erkennst, daß die gesättigte Kochsalzlösung immer noch einen anderen Stoff – in unserem Fall Zucker – zu lösen vermag. Die Sättigung einer Lösung bezieht sich immer nur auf **einen** Stoff.



In der unbelebten Natur wird gelöster Kalk „amorph“ (gestaltlos) ausgeschieden wie hier in den Stalagmiten und Stalaktiten einer Tropfsteinhöhle.

Nur der lebende Organismus zwingt den „Stoff“ in eine zweckmäßige Form!



Große Steinsalzkristalle aus dem Salzmuseum in Bad Nauheim.

Säubere nun einen Objektträger mit einem sauberen Tuch und bringe mit der Pipette einen großen Tropfen der doppelt gesättigten Salz-Zucker-Lösung auf seine Mitte. Laß dann den Objektträger auf einer dunklen Unterlage eine Weile ruhig stehen und beobachte dann das Auskristallisieren, das wieder mit der Bildung besonders großer Kristalle am Rande des Tropfens beginnt, durch die Lupe. Du findest auch diesmal würfelförmige Kochsalzkristalle und die kleinen Körnchen, die Krusten bilden.

Du kannst also feststellen: Kochsalz kristallisiert auch aus einer gemischten Lösung ungehindert in der bereits bekannten Weise und Form aus. Ohne sich durch die Zuckermoleküle, die auch überall in der Lösung herumschwimmen, stören zu lassen, oder sie gar in ihr Kristallgitter mit einzubauen und gar **gemischte Kristalle** zu bilden, entstehen reine Kochsalzwürfel.

Natürlich finden auch die Zuckermoleküle ihresgleichen und bilden Zuckerkristalle aus.

Die Erklärung der Vorgänge ist jetzt nicht mehr schwer. Die Bindekräfte zwischen den Zuckermolekülen und die elektrischen Ladungen der Kochsalzionen lassen gar keine andere Gruppierung zu. Mischkristalle, halb Salz – halb Zucker, wären daher gar nicht möglich.

**Jeder Stoff, der kristallisiert,
gehört nur seinen eigenen Gesetzen!**

Außer dem Kochsalz, das die chemische Bezeichnung NaCl trägt, da es aus den Elementen Natrium (Na) und Chlor (Cl) besteht, kristallisieren z. B. auch die Mineralien **Bleiglanz**, eine Verbindung von Blei (Pb) und Schwefel (S), mit der chemischen Formel PbS und Schwefelkies oder Pyrit mit der Formel FeS , denn es besteht aus Eisen (Fe) und Schwefel (S), in Würfelform aus.

Ein Kapitel – notfalls zum Überschlagen

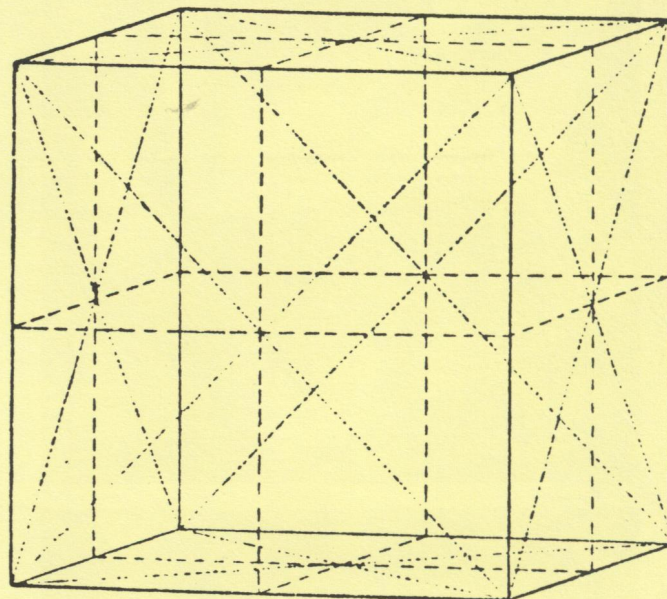
Hier geht es wieder einmal um die leidige Theorie! Der Ordnung und der Übersicht wegen und im Interesse aller, die es nun einmal ganz genau wissen wollen, können wir auf wenigstens eine knappe Vorstellung von **Kristallsystemen** nicht gut verzichten. Wenn dir das zu trocken oder gar zu mathematisch ist, dann sieh dir eben nur die Tabelle mit den Abbildungen an. Sie zeigt dir, wieviel Symmetrie selbst in der unbelebten Welt der Stoffe, der Materie, besteht und daß es auch hier eine überschaubare Ordnung gibt.

Wir machen uns die Sache aber einfach. Sieh dir den NaCl-Würfel an. Du könntest durch jede seiner 6 quadratischen Flächen eine sogenannte **vierzählige Achse** ziehen, wie sie in der Abbildung die eingezeichnete Achse senkrecht von der Boden- zur Deckenfläche darstellt. Vierzählig heißt sie, weil du genau viermal das gleiche Bild einer Würfelfläche vor dir siehst, und zwar jedesmal, nachdem du den Würfel um genau 90° um diese Achse gedreht hast ($4 \times 90^\circ = 360^\circ =$ eine volle Umdrehung).

Auch was eine **zweizählige Achse** ist, kannst du dir am Würfel klarmachen. Du brauchst ihn dir nur auf einer seiner 12 Kanten stehend vorzustellen, wie auf der Abbildung. Um die senkrechte Achse, die von der Mitte der First-Kante oben zur Mitte der Fuß-Kante unten verläuft, mußt du in Gedanken den Würfel einmal ganz drehen: dann siehst du gerade zweimal das gleiche Bild. Jeweils nach einer Drehung von 180° ist dir eine Querkante zugewandt.

Steht der Würfel gar auf einer seiner 8 Ecken und denkst du dir eine Achse von der untersten zur obersten Ecke, so würdest du beim Drehen des Würfels um diese Achse dreimal das gleiche Bild sehen: es handelt sich also um eine **dreizählige Achse**.

Daß die sechsseitige Doppelpyramide sechsmal den genau gleichen Anblick bietet, wenn du sie in Gedanken um ihre Längsachse von Spitze zu Spitze drehst, ist leicht einzusehen. Sie z. B. besitzt also eine **sechszählige Achse**.



Die „einfachen“ Würfel der Kochsalzkristalle sind in Wirklichkeit doch recht komplizierte Gebilde! Man kann nämlich, wie die Zeichnung verrät, neun Schnitte durch solch einen Würfel legen – und erhält jedesmal zwei exakt spiegelbildliche Hälften! Man sagt: der Würfel hat neun Symmetrieebenen.

Versuche einmal, mit Buntstiften die eine oder andere von ihnen farblich auszufüllen! Benutze für jede Ebene eine andere Farbe. Spare Überschneidungsflächen entsprechend aus!



Fünfstrahlige Symmetrie gibt es bei Kristallen nicht. Sehr viele Blüten, wie hier die des gelben Scharfen Mauerpfeffer, besitzen fünf Symmetrieebenen. Man kann sie, wie die Tiere aus dem Stamm der Stachelhäuter (Seeigel, Seesterne) in fünf Ebenen in je zwei spiegelbildlich gleiche Hälften trennen! Suche nach weiteren Beispielen (etwa Glockenblumen und viele andere!).

Sind das unnütze Überlegungen oder Spielereien? Gewiß nicht. Sie helfen nämlich, verständlich zu machen, warum es insgesamt nur 7 Kristallsysteme gibt. Aber keine Angst: mit den anderen sollst du dich hier nicht herumquälen. Nur soviel sei noch gesagt: ihre Symmetrieverhältnisse hängen von diesen Achsen ab, den ihnen zugeordneten Flächen, sowie ihrem gemeinsamen Mittelpunkt.

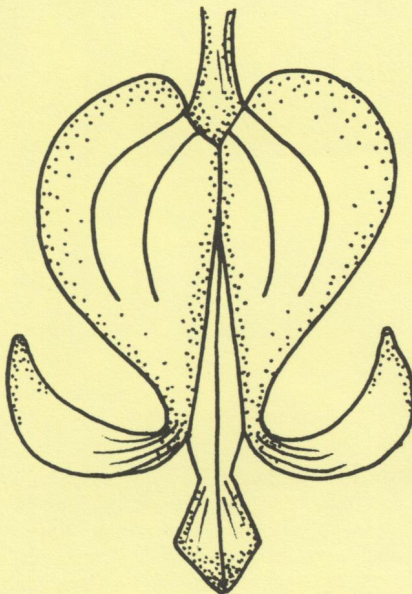
Aus diesen wenigen Gesetzmäßigkeiten läßt sich die gesamte Vielfalt aller in der Natur vorkommenden Kristallformen ableiten und verstehen.

Und nun etwas zum Nachdenken: es gibt bei den Kristallen keine fünfzähligen Achsen, wie man sie in der belebten Natur – etwa bei vielen Blüten oder bei den Seesternen z. B. – überaus häufig findet. Eine solche Blüte, etwa von einem gewöhnlichen Gartenborstsch, weist bei Drehung um ihre senkrechte Achse nach jeweils genau 72° mit einem ihrer violetten Kronblätter auf dich ($5 \times 72^\circ = 360^\circ =$ eine Umdrehung). Weshalb kann es aber nun keine fünfzähligen Kristalle geben?

Wenn man Fünfecke nebeneinander legt, füllen sie die Fläche nicht restlos aus, so wie es Dreiecke, Vierecke oder Sechsecke tun (denke an eine Bienenwabe!). Es bleiben dazwischen Lücken, so wie zwischen Siebenecken oder Achtecken auch.

Kristalle sind nun aber immer **homogen**. Das bedeutet, daß ihr Stoff, ihre Materie, ihre Substanz den Raum immer lückenlos ausfüllt und keine sogenannten **Leerstellen** erlaubt.

So – und das nächste Kapitel ist wieder für alle interessant.



Durch die Blüte des „Tränenden Herzens“ kann man zwei Schnitte führen, die sie jeweils in zwei spiegelbildliche Hälften teilt: einmal in der Ebene der Zeichnung und einmal senkrecht dazu. Allerdings ist dies ein seltener Fall!

Was geschieht eigentlich beim Lösungsvorgang?

Du brauchst zum Arbeiten:

Erlenmeyerkolben, Thermometer, Salmiaksalz (Ammoniumchlorid)

Die Sache mit dem Lösen ist ganz einfach: da schieben sich nämlich die kleinsten Teilchen des Wassers, also die Wassermoleküle, zwischen die Na^+ – und die Cl^- -Ionen des Kochsalz-Kristallgitters und sprengen sie auseinander.

Aber halt: was heißt hier eigentlich sprengen? Zum Sprengen braucht man bekanntlich eine Menge Energie. Und woher stammt nun diese Energie, die notwendig ist, damit die Wassermoleküle die gegenseitigen Anziehungskräfte der Ionen-Ladungen überwinden können?

Mache folgenden Versuch:

Fülle den Erlenmeyerkolben etwa bis zur Hälfte mit Wasser. Stelle das Thermometer in den Kolben und miß die Wassertemperatur. Notiere den Wert, damit du später vergleichen kannst!

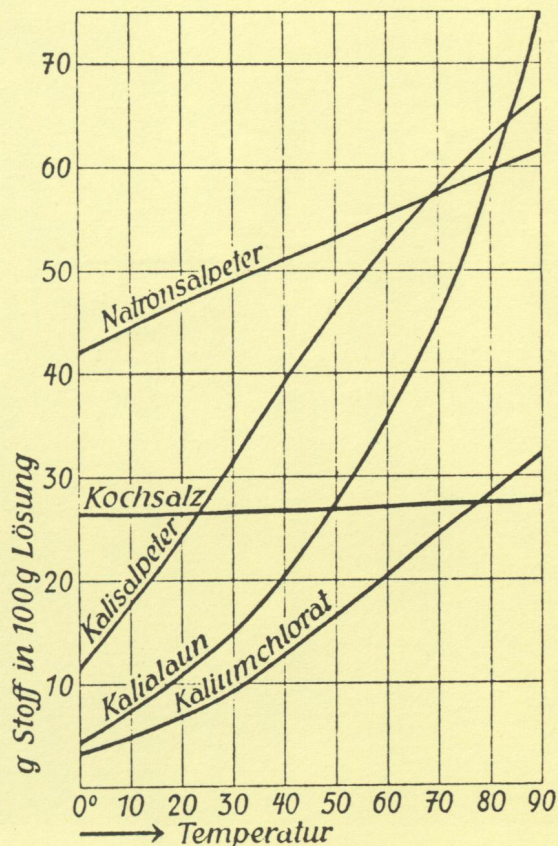
Nun gib 2–3 Kaffeelöffel Salmiaksalz (Ammoniumchlorid) in das Wasser. Beobachte erst einmal ohne zu rühren oder zu schütteln die Temperatur. Mache dir eine Notiz.

Nimm nun das Thermometer aus dem Kolben, verschließe den Kolben mit dem Daumen oder mit einem Korken und schüttle kräftig, bis sich der größte Teil des Salzes gelöst hat. Vielleicht genügt es auch schon, wenn du den offenen Kolben vorsichtig hin- und herschwenkst.

Benutze jedoch niemals dein Thermometer zum Umrühren, es ist viel zu zerbrechlich!



Tropfsteinhöhle. Die Stalaktiten, die von der Decke herabhängen, und die Stalagmiten, die ihnen von unten her entgegenwachsen, entstehen durch Ausscheidung von Kalk aus kohlensäurehaltigem Wasser, das Kalk gelöst enthält (als Kalziumbikarbonat). Ihre Gestalt ist zufällig und erfüllt keinerlei Aufgabe – im Gegensatz zu den Kalkbildungen lebender Tiere!



Eine einfache Darstellung der unterschiedlichen Löslichkeit mehrerer Salze in Wasser bei zunehmender Temperatur. Kochsalz löst sich unabhängig von der Wassertemperatur in fast gleicher Menge: etwa 27 g in 100 g Wasser. Vom Kalialaun dagegen lösen sich in der gleichen Wassermenge bei 0° etwa 4 g, bei 50° bereits 27 g und bei 90° fast 75 g! Ähnlich steil steigt beim Kalisalpeter die Löslichkeitskurve an.

Miß jetzt wieder die Temperatur der Lösung und notiere den neuen Wert neben dem der ersten Messung. Vergleiche! Miß noch ein paar Mal – jeweils nach etwa 2–3 Minuten!

Du siehst: die Temperatur des Wassers ist beim Lösen des Salzes gesunken. Und das bedeutet, daß beim Lösen eines Stoffes – wie wir ja schon vermutet haben – Energie in Form von Wärme verbraucht wird. Man kann also sagen: durch die unumgängliche Wärmeabgabe an den gelösten Stoff sinkt die Temperatur des **Lösungsmittels Wasser** ab.

Jetzt kannst du auch verstehen, warum sich z. B. Zucker in einem heißen Getränk sehr viel schneller und vollständiger auflöst als in einem kalten.

In dem heißen Getränk steht ja für den energieverbrauchenden Lösungsvorgang viel mehr Wärmeenergie zur Verfügung. Ein sehr empfindliches Thermometer würde tatsächlich anzeigen, daß sich heißer Tee oder Kaffee geringfügig abkühlt, während der Zucker sich in ihm löst.

Die nebenstehende Tabelle veranschaulicht, wie unterschiedlich die Löslichkeit mancher Stoffe mit der Temperatur des Lösungsmittels ansteigt. In der gleichen Menge Wasser lösen sich z. B. bei einer Temperatur von 80°C 60 Gramm Natronsalpeter oder Kalialaun, aber nur weniger als die Hälfte (ca. 28 Gramm) Kochsalz.

Wo aber bleibt die Energie?

Du brauchst zum Arbeiten:

Becherglas, Reagenzgläser, Reagenzglashalter, Brenner mit Stativ und Glashalter-Ring, eine feuerfeste Unterlage (du kannst auch das Reagenzglasgestell benutzen), Fixiersalz, Glaubersalz, etwas Watte und ein Thermometer.

Erinnere dich: weder Stoff (Materie) noch Energie können auf unserer Erde „gemacht“ werden oder verlorengehen. Andernfalls, wenn wir also Energie aus dem Nichts erzeugen könnten, gäbe es ja keine „Energiekrisen“.

Irgendwo muß daher die beim Lösen scheinbar verschwundene Energie stecken. Das herauszufinden, hilft der nächste Versuch:

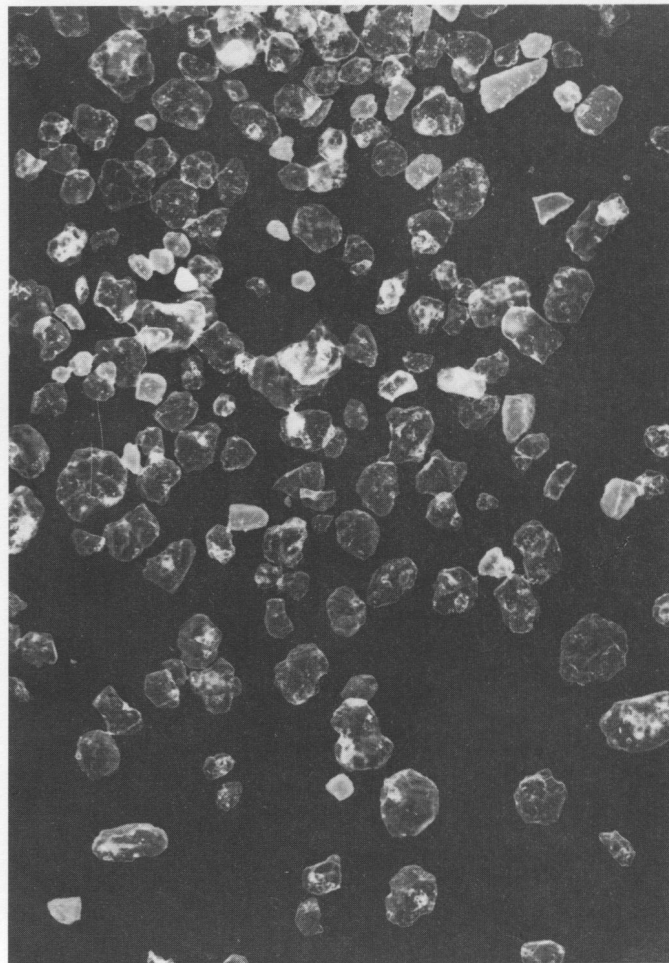
Fülle das Becherglas zur Hälfte mit Wasser. Stecke die Stativstange in die Grundplatte, befestige den Glashalter an der Stange, entzünde den Brenner und stelle das Becherglas in den Glashalter. Das Wasser wird langsam heiß.

Stelle jetzt ein sauberes Reagenzglas, in das du ungefähr 3 Kubikzentimeter grobkristallisiertes Fixiersalz gegeben hast, in das Becherglas.

Jetzt kannst du eine überraschende Feststellung machen: die großen Fixiersalzkristalle lösen sich langsam auf, ohne daß du Wasser als Lösungsmittel hinzufügen mußt. Und das ist nur möglich, weil diese Kristalle selbst Wasser enthalten – sogenanntes **Kristallwasser** in den Zwischenräumen ihres Gitters. Durch die Wärme wird es ausgetrieben und dient nun als Lösungsmittel.

Verschließe nun die Öffnung des Reagenzglases mit einem Wattepfropfen, nimm es aus dem Wasserbad, in dem du es erhitzt hast, heraus und stelle das Glas in die Grundplatte, die gleichzeitig als Reagenzglasständer dient. Der Inhalt des Glases muß vollkommen ruhig stehen, ohne jede Erschütterung, und soll auf Raumtemperatur abkühlen.

Und jetzt erlebst du noch eine Überraschung: das gelöste Salz kristallisiert nicht wieder aus – auch dann nicht, wenn die Raumtemperatur erreicht ist, bei der das Wasser eigentlich gar nicht so viel Fixiersalz in Lösung halten kann.



Kleinkörniges Fixiersalz unter der Lupe. Die größeren Kristalle sind der leichteren Löslichkeit wegen zerrieben worden. Wenn du wissen willst, wie sie aussehen, stelle eine gesättigte Lösung her und züchte darin auf die gleiche Weise wie beim Zucker einen großen Einzelkristall!

Raum für Versuchsnotizen

Stelle jetzt das Thermometer in diese **übersättigte Lösung** und notiere ihre Temperatur. Wenn die Zimmertemperatur erreicht ist, brauchst du nicht mehr länger zu warten: wirf einen einzigen Fixiersalzkristall in das Reagenzglas! Beobachte das Thermometer! Nimm das Reagenzglas in die Hand und fühle den Temperaturanstieg!

Und du wirst schon wieder staunen: die Temperatur der übersättigten Fixiersalzlösung steigt ganz beträchtlich und sehr schnell an – um 15 – 20° C. Jetzt – auf einmal – kristallisiert auch das gelöste Fixiersalz sehr schnell aus, das Lösungswasser verschwindet und wird als **Kristallwasser** wieder in die neu entstehenden Kristalle eingebaut.

Aber woher stammt die Wärme-Energie, die dabei frei wird?

Es ist keine Zauberei – denn sie entsteht ja keineswegs aus dem Nichts. Es handelt sich vielmehr genau um jene Wärme-Energie, die du zuvor durch das heiße Wasserbad hineingesteckt hast, um die Fixiersalzkristalle zu lösen – man kann auch sagen: um ihre Ionen aus dem festen Kristallgitter herauszureißen. Jetzt, während also genau das Umgekehrte geschieht, wird diese Energie nicht mehr benötigt und daher nach außen an die Umgebung in Form von Wärme abgegeben.

In der Zwischenzeit, in der das Fixiersalz gelöst war, ließ sich die sogenannte hineingesteckte Energie nicht nachweisen mit dem Thermometer. Die übersättigte Lösung hatte die gleiche Temperatur wie das Zimmer (Zimmertemperatur!), in dem sie sich befand.

Wo also steckte die Energie?

Die Antwort ist ganz einfach. Sie war in **Bewegungsenergie** umgewandelt. In der Lösung befinden sich die Moleküle – wie beim Zucker – oder die Ionen – wie beim Kochsalz und auch beim Fixiersalz – ununterbrochen in Bewegung. Vielleicht hast du schon etwas von der Brown'schen Molekularbewegung gehört?

Die hineingesteckte Wärmeenergie war ja erforderlich, um die Ionen aus dem festen Kristallgitter herauszubringen. Wenn sie sich jetzt erneut zu einem festen Kristall zusammenfügen, muß jedes Ion bewegungslos auf seinem Platz verharren. Und somit wird seine Bewegungsenergie in Form von Wärme abgegeben.

Wenn man das zum ersten Mal hört, klingt das alles ein bißchen verwickelt. Es ist aber ganz einfach zu verstehen – denk noch einmal darüber nach.

Außerdem soll ein zweiter Versuch deine ersten Ergebnisse ergänzen:

Fülle ein Reagenzglas zu einem Drittel mit Wasser und löse darin so viel Glaubersalz auf, bis ein unlöslicher Bodensatz sich im Reagenzglas absetzt. Du stellst also eine in kaltem Wasser gesättigte Lösung, eine **kaltgesättigte Lösung**, her.

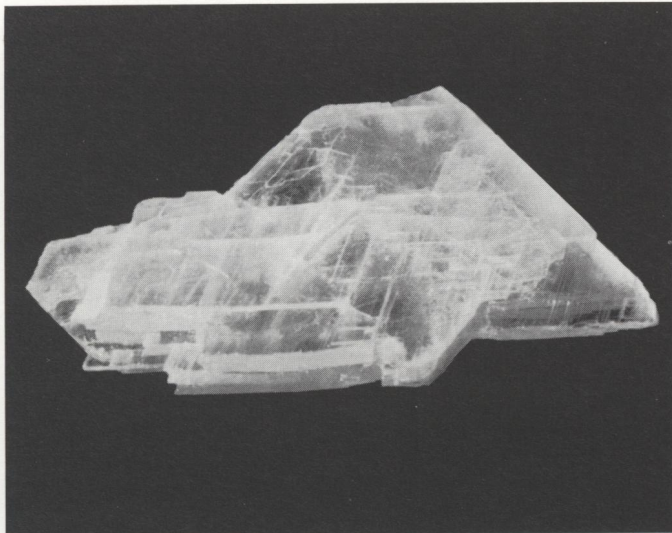
Erhitze nun mit Hilfe der Reagenzglasklammer die Lösung über dem Brenner bis zum Sieden. Halte dabei die Öffnung des Reagenzglases immer von dir weg! Jetzt löst sich auch der Bodensatz.

Heißes Wasser kann mehr Glaubersalz lösen als kaltes! Füge nun weiter in kleinen Mengen Glaubersalz zu und erhitze zwischendurch immer wieder bis zum Sieden. Wenn sich auch jetzt wieder ein nicht mehr löslicher Bodensatz bildet, hast du eine **heißgesättigte Glaubersalzlösung** bereitet.

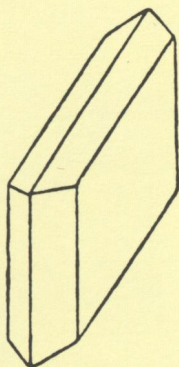
Gieße (dekantiere!) die klare heiße Lösung von dem ungelösten Rest in ein zweites Reagenzglas ab. Kühle dieses Glas unter der Wasserleitung gründlich ab, und gib dann einen einzelnen, möglichst großen Glaubersatzkristall in die jetzt (!) übersättigte Lösung. Vergiß nicht, sie hat sich ja inzwischen wieder abgekühlt.

Beobachte, was sich ereignet:

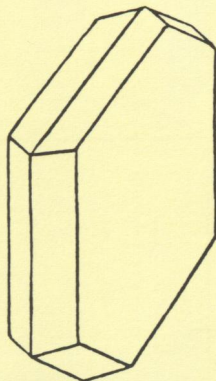
Raum für Versuchsnotizen



Gips. Das Kristallgitter erlaubt seine Spaltung in dünne, durchscheinende Tafeln, die hier schon zu erkennen sind (Marienglas).



A



B

Zwei Gipskristalle. A zeigt die einfachste Form: zwei parallel gestellte Seitenflächen, vorn und hinten je zwei aneinanderstoßende senkrechte Säulenflächen, oben und unten je zwei schrägliegende, dachförmig gestellte Flächen. Im Kristall B tritt noch ein zweites Paar schrägliegender Flächen auf, so daß oben und unten je vier in einer Spitze zusammenlaufen und eine „Pyramide“ bilden.

Der Einzelkristall löst – wie du es ja bereits vom Fixiersalz her kennst – eine plötzliche Kristallisation aus. Das Wasser kann nach diesem abermaligen Zusatz von Glaubersalz die überhöhte Salzmenge nicht mehr in Lösung halten. Außerdem wirkt der Einzelkristall als **Kristallisationskern**; das heißt: von ihm geht die gesamte weitere Kristallisation aus, weil sich an ihm das gelöste Salz niederschlägt. Man sagt auch, es fällt aus der übersättigten Lösung aus.

Muß es nun unbedingt ein Kristall jenes Salzes sein, das in der übersättigten Lösung enthalten ist?

Das läßt sich mit einem Versuch leicht beantworten!

Bereite auf die gleiche Weise wie vorher eine zweite heißgesättigte Glaubersalzlösung, kühle sie wieder unter dem Wasserstrahl ab und laß diesmal einen großen Kochsalzkristall in das Reagenzglas fallen. Du wirst sehen: es geschieht nichts! Selbst wenn du jetzt hinterher noch einen Fixiersalzkristall hinzugibst, wird das nicht mehr zu einer plötzlichen Auskristallisation wie nach Zugabe eines Glaubersalzkristalls führen.

Du erkennst folglich, daß der Kristallisationskern vom gleichen Salz stammen muß, wenn das Salz aus seiner übersättigten Lösung plötzlich ausfallen soll.

Im Grunde genommen ist das nicht schwer zu verstehen. An einem „fremden“, andersartigen Kristallgitter wie an dem des Kochsalzes oder des Fixiersalzes können sich die Ionen des Glaubersalzes nicht anlagern – sie „passen“ einfach nicht dazu.

Wie kann man Kälte „machen“?

Eigentlich ist diese Frage dir ja nun nichts Neues mehr. Die Antwort lautet: einfach durch Auflösen von Salmiaksalz in Wasser. Dabei wird ja, wie du gesehen hast, Energie in Form von Wärme ver-

braucht. Aber auf diese umständliche Weise etwas kühlen zu wollen, wäre nicht nur viel zu teuer, sondern auch zu wenig wirksam. Es sind nämlich keine besonders tiefen Temperaturen, die dabei erreicht werden.

Wenn man früher z. B. Speiseeis herstellen wollte, brauchte man ja auch Temperaturen unter 0° Celsius – also Temperaturen unter dem Schmelzpunkt des Eises. Wie aber konnte man diese Temperaturen dennoch mit gewöhnlichem Stangeneis erreichen, das man sich von den Brauereien oder von Eisfabriken liefern ließ?

Du kannst das ganz einfach nachmachen und dabei sogar Temperaturen bis zu -20° Celsius erzeugen.

Du brauchst zum Arbeiten:

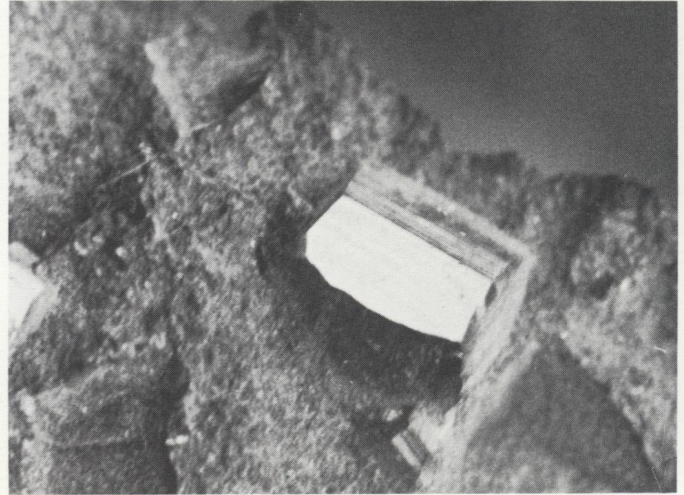
einige Eiswürfel aus dem Kühlschrank, Kochsalz, einen Hammer oder einen starken Schraubenzieher zum Zerkleinern der Eiswürfel auf einer festen Unterlage, Becherglas und Thermometer.

Zerkleinere vorsichtig ein paar Eiswürfel mit dem Hammer oder durch Zerhacken mit dem Schraubenzieher. Fülle dann mit den Eisbröckchen und den Eissplittern ein Becherglas bis etwa zur Hälfte. Miß die Temperatur des Eises im Glas mit dem Thermometer und notiere die Grade zum späteren Vergleich.

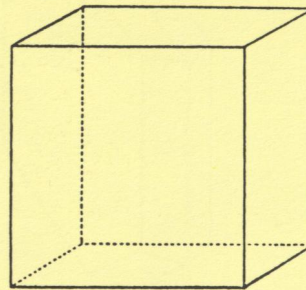
Gib jetzt so viel Kochsalz dazu, daß die Menge ungefähr ein Drittel der Eismenge ausmacht. Mische Eis und Salz gründlich mit einem Löffel. Miß dann abermals die Temperatur.

Und das wirst du feststellen: unter dem Einfluß des Kochsalzes beginnt das Eis zu schmelzen. Die Temperatur des Eis-Kochsalz-Gemisches liegt weit unter der Temperatur des reinen Eises. Es lassen sich tatsächlich mit einem derartigen Gemisch Temperaturen bis -20° Celsius erreichen.

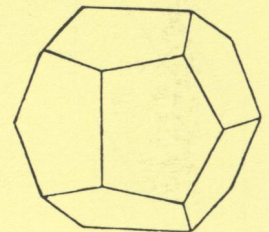
Wie kann man nun das Entstehen dieser tiefen Temperaturen erklären?



Der Pyrit, auch Schwefelkies oder Eisenkies genannt, ist eine Verbindung aus Eisen und Schwefel (FeS_2). Seine Kristalle (60 verschiedene Formen!) gehören dem kubischen System an. Pyrit kristallisiert auch in Pentagondodekaedern.



A



B

Schwefelkies kristallisiert auch in der Gestalt von Pentagondodekaedern (Zwölfflächner aus Fünfecken). Auch sie lassen sich vom Würfel (durch Abschneiden von Ecken etc.) ableiten und gehören zum kubischen Kristallsystem.

Du weißt ja: Stoffe, die sich lösen, nehmen dabei Energie auf – meist in Form von Wärme. Du kannst ihnen aber auch zum schnellen Lösen Bewegungsenergie durch Umrühren zuführen! Das gleiche gilt nun aber auch für schmelzende Stoffe, also auch für unser Eis:

Beim Übergang vom festen in den flüssigen Zustand wird Energie verbraucht. Das unter dem Einfluß des Salzes rasch schmelzende Eis muß diese Energie – also Wärme – aus seiner Umgebung aufnehmen. Durch diesen Entzug von Wärme kühlt sich die Umgebung ab. Man kann daher in so einem Eis-Kochsalz-Gemisch andere Lösungen gefrieren lassen. Einem entsprechend vorbereiteten Fruchtsaft z. B. wird dabei so viel Wärme entzogen, daß er zu Eis erstarrt. Wenn er allerdings nicht zu einem festen Eisblock gefrieren soll, sondern cremig bleiben soll, muß man die Mischung ständig umrühren.

Stecke einen Objektträger in deine Kältemischung, bis er eine möglichst tiefe Temperatur erreicht hat. Lege ihn dann auf eine dunkle Unterlage (dunkelblaues oder schwarzes Papier). Kratze jetzt mit einem ebenfalls gekühlten Löffel etwas von dem „Schnee“ an der Wand einer Tiefkühltruhe oder eines Gefrierfaches im Kühlschrank ab und bringe den „Schnee“ auf den Objektträger.

Untersuche mit der Lupe oder mit dem Mikroskop! Sicher findest du wunderschöne Schneekristalle.

Streusalz gegen Straßenglätte

Man vermeidet heute, wenn es irgendwie möglich ist, im Winter die vereisten Straßen durch Salzstreuen wieder befahrbar zu machen, weil das Salz in den Boden gelangt, die Pflanzen schädigt und sogar das Grundwasser – also auch unser Trinkwasser – gefährden kann. Stattdessen streut man lieber den ungefährlichen

Steinsplitt. Doch der erhöht nur die Reibung zwischen Reifen und glatter Straße – das Eis bleibt.

Wieso aber schmelzen Eis und Schnee, wie ja dein letztes Experiment gezeigt hat, wenn Kochsalz dazukommt? Müßte es nicht eigentlich erst recht gefrieren, da doch – wie du festgestellt hast – die Temperatur sogar beträchtlich sinkt? Wieso schmilzt es trotzdem?

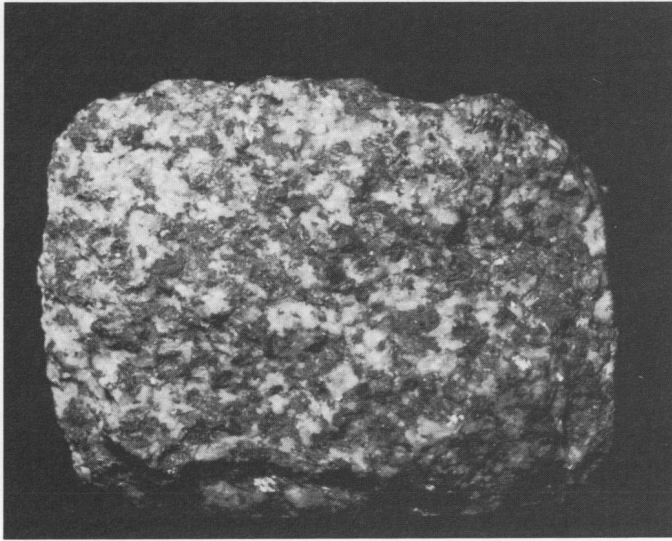
Weil du dir diese Frage ganz gewiß schon selbst gestellt hast, soll sie hier so knapp wie möglich beantwortet werden.

Das Streusalz löst sich ein wenig in Eis oder Schnee, die bei diesem Vorgang schmelzen. Es bildet sich also eine Kochsalzlösung. Diese Salzlösung hat über sich einen „**Wasserdampfdruck**“, der niedriger ist, als der über reinem Wasser.

Du kannst dir das einfach so vorstellen, daß die sonst leicht verdampfenden Wassermoleküle von den Ionen des Kochsalzes festgehalten werden. Sie können nicht so frei wie aus reinem Wasser in die angrenzende Luft entweichen. Daher kommt der geringere Wasserdampfdruck über einer Lösung. Im Gegenteil: die Salzlösung nimmt sogar noch Wassermoleküle aus der Luft auf. Sie hat sozusagen das Bestreben, sich selbst zu verdünnen.

Da aber Schnee und Eis, die ja reines Wasser in fester Form sind, einen höheren Dampfdruck besitzen – also mehr Wassermoleküle an die sie umgebende Luft abgeben – nimmt die Salzlösung von ihnen Wasserdampf auf. So wird gewissermaßen auf dem Umweg über Wasserdampf aus dem festen Eis oder Schnee eine sich ständig verdünnende Kochsalzlösung. Sie bleibt flüssig und gefriert trotz der dabei entstehenden tieferen Temperatur nicht.

Salzlösungen besitzen ja bekanntlich einen tieferen Gefrierpunkt als reines Wasser. So friert z. B. die Nordsee mit ihrem Salzgehalt noch lange nicht zu, wenn im Winter die Flüsse längst eine dicke Eisdecke tragen.



Melaphyr. Ein sehr dunkles, fast schwarzes Gestein aus Plagioklasen mit 50 % SiO_2 -Gehalt. In seinen Hohlräumen kristallisierten heiße Lösungen aus und bildeten oft Achate („Mandeln“).



Kalkspat (Kalzit). Er kristallisiert in Rhomboedern aus Kalziumkarbonat.



Nummulites-Kalk. Ein Kalkstein aus Abermilliarden Einzeller-Gehäusen. Die alten Ägypter bauten ihre Pyramiden aus ihm! Auch die Einzellergehäuse sind gekammert – und ihre Kammern bilden ganz regelmäßige Spiralen!



Feuersteinklinge. Sie wurde aus Feuerstein (Siliziumdioxid, aus Zusammenballung von Milliarden winziger Radiolariengehäuse) von einem Menschen der Jungsteinzeit (ca. 4000–1800 v. Chr.) zurechtgehauen. Die muschelförmigen Abschlagstellen sind gut zu erkennen.

Zeichne das Modell, bevor du es baust

Übrigens bringt das Salzstreuen auf den Straßen noch eine andere Gefahr mit sich. Jeder Autofahrer weiß, daß sich gerade im Winter Roststellen am Blech seines Autos bilden. Man sagt: Das Streusalz „frißt“ Löcher in das Karosserieblech. Der richtige Ausdruck hierfür wäre allerdings: das Salz korrodiert das Karosserieblech, führt zu seiner Zersetzung und Auflösung (Korrosion). Dabei spielen sich physikalische Vorgänge ab, die hier in diesem Buch nicht in allen Einzelheiten beschrieben werden sollen und können. Nur so viel:

Das Salz liefert ja mit Wasser eine Lösung, die den elektrischen Strom sehr gut leitet. Es bilden sich bei Anwesenheit einer Salzlösung zwischen den verschiedenen Metallen — z. B. Chrom der Stoßstange und Eisen darunter und im Wagenblech — galvanische Elemente, wobei das Eisen als das unedlere Metall ebenso zersetzt wird wie die Bestandteile jeder Taschenlampenbatterie, während sie Strom erzeugt.

Wir bauen ein Modell des Salzkristallgitters

Du brauchst zum Modellbau:

ein Päckchen Zahnstocher, Papierkugeln in zwei verschiedenen Farben — ungefähr 30 Stück.

Eine Abbildung des Kochsalzkristallgitters, wie du es einige Seiten vorher gesehen hast, gibt immer nur eine unvollkommene Vorstellung von der wirklichen Anordnung der Bestandteile eines Kristalls im Raum — von einem Raum-Gitter. Die Abbildung kann dir aber dabei behilflich sein, die roten Kugeln, die hier die Cl^- -Ionen bedeuten, und die gelben Kugeln, die für die Na^+ -Ionen stehen, unter Verwendung der zugespitzten Holzstäbchen zu einem dreidimensionalen, einem räumlichen Modell zusammenzustecken. Die Holzstäbchen ersetzen die zusammenhaltenden „Gitterkräfte“ in unserem Modell.

Am besten beginnst du mit dem Zusammensetzen der Bodenfläche des Würfels. Lege dazu abwechselnd rote und gelbe Kugeln in 3 Dreier-Reihen nebeneinander. Stecke sie dann entsprechend mit den Holzstäbchen zusammen. Stecke dann auf jede Kugel senkrecht ein weiteres Holzstäbchen und auf sein oberes Ende eine Kugel mit der gegensätzlichen Farbe zur unteren Kugel. Verbinde auch die Papierkugeln der zweiten Ebene untereinander mit Stäbchen und baue auf die gleiche Weise noch eine dritte Schicht auf die zweite.

Achte darauf, daß die Farbe zweier Kugeln, die mit einem Stäbchen verbunden sind, immer unterschiedlich sein muß. Am Ende hast du einen geometrisch exakten Würfel, wie ihn jeder Kochsalzkristall dargestellt.

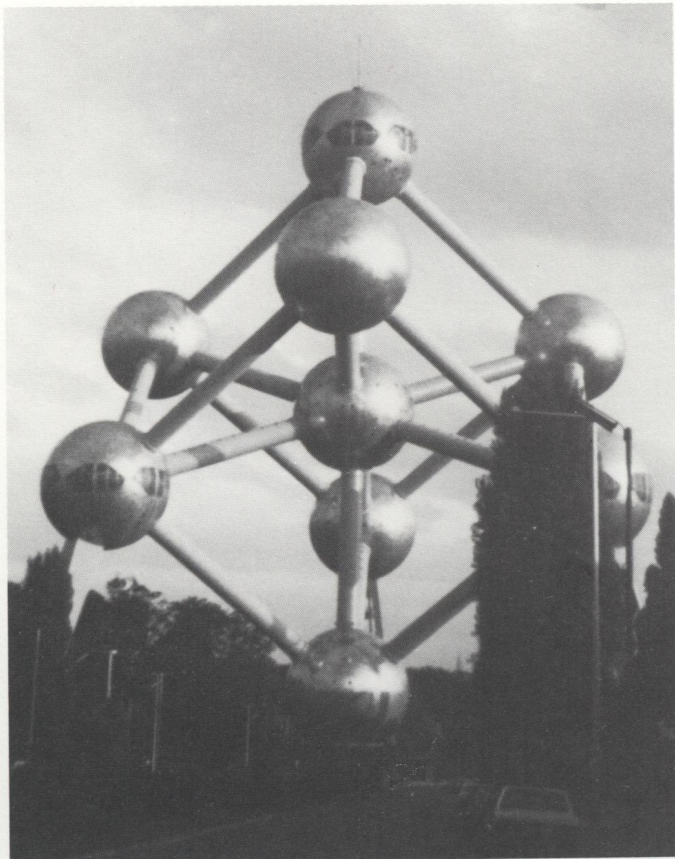
Das Ganze ist aber nicht nur eine Spielerei. Das Modell erleichtert dir nämlich das Verständnis für das Wachstum, aber auch für die Spaltbarkeit eines echten Kristalls.

Du kannst ohne weiteres an dein Modell anbauen und dabei genau nachahmen, was in einer Kochsalzlösung geschieht, wenn das Salz auskristallisiert.

Du kannst z. B. jeder Schicht noch eine Reihe von abwechselnd gefärbten Kugeln mit Holzstäbchen ansetzen, so daß die unterste und alle weiteren Schichten aus 4×4 Kugeln bestehen. Du mußt natürlich auch in die Höhe 4 Schichten bauen. Wenn du so ein Modell hast, ist es auch möglich, das Zertrümmern eines Kochsalzwürfels und sein Zerfallen in kleinere Würfel nachzuahmen, indem du das Modell entsprechend zerlegst.

Ähnliche Modelle lassen sich natürlich auch für andere Kristalle bauen, nur sind die meisten viel komplizierter als ein Kochsalz-Gittermodell.

Raum für weitere Modellzeichnungen



Das Atomium war das Symbol der Brüsseler Weltausstellung von 1958. Es hat die Form einer 150-milliardenfachen Vergrößerung eines Eisenkristalls.

Auch das „Atomium“ in Brüssel ist ein Raumgitter und läßt sich nachbauen

Wir wissen heute durch Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop (100 000-fache Vergrößerung!), daß letzten Endes alle Stoffe aus Kristallen aufgebaut sind. Das gilt auch für jene Stoffe, die man früher für „amorph“ gehalten hatte – amorph, das heißt gestaltlos. Unter dem Elektronenmikroskop erkennt man sogar auf scheinbar spiegelglatten Metallflächen die Kristallstruktur. Auch Rußkristalle werden unter dem Mikroskop sichtbar.

Das „Atomium“ in Brüssel soll ein Raumgitter aus Eisenatomen darstellen. Versuche einmal, es nach der Vorlage nachzubauen, genauso wie du den Kochsalzwürfel nachgebaut hast. Bei dieser Basterei erkennt man recht eindrucksvoll, wie kompliziert und wie geometrisch exakt geordnet die Struktur des „Stoffes“ unserer Welt, die Struktur der Materie ist.

Was verrät die Spaltbarkeit?

Du brauchst zum Arbeiten:

Je ein Stückchen Marienglas und Glimmer ein Messer oder eine Nadel, die Lupe

Untersuche ein Stückchen Marienglas unter der Lupe. Es handelt sich bei diesem Mineral um eine besondere Form von Gips (Kalziumsulfat). Es ist klar durchsichtig – daher auch der Name „Glas“. Anscheinend besteht Marienglas aus vielen dicht übereinanderliegenden dünnen Plättchen.

Du wirst dementsprechend auch im Inneren des Kristalls Spuren von parallelen Streifen entdecken – vielleicht mehrere Serien solcher Streifen – die sogar in verschiedenen Richtungen verlaufen können.

Versuche nun vorsichtig mit Hilfe des Messers oder mit Hilfe einer Nadel den Kristall parallel zu seinen Plättchen zu spalten. Es geht tatsächlich ganz glatt und einfach, ähnlich wie bei einem Stück Schiefergestein.

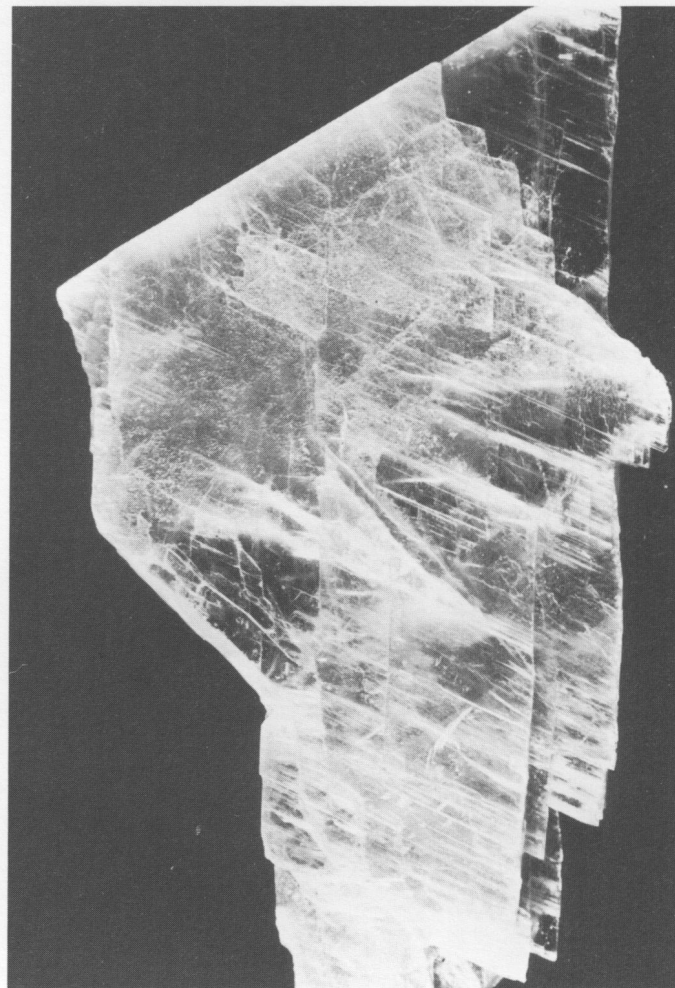
Bei den „Streifen“ im Inneren handelt es sich nämlich um **Spaltflächen (Spaltebenen)**, die sozusagen schon vorgeformt sind und dann beim Spalten zu den Grundflächen der dünnen Plättchen werden.

Eine ganz entsprechende Spaltbarkeit kannst du auch bei anderen Mineralien feststellen. Neben dem **Glimmer**, dessen sehr dünne Plättchen das „Glimmern“ bewirken (z. B. Granit), auch beim Kalkspat und vielen anderen Kristallen.

Jetzt wird es dir nicht mehr schwerfallen, zu erklären, weshalb Kristalle an ganz bestimmten Flächen **leicht spaltbar** sind. Diese Spaltbarkeit hängt mit dem Feinbau des Kristall-Raumgitters zusammen: an besonders dicht mit Teilchen (Ionen) besetzten Ebenen ist der Zusammenhalt zwischen den parallelen Flächen am geringsten und daher eine Trennbarkeit – eben die Spaltbarkeit – am größten.

Beim Kochsalz hast du ja bereits festgestellt, daß seine Spaltbarkeit in allen drei Richtungen des Raumes sehr gut ist. Deshalb zerfällt **der unverwüstliche Würfel** ja auch in kleinere Würfel.

Im Gegensatz zum Kochsalz wächst also ein Marienglaskristall, wie seine besondere Spaltbarkeit in Plättchen beweist, durch Anlagerung paralleler Schichten an die **Elementarzelle**. Darunter versteht man bei jedem Mineral den **Keim**, um den herum es nach einem bestimmten System in seinem besonderen Raumgitter kristallisiert.



Gips kristallisiert infolge der Struktur seines Kristallgitters in dünnen Plättchen aus, die sich leicht voneinander lösen.

Raum für Versuchsnotizen

In dieser Elementarzelle entdeckt man auf kleinstem Raum bereits alle chemischen, physikalischen und selbstverständlich auch geometrischen Eigenschaften des Minerals. Beim Kochsalz etwa wäre die Elementarzelle der kleinste denkbare „Teilwürfel“ des großen Kristallwürfels mit der geringstmöglichen Zahl von Cl^- und Na^+ -Ionen, mit dem die Kristallisation beginnt.

Teures Wasser im Kristall

Du brauchst zum Arbeiten:

Reagenzglas, den Brenner, Kochsalz, Marienglas, evtl. Glimmer, Kupfervitriol (Kupfersulfatkristalle) und vielleicht auch Sodakristalle.

Das im Kristallgitter eingeschlossene Kristallwasser hast du bereits nachgewiesen: Beim Erwärmen im Wasserbad lösten sich die großen Fixiersalzkristalle ohne Zugabe von Wasser in ihrem eigenen, freiwerdenden Kristallwasser. Beim Auskristallisieren nach dem „Impfen“ mit einem kleinen Kristallstückchen verschwand dieses Wasser wieder. Es wurde erneut in das Kristallgitter eingebaut. Tatsächlich entsprechen jedem Molekül Fixiersalz (Natriumthiosulfat) fünf Moleküle Wasser im Kristallgitter.

Erhitze nun ein Stückchen Marienglas im Reagenzglas über der Flamme. Halte das Glas mit der Reagenzglasklammer und achte darauf, daß die Öffnung des Glases nicht dir zugewandt ist.

Das Marienglas wird jetzt weiß und undurchsichtig. Im oberen, kühleren Teil des Reagenzglases schlägt sich Wasserdampf nieder und kondensiert zu winzigen Tröpfchen. Übrig bleibt auf dem Boden des Reagenzglases ein weißes Pulver: **der jetzt „gebrannte“ Gips.**

Eine genaue Analyse würde zeigen, daß auf jedes Molekül Gips (Kalziumsulfat Ca SO_4) zwei Moleküle Wasser kommen. Man schreibt daher in der Chemie auch: $\text{Ca SO}_4 \bullet 2 \text{H}_2\text{O}$.

Der in Industrie und Haushalt verwertete, durch Erhitzen auf 100°C gebrannte, Gips verliert etwa ein Drittel seines Kristallwassers.

Schütte das aus dem kristallwasserhaltigem Marienglas „gebrannte“ weiße Pulver nun in die Abdampfschale und laß es abkühlen. Zerkrümele dann den Gips zwischen Daumen und Zeigefinger zu einem feinen Pulver und gib dann ein paar Tropfen Wasser hinzu. Warte eine Weile, und befühle das feuchte Pulver mit der Fingerspitze.

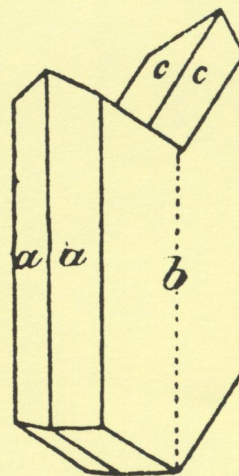
Du stellst fest, daß der Gips wieder hart geworden ist. Das Pulver hat Wasser als Kristallwasser aufgenommen, wobei wieder „harte“ Gipskristalle entstanden sind. Der Gipsbrei wird fest, ohne daß sich sein Rauminhalt, sein Volumen, verändert. Das beweist, daß das aufgenommene Wasser tatsächlich eingebaut worden ist und sozusagen in den Lücken des Kristallgitters sitzt.

Jetzt wird auch klar, wieso man zu vielerlei Zwecken „Abgüsse“ aus Gips anfertigen kann, die ein genaues Abbild des Originals sind.

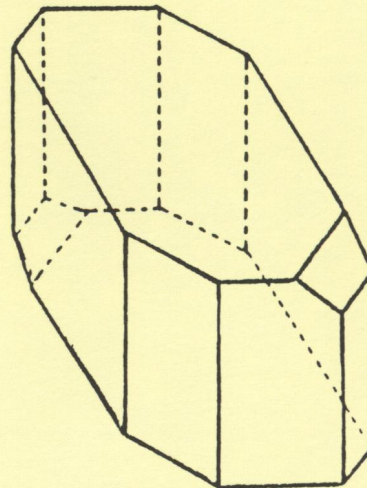
Wiederhole nun den Versuch mit dem Marienglas nun mit einem großen oder mehreren kleinen blauen Kristallen von Kupfervitriol (Kupfersulfat (CuSO_4)), dem Kupfersalz der Schwefelsäure.

Es verliert beim Erhitzen seine schöne tiefblaue Farbe und zerfällt ebenfalls zu einem weißen Pulver. Auch diesmal schlägt sich Wasserdampf in kleinen Tröpfchen an der Reagenzglaswand nieder.

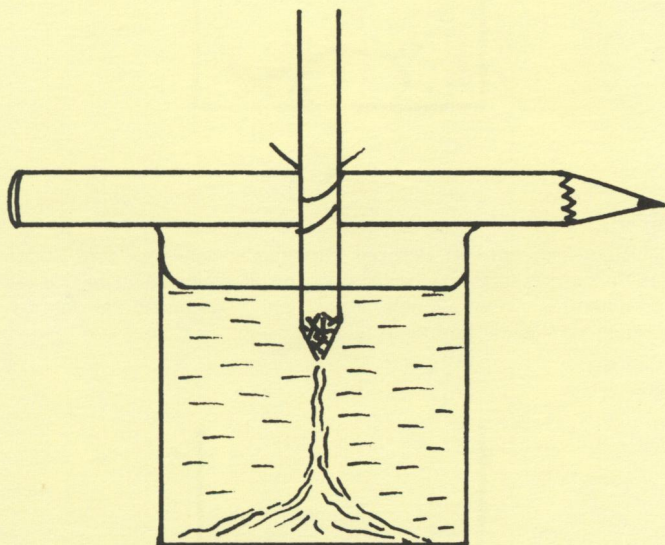
Du stellst fest, daß auch Kupfersulfatkristalle in ihrem Gitter Kristallwasser enthalten. Eine Analyse würde ergeben, daß auf jedes Molekül hier sogar fünf Moleküle Wasser kommen. Man schreibt also $\text{CuSO}_4 \bullet 5 \text{H}_2\text{O}$.



Mitunter findet man auch „verwachsene“ Kristalle. Hier sind zwei Gipskristalle zu einem „Zwilling“ verwachsen. b = Zwillingssnaht, aa = der eine, cc = der andere „Zwilling“.



Ein Kristall des blauen Kupfersulfats. Er ist asymmetrisch, das heißt, er besitzt keine Symmetrieebene und läßt sich daher nicht einmal in nur zwei spiegelbildlich gleiche Hälften trennen.



Noch ein leichter Versuch zur Löslichkeit der Stoffe! Gib ein paar der dunklen, rotvioletten Kristalle vom Kaliumpermanganat in die Pipette, so daß ihre Spitze davon „verstopft“ ist. Laß sie dann in ein wassergefülltes Reagenzglas oder ein halb mit Wasser gefülltes Becherglas eintauchen (am besten befestigst du die Pipette in dieser Stellung mit einem Gummi oder Faden an einem Bleistift, der quer über die Öffnung des Becherglases gelegt wird). Sofort beginnt das Salz sich zu lösen. Die Lösung ist schwerer als Wasser und sinkt daher in „Schlieren“ zum Boden des Gefäßes. Mit der Zeit verteilt sich jedoch der gelöste Stoff gleichmäßig bis oben hin!

Schütte nun auch den gebrannten Rest in die Abdampfschale oder auf das Uhrglas und lasse es abkühlen. Dann vermische das gebrannte Kupfersulfat mit einigen Tropfen Wasser mit Hilfe des Glasstabes.

Und jetzt erlebst du etwas Erstaunliches: sobald das farblose Kupfervitriol mit dem ebenfalls farblosen Wasser zusammenkommt, erscheint die Blaufärbung des wasserhaltigen Kupfersulfates wieder.

Das wasserfreie, über 200°C erhitzte Kupfersulfat kann wegen dieser auffälligen Färbung zum Nachweis selbst geringer Spuren von Wasser dienen. Da es begierig Wasser aufnimmt, wird es auch als Trockenmittel in der Industrie gebraucht.

Frage nun deine Mutter, ob sie Kristallsoda im Hause hat. Ansonsten kannst du ein paar Gramm in der Drogerie oder in der Apotheke kaufen. Erhitze dann das Kristallsoda ebenso wie die beiden anderen Kristalle.

Sei vorsichtig! Kristallsoda wirkt ätzend! Gib acht, daß es nicht an die Augen kommt. Halte die Öffnung des Reagenzglases von dir weg!

Jetzt wirst du feststellen, daß auch die Sodakristalle zu einem weißen Pulver zerfallen, wobei sich aber sehr viel mehr Wasserdampf am oberen, kühleren Teil des Reagenzglases niederschlägt.

Beim Kristallsoda kommen nämlich auf ein Molekül Soda, sein chemischer Name ist Natriumkarbonat: Na_2CO_3 , nicht wie beim Kupfersulfat nur fünf, sondern sogar zehn Moleküle Wasser. Man schreibt also: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$.

Nun kannst du verstehen, warum in diesem Kapitel vom „teuren Wasser“ die Rede war. Man muß ja sein volles Gewicht als Kristallwasser mitbezahlen. Wenn man zum Beispiel beim Kristallsoda einmal ausrechnet, wieviel Wasser man unfreiwillig mit einkauft, erlebt man eine unangenehme Überraschung: es ist fast doppelt so viel Wasser wie Soda, was man da bezahlt. Genauer gesagt: auf 106 Gramm Soda kommen 180 Gramm Wasser als Kristallwasser.

Die Verwitterung vieler Kristalle an der Luft, ihre Trübung und anschließend das Zerfallen zu Pulver wird übrigens durch den langsamen Verlust des Kristallwassers bewirkt. Und wenn du einen großen Kupfersulfatkristall einige Tage in der Abdampfschale frei an die Luft legst, kannst du diese Veränderung gut mitverfolgen.

Du erkennst: die meisten Kristalle verlieren beim Erhitzen oder auch nur durch Stehen an der Luft Kristallwasser, wobei sie zerstört werden.

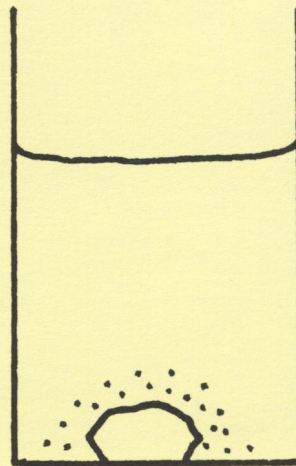
Zum Aufbau eines Kristalls gehören also die Bestandteile einer Lösung: Kristalle sind feste Lösungen.

Wie sich diese festen Lösungen von flüssigen Lösungen unterscheiden, ist dir ja bereits vertraut: in der flüssigen Lösung besteht das feste Kristallgitter nicht mehr. Wassermoleküle haben sich zwischen die Ionen gedrängt und sie auseinandergetrieben.

Um das noch einmal genau zu beobachten, mache bitte folgenden Versuch:

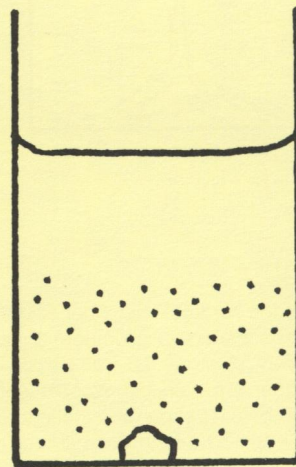
Gib einen großen Kupfersulfatkristall in ein Reagenzglas und fülle das Glas dann etwa zu zwei Dritteln mit Leitungswasser. Sei vorsichtig beim Einlaufenlassen: der Kristall darf sich nicht lösen. Stelle das Reagenzglas senkrecht in seinen Ständer und lasse es an einem erschütterungsfreien Ort einige Tage stehen. Verschließe die Öffnung des Glases mit einem Wattebausch, damit kein Wasser verdunsten kann. Beobachte nun, wie sich der Inhalt des Reagenzglases allmählich verändert.

Du wirst feststellen: das Wasser färbt sich unmittelbar um den Kristall herum beginnend langsam bis oben hin blau. Der Kristall löst sich dabei mehr und mehr auf.

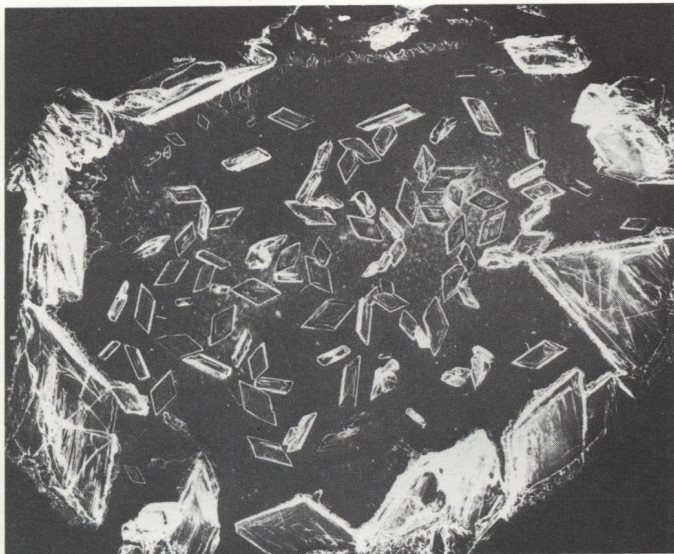


A

Diffusion: langsam löst sich der Kupfersulfatkristall auf dem Boden des Becherglases. Seine Ionen verteilen sich gleichmäßig im Wasser, von unten nach oben (Punkte) – auch ohne daß jemand in dem Lösungsmittel Wasser herumrührt!



B



Rhombenförmige Kristalle von Kupfersulfat aus einem Tropfen Lösung, der auf einem Objektträger verdunstete.

Zeichne Einzelkristalle

Das Merkwürdige aber ist, daß sich die entstehende blaue Kupfersulfatlösung nicht nur unten im Glas ausbreitet, sondern daß am Schluß eine gleichmäßig durchgefärbte Lösung das ganze Reagenzglas einnimmt. Eine Salzlösung ist ja stets schwerer als das reine Lösungsmittel – in unserem Fall also schwerer als das Wasser.

Du hast nun den Beweis gefunden, daß die Wassermoleküle selbst bei ruhigem Stehen eines Gefäßes ständig in Bewegung sind. Erwähne dich: wir haben die sogenannte Brown'sche Bewegung schon einmal erwähnt. Die Wassermoleküle stoßen die Ionen nach allen Seiten, nach oben ebenso wie nach rechts und links. Dadurch muß nach einer Zeit eine überall im Glas gleich konzentrierte Lösung entstehen – eine „**homogene**“ **Kupfersulfatlösung**.

Du wirst dich sicher schon gefragt haben, woher eigentlich die blaue „Farbe“ des Kupfersulfatkristalls stammt. Das erhitzte wasserfreie Salz kennst du als weißes Pulver, und auch das Kristallwasser ist ja farblos. Es kann also hier ganz gewiss nicht so sein wie beim Steinsalz, wo bestimmte **Beimengungen**, also Fremdstoffe im Mineral, seine Farbe verursachen. Enthält nämlich Steinsalz geringe Mengen Eisenoxid, ist es rötlich oder gelblich gefärbt, Tonbeimengungen lassen es grau erscheinen, metallisches Natrium blau.

Kupfersulfatkristalle enthalten aber nun keinerlei Beimengungen, also muß es sich bei ihrem satten Blau um eine **physikalische Farbe** handeln. Das heißt: der Kristall beeinflusst durch seinen Aufbau, durch seine Struktur, physikalisch das weiße Licht so, daß nur eine seiner Spektralfarben – in diesem Fall das Blau – in Erscheinung tritt. Auch die Farben des Regenbogens sind solche physikalischen Farben, die bei der Lichtbrechung in Wassertröpfchen entstehen.

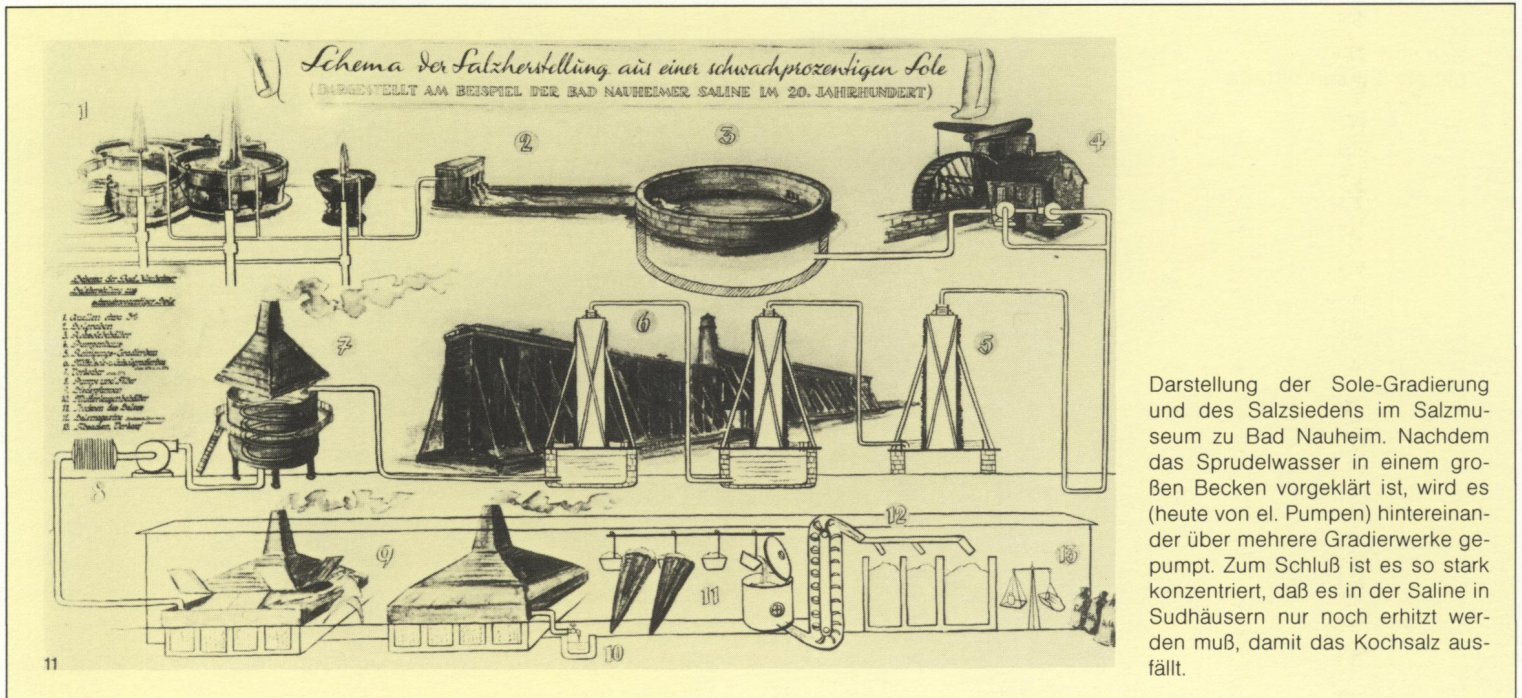
Kochsalz hat Geschichte gemacht!

Schon wieder Kochsalz, denkst du jetzt vielleicht – aber es ist wirklich ein fast unerschöpfliches und immer wieder interessantes Thema. Sogar Kriege wurden um das Salz geführt, um Salzlagerstätten und Salzquellen. So wichtig, ja unentbehrlich ist das Kochsalz für unser Leben.

Viele Ortsnamen beweisen noch nach Jahrhunderten, welche Rolle das Salz schon immer gespielt hat. Sie enthalten oft die Silbe „hal“, was so viel wie „Salz“ bedeutet: Halle, Hallein, Schwäbisch-Hall, Bad Reichenhall, Hallstadt, Hall in Tirol usw. Andere Ortsnamen, wie etwa Bad Salzhausen, Bad Salzuflen oder Salzburg weisen noch unmißverständlich darauf hin, daß Salzvorkommen zur Namensgebung geführt haben.

Für den Transport des so lebenswichtigen Salzes wurden eigene **Salzstraßen** angelegt. Bei den Juden, den Griechen und den Römern war das Salz ein Bestandteil der Opfergaben. Salz galt als ebenso heilig wie das tägliche Brot: als Symbol der Gastfreundschaft wurden bei vielen Völkern Salz und Brot überreicht. Auch bei uns kan man diesen uralten Brauch heute noch erleben. Ja – dieses Natriumchlorid wurde gar als „**Salz des Lebens**“ bezeichnet.

Besuchern heißer Länder und Sportlern, die durch starkes Schwitzen viel Salz ausscheiden, wird empfohlen, regelmäßig Salztabletten einzunehmen. Tiere, die mit ihrer Nahrung nicht genügend Kochsalz zu sich nehmen, z. B. viele Pflanzenfresser, suchen „Salzlecken“ auf, also Stellen, an denen sie auskristallisiertes Kochsalz finden, und decken hier instinktiv ihren Bedarf an diesem lebensnotwendigen Mineral.



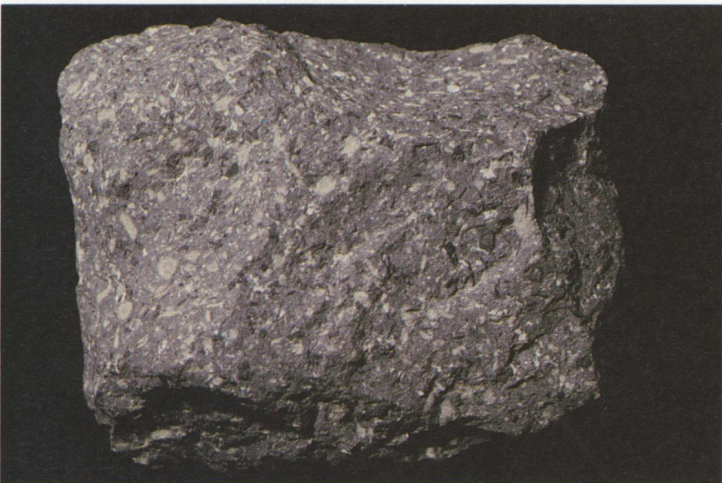


Tiefengestein mit besonders großem Einzelkristall. Es handelt sich auch hier um Syenit, der große, langsam in der Tiefe der Erde „gewachsene“ Kristall ist ein Feldspat.



Syenit. Ein Tiefengestein, dem im Gegensatz zum Granit die milchig-fettigen Quarzbestandteile fehlen. Seine Farbe ist von den Feldspäten abhängig. Die dunklen Kristalle bestehen, wie beim Granit auch, aus Biotit und Hornblende.

Diorit. Er ist ebenfalls ein Tiefengestein, das größere Einzelkristalle erkennen läßt (Plagioklase).



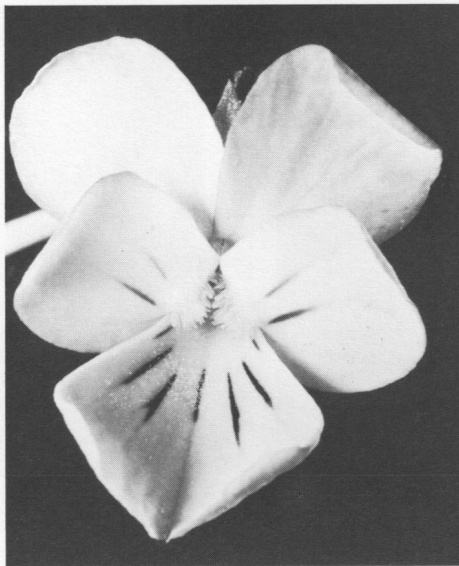
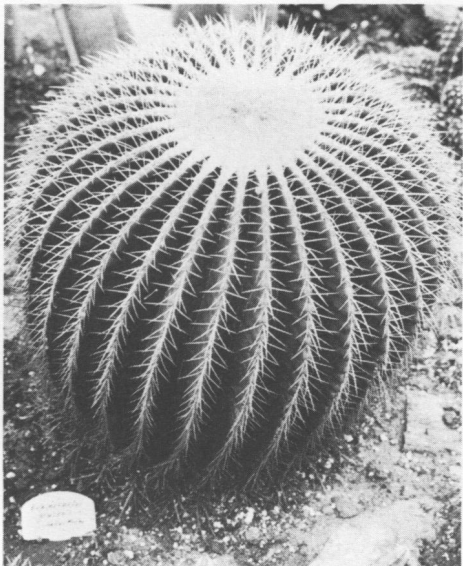
Granit. Ein Tiefengestein, das daher langsam abkühlte und große Kristalle bilden konnte. Er besteht zu 70% aus Kieselsäure (SiO_2). Die gelblichen oder rötlichen Kristalle sind Feldspatkristalle.





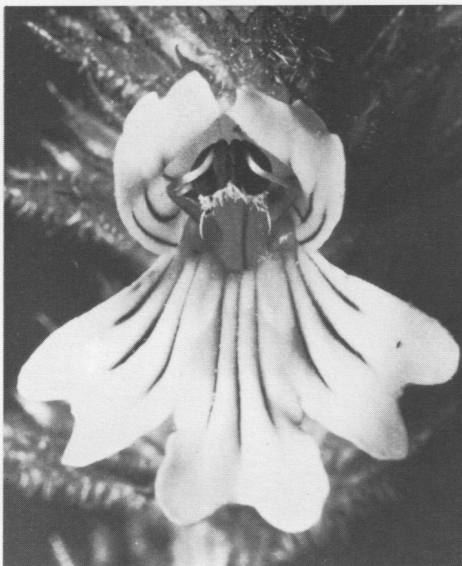
In schwungvollen Bogenlinien wölbt die Esche ihre Zweige nach der Außenseite der Baumkrone: dem Sonnenlicht entgegen.

Dieser große Kaktus zeigt eine Symmetrie, die es bei Kristallen nicht gibt und die im Pflanzenreich oft anzutreffen ist: Radiärsymmetrie.



Die Blüte des Feldstiefmütterchens besteht aus zwei spiegelbildlich gleichen Hälften. Auch die Anordnung der dunklen „Saftmale“ zeigt diese Symmetrie.

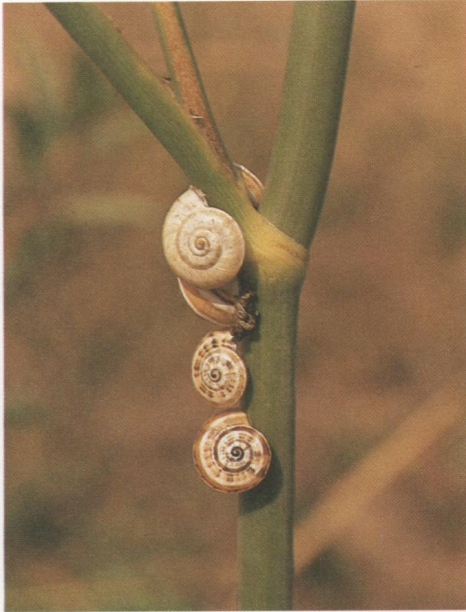
Wie der monokline Kristall, z. B. vom Orthoklas-Feldspat, ist diese Blüte vom gemeinen Augentrost nur durch einen einzigen Schnitt in zwei spiegelbildlich gleiche Hälften zu trennen.



Dieser Kleinschmetterling (Widderchen) zeigt die „Zweiseitensymmetrie“ der Insektenkörper: es gibt nur eine Symmetrieebene in der Körperlängsachse.

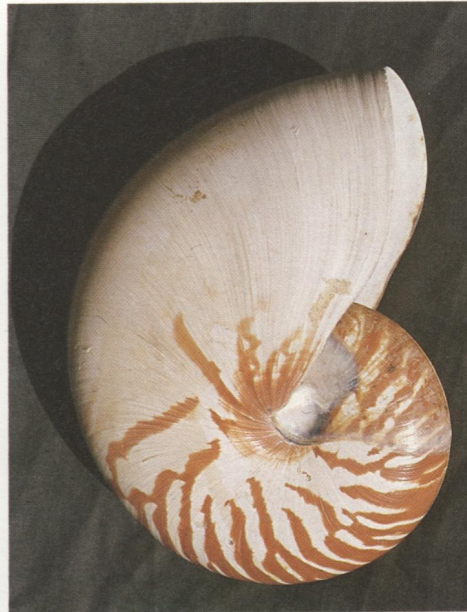
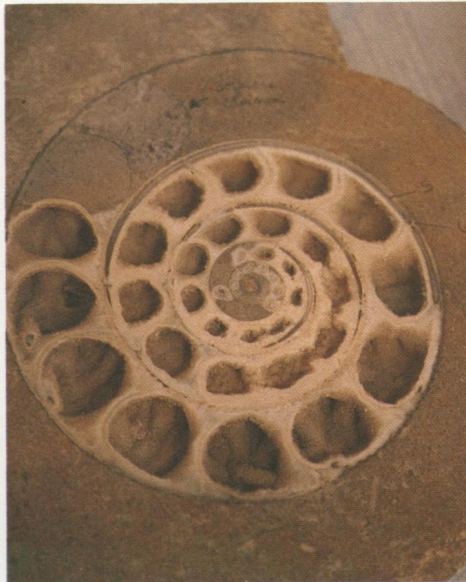
Auch dies ist eine Esche (eine „Hängewuchsform“). Ihre Zweige sind anders angeordnet und gestaltet.





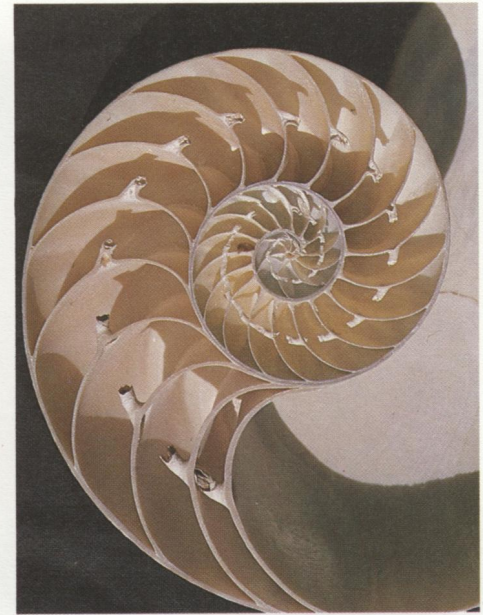
Bei diesen Schneckenhäusern läßt sich die ganz regelmäßige Erweiterung der „Umgänge“ besonders gut erkennen.

Ammonshorn (Schnitt). Noch nach vielen Jahr-millionen sind die Gaskammern zu erkennen.



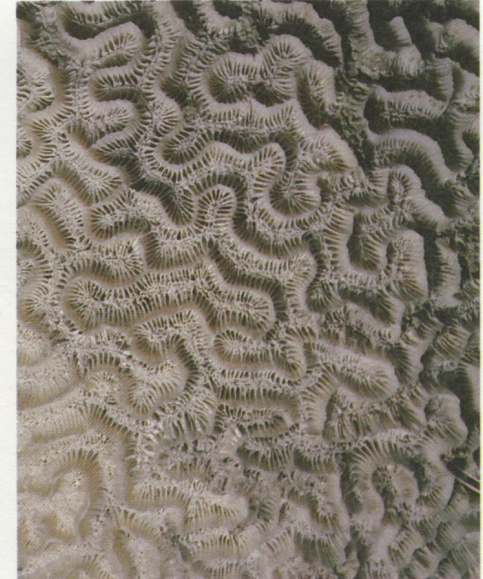
Nautilus. Das sogenannte „Perlboot“ ist ein Tinten-fisch.

Ammonshorn. Ein naher Verwandter des heute noch im Pazifik lebenden Nautilus.



Nautilus (Schnitt). Das Tier sitzt nur in der letz-ten und größten Kammer, die anderen sind mit Gasen gefüllt.

Korallenkalk. Von Korallenpolypen als „Skelett“ ausgeschieden.

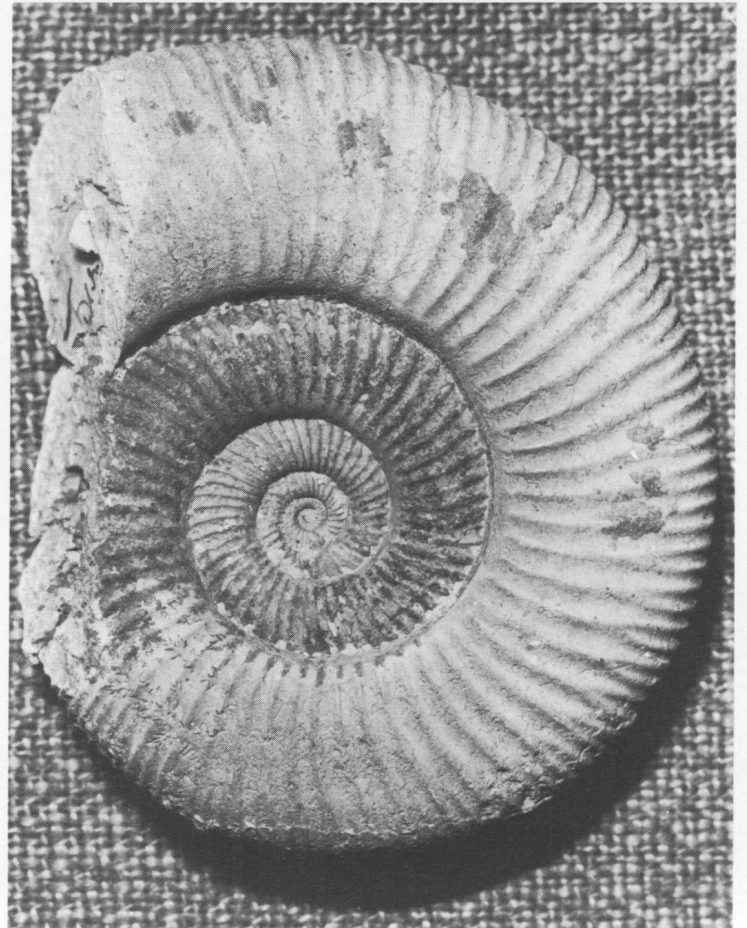


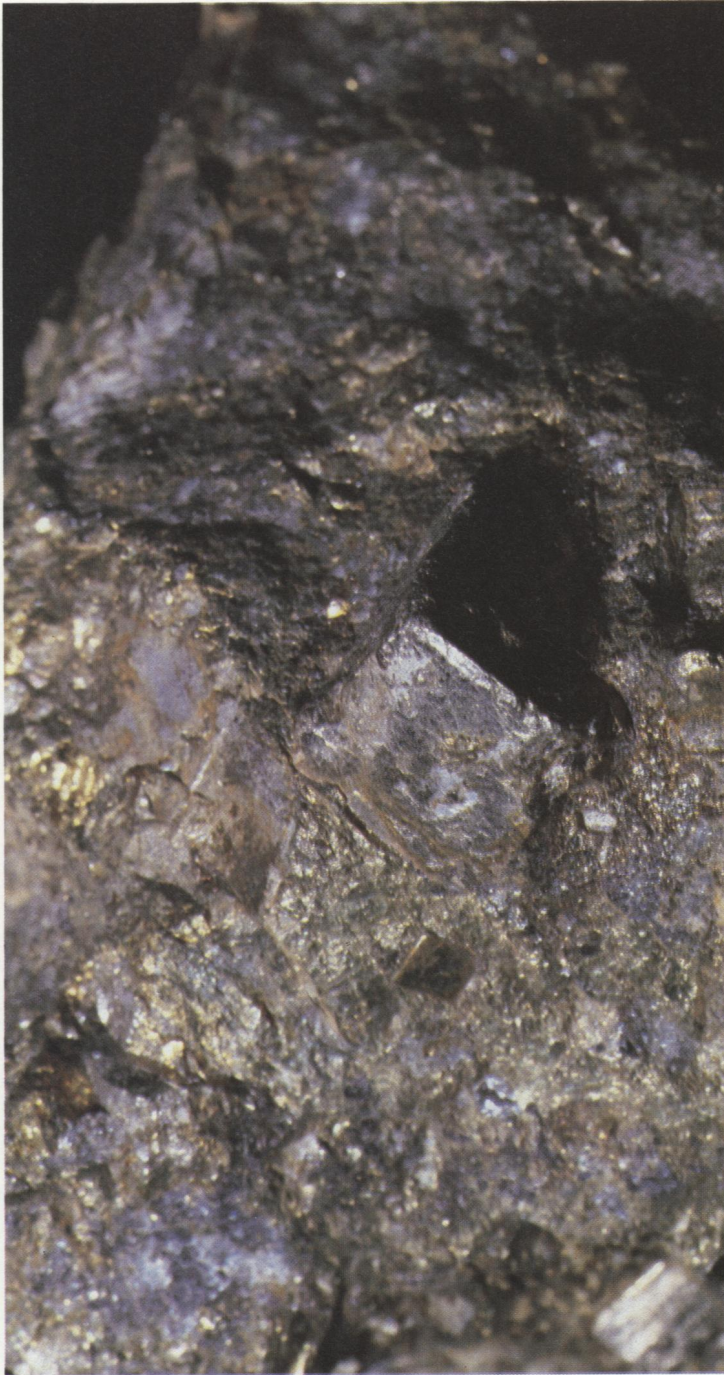


Die größten Ammonshörner der Jurazeit erreichten einen Durchmesser von zweieinhalb Metern.

Der Kalk, aus dem diese Tintenfisch-Schale (Ammonshorn aus dem Meer der Jurazeit) besteht, ist aus Aragonit-Kristallen gebildet. Das Lebewesen hat ihm vor vielen Jahrmlionen seine Form aufgezwungen, die eine bestimmte Aufgabe erfüllt: wie beim Nautilus verleihen die vielen gasgefüllten Kammern einen Auftrieb.

Diese Kammern sind in einer sich nach bestimmten Gesetzen von innen nach außen ständig erweiternden Spirale aufgerollt. Der Versuch, diese Spirale nachzuzeichnen, zeigt, wie schwierig es ist, ein solches Maß an Ordnung hervorzubringen!



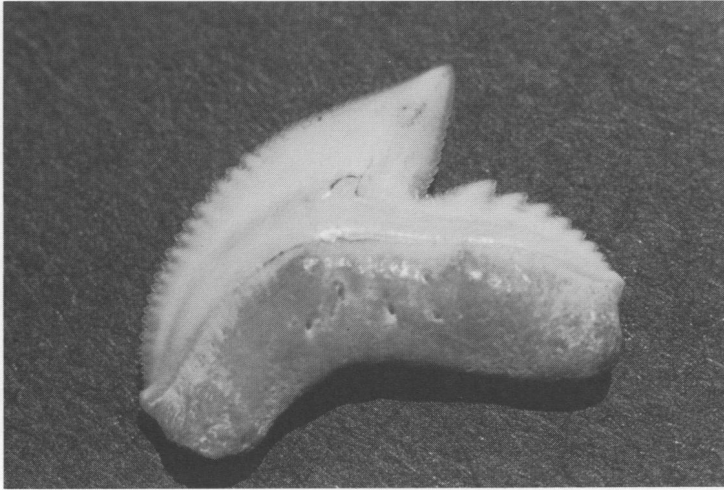


Quarz-Pyramiden. Vom klaren Bergkristall unterscheidet sich der gewöhnliche Quarz durch seine milchige Undurchsichtigkeit.

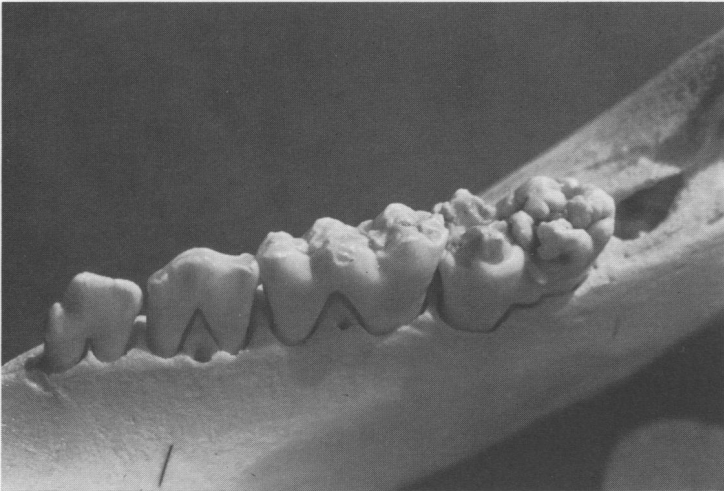
Eisenkies-Würfel. Wie Kochsalz kristallisiert auch Eisenkies, eine Verbindung aus Eisen und Schwefel (FeS), in Würfelform (Kubisches Kristallsystem). Wegen seines Goldglanzes wird der Eisen- oder Schwefelkies auch „Katzengold“ genannt.

Amethyst. Auch dieser Edelstein ist chemisch Quarz – allerdings blau gefärbt. Man findet ihn oft in solchen „Drusen“ genannten Anhäufungen.

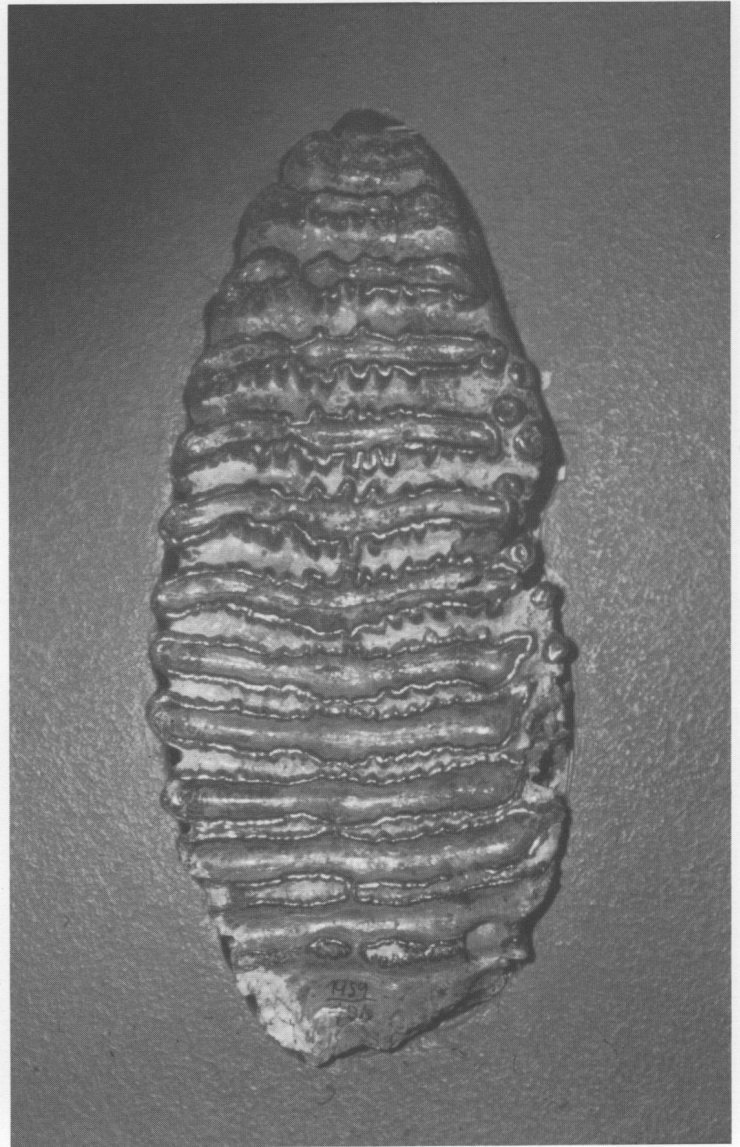




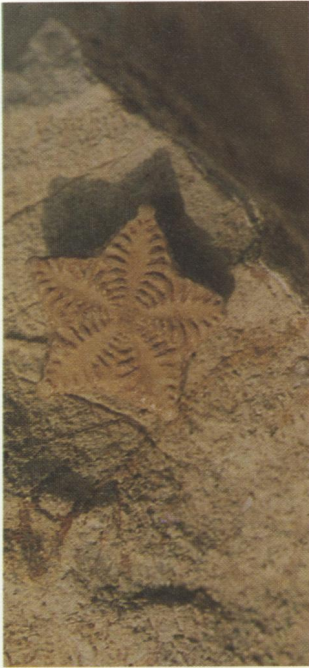
Haifischzahn. Er besteht aus verschiedenen Mineralsalzen und organischen Substanzen. Auch seine besondere Form mit „Schneidekanten“, die doppelt gezähnt eigentlich „Sägekanten“ darstellen und schärfer als Rasiermesser wirken, erinnern in nichts an die Kristallform der Aufbau-Mineralien!



Wildschweinzähne. Sie bestehen alle aus dem gleichen „Stoff“, verschiedenen Mineralien, wie die Knochen auch, und organischer Knochensubstanz. Dennoch ist ihre Gestalt recht verschieden – je nach der Aufgabe, die sie erfüllen. Die vorderen haben schmale Kanten zum „Schneiden“ von Fleisch, die hinteren besitzen breite Kronen zum Zermahlen von Pflanzennahrung. Organismen „überformen“ den toten Stoff zu Zweckgestalten!



Mammutzahn. Die großen Zähne dieses Eiszeit-Elefanten waren wie Feilen durch ihre Schmelzfalten geriffelt. Damit konnten die Tiere ihre Pflanzennahrung vorzüglich zerkleinern.



Schlangensterne. Er ist ein Vertreter der Stachelhäuter, die alle fünfstrahlig symmetrisch sind – als einzige Tiere!

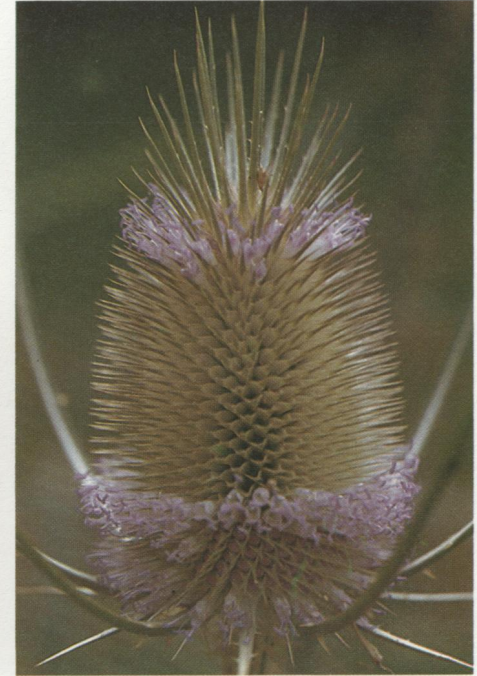
◀ Stengelglied einer „Seelilie“. Ihr Gehäuse besteht aus Kalziumkarbonat (Kalzit), der in Rhomboedern auskristallisiert!

▶ Der Gartenborretsch ist ein besonders schönes Beispiel für Blüten mit fünfzähligen Achsen.



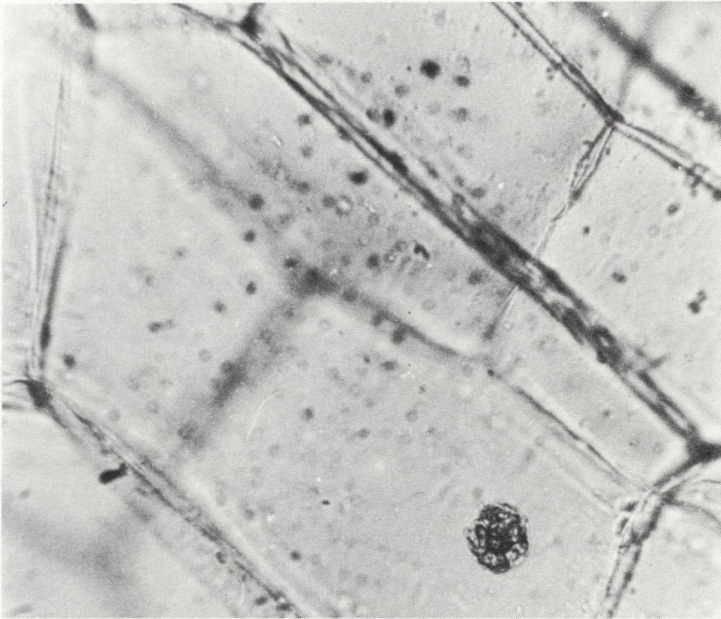
Bienen-Orchidee. Ihre Blüten sind streng einsymmetrisch: es gibt nur eine Ebene, in der man durch einen Schnitt zwei spiegelbildlich gleiche Hälften erhalten würde.

▶ Blütenstand der Weber-Karde. Regelmäßig wie die Ionen im Kristallgitter sind die Blütenkelche um die Blütenstandsachse angeordnet.

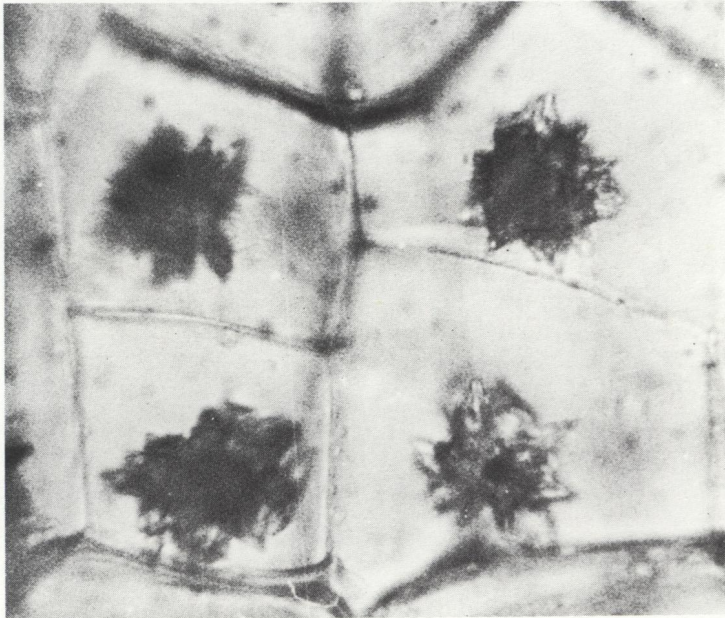


▶ Tränendes Herz. Die Blüten sind disymmetrisch: man kann zwei Symmetrieebenen feststellen. Disymmetrische Blüten sind selten!

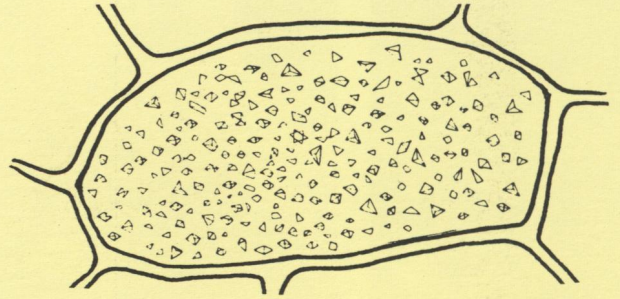




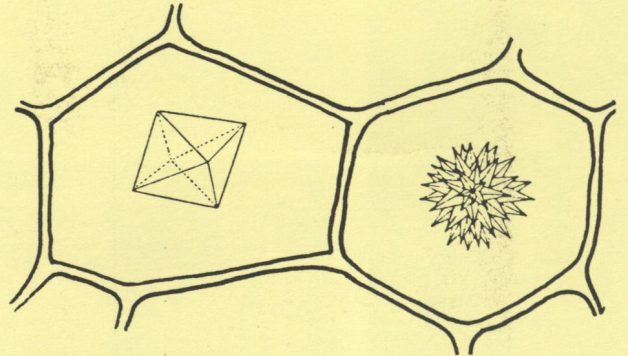
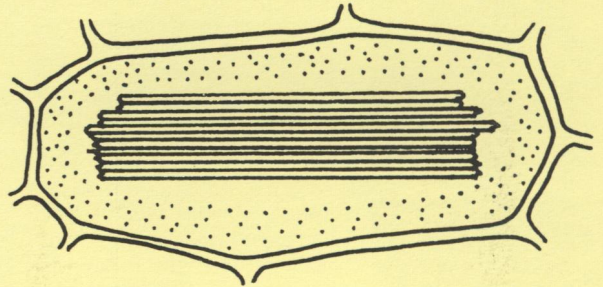
Das gleiche Oxalat kann in den Blattstielzellen einer anderen Begonienrasse in völlig veränderter Form kristallisieren!



Drusen aus Oxalat-Kristallen in den Blattstielzellen einer Begonie. Die spitzen Kristalle sitzen eng gedrängt in kugeligen Anhäufungen.



Wenn das Salz (z. B. ein Oxalat, Salz der Oxalsäure) eine solche Vielzahl von Kristallen in einer lebenden Zelle bildet, spricht man von „Kristallsand“.



Es hängt ganz von der Pflanze ab, in welcher Gestalt das Oxalat auskristallisiert. Es können lange, in dichten Bündeln („Raphiden“) eng zusammenliegende Nadeln sein (oben), schöne große Einzeloktaeder oder aber „Drusen“ aus vielen kleinen spitzen Kristallen, die in den lebendigen Zellen ausgeschieden werden!

Raum für Versuchsnotizen

Ein einfacher Nachweis für Kochsalz

Geringe Mengen an Kochsalz, etwa im Schweiß oder in der Tränenflüssigkeit, kannst du nicht durch Auskristallisieren und Untersuchen der unverwechselbaren Kristallform nachweisen. Außerdem kristallisieren auch noch andere Salze in Würfelform.

Es gibt aber eine ganz einfache Methode:

Du brauchst zum Arbeiten:

Brenner mit Unterlage, Magnesia-Stäbchen, Kochsalz, Salmiaksalz (Ammoniumchlorid), Fixiersalz, Soda, Glaubersalz

Befeuchte das Magnesiastäbchen an einem Ende mit einem Tropfen Wasser. Berühre damit ein paar Salzkörner, die daran haften bleiben. Halte jetzt dieses Ende des Magnesiastäbchens in die farblose Flamme: sie wird leuchtend gelb.

Wiederhole diesen Versuch abends, wenn es im Zimmer dunkel ist. Du kannst auch fein im Mörser pulverisiertes Kochsalz vorsichtig in die Flamme streuen. Alle Anwesenden bekommen in dem gelben Licht plötzlich eine gespenstisch-fahle Gesichtsfarbe. Ihre Lippen erscheinen tiefschwarz und ebenso eine herausgestreckte Zunge. Man hat den Eindruck, an einer Gespenstersitzung teilzunehmen.

Woher kommt nun die Gelbfärbung der Flamme? Es gibt glücklicherweise nur zwei Möglichkeiten. Sie kommt entweder vom Natrium oder aber vom Chlor der Verbindung Natriumchlorid. Du mußt also nur mit anderen Salzen, die auch Natrium enthalten, den ersten Versuch zu wiederholen, – z. B. mit Fixiersalz (Natriumthiosulfat), Soda (Natriumkarbonat) oder Glaubersalz (Natriumsulfat). Natürlich kannst du auch anschließend Salze untersuchen, die kein Natrium, dafür aber Chlor enthalten.

Und das wirst du feststellen: die farblose Flamme wird jedesmal gelb, wenn das Salz Natrium enthält, nicht dagegen, wenn das Salz kein Natrium, dafür aber Chlor enthält. Salmiaksalz ergibt keinerlei Färbung.

Es ist also mit Sicherheit Natrium, das diese Flammenfärbung bewirkt. Man spricht deshalb auch vom „gelben Natriumlicht“. Die fahle Gesichtsfarbe und das Schwarzsein bzw. das Schwarzer-scheinen der roten Lippen und der Zunge rührt daher, daß dieses Natriumlicht von dem gesamten Farbenspektrum des weißen Lichts – du brauchst dir nur einen Regenbogen vorzustellen – nur den gelben Anteil enthält.

Es kann also in reinem Natriumlicht gar kein Rotempfinden geben – und weil rote Lippen gelbes Licht verschlucken (absorbieren) und daher nicht in unser Auge zurückwerfen (sonst würden sie uns ja gelb erscheinen) wirken sie eben ganz „lichtlos“, nämlich schwarz.

Du kannst also jetzt recht einfach das Kochsalz in Tränen und im Schweiß nachweisen. Davon abgesehen, schmecken Tränen und Schweiß auch salzig. Es genügt, ein sauberes Magnesiastäbchen mit Tränenflüssigkeit oder mit Schweiß zu befeuchten und in die Flamme zu halten. Du mußt aber darauf achten, daß das Stäbchen keine Spuren des zuvor untersuchten Stoffes mehr an sich hat.

Jeder Stoff hat seine Visitenkarte

Du brauchst zum Arbeiten:

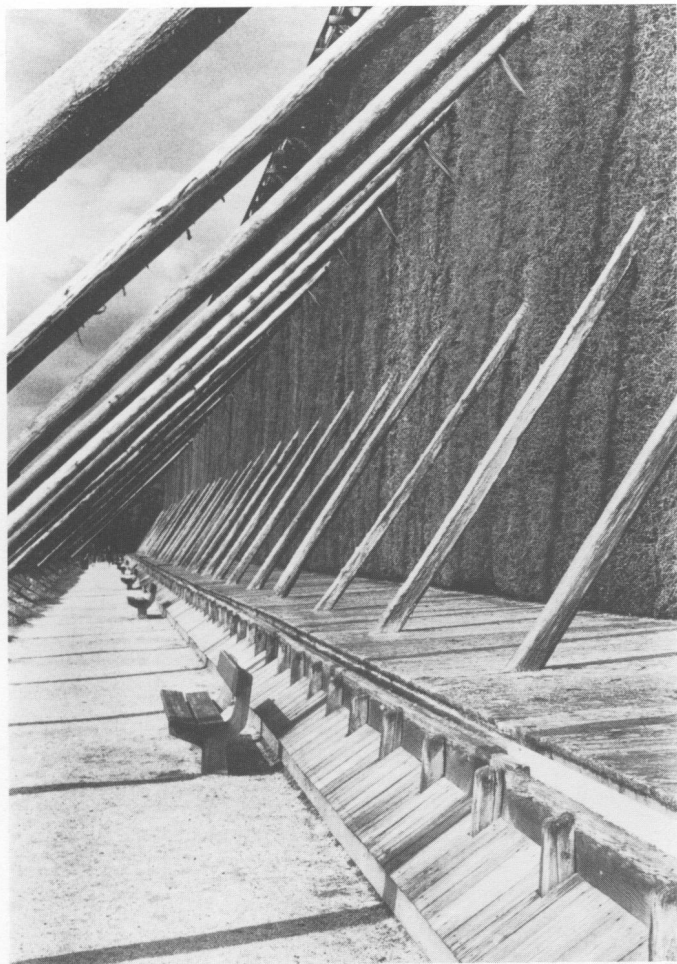
Brenner mit Unterlage, Magnesiastäbchen, Kupfersulfat, Kali-Dünger, wie man ihn auch im Garten verwendet.

Natrium ist nicht das einzige chemische Element, das die farblose Flamme färbt. Im übrigen müßte es ganz korrekt heißen: Natrium ist nicht das einzige chemische Element, das bei Erhitzen nur einen ganz bestimmten engen Bereich des Lichtspektrums ausstrahlt.



Die Schöpfer A. Die Kufe B. Der Bottich C. Der Siedemeister D. Der Burjche E.
Die Frau F. Holzspatel G. Bretter H. Körbe I. Schaufel K. Rechen L.
Stroh M. Becher N. Gefäß mit Blut O. Bierkanne P.

Mittelalterliche Darstellung der Salzgewinnung aus über Stroh „gradiert“ Sole.



Während die Sole über Schwarzdornreiser rieselt, verdunstet ein Teil des Wassers und sie wird salzhaltiger (gradiert). Die durch versprühende Sole salzhaltige Luft wird von Kranken eingeatmet (inhaliert).

Bringe nun mit einem sauberen, angefeuchteten Magnesiastäbchen ein wenig Kupfersulfat in die Flamme und verfahre genauso mit einem Kali-Salz.

Du kannst feststellen, daß das Kupfer in seinen Verbindungen die Flamme grün färbt, das Kalium dagegen violett.

Versteht du jetzt, wieso man mit Gewißheit behaupten kann, welche Metalle und auch welche anderen Stoffe auf weit entfernten Himmelskörpern vorkommen? Die Untersuchung der in ihrem ausgestrahlten Licht vorkommenden **Spektralfarben** verrät sogar die mengenmäßigen Anteile dieser verschiedenen Elemente und Verbindungen.

Zum letzten Mal: Kochsalz

Schon vor mehr als 2000 Jahren wurden – wie z. B. nördlich von Frankfurt, wo heute das weltberühmte Herzheilbad Bad Nauheim am Hang des Taunus liegt – Salzquellen zur Salzgewinnung genutzt. Bereits die Kelten und nach ihnen die Germanen gewannen das begehrte Salz durch Kochen (Sieden) der Sole, einer schwachen Salzlösung, die dort aus der Erde sprudelte, in großen Tonpföpfen über Holzfeuern.

Viel später, erst im Jahre 1579, errichtete man dort ein **Gradierwerk** und ließ die etwa nur dreiprozentige Sole über Stroh rieseln. Dabei verdunstete ein Teil des Wassers an der Luft, so daß, da ja die Salzmenge die gleiche blieb, der Salzgehalt in der Lösung, ihr sogenannter **Salzgrad**, anstieg. Daher kommt auch das Wort „Gradieren“ für „Konzentriertermachen“ und der Begriff „Gradierwerk“.

Man mußte also nicht mehr so lange sieden, bis das Kochsalz ausfiel. Im Jahre 1716 wurde im heutigen Bad Nauheim erstmals in Deutschland ein Gradierwerk mit Schwarzdornreiser errichtet, über die nun die Sole herabrieselte. Mit Hilfe von Windmühlen und Wasserrädern wurde die Sole auf die hohen Gradierwerke gepumpt und durchrieselte mehrere solcher Werke nacheinander.

Zum Schluß war die Sole derart hoch konzentriert oder „gradiert“ – nämlich über 20% Salz in der Lösung –, daß sie in den Sudpfannen der **Saline** nur noch wenig **gesotten**, also bis zum Sieden erhitzt werden mußte. Dabei verdunstete dann noch soviel Wasser, daß schließlich das Salz ausfiel.

Von diesem umständlichen und teuren Verfahren hatte das Salz auch seinen Namen: **Siedesalz**.

Heute dienen die Gradierwerke in den Heilbädern nur noch der feinen Zerstäubung der Salzsole, die eingeatmet, oder inhaliert, Erkrankungen der Atemwege heilen hilft. Das sehr viel billigere Steinsalz aus Steinsalzlagerstätten hat das teure Siedesalz verdrängt.

Unveränderliche Kennzeichen – auch bei Stoffen

Deine Experimente mit Kochsalz und anderen Stoffen, wie Kupfersulfat oder Fixiersalz, haben gezeigt, daß du ein Salz beliebig oft lösen und wieder auskristallisieren kannst. Es ändert dabei seine Zusammensetzung, seine chemische Natur, nicht. Kochsalz bleibt immer salzig schmeckendes Kochsalz und Zucker z. B. bleibt immer süß schmeckender Zucker.

Am Beispiel des Wassers zeigt es sich am deutlichsten, daß ein Stoff sein Aussehen und seine Eigenschaften unter gewissen Voraussetzungen ändern kann, aber dennoch der gleiche Stoff bleibt: bei 0°C gefriert es und wird zu festem Eis, bei 100°C dagegen wird es zu Wasserdampf, einem flüchtigen Gas.



Der Bad Nauheimer Sprudel springt seit seiner Erbohrung 1846 voll aufgedreht ca. 7 m hoch. Ursache ist die in seiner 3prozentigen Sole gelöste Kohlensäure.



Das Wasserrad am Ludwigsbrunnen in Bad Nauheim wurde 1742 erbaut, um die Sole auf die Gradierwerke zu pumpen.

Man bezeichnet diese von der Temperatur abhängigen Zustände eines Stoffes als seine **Aggregatzustände**: fest, flüssig oder gasförmig. Wie dir vom Wasser her bekannt ist, können diese Aggregatzustände ineinander übergeführt werden.

Erinnere dich: Streusalz bewirkt, daß die harte, glatte Eisschicht einer Straße zu flüssigem, wenn auch unterkühltem Wasser wird.

Übrigens ist dabei auch ein „Überspringen“ eines Aggregatzustandes möglich. Selbst hart gefrorene Wäsche wird langsam trocken, ohne dabei aufzutauen, und Schnee „verschwindet“ allmählich bei Temperaturen unter Null Grad Celsius, ohne dabei erst zu Wasser schmelzen zu können.

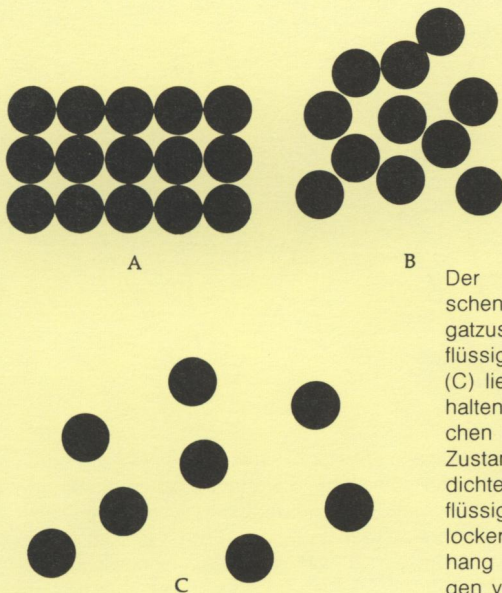
Daß dies auch umgekehrt möglich ist, beweist dir der lockere, fein kristallisierte Schnee an den Wänden der Tiefkühltruhe oder des Eisfaches im Kühlschrank. Hier ist der Wasserdampf, mit dem die Luft gesättigt war, direkt zu Eiskristallen geworden. Andernfalls hätte sich ja eine feste glasartige Eisschicht bilden müssen.

Du kannst diesen plötzlichen Übergang von einem Aggregatzustand in einen anderen auch im Experiment selbst verursachen und dabei beobachten!

Du brauchst zum Arbeiten:

Schwefelblüte, Brennschmelze, Trichter, Filtrierpapier, Erlenmeyerkolben, Pipette, Brenner mit Unterlage, Reagenzglas, Reagenzglashalter, Becherglas, Lupe, wenn du hast, ein Mikroskop, Mörser mit Pistill, Schmelzlöffel und einen langen Eisennagel.

Der gelbe Schwefel ist ein chemisches Element, das in zahlreichen Verbindungen, aber auch als freier Schwefel in der Natur vorkommt. Man nennt ihn dann „gediegen“ und findet ihn vornehmlich in vulkanischen Gegenden, z. B. auf Sizilien.



Der Unterschied zwischen den drei Aggregatzuständen fest (A), flüssig (B) und gasförmig (C) liegt im Zusammenhalten der kleinsten Teilchen bedingt. Im festen Zustand sind sie am dichtesten „gepackt“, im flüssigen nur noch im lockeren Zusammenhang und im gasförmigen völlig frei voneinander.

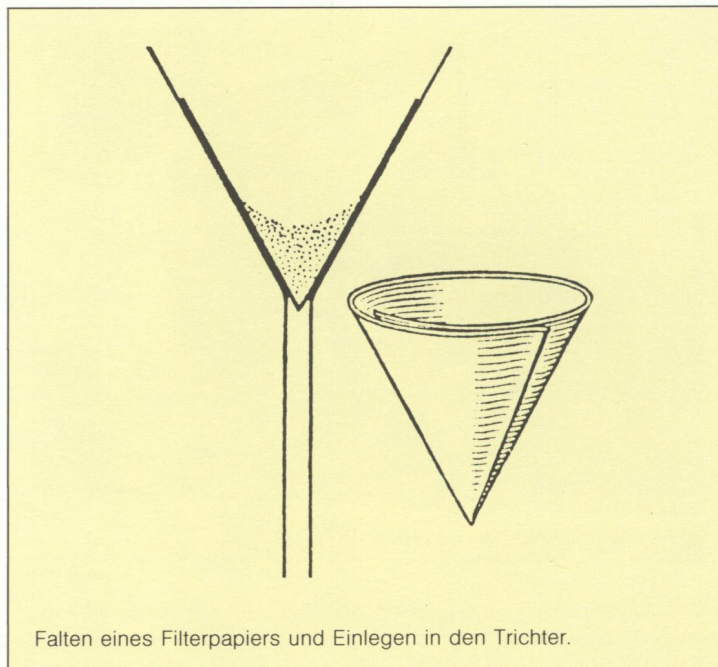
Er löst sich nicht in Wasser auf, sondern am besten in Schwefelkohlenstoff. Wegen seiner Giftigkeit kannst du dieses Lösungsmittel aber leider nicht benutzen. Da Brennspritus Schwefel ebenfalls löst – wenn auch nur in geringen Mengen – mußt du es eben einmal auf diese Weise versuchen, Schwefel auskristallisieren zu lassen.

Gib in ein Reagenzglas etwa einen Kaffeelöffel Schwefelblüte, fülle das Glas dann zu einem Drittel mit Brennspritus, verschließe die Öffnung mit dem Daumen und schüttle kräftig. Das darf ruhig 2 – 3 Minuten dauern.

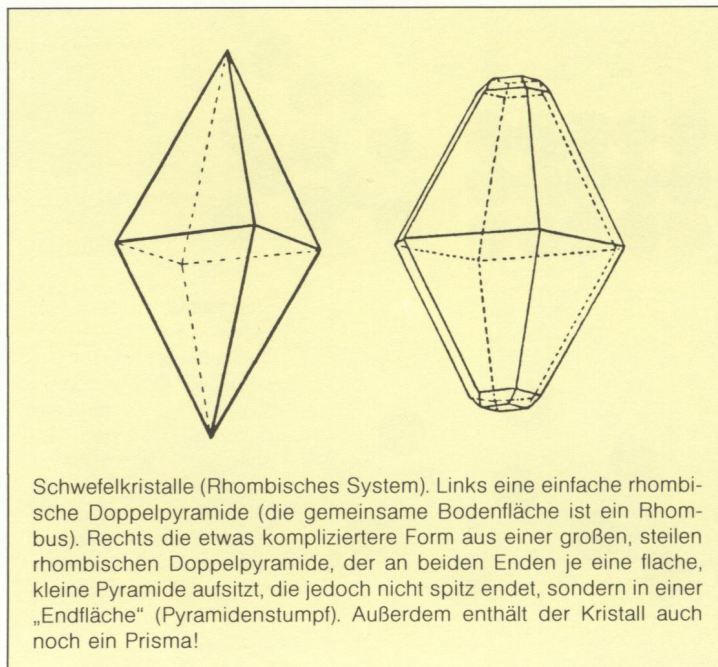
Falte nun ein rundes Filterpapier zweimal und lege das Tütchen in den Trichter. Auf der Abbildung kannst du sehen, wie man es macht. Setze den Trichter dann auf den Erlenmeyerkolben und gieße die Brennspritus-Schwefelblüte-Aufschlämmung vorsichtig hinein. Achte darauf, daß die Flüssigkeit nicht über den Oberrand des Filters steigt. Du mußt mit dem Nachgießen immer ein wenig warten.

Bringe nun mit der Pipette einen Tropfen der klaren filtrierten Lösung auf einen sauberen Objektträger. Er muß völlig eben liegen, damit nichts abfließt. Gib nach und nach weitere Tropfen hinzu, so daß während des langsamen Verdunstens des ersten Tropfens die Flüssigkeitsmenge etwa gleich bleibt. Dadurch steigt natürlich, genau wie beim Gradieren der Kochsalzsole, die Konzentration des gelösten Stoffes, also in diesem Fall des Schwefels, an. Laß zuletzt das Lösungsmittel Brennspritus völlig verdunsten und betrachte die entstandenen Schwefelkristalle durch deine Lupe – noch besser: durch das Mikroskop. Beginne mit einer geringen Vergrößerung.

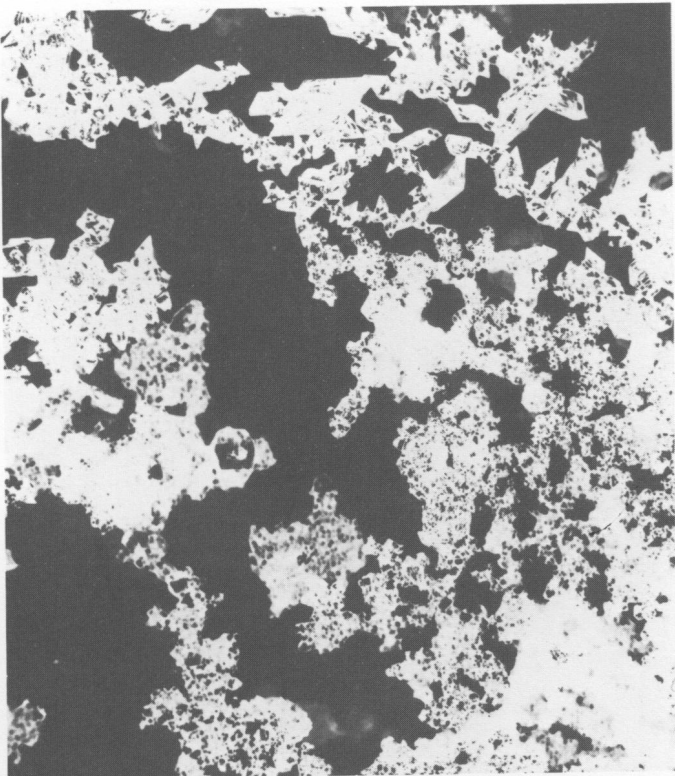
Jetzt kannst du feststellen: Es haben sich Kristalle in Gestalt von schönen und regelmäßigen Doppelpyramiden gebildet. Die beiden Pyramiden eines jeden Schwefelkristalls besitzen je vier Dreiecke als Wände und ein Quadrat als gemeinsamen Boden.



Falten eines Filterpapiers und Einlegen in den Trichter.



Schwefelkristalle (Rhombisches System). Links eine einfache rhombische Doppelpyramide (die gemeinsame Bodenfläche ist ein Rhombus). Rechts die etwas kompliziertere Form aus einer großen, steilen rhombischen Doppelpyramide, der an beiden Enden je eine flache, kleine Pyramide aufsitzt, die jedoch nicht spitz endet, sondern in einer „Endfläche“ (Pyramidenstumpf). Außerdem enthält der Kristall auch noch ein Prisma!



Die Kristalle des Schwefels bilden, wenn sie aus Schwefelkohlenstoff oder Spiritus auskristallisieren, Doppelpyramiden. An einigen Stellen sind sie deutlich als solche zu erkennen, bei dichter Lagerung sieht man nur die eine „Pyramide“.

Erhitze jetzt ein wenig Schwefelblüte, etwa einen halben Kaffeelöffel voll, trocken im Reagenzglas. Schwefel beginnt bei 119°C zu schmelzen (**Schmelzpunkt**). Geschmolzen erscheint der Schwefel zuerst strohgelb, nach weiterem Erhitzen wird er dann dunkelbraun.

Nimm das Reagenzglas, dessen Öffnung nicht auf dich zeigen darf, immer mal wieder aus der Flamme und schüttele es vorsichtig. Gib dabei Obacht, daß kein flüssiger Schwefel herausspritzt.

Du kannst jetzt beobachten: anfangs ist der geschmolzene Schwefel dünnflüssig. Danach, wenn seine Temperatur noch weiter angestiegen ist, wird er wieder zähflüssiger und zuletzt abermals dünnflüssig. Seinen **Siedepunkt** erreicht der geschmolzene Schwefel erst bei einer Temperatur von 445°C ! Das ist mehr als viermal so heiß wie kochendes Wasser. Eine Verbrennung mit Schwefel ist daher auch gefährlicher und schmerzhafter.

Übrigens brennt Schwefel, wenn er mit der offenen Flamme in Berührung kommt, mit bläulicher Flamme. Sollte dir das versehentlich passieren, mußt du die Flamme **sofort ausblasen**!

Achte nun bei deinem Versuch auf den kälteren, oberen Rand des Reagenzglases. Dort entsteht ein feiner gelber Niederschlag: eine dünne Schwefelschicht. Mit dem geschmolzenen, also dem flüssigen Schwefel sind diese Stellen aber nicht in Berührung gekommen.

Du siehst: Schwefel geht aus dem dampfförmigen Aggregatzustand direkt in den festen Aggregatzustand über, wie es dir ja auch schon vom Wasser her bekannt ist. Man nennt diesen Vorgang **Sublimation**.

Lege dir jetzt ein Blatt weißes Schreibpapier bereit. Erhitze den geschmolzenen Schwefel im Reagenzglas weiter bis dichter gelber Schwefeldampf hochsteigt. Nimm nun das Reagenzglas aus der

Flamme und neige es sehr vorsichtig! über dem Blatt Papier so weit, daß der Schwefeldampf sich auf dem Papier ausbreitet. Es darf aber kein geschmolzener Schwefel ausfließen! Der Dampf fließt wie eine zähe Flüssigkeit, wie Honig, aus dem Reagenzglas, da er schwerer ist als Luft.

Du stellst fest: der Schwefeldampf schlägt sich auf dem Papier sofort als festes Schwefelpulver nieder. Du hast sublimierten Schwefel oder „Schwefelblüte“ hergestellt.

Ein weiterer Versuch mit geschmolzenem Schwefel führt zu einem ganz unerwartetem Ergebnis:

Fülle das Becherglas zu etwa zwei Dritteln mit kaltem Wasser und stelle es neben die Flamme. Gib einen Kaffeelöffel Schwefelblüte in den Schmelzlöffel und erhitze, bis der geschmolzene Schwefel zum zweiten Mal dünnflüssig wird. Dann gieße den flüssigen Schwefel durch rasches Umwenden des Löffels (wie beim Bleigießen) in das kalte Wasser im Becherglas.

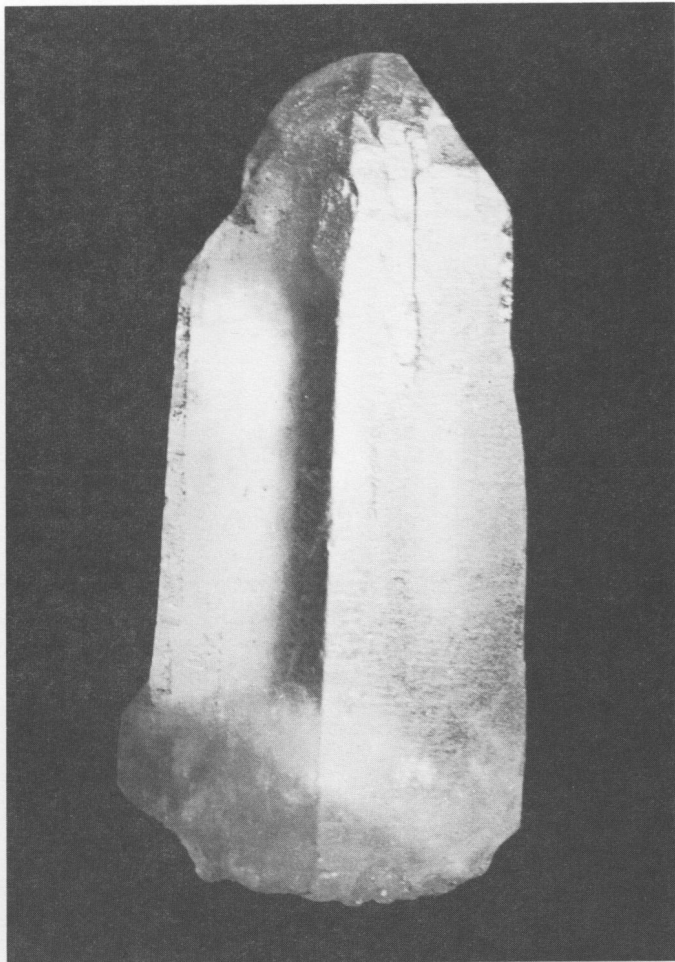
Du kannst beobachten: im kalten Wasser erstarrt der flüssige Schwefel sofort. Nimm nun die gelbbraune, formlose Masse aus dem Wasser. Du kannst sie wie einen Kaugummi zwischen den Fingern kneten. Sie ist „plastisch“ und der Schwefel wird in dieser Form auch als **plastischer Schwefel** bezeichnet.

Überlege nun: aus Kristallen kann dieser plastische Schwefel nicht bestehen, denn dann müßte er ja fest sein. Tatsächlich haben sich in dieser Erscheinungsform des Elementes Schwefel die Atome zu langen Ketten zusammengeschlossen (Kettenmoleküle), die vielfach gewunden und geknäult sind. Werden sie gezogen – auch das kannst du ganz leicht ausprobieren – strecken sie sich und geben dadurch dem Zug nach – wie ein Bubble-Gum. Werden sie dagegen zusammengepreßt, dann verknäulen sie sich.

Laß den Klumpen plastischen Schwefel jetzt eine Weile ruhig liegen.



Gradierwerke in Bad Nauheim. Der Turm war ursprünglich eine Windmühle, die die Sole-Pumpen antrieb.



Der Rauchquarz kristallisiert nach dem Hexagonalen System: das sechsseitige Prisma trägt oben eine sechsseitige Pyramide.

Du wirst später feststellen, daß der Schwefel nicht mehr plastisch ist. Er läßt sich durch Zug oder Druck nicht mehr verformen, weil er inzwischen hart geworden ist.

Zerkleinere nun den harten Schwefelbrocken mit dem Pistill im Mörser und betrachte die Bruchstücke mit der Lupe, Du wirst feststellen, daß der Klumpen in viele Kristalle zersplittert ist, die man wegen ihrer Form als **Kristallnadeln** bezeichnet.

Fülle nun den Schmelzlöffel mit Schwefelblüte und erhitze über dem Brenner, bis alles geschmolzen ist. Achte darauf, daß der Schwefel nicht zu brennen beginnt. Arbeite mit kleiner Flamme! Sollte sich der Schwefel dennoch entzünden, nimm den Schmelzlöffel sofort aus der Spiritusflamme und blase die blaue Schwefelflamme aus. Arbeite mit einer Unterlage. Dann erhitze weiter.

Laß den bis zur Dünflüssigkeit erhitzten Schwefel jetzt abkühlen. Stell den Schmelzlöffel auf eine feuerfeste Unterlage, z. B. auf eine Kachel, und lege etwas unter den Griff, damit der Löffel nicht umkippt.

Sobald sich eine feste Kruste über dem geschmolzenen Schwefel gebildet hat, durchsteche sie mit dem Eisennagel und gieße den noch flüssigen Inhalt in das Becherglas mit kaltem Wasser.

Untersuche jetzt mit der Lupe auch den am Schmelzlöffel beim Ausgießen erhärteten Schwefel. Auch hier wirst du nicht die bekannten Doppel-Pyramiden-Kristalle finden, sondern ebenfalls Kristallnadeln. Oft gehen sie wie Strahlen von einem gemeinsamen Mittelpunkt nach allen Seiten auseinander.

Du siehst: Schwefel besitzt gleich zwei unterschiedliche Kristallformen. Dennoch handelt es sich immer um den gleichen chemischen Stoff.

Es dauert außerdem gar nicht lange, dann verwandeln sich die nadelförmigen Kristalle unter Abgabe von Wärme in die Doppelpyramiden-Kristalle, in den sogenannten Rhombischen Schwefel.

Die Erklärung dieses merkwürdigen Verhaltens dürfte dir eigentlich nicht mehr schwer fallen. Genauere Untersuchungen haben nämlich gezeigt: bis zu einer Temperatur von $95,5^{\circ}\text{C}$ kristallisiert Schwefel in Form von Doppelpyramiden aus. Im Temperaturbereich zwischen $95,5^{\circ}\text{C}$ und 119°C – also bevor er zu schmelzen beginnt – kristallisiert er in Nadelform aus.

Man kann folglich sagen: Schwefel geht, wenn sich beim Abkühlen die Nadel in Doppelpyramiden umwandeln, unter Wärme- (Energie-) Abgabe in seine bei normalen Temperaturen beständige Form über. Die Doppelpyramiden-Kristalle sind demnach am energieärmsten!

Sich selbst überlassen „streben“ die chemischen Elemente und Verbindungen – die toten Stoffe also – unter Verlust an Energie (Wärme) stets den energieärmsten Zustand an, der deshalb ihr stabilster ist.

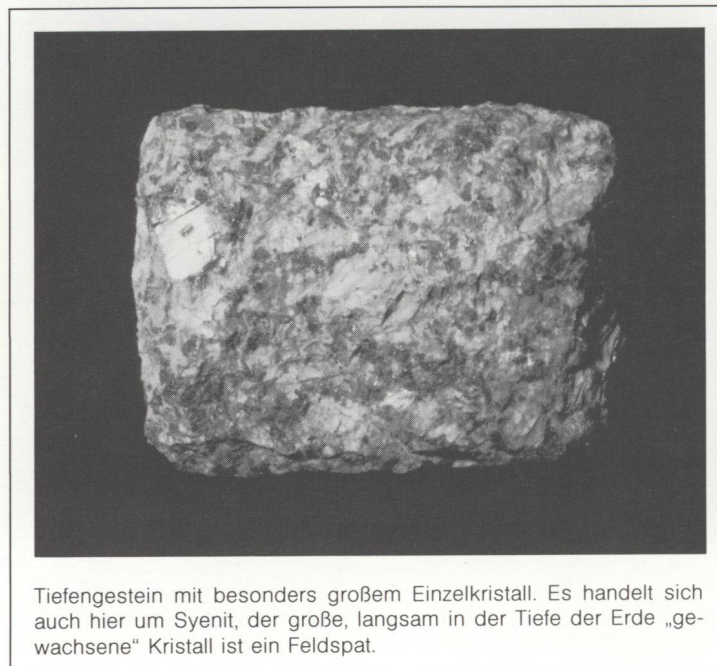
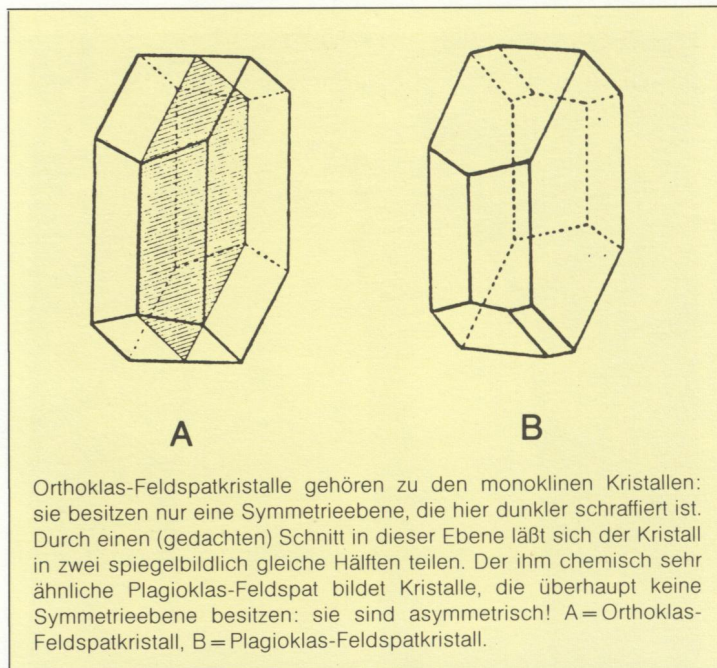
Das gesamte Weltall strebt diesem Zustand entgegen, weshalb man vom Wärmetod der Erde, der Sonne usw. spricht.

Was Wasser und Schwefel über Schmelzen, Erstarren und Verdampfen gezeigt haben, kannst du durch ein paar einfache Experimente mit anderen Substanzen bestätigen.

Du brauchst zum Arbeiten:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Watte, Lupe, Naphthalin, evtl. einen Tropfen Jodtinktur, Mörser und Pistill, Menthol-Bonbon.

Gib ein Stückchen Naphthalin in ein Reagenzglas, verschließe es mit einem Wattebausch und laß es ruhig im Reagenzglasständer stehen. Nach einiger Zeit kannst du beobachten – evtl. mußst du dich 2–3 Tage gedulden –, daß das Stückchen Naphthalin kleiner geworden ist. Dafür entdeckst du weiter oben im Reagenzglas überall an der Glaswand winzige Kristalle. Betrachte sie mit der Lupe.





Druse von Quarzkristallen: nur die sechsseitigen Pyramiden sind zu sehen!



Syenit. Ein Tiefengestein, dem im Gegensatz zum Granit die milchig-fettigen Quarzbestandteile fehlen. Seine Farbe ist von den Feldspäten abhängig. Die dunklen Kristalle bestehen, wie beim Granit auch, aus Biotit und Hornblende.

Wenn ihr Jodtinktur im Hause habt, das ist eine Lösung des chemischen Elementes Jod in Alkohol, die man zur Wunddesinfektion verwendet, dann laß dir von deiner Mutter ein paar Tropfen in ein Reagenzglas träufeln. Schüttle es ein wenig, bis das Lösungsmittel Alkohol verdunstet ist. Dann verschließe auch dieses Reagenzglas mit Watte und stelle es zu dem anderen in den Ständer.

Nach einiger Zeit wirst du mit der Lupe feststellen können, daß sich weiter oben an der Glaswand kleine Jodkristalle angesetzt haben.

Naphthalin und Jod gehen also direkt, ohne sich zu verflüssigen, aus dem festen Aggregatzustand in den gasförmigen über und aus diesem sofort wieder in den festen. Sie **sublimieren**, wie der Schwefel. Der Unterschied besteht darin, daß man hier nicht einmal mehr erwärmen muß.

Und jetzt wird auch klar, warum manche Stoffe sehr viel intensiver riechen als andere. Beim Naphthalin benutzt man den starken Geruch, um Motten aus Wollsachen zu vertreiben. Sicher kennst du Mottenkugeln! Auch Jod erkennt man sofort wieder, wenn man einmal an einer Flasche mit Jodtinktur gerochen hat. Dabei werden die Sinneszellen der Riechschleimhaut in der Nasenhöhle von diesen Stoffen gereizt – und das ist natürlich um so stärker der Fall, je leichter der Stoff in den gasförmigen Zustand übergeht. Er gelangt mit der eingeatmeten Luft schnell an die Riechzellen.

Noch ein Beispiel:

Zerkleinere im Mörser mit dem Pistill ein Mentholbonbon (Hustenbonbon). Gib den zerkleinerten Bonbon in ein Reagenzglas, verschließe es mit einem Wattebausch und erhitze das Glas langsam über einer kleinen Flamme deines Brenners.

Du kannst beobachten: die Masse schmilzt und es schlägt sich ein „Nebel“ an der oberen, kühleren Reagenzglaswand nieder. Unter der Lupe entdeckst du zwischen Öltropfen, die vom Eukalyptusöl herrühren, das ebenfalls in Hustenbonbons enthalten ist, kleine Kristallnadeln.

Auch Menthol kristallisiert nämlich in weißen Nadeln direkt aus dem Dampf (Sublimation!). Jetzt verstehst du, warum Hustenbonbons und vor allem Einreibungsmittel gegen Husten nach Menthol riechen. Schon bei Zimmertemperatur, und erst recht auf der warmen Haut, geht dieser kristallisierende Stoff direkt in den gasförmigen Zustand über.

Du hast also inzwischen herausgefunden, bei welchen Vorgängen und auf welche Weise Kristalle gebildet werden.

1. durch Verdampfen von Lösungen (Siedesalzgewinnung, Entstehung von Salzlagerstätten aus eintrocknendem Meerwasser)
2. durch Erstarren von Schmelzen (Kristallnadeln des Schwefels, große Kristalle in kristallinem Gestein)
3. durch Sublimation (Eiskristalle aus Wasserdampf, Schwefel, Naphthalin, Jod)

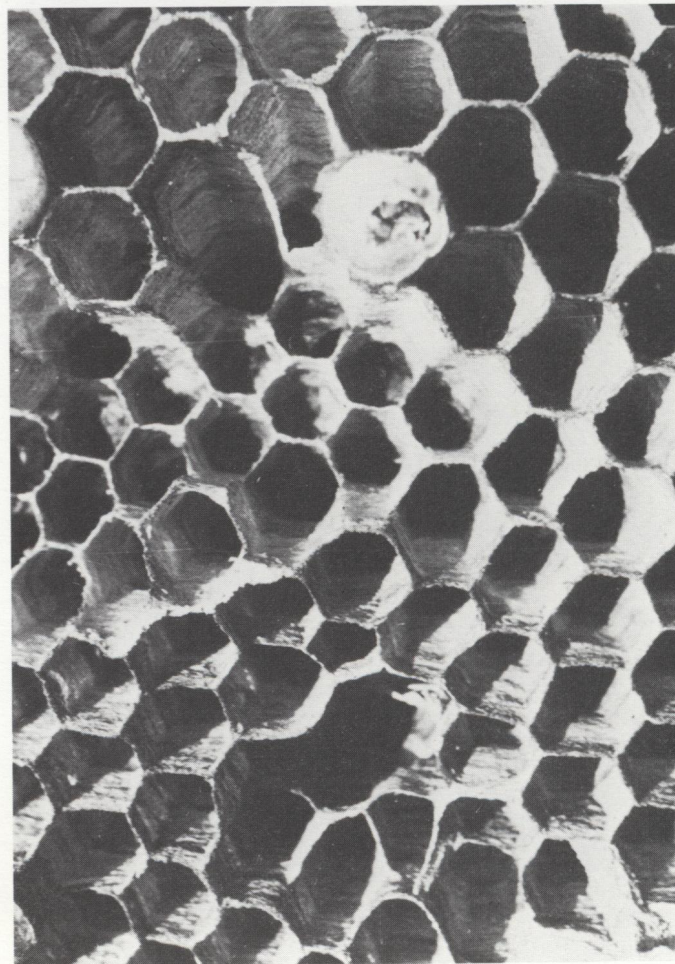
Aber es gibt noch eine weitere Möglichkeit, die du jetzt experimentell herausfinden sollst.

Du brauchst zum Arbeiten:

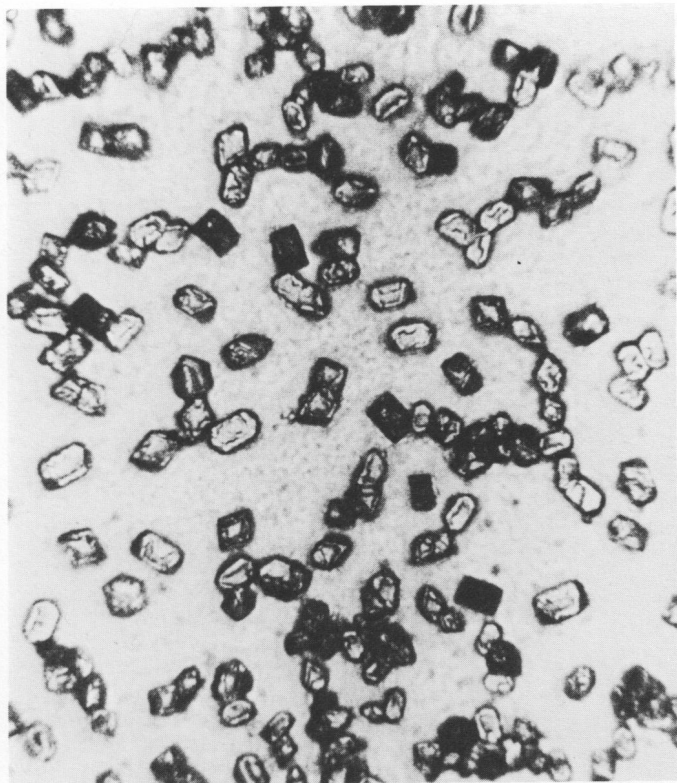
2 Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Erlenmeyerkolben, Trichter und Filtrierpapier, Pipette, Objektträger, Lupe und, wenn du hast, Mikroskop, Eisenchlorid, gelbes Blutlaugensalz.

Gib eine Messerspitze gelbes Blutlaugensalz in das erste Reagenzglas. Fülle es zu etwa einem Drittel mit Leitungswasser. Verschließe seine Öffnung mit dem Daumen und schüttle solange kräftig, bis sich alles Salz gelöst hat.

Mache es nun ebenso mit einer Messerspitze Eisenchlorid in dem zweiten Reagenzglas. Stelle dann die beiden Gläser in den Reagenzglasständer.



Die Wespen bauen ihre Wabenzellen als sechseckige Prismen – allerdings aus einer selbst hergestellten Papiermasse.



Die Kristalle des „Berliner Blau“ unterscheiden sich deutlich von den nadelförmigen der beiden Ausgangsstoffe Eisenchlorid und Gelbes Blutlaugensalz!

Lege nun auf ein weißes Blatt Papier drei saubere Objektträger nebeneinander. Gib auf die Mitte des ersten mit der Pipette einen großen Tropfen Blutlaugensalzlösung aus dem ersten Reagenzglas. Spüle danach die Pipette mit Leitungswasser sehr gründlich aus. Es darf kein Rest der Blutlaugensalzlösung mehr an ihr haften!

Gib nun auf die Mitte des zweiten Objektträgers einen ebenso großen Tropfen Eisenchloridlösung. Laß dann die Objektträger ruhig liegen, bis das Lösungsmittel Wasser verdunstet ist. Schreibe inzwischen unter oder neben die Objektträger, um welche Lösung es sich jeweils handelt, damit es später keine Verwechslungen geben kann.

Nimm jetzt eines der beiden Reagenzgläser aus dem Ständer – welches spielt keine Rolle – und gieße seinen Inhalt in das andere, so daß sich beide Salzlösungen miteinander mischen.

Du wirst eine Überraschung erleben!

Die Mischung aus den Lösungen von gelbem Blutlaugensalz und Eisenchlorid ergibt eine tief tintenblaue Lösung. Beide Stoffe haben **chemisch miteinander reagiert**. Dabei ist eine neue Verbindung entstanden: das sogenannte „**Berliner Blau**“.

Auf diese einfache Weise kann man also jederzeit mit gelbem Blutlaugensalz selbst noch geringe Spuren von Eisen nachweisen – z. B. auch in der Kriminalistik. Man sagt: Gelbes Blutlaugensalz ist ein Reagenz auf Eisen.

Falte jetzt ein Filtrierpapier zweimal und lege das Filtertütchen in den Trichter. Setze den Trichter auf den Erlenmeyerkolben und gieße die Berliner-Blau-Lösung hinein. Achte wieder darauf, daß die Flüssigkeit den oberen Rand des Filtertütchens nicht erreicht.

Gib nun einen großen Tropfen der filtrierten Lösung aus dem Erlenmeyerkolben mit der Pipette auf den dritten Objektträger und warte, bis das Lösungsmittel Wasser vollständig verdunstet ist.

Nun untersuche die Rückstände auf den drei Objektträgern mit der Lupe. Achte besonders auf den ehemaligen Tropfenrand, dort entstehen die größten Kristalle. Es wäre schön, wenn du ein Mikroskop hättest. Du würdest natürlich sehr viel mehr sehen.

Und das kannst du nun feststellen:

In den beiden Ausgangslösungen, also Blutlaugensalz- und Eisenchloridlösung, sind beim Verdunsten völlig unterschiedliche Kristallformen entstanden. Die Kristalle des Eisenchlorids bestehen aus ganz langen, dünnen Nadeln. Sie sind gitterartig angeordnet und erinnern an Schneekristalle.

Beim Verdunsten der gelben Blutlaugensalzlösung hingegen entstanden sehr viel kleinere Einzelnadeln.

Überraschenderweise bildet die aus diesen beiden Stoffen entstandene neue Verbindung „Berliner Blau“ nun aber keinerlei nadelförmige Kristalle aus. Diese Kristalle erinnern in ihrer Gestalt eher an Zuckerkristalle oder sogar an die Doppelpyramiden, wie du sie vom Schwefel her kennst.

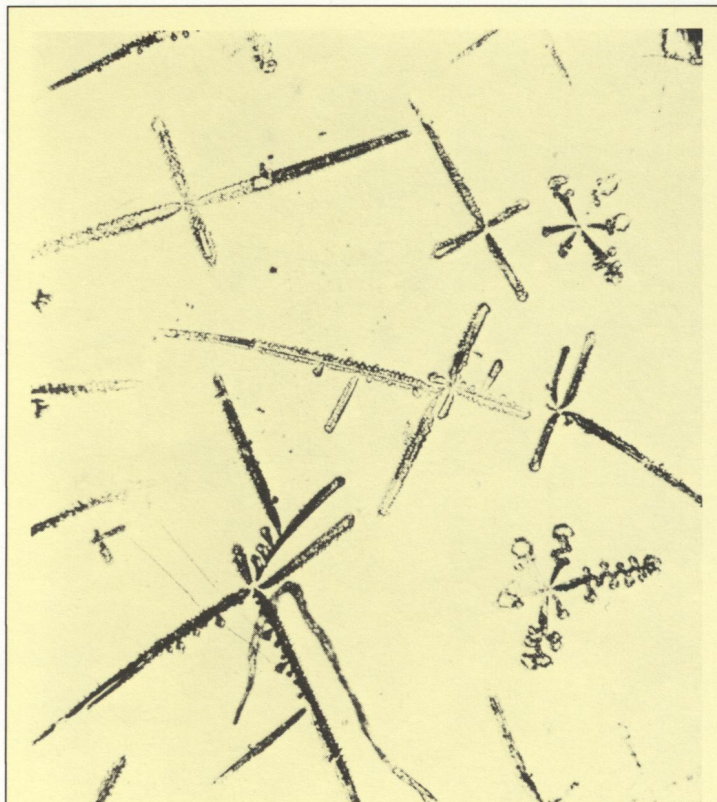
Daraus ergibt sich: die Eigenschaften einer chemischen Verbindung stellen nicht einfach die Summe der Eigenschaften ihrer Ausgangsstoffe dar. Denn in diesem Falle müßten ja auch die Kristalle des Berliner Blau nadelförmig sein.

Bei chemischen Verbindungen treten stets neue, vorher in keinem der Ausgangsstoffe feststellbare Eigenschaften auf. In unserem Fall ist es nicht nur die intensive blaue Farbe, sondern sogar eine ganz andere Kristallform.

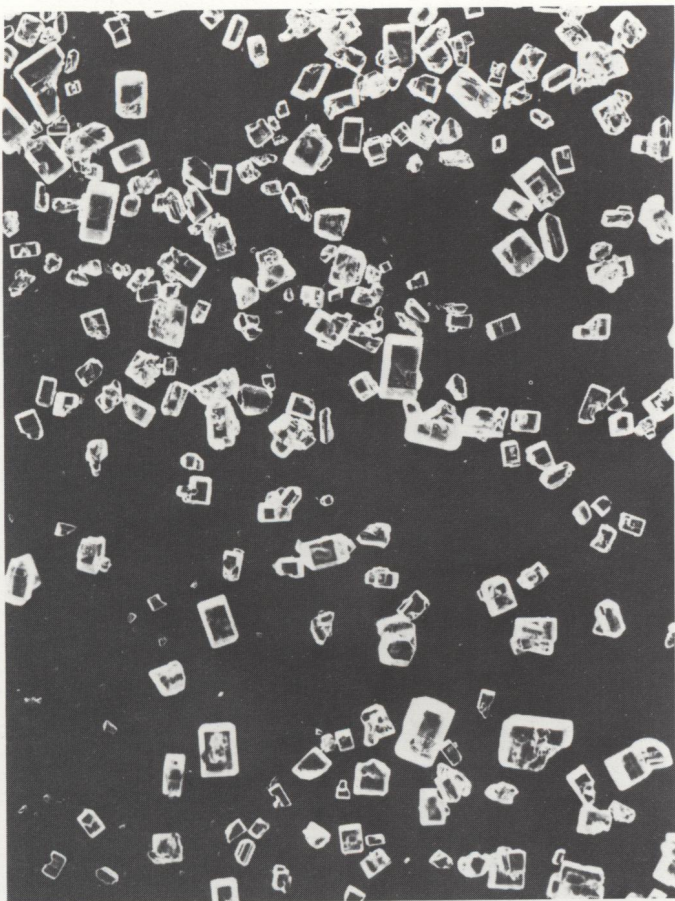
Du hast gesehen, daß Kristalle auch durch

4. chemische Umsetzungen (Berliner Blau aus gelbem Blutlaugensalz und Eisenchlorid)

entstehen.



Kristalle vom Eisenchlorid.



Zuckerkrystalle von gewöhnlichem Zucker unter der Lupe. Man spricht hier von „künstlichen Kristallen“, weil es in der Natur wegen ihrer leichten Wasserlöslichkeit keine Zuckerkrystalle gibt! Du kannst allerdings auch recht große züchten. Bereite dazu eine gesättigte Rohrzuckerlösung. Gieße etwas davon in die Abdampfschale und laß das Wasser verdunsten. Es bilden sich schöne Zuckerkrystalle! Nimm den größten, befestige ihn an einem Haar oder sehr dünnen Faden und häng ihn in die Lösung in einem Becherglas. Es muß über längere Zeit ruhig stehenbleiben! Der Kristall wächst so lange, wie er in der gesättigten Lösung hängt. Du mußt evtl. neue gesättigte Lösung nachfüllen!

Versuche einmal, den großen Zuckerkrystall zu zeichnen (wenn du einen möglichst regelmäßig ausgebildeten dazu benutzen willst, besorge dir einen weißen „Kandiszucker“-Kristall: es handelt sich dabei um große Rübenzuckerkrystalle (der braune Kandiszucker besteht aus Rohrzucker).

Übrigens kannst du dir jetzt auch schon selber erklären, warum diese neu entstandene Verbindung, dieser andere Stoff Berliner Blau, auch eine neue, andere Kristallform ausbildet.

Erinnere dich an den Kochsalzkristall. Er kann immer nur ein Würfel sein, weil die elektrischen Anziehungskräfte der Natrium- und Chlorionen gar keine andere Anordnung im Raum, also kein anderes Gitter, zulassen.

In jedem Stoff bestimmen folglich die besonderen Eigenschaften, die chemischen und physikalischen Merkmale seiner kleinsten Teile, wie sie sich zum Kristall zusammenfügen müssen.

Erinnere dich: Alle Materie ist letzten Endes kristallin – und der Kristall, in dem die kleinsten Teilchen, Ionen, Moleküle oder auch Atome, fest im Gitter angeordnet sind, enthält kaum noch freie Energie. Die Teilchen können sich höchstens noch um ihr eigene Achse drehen, aber sie können sich nicht mehr frei bewegen wie in einer Lösung (Brown'sche Bewegung). Und Lösungen sind daher auch energiereichere Systeme als Kristalle.

Kristalle sind trotz ihres „Wachsenkönnens“ und ihrer so regelmäßigen Gestalt überhaupt nicht mit Lebewesen zu vergleichen. Tatsächlich stellen sie genau das Gegenteil von einem Lebewesen dar: sie sind das „Toteste“, was es in der Natur überhaupt gibt – aber darauf werden wir später noch ein wenig genauer zurückkommen.

Du kannst Kristalle züchten

Du brauchst zum Arbeiten:

Becherglas, Wasserglas, 2 Reagenzgläser, Pinzette, Glasstab, Kupfersulfat, Kochsalz, einen dünnen Faden, besser noch ein langes Haar.

Eigentlich ist der Versuch nicht neu, denn du hast ja schon mehrfach Salze auskristallisieren lassen. Nur: jetzt kommt es darauf an, große Einzelkristalle herzustellen.

Fülle zunächst ein Reagenzglas zur Hälfte mit Wasser. Gib etwa einen Kaffeelöffel blaue Kupfersulfatkristalle zu und verschließe die Öffnung mit dem Daumen. Schüttle das Glas so lange, bis sich keine weiteren Kristalle mehr lösen. Es muß auf jeden Fall ein unlöslicher Bodensatz zurückbleiben, damit du sicher bist, daß deine Lösung gesättigt ist. Gib also notfalls noch weiteres Kupfersulfat zu. Gieße nun vorsichtig die gesättigte Lösung von ihrem Bodensatz („dekantiere“ also) in ein Becherglas ab. Dabei dürfen keine Kupfersulfatkristalle mitgerissen werden. Wiederhole den Vorgang, bis dein Becherglas gut halb voll ist.

Streue nun wieder einen Kaffeelöffel Kupfersulfat auf ein Blatt weißes Papier. Breite die Kristalle gut aus, so daß sie nebeneinander und nicht übereinander liegen. Suche nun mit der Pinzette unter der Lupe den regelmäßigsten und größten Kristall heraus und befestige ihn an dem dünnen Faden oder an dem Haar. Das geht am besten, wenn du vorher eine Schlinge knüpfst, also wolltest du einen Knoten machen.

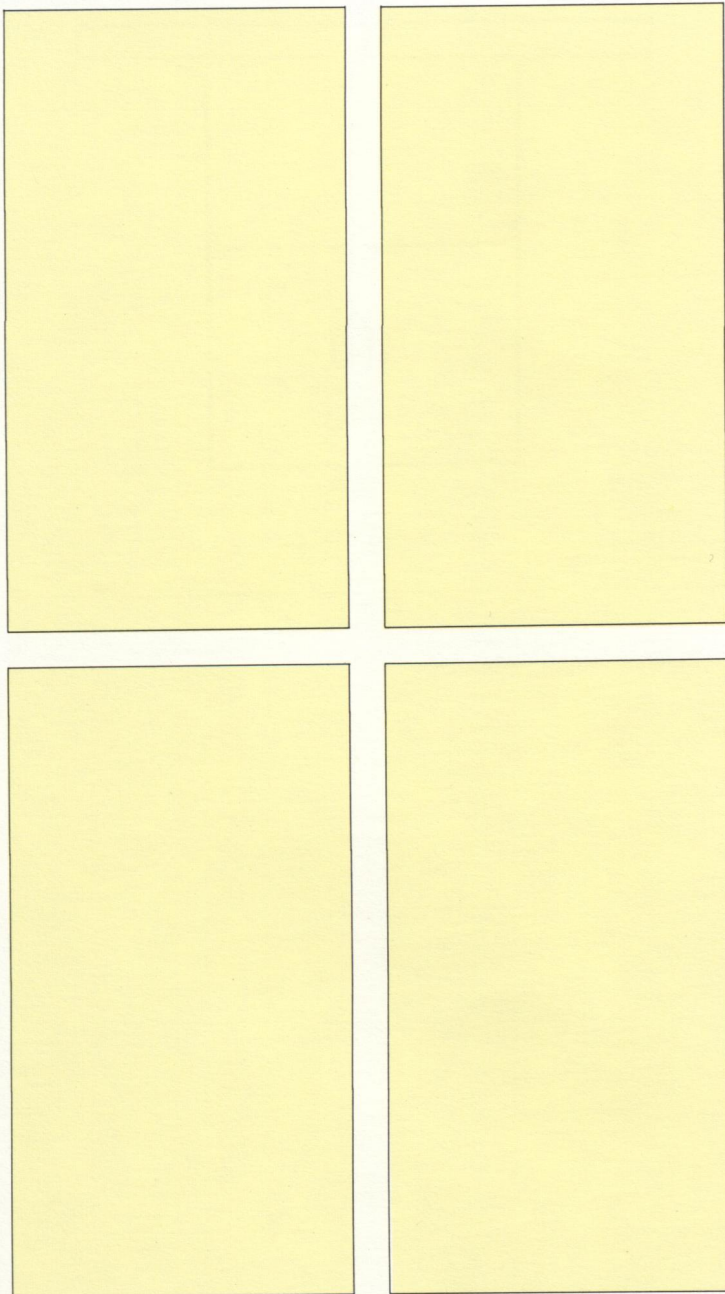
Jetzt hänge den Kristall mitten in die gesättigte Lösung, indem du das obere Fadenende um den Glasstab bindest, den du dann quer über das Becherglas legst.

Nun mußt du das Becherglas nur noch ganz ruhig stehen lassen. Dann kannst du – möglicherweise erst nach 2–3 Tagen – beobachten, daß der in der Lösung hängende Kristall immer größer wird. Während nämlich das Wasser der Lösung langsam verdunstet, lagern sich die Kupfersulfationen an den bereits vorhandenen Kupfersulfatkristall als **„Kristallisationspunkt“** oder **„Kristallisationskeim“** an. Sie brauchen das Kristallgitter nur weiterzubauen.

Jetzt verstehst du auch, warum die Lösung so vorsichtig vom Bodensatz abgegossen werden mußte. Denn jeder andere Kristall in der Lösung würde ja das gleiche „Weiterbauen“ verursachen und dadurch deinem **„Impfkristall“** die Ionen streitig machen. Im übrigen nennt man dieses Hinzufügen eines Kristallisationskeimes auch **„Impfen“**.

Zeichne deine Versuchsanordnungen

Betrachte die Kristalle unter der Lupe oder dem Mikroskop und zeichne die Formschönheit

The image contains four large, empty rectangular boxes arranged in a 2x2 grid. These boxes are intended for students to draw the shapes of crystals they observe under a magnifying glass or microscope. The boxes are white with thin black borders.

Wenn nach längerer Zeit viel von dem Lösungsmittel verdunstet ist, kannst du gesättigte Kupfersulfatlösung nachfüllen, damit dein Kristall weiterwächst.

Reinige jetzt das bereits benutzte Reagenzglas und stelle auf die gleiche Weise eine gesättigte Kochsalzlösung her. Sobald sich nichts mehr von dem Bodensatz aus Salz löst, gieße die Lösung wiederum vorsichtig in ein anderes Becherglas ab. Wiederhole die Herstellung einer gesättigten Kochsalzlösung solange, bis das Becherglas halb voll ist.

Suche nun wie vorher beim Kupfersulfat einen großen regelmäßigen Kochsalzwürfel und hänge auch ihn in die gesättigte, abgossene Lösung an einem dünnen Faden oder an einem Haar. Statt des Glasstabes kannst du auch einen Bleistift benutzen.

Der Kochsalzkristall, den du nun züchtest, kann recht groß werden, wenn du immer wieder gesättigte Lösung nachfüllst. Achte aber darauf, daß die Gläser erschütterungsfrei ganz ruhig stehen.

Mischkristalle – eine ganz besondere Zucht

Du brauchst zum Arbeiten:

Lupe, Pinzette, Faden (Zwirn), Reagenzglas, Reagenzglasständer, Löffel, Brenner mit Unterlage und Stativ, Becherglas, Glasstab, Chromalaun und Kaliumalaun (sogenannter gewöhnlicher Kalium-Aluminium-Alaun).

Erhitze zunächst über der Flamme im etwa zur Hälfte gefüllten Reagenzglas Wasser bis zum Kochen. Gib dann mit dem Löffel so viel violetten Chromalaun hinzu, bis sich auch durch Schütteln nichts mehr löst. Du mußt sehr vorsichtig schütteln, weil du wegen des heißen Lösungsmittels nicht wie sonst das Glas mit dem Daumen verschließen kannst!

Stelle das Reagenzglas mit der nun **heißgesättigten** Chromalaunlösung in den Reagenzglasständer. Laß einen Faden, der an einem Streichholz befestigt ist, das quer über der Reagenzglasöffnung liegt, in die Lösung hineinhängen. Der Faden ersetzt in diesem Fall den Kristallisationskern. Sobald sich ein größerer Alaunkristall an dem Faden gebildet hat, ziehst du ihn aus der Lösung und streifst alle anderen kleineren Kristalle zwischen Daumen und Zeigefinger ab.

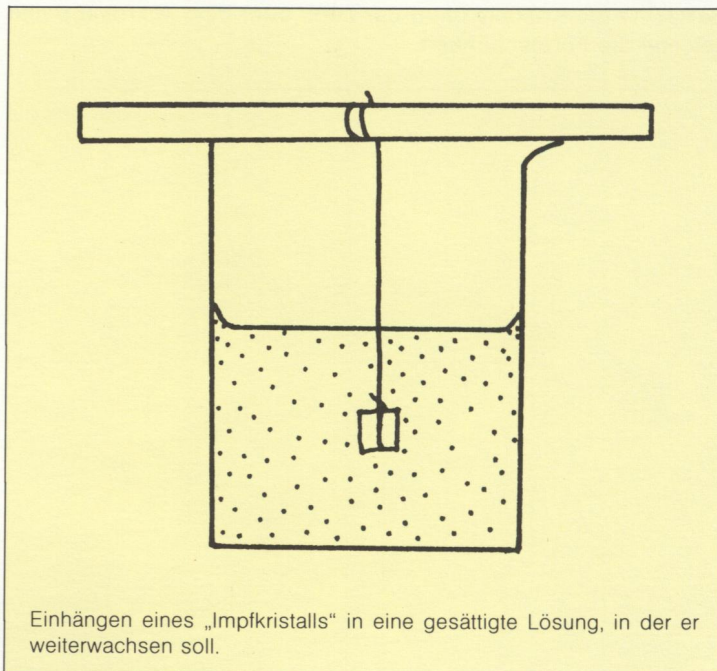
Hänge dann den verbliebenen großen Kristall wieder in die Lösung und laß ihn weiterwachsen. Du kannst die Lösung zwischen durch, in der Zeit, in der der Kristall entfernt ist, erneut erhitzen, falls sich an Boden und Wänden des Glases Kristalle ausgeschieden haben.

Erinnere dich: die heißgesättigte Alaunlösung kann viel mehr Ionen aufnehmen, als das kalte Lösungsmittel.

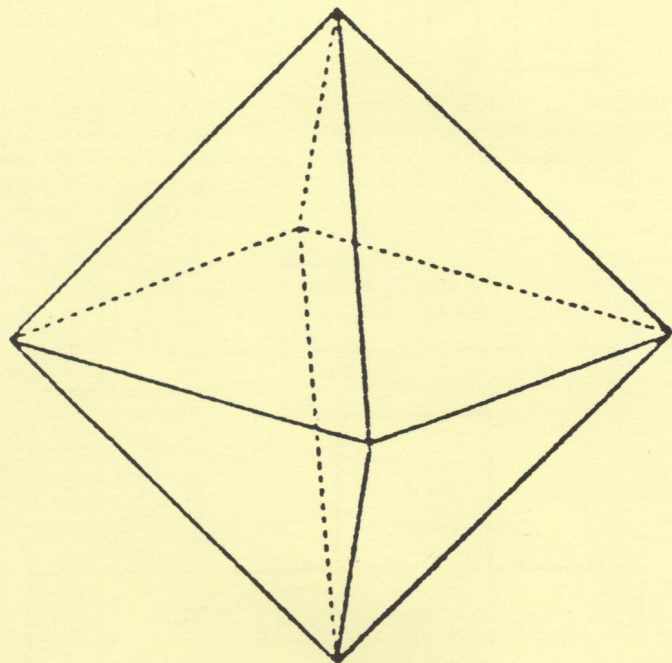
Züchte auf diese Weise einen möglichst großen und regelmäßigen violetten **Oktaeder** – Chromalaun.

Du kannst es übrigens auch auf einfachere Weise versuchen und die heißgesättigte Lösung nur langsam abkühlen lassen. Auch dabei entstehen kleinere und größere Kristalle. Du mußt dann allerdings den größten mit der Lupe suchen und mit der Pinzette vorsichtig herausnehmen. Unter der Standlupe mußt du ihn dann mit etwas Geduld mit Hilfe einer vorbereiteten Schlinge an einem Faden oder an einem Haar befestigen. Wenn du jetzt den Kristall – wenn erforderlich sogar mehrmals hintereinander – in die heißgesättigte Lösung hängst, wächst er schnell weiter.

Aber Vorsicht: wenn deine Lösung nicht gesättigt ist, löst der Kristall sich wieder auf.



Zeichne einen Oktaeder



So sieht ein idealer Alaunkristall aus! Wenn ein violetter Kristall in einer gesättigten Lösung von Kaliumalaun weiterwächst, entsteht ein durchsichtiger Oktaeder um den gefärbten, da beide Alaunarten das gleiche Kristallgitter besitzen.

Stelle jetzt eine heißgesättigte Lösung von farblosem Kaliumalaun her. Fülle ein Becherglas halb voll mit Wasser und erhitze bis zum Sieden. Stelle den Brenner weg und gib soviel Alaun in das Becherglas, bis sich auch nach längerem Rühren mit dem Glasstab kein Alaun mehr löst. Hänge dann in diese immer noch heiße Lösung den Chromalaunkristall, indem du das obere Ende des Fadens wie beim Züchten des Kupfersulfatkristalls am Glasstab befestigst und dann den Stab quer über das Becherglas legst.

Nun kannst du beobachten, wie dein violetter Chromalaunkristall in der Kaliumalaunlösung „farblos“ weiterwächst. Mit der Zeit entsteht ein großer farbloser Oktaeder mit einem kleineren violetten Oktaeder – dem ursprünglichen **Impfkristall** – in der Mitte.

Gieße nun die Reste der beiden Alaunlösungen zusammen und laß durch allmähliches Verdunsten des Lösungsmittels Wasser die gelösten Stoffe auskristallisieren.

Und nun wirst du feststellen: es bilden sich **Mischkristalle**. Das sind ganz normale, also vollkommen regelmäßige, Oktaeder-Kristalle, deren Gitter sowohl die Ionen des Chromalaun als auch die Ionen des Kaliumalaun enthalten. Dabei müssen die Ionen in den einzelnen Kristallgittern nicht genauso gemischt sein wie in der Lösung.

Es ist also gleichgültig, ob an einer bestimmten Stelle des Gitters ein Ion des Chromalaun oder aber des Kaliumalaun sitzt. Sie können sich gegenseitig in jeder beliebigen Anzahl vertreten. Das ist aber nur möglich, weil die beiden Alaune genau die gleiche Kristallform besitzen.

Man sagt: sie sind **isomorph**; das heißt: gleichgestaltig.

Das gilt für eine Reihe anderer Salze, die Mischkristalle bilden können, z. B. Kalziumkarbonat (**Kalkspat**), Magnesiumkarbonat (**Magnesit**), Zinkkarbonat (**Zinkspat**) und Eisenkarbonat (**Eisen-spat**) – allesamt Salze, also Metallverbindungen, der Kohlensäure.

Ein Mobile aus Kristallmodellen

Sogar etwas Theorie kann manchmal recht lebendig werden. Ein Mobile aus lauter Kristallmodellen zu bauen – das ist gewiß eine ganz originelle Idee. Vielleicht sieht es zuerst ein bißchen schwierig aus, aber mit etwas Geduld läßt es sich auch für einen nicht ganz so geschickten Bastler schaffen. Es macht aber nicht nur Spaß, sondern du lernst dabei spielend einiges über die angeblich so trockene Wissenschaft der **Kristallsysteme**.

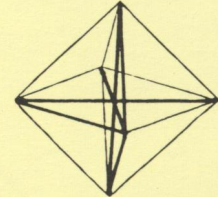
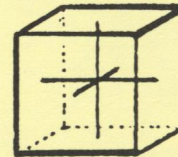
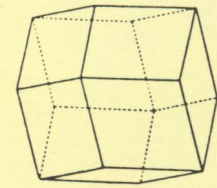
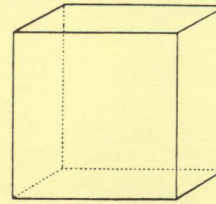
Du brauchst zum Arbeiten:

Pappe, nicht zu dick – sie muß sich gut mit der Schere schneiden lassen, Papierklebstoff, Bleistift, Lineal mit Maßeinteilung zum Abmessen kleiner Strecken, Schere, Messer und Klebestreifen, 1–2 cm breit, nicht selbstklebend, sondern zum Aufheften. Die Klebestreifen sollten möglichst eine kräftige, auffallende Farbe haben.

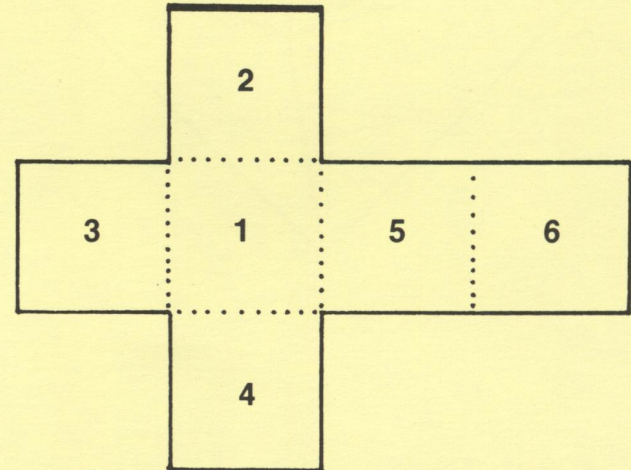
Beginn mit dem einfachsten Kristall-Modell: mit dem Kochsalzwürfel. Zeichne nach der Vorlage 1 die sechs Quadrate auf deine Pappe. Die Größe kannst du ganz nach Belieben wählen, je nachdem, wieviel Platz du hast. Nur müssen natürlich alle Quadrate gleich groß sein.

Schneide das aufgemalte Quadratkreuz mit der Schere aus und ritze mit dem Messer die fünf Striche nach, an denen die Pappe anschließend geknickt wird und die zu den Kanten des Würfels werden.

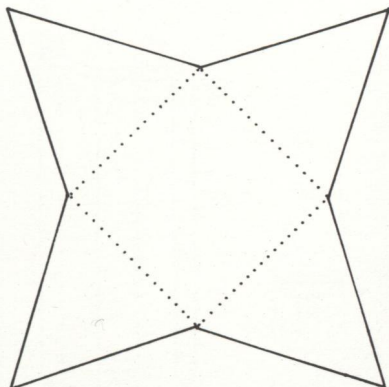
Biege nun zuerst die Quadrate 2, 3 und 4 gegen das Quadrat 1, das im Augenblick die Bodenfläche des entstehenden Würfels bildet. Danach biege auch die Quadrate 5 und 6 hoch. Das Quadrat 6 ergibt zuletzt die Deckenfläche des Würfels.



Beispiele für Kristalle, die dem Kubischen System angehören und sich aus dem Würfel ableiten lassen. Durch entsprechendes Abtrennen von Ecken usw. käme man vom Würfel (wie ihn Kochsalz- und Schwefelkieskristalle bilden) zum „Rhombendodekaeder“ (ein „Zwölfflächer“ aus Rhomben) des Zinkblende-Kristalls. Die Symmetrieachsen bleiben stets die gleichen: beim Würfel (links unten eingezeichnet) ebenso wie bei den anderen Kristallformen des Kubischen Systems. Rechts unten sind sie in einen Doppelpyramiden-Kristall des Alaun eingezeichnet.



Anleitung zum Bau eines Kochsalzkristallwürfels. Zeichne den Umriss vergrößert auf biegsame Pappe. Ritze dann mit dem Messer die gestrichelten Linien leicht an und biege die Quadrate in diesen Linien gegeneinander. Klebe anschließend ihre Kanten mit Klebstreifen zusammen.



Anleitung zum Bau eines Alaunkristallmodells. Die Figur kann beliebig vergrößert werden! Nach dem Ausschneiden werden die vier Dreiecke an den gepunkteten Linien hochgebogen (die Linien zuerst leicht mit dem Messer anritzen!) und an ihren Kanten zusammengeklebt. Zwei dieser so entstandenen Pyramiden werden zu einer Doppelpyramide zusammengeklebt.

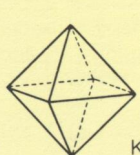
Das Zusammenkleben wird einfacher, wenn du die erforderlichen 12 Klebestreifenstücke in Kantenlänge zurechtschneidest und der Länge nach in der Mitte faltest. Du brauchst sie nur noch mit einem Lappen anzuweichen und auf die zusammengepreßten Kanten deines Würfels zu kleben. Nur 7 von ihnen halten ja Quadrate zusammen – die anderen 5 verstärken lediglich die angeritzten Biegekanten. Nur zum Zusammenhalten wären sie nicht nötig – aber das Modell wäre ohne sie nicht vollständig.

Der Kochsalzwürfel gehört zum **ersten** der sechs **Kristallsysteme**, die man unterscheidet, um die Vielfalt der Kristalle zu ordnen: zum **kubischen** oder **regulären System**. Es umfaßt alle Kristallformen mit drei gleichen, aufeinander senkrecht stehenden Hauptachsen. Die Abbildung dieses Würfels mit den eingezeichneten Achsen macht verständlich, wieso auch der Alaun-Oktaeder dem gleichen Kristallsystem angehört. Eine Art Zwischenform zwischen Würfel und Oktaeder stellen die ebenfalls dem kubischen System angehörenden Bleiglanzkristalle dar. Die Würfecken sind abgestutzt und es zeichnen sich dadurch die 8 Flächen eines Oktaeders bereits ab. Er würde vollkommen daraus entstehen, wenn sich diese 8 Dreiecke durch weiteres Abstutzen vergrößerten.

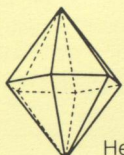
Zeichne auf Pappe ein Quadrat. Dann ergänze jede seiner Seiten zu einem gleichseitigen Dreieck, wie die Vorlage 2 es dir zeigt. Schneide die entstandene Sternfigur aus und ritze mit dem Messer die 4 Dreiecksgrundseiten an. Biege jetzt die 4 Dreiecke gegeneinander, bis sie sich an den Spitzen berühren und eine Pyramide bilden. Klebe die Kanten der Pyramide mit entsprechend vorbereiteten Klebestreifen zusammen.

Fertige dann eine zweite, ebenso große Pyramide an und klebe beide mir ihren Grundflächen aneinander. Du hast eine **Doppelpyramide** gebastelt mit 8 gleichen, gleichschenkligen Dreiecken als Flächen – einen **Oktaeder**, wie ihn die Kristalle von Chrom- und Kaliumalaun darstellen.

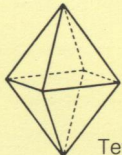
Kristallsysteme:



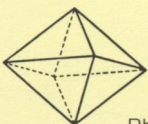
Kubisch



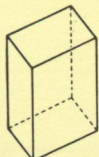
Hexagonal



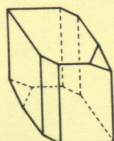
Tetragonal



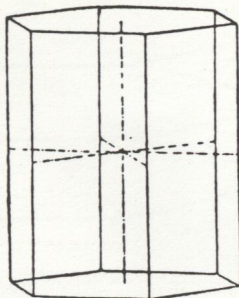
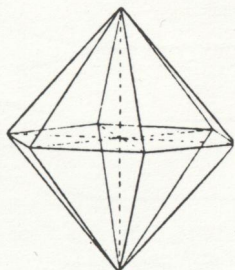
Rhombisch



Monoklin



Triklin



Hexagonale Doppelpyramide und hexagonales Prisma mit eingezeichneten Symmetrieachsen.

Dem ersten Kristallsystem gehört auch der abgebildete Rhomben-Zwölfflächner (**Rhomben-Dodekaeder**) an, weil er sich genau wie der Oktaeder aus dem Würfel ableiten läßt. Wenn du Mut hast, dann versuche, auch von ihm ein Modell zu bauen, aber es ist nicht einfach und erfordert viel Zeit und Geduld.

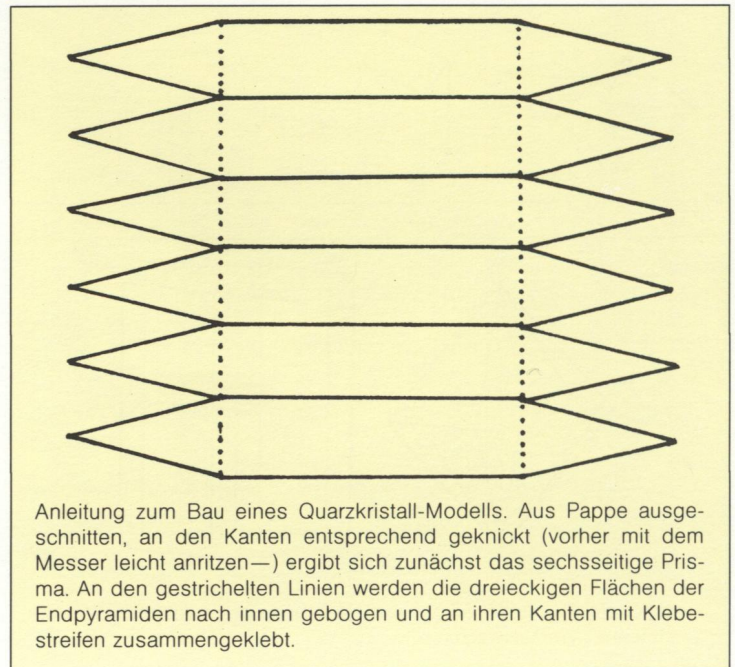
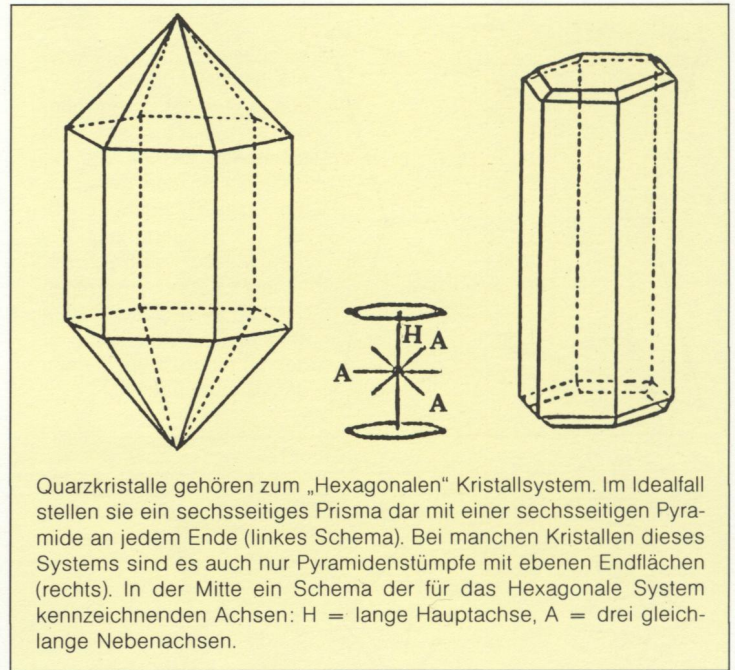
Das **zweite Kristallsystem** heißt **Hexagonales System**. Es ist gekennzeichnet durch eine senkrechte, längere Hauptachse mit drei waagerechten Nebenachsen, die einander unter einem Winkel von 60 Grad schneiden. Der **Quarzkristall**, ein sechsseitiges Prisma mit einer Pyramide aus sechs Dreiecken auf jeder Grundfläche zeigt diese Gesetzmäßigkeit besonders schön.

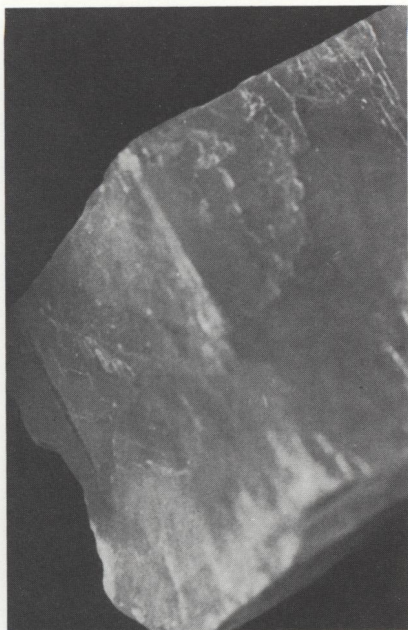
Zeichne nun sechs gleiche Rechtecke auf Pappe und auf deren Schmalseite je ein Dreieck. Schneide aus und ritze wieder an den Knickstellen ein. Knickstellen sind alle Längsseiten der Rechtecke mit Ausnahme der beiden äußersten, sowie die Grundseiten aller Dreiecke!

Bereite 12 kurze Klebestreifen für die Pyramidenkanten und 6 längere für die Prismenkanten vor. Klebe nun an einer Seite beginnend, die Kanten beider Pyramiden nacheinander zusammen, dann die beiden freien Endseiten des Prismas, und zuletzt überklebst du die übrigen, angeritzten Prismenkanten.

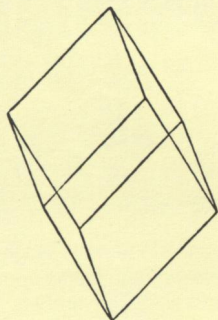
Das Mineral **Apatit** bildet in seinen Kristallen die Endpyramiden nicht fertig aus. Die Zeichnung zeigt, daß es sich dabei jeweils nur um eine Pyramidenbasis handelt. Traust du dir zu, davon ein Modell zu bauen? Es ist verständlicherweise schwerer als das Modell vom Quarzkristall und du wirst feststellen, daß das, was da beim „einfachen“ Auskristallisieren so ganz von allein geschieht, doch ein recht komplizierter Vorgang ist.

Das **dritte Kristallsystem** ist das **Quadratische** oder **Tetragonale System**. Es ist durch zwei gleiche, aufeinander senkrecht stehende Nebenachsen und eine dritte, lotrecht zu ihnen verlaufende Hauptachse ausgezeichnet.

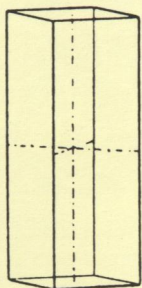




Kalziumkarbonat (CaCO_3) kristallisiert in Rhomboedern als „Kalkspat“. Aragonit ist zwar chemisch der gleiche Stoff, kristallisiert jedoch in Prismen mit rhombischem Querschnitt, gewöhnlich seitlich mit noch zwei weiteren Flächen, oben mit einem waagrecht nach vorn gerichteten Längsprisma (vergl. Zeichnung!).



A



B

Kalziumkarbonat bildet zwei verschiedene Kristallformen. Dieses Salz ist demnach zweigestaltig oder „dimorph“. Aus reiner, kalter Lösung scheidet es vorzugsweise als Kalkspat aus: in Rhomboedern (A). Aus heißer Lösung (über 40°) und besonders in Gegenwart anderer Salze als Aragonit (Prismen mit rhombischem Querschnitt, B – oft seitlich mit noch zwei weiteren Flächen, oben mit einem waagrecht nach vorn gerichteten „Längsprisma“).

Neben dem Würfel ist das Prisma mit 4 gleichwertigen Flächen und zwei quadratischen Endflächen am einfachsten nachzubauen. Zeichne dazu die Flächen in der gleichen Anordnung wie beim Würfel.

Das **vierte Kristallsystem** heißt **Rhombisches System**. Drei ungleiche, aufeinander senkrecht stehende Achsen kennzeichnen es.

Die rhombischen Schwefelkristalle gehören diesem System an: Doppelpyramiden mit einem Rhombus als Grundfläche. Allerdings zeigen Schwefelkristalle oft nicht diese einfache Form der Doppelpyramide, sondern sehen wie auf unserer Abbildung aus. Der Kristall ist sozusagen aus einfachen Kristallformen zusammengesetzt.

Du kannst eine große, steile Doppelpyramide und an ihren Enden je eine einfache Pyramidenbasis erkennen – außerdem ein Längsprisma, allerdings ohne Grundfläche.

Das **fünfte Kristallsystem** ist das **Monokline System**. Es zeigt drei ungleich lange Achsen, zwei davon schneiden sich unter einem schiefen Winkel, die dritte steht senkrecht auf beiden. Diese Kristalle besitzen nur eine einzige Symmetrieebene. Das bedeutet also, sie ließen sich nur durch einen Schnitt in zwei spiegelbildlich gleiche Hälften teilen. Ein dir bereits bekanntes Beispiel dafür ist der **Gipskristall**. Auch die aus der heißen Schwefelschmelze erstarrenden, **nadelförmigen Schwefelkristalle** gehören diesem monoklinen Kristallsystem an.

Beim **sechsten**, dem **Triklinen Kristallsystem**, schneiden sich drei Achsen unter schiefen Winkeln. Ein Beispiel hierfür ist der blaue **Kupfersulfatkristall**. Er ist **asymmetrisch**, das bedeutet, daß es hier überhaupt nicht mehr möglich ist, eine Symmetrieebene anzugeben, die den Kristall in zwei spiegelbildlich gleiche Hälften trennt.

Du kannst außer dem Kochsalzwürfel, dem Quarzkristall, dem Alaunoktaeder und dem Prisma natürlich auch noch andere Kristallmodelle bauen. Die Abbildungen geben dir ja zur Genüge Anregungen. Dabei wirst du wieder feststellen können, über welche erstaunlichen Fähigkeiten diese tote Materie verfügt, die sich ganz

allein und von selbst beim Auskristallisieren zu solchen Kunstwerken zusammenfügt. Du selbst mußt schon beim Nachbauen dieser Kristalle deinen Verstand, deine mathematischen Fähigkeiten und deine ganze Fingerfertigkeit bemühen.

Übrigens darf dein Mobile ja ruhig mehrere Modelle des gleichen Kristalls enthalten – so etwa einen Kochsalzwürfel, der an einer seiner acht Ecken aufgehängt ist, und einen zweiten, an dem der Aufhängefaden an einer Flächenmitte befestigt ist. Du kannst auch unterschiedlich gefärbte Pappe nehmen oder verschiedenfarbiges Klebeband. Du wirst mit etwas Geduld und Phantasie schon genügend Modelle für ein großes Mobile basteln.

Befestige jedes Modell an einem Zwirnsfaden, am einfachsten per Durchstechen der Anheftungsstelle mit einer Nadel, in die der Zwirn eingefädelt ist. Du mußt ihn dann nur noch weiter durchziehen und fest verknoten.

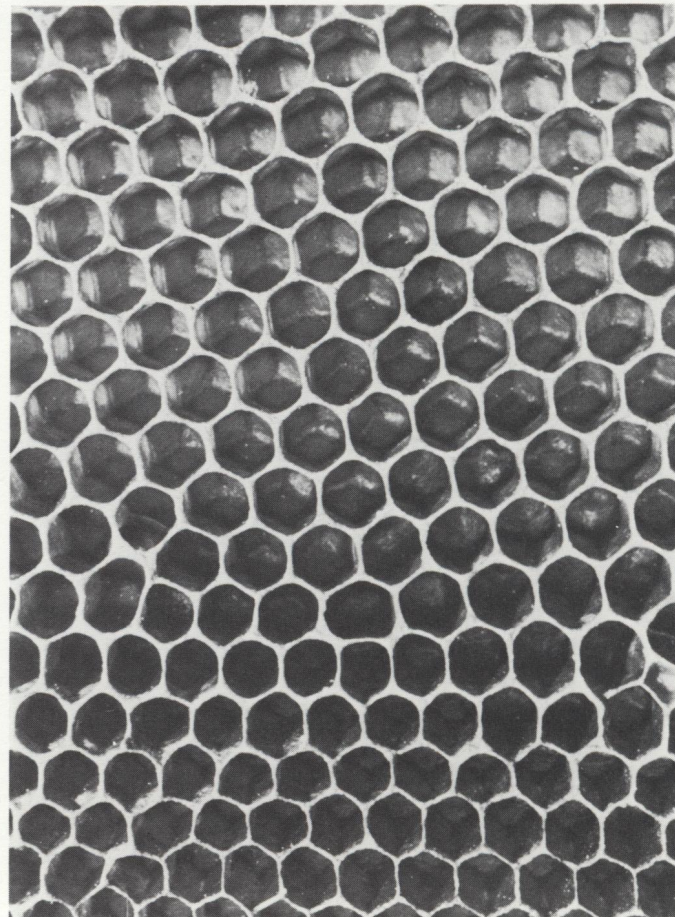
Probiere aus, ob bunte Plastik-Trinkhalme stark genug sind, um deine Modelle zu tragen, ohne sich dabei zu verbiegen. Andernfalls benutze dünne Ästchen z. B. vom Holunder oder von der Hasel. Wie die Kristallmodelle einander zugeordnet und die Halme oder Ästchen untereinander verbunden werden, das kannst du an jedem anderen Mobile nachschauen.

Und nun viel Spaß bei Theorie und Praxis!

Lebewesen geben der Materie eine bestimmte Form

Du brauchst zum Arbeiten:

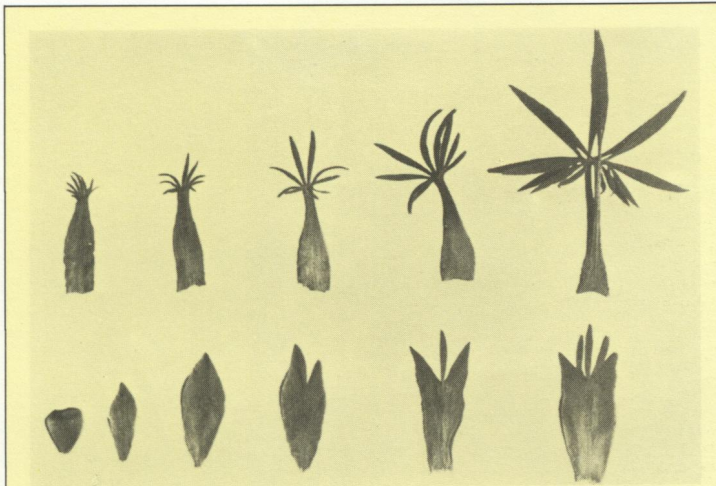
Lupe, Pinzette, Nadel, am besten eine Stopfnadel, die mit dem Ohr-Ende in ein dünnes Holunderästchen hineingesteckt wurde, Bleistift und Radiergummi und Eulengewölle. Man kann sie in Kirchtürmen und unter Kirchendächern etc. sammeln. Vielleicht hilft dir der Küster.



Unter allem, was Lebewesen hervorbringen, erinnern die Wachszellen der Bienen am meisten an Kristalle. Sie stellen regelmäßig sechsseitige Prismen dar mit einem Boden aus drei gleich großen, schräg dachförmig aufgesetzten Rhomben. (Besonders gut an den großen „Drohnenzellen“ in der oberen Bildhälfte zu erkennen!). Hier hat jedoch die Form nichts mit dem Stoff (Wachs) und seinen chemischen Eigenschaften zu tun wie beim Kristall. Es ist eine „Zweckform“, denn sechsseitige Prismen füllen im Gegensatz zu völlig runden Bienenwabenzellen lückenlos den zur Verfügung stehenden Raum aus! Es bleiben keine Schlupfwinkel für Schmarotzer übrig – und dennoch sind diese Zellen fast rund, also dem runden Madenkörper angepaßt. Die Rhombenböden schließen ebenso lückenlos an die der Zellen auf der gegenüberliegenden Wabenseite. Im Gegensatz hierzu erfüllt ein Quarzkristall keinerlei Zweck – sein „Dach“ stellt eine sechsseitige Pyramide dar.



Selbst bei ein und derselben Pflanze wie hier bei einem gewöhnlichen Löwenzahn wirst du keine zwei Blätter finden, die sich völlig gleichen – wie etwa zwei Kristalle ein und desselben Salzes! Und doch ist es in beiden Fällen jeweils der gleiche „Stoff“! Beim Lebewesen wird daraus eine große Vielfalt verschiedenster Formen!



So unterschiedlich gestaltet sind die Blätter einer „Schwarzen Nießwurz“. Hier wurden sie von unten nach oben abgepflückt und nebeneinandergelegt. Das unterste Blatt ist das mit dem die Reihe oben links beginnt, das oberste (schon ein Blütenhüllblatt) das am linken Ende der unteren Reihe.

Lies zunächst weiter vorne noch einmal nach, was über den Unterschied beim sogenannten Wachsen von Kristallen und dem echten Wachstum von Lebewesen, also vom Menschen, den Tieren und den Pflanzen, gesagt worden ist.

Überlege: wenn schon die Bildung regelmäßiger Kristalle ein bewundernswertes Geschehen ist, das sich jedoch aus den Anziehungskräften der kleinsten Bausteine verstehen läßt, wie müßte man eigentlich erst staunen über die zahllosen, regelmäßig gebildeten und jeweils ganz bestimmten Aufgaben (Funktionen) dienenden Organe der Lebewesen.

Welche Kräfte – vergleichbar den Anziehungskräften der Ionen oder Moleküle eines Kristalls, die sein Glitter aufbauen – die besondere Gestalt eines Baumes oder selbst nur eines einzigen seiner vielen tausend Blätter zustande bringen, wissen wir nicht.

Denke darüber einmal in Ruhe nach: Naturwissenschaftler können zwar Raketen mit Menschen zum Mond schicken und Weltraumlaboratorien einrichten, aber sie können nicht erklären, wie es eigentlich kommt, daß ein gewöhnliches Buchenblatt eine ganz bestimmte, unverkennbare, eigene Form hat, die es deutlich von einem Eichenblatt unterscheidet. Obwohl alle Blätter einer Pflanze aus genau dem gleichen Stoff bestehen, wirst du nicht zwei entdecken, die einander völlig gleich sind.

Besonders schön kann man das an der Nieswurz, aber auch an großen Doldengewächsen, wie etwa dem Bärenklau oder der Wilden Möhre, beobachten. Du brauchst nur die Blätter unten am Sproß mit denen weiter oben zu vergleichen. Wenn du die erwähnten Pflanzen nicht kennst, untersuche einen ganz gewöhnlichen Stachelbeerstrauch oder die verschiedenen Blätter einer Erdbeerpflanze.

Das gleiche gilt auch – unter vielen anderen Beispielen – für die Zähne der Säugetiere und des Menschen, die sich besonders gut für eine Untersuchung eignen. Sie sind alle aus den gleichen Stoffen gebildet.

Der Zahnschmelz, die härteste Substanz unseres Körpers, besteht aus verschiedenen Apatitmineralien – also hauptsächlich aus Kalziumphosphat und daneben noch aus verschiedenen Karbonaten, also auch aus Kalk.

Er ist aus Prismen aufgebaut, die senkrecht zur Kaufläche stehen und kann daher beim festen Aufbeißen auf einen harten Gegenstand springen.

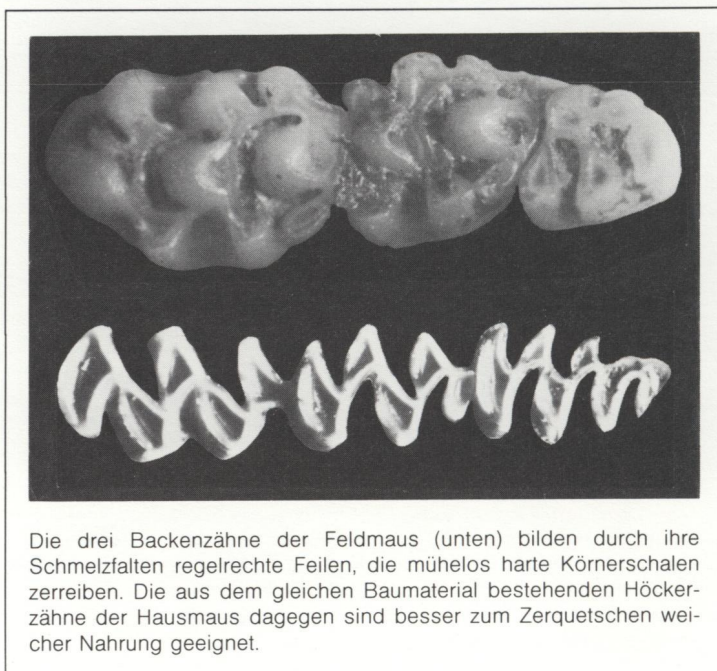
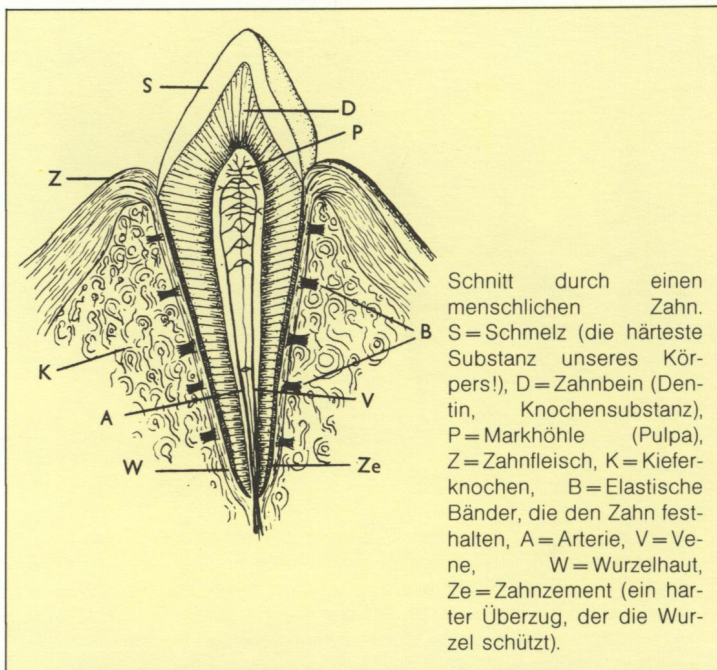
Das Zahnbein „Dentin“ unter dem Zahnschmelz ist ähnlich zusammengesetzt wie Knochen und besteht zu mehr als 70 % aus Kalziumsalzen.

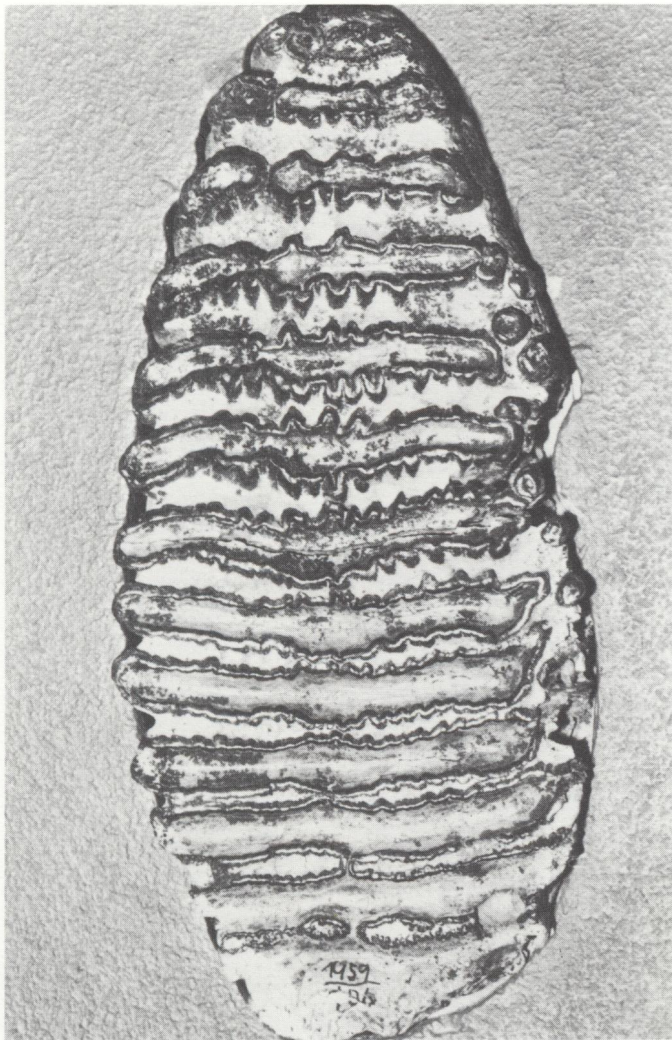
Aber was wird beim Heranwachsen aus diesen gleichen Mineralien im Gebiß, je nachdem, wozu die Zähne einem Lebewesen einmal dienen werden?

Untersuche unter der stehenden Lupe – damit du beide Hände frei hast – auf einem Blatt weißem Papier ein Eulengewölle. Zerzupfe es vorsichtig mit Hilfe von Pinzette und Nadel. Es handelt sich dabei um von Eulen wieder ausgewürgte Zusammenballungen von unverdaulichen Haaren und darin verpackt die durch ihre Verdauungssäfte von allem anhaftenden Fleisch sauber befreiten Knochen, vor allem Schädelteile und Kiefer von Mäusen, Spitzmäusen und manchmal sogar von Maulwürfen.

Suche verschiedene Unterkieferhälften heraus und betrachte die Zähne. Du wirst einige mit **Schmelzfalten-Schlingen** darunter entdecken, die an die raue Fläche einer Metallfeile erinnern – nur daß sie viel komplizierter geriffelt sind. Und sie wirken auch wie eine Feile. Zwischen solchen Zähnen in Unter- und Oberkiefer lassen sich selbst harte Samenschalen mühelos zerreiben. Es sind körnerfressende Mäuse, von denen diese Kiefer stammen. Selten wirst du Kiefer mit **Höckerzähnen** finden, die mehr zum Zerquetschen weicherer Nahrung geeignet sind und dem Allesfresser Hausmaus vortrefflich zum Zerkleinern seiner gemischten Kost dienen. Andere Kiefer wieder, wie die auffallend langen des Maulwurfs und die zierlichen kurzen der Spitzmäuse tragen Zähne mit nadelfeinen Spitzen zum Durchbohren harter Kerbtierpanzer. Es sind typische **Insektenfresserzähne**.

Versuche einmal, diese verschiedenen Zahnformen nebeneinander zu zeichnen.





Die stahlharten „Schmelzfalten“ auf der Krone eines Mammut-Backenzahnes zerrieben auch harte Grashalme. Zahnschmelz besteht, wie Knochen, aus verschiedenen Mineralien. Ihr jeweiliges Kristallgitter ist jedoch nicht für die besondere Ausgestaltung des Zahnkronenmusters verantwortlich zu machen. Der lebendige Organismus „überformt“ den toten Stoff und macht etwas daraus, das eine ganz bestimmte Aufgabe (Funktion) erfüllen kann!

Du siehst: der gleiche Stoff, dieselben Mineralien werden von den verschiedenen Lebewesen in völlig unterschiedliche Formen gezwungen. Sogar innerhalb des eigenen Gebisses kannst du feststellen, daß die Schneide-, Eck- und Backenzähne durch ihre Form besonderen Aufgaben beim Beißen angepaßt sind. Und doch bestehen sie aus der gleichen Materie.

Die Gestalt von Organen und ganzen Lebewesen ist nicht, wie die der Kristalle, eine Folge, ein Ergebnis ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer physikalischen Eigenschaften.

Kristalle in der lebenden Zelle

Du kannst, wenn du ein Mikroskop besitzt, sogar direkt beobachten, wie die lebendige Zelle die Materie, den Stoff, beeinflusst. Die Kristalle, die sich in manchen Pflanzenzellen bilden, sehen nämlich oft ganz anders aus, als Kristalle des gleichen Salzes, die man im Laboratorium aus Lösungen auskristallisieren läßt. Man nennt solche von Lebewesen „überformten“ Kristalle auch **Biokristalle**.

Du brauchst zum Arbeiten:

Lupe, Mikroskop, Objektträger, Deckgläser, Pipette, Rasierklinge, Nadel, Blattstiele vom Wilden Wein, der sich an den Häusern hochzieht, und von einer Begonie, einer Zimmerpflanze, die man auch Schiefblatt nennt, sowie etwas braune Zwiebelhaut.

Halte die braune Zwiebelhaut gegen eine Lampe oder gegen den hellen Himmel, aber nicht gegen die Sonne, das könnte deinen Augen schaden. Betrachte die Haut durch die Lupe. Die bereits abgestorbenen großen Zellen sind gut zu erkennen. In ihnen entdeckst du aber viele glitzernde Punkte: Kristalle.

Betrachte nun ein kleines Stückchen dieser braunen Zwiebelhaut auf einem Objektträger (ohne Wasser!) unter dem Mikroskop. Bereits bei schwacher Vergrößerung wirst du viele quaderförmige auffallend große Kristalle in den Zellen erkennen. Es handelt sich dabei um in Wasser unlösliche Kalzium-Oxalat-Kristalle.

Fertige jetzt einige möglichst dünne Längsschnitte durch den Stiel eines Blattes vom Wilden Wein. Übertrage die Schnitte mit der etwas angefeuchteten Nadel von der Rasierklinge in einen Wassertropfen auf einem bereitgelegten Objektträger und lege ein Deckglas auf. Suche zunächst bei schwacher Vergrößerung nach Zellen, die ganze Bündel langer, dicht gepackt nebeneinander liegender Kristallnadeln enthalten. Man nennt diese Nadelbündel **Raphiden**. Auch hierbei handelt es sich um Kalzium-Oxalat.

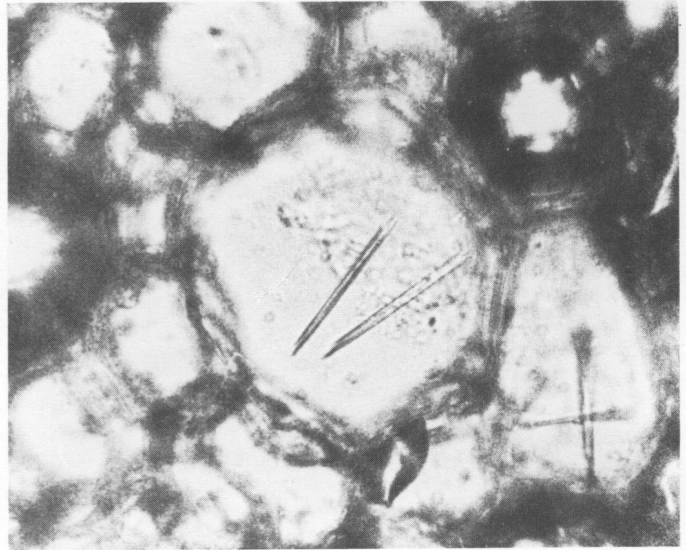
Schneide auch zwischen Styroporstücke oder zwischen Holundermark geklemmte Blattstiele quer und untersuche im Wassertropfen unter dem Mikroskop. Wenn dein Querschnitt dünn genug gelungen ist, wirst du auch hier in einigen Zellen lange, dünne Oxalatkristalle finden.

Stelle anschließend einige Längsschnitte durch den Stiel des Begonienblattes her. Jetzt wirst du unter dem Mikroskop in untereinanderliegenden Zellen ganze Reihen von sogenannten **Kristalldrusen** entdecken. Das sind Auskristallisationen von Kalzium-Oxalat, die an einen „Morgenstern“ erinnern, diesen mit Spitzen bewehrten alten Streitkolben. Die Spitzen der Drusen sind Einzelkristalle, die hier gehäuft aufeinander sitzen.

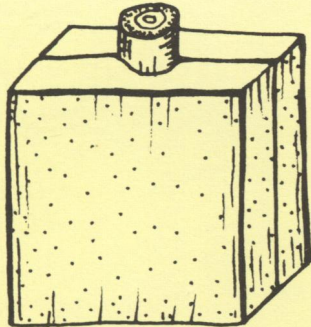
Wenn möglich, untersuche jetzt auch noch die Blattstiele anderer Begonienarten. Du wirst dann – an ganz entsprechenden Stellen – auch sicher schöne, große Oktaeder-Kristalle vom Kalzium-Oxalat finden. In anderen Blattstielzellen wiederum entdeckst du möglicherweise auch seltsame rundliche Formen von Kristallzusammenschlüssen – und auch bei ihnen handelt es sich um Kalzium-Oxalat.



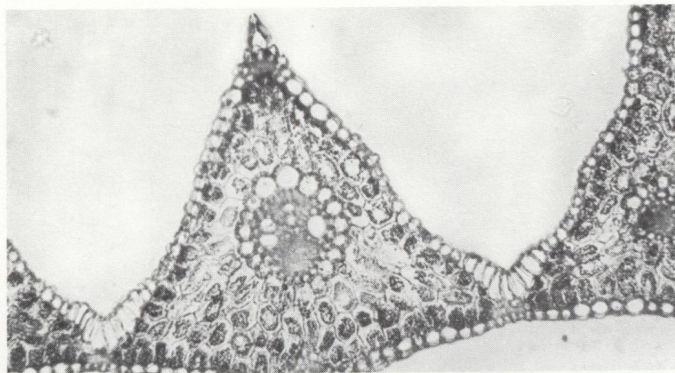
In den abgestorbenen Zellen der braunen Zwiebelhaut sind die großen, quaderförmigen Oxalatkristalle gut zu erkennen. Hier hat also der gleiche chemische Stoff wieder eine andere Gestalt angenommen. Er hängt in seiner Formbildung von der Umgebung, vom „Milieu“ der jeweiligen Zellen ab.



Nadelförmige Kristalle von Kalziumoxalat in Zellen des Blattstieles vom Wilden Wein (Querschnitt).



So wird ein Stück Blattstiel von der Begonie zwischen zwei Styroporstücke fest eingeklemmt. Dann muß durch einen flachen Schnitt mit der Rasierklinge zunächst einmal das hervorstehende Stengelstück abgetrennt werden. Jetzt ist es nicht mehr schwer, mit flach auf das Styropor gelegter Klinge dünne Querschnitte anzufertigen. Sie werden in einen Tropfen Wasser auf einem Objektträger gebracht (benutze dazu eine Nadel!) und mit einem Deckglas bedeckt unter dem Mikroskop betrachtet. Beim Längsschnitt durch einen Blattstiel wird das Stielstück entsprechend längs zwischen die Styroporstücke geklemmt – oder einfach über den Zeigefinger der anderen Hand gelegt. Flach schneiden!



Querschnitt durch ein Blatt des Grases Rasenschmiele, das wellblechartig gerillt ist. Wenn man es durch die Hand zieht, spürt man einen Reiz wie von einer winzigen Säge. Die „Wellblech“-Rippen tragen Tausende winziger Spitzen-Zellen, deren Wand durch SiO_2 (also Quarz!) verstärkt ist. Eine dieser „Sägespitzen“ ist hier gut zu erkennen auf der mikroskopischen Aufnahme. Aber auch schon mit der Lupe kannst du an solchen „Schneidegräsern“ ganz entsprechende „Vorrichtungen“ entdecken. Wieder wird also der „Stoff“ in eine Form gezwungen, die er in der unbelebten Natur niemals annehmen würde!

Du lernst aus diesen Vergleichen: obwohl es sich jedesmal um das Mineral Kalzium-Oxalat handelt, sind doch die Kristallbildungen je nach Pflanze recht verschieden. **Das Lebendige überformt die tote Materie.** Und deshalb sind auch die Form- und Gestaltsmerkmale des Lebendigen nicht aus dem Stoff, aus dem die Organe und Zellen bestehen, zu erklären.

Die Gestalt der Lebewesen – ein ungelöstes Rätsel

Lebendige Zellen beeinflussen, wie du gesehen hast, nicht nur das Auskristallisieren von Salzen. Sie bringen es sogar fertig, Mineralien zu lösen und wieder in anderer Form auszuscheiden, die normalerweise gar nicht in Wasser löslich sind. Zu diesen Mineralien gehört der häufig vorkommende Quarz, den man in reiner Form als glasklaren Bergkristall findet.

Chemisch gesehen handelt es sich bei Quarz um Siliziumdioxid (SiO_2), also einer Verbindung des Nichtmetall-Elementes Silizium mit dem Element Sauerstoff. Daß Siliziumdioxid nicht in Wasser löslich ist, beweisen allein die gewöhnlichen Flußkiesel, die meistens aus Quarz bestehen. Da man Glas mit SiO_2 -Kristallen ritzen kann, erweist es sich auch als sehr harter Stoff.

Du hast übrigens sicher selbst schon mit diesem von Pflanzen gelösten und in die Zellwände eingebauten SiO_2 Bekanntschaft gemacht: beim Berühren von Brennnesseln!

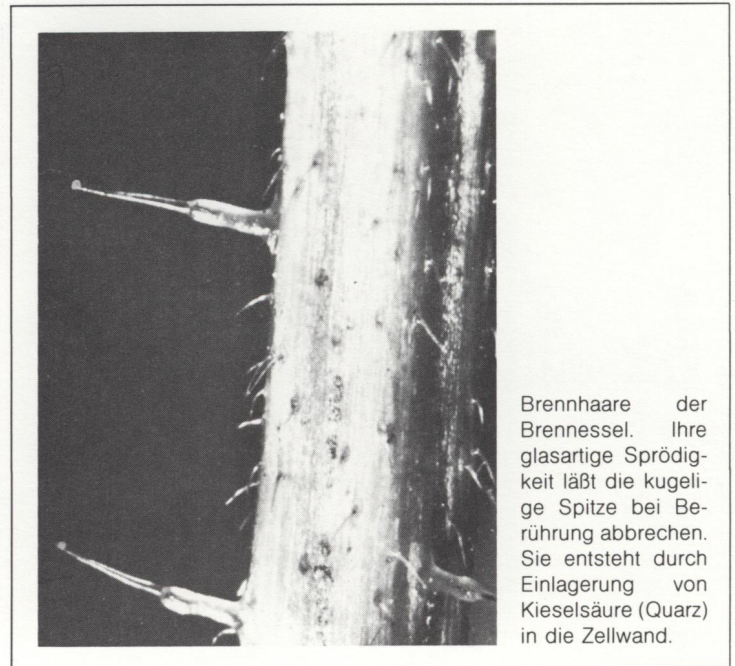
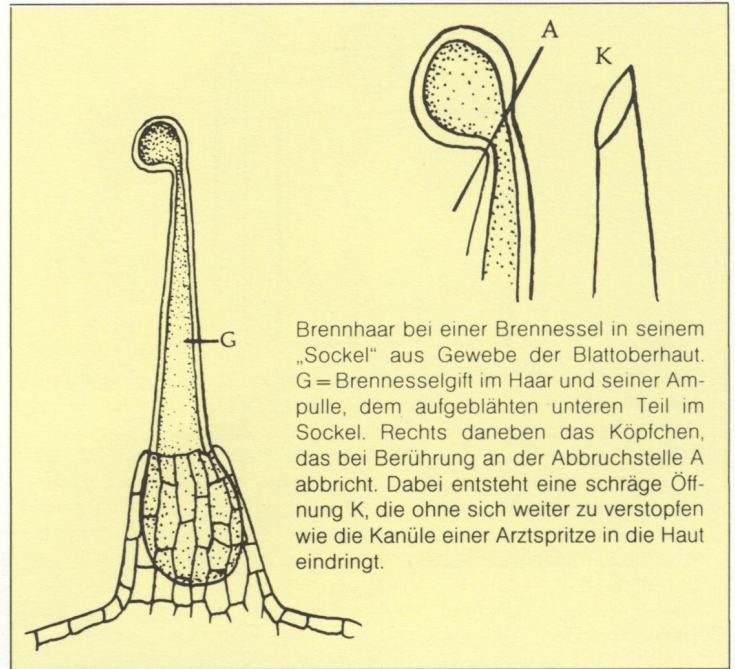
Du brauchst zum Arbeiten:

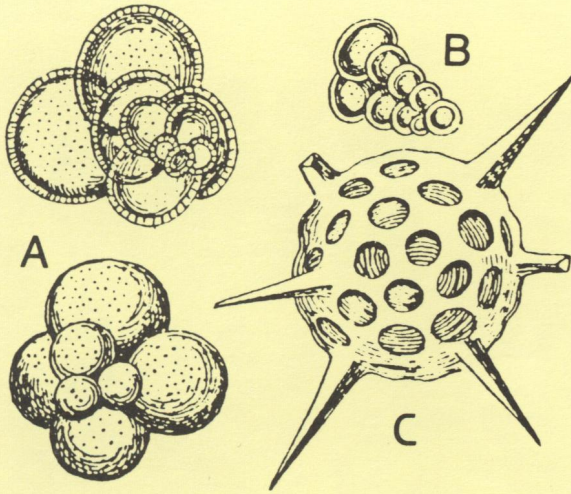
Pinzette, Mikroskop, Objektträger, Deckgläser, Pipette, ein Brennesselblatt, einen Stein, wie man ihn in Bachbetten oder Tümpeln überall findet: überzogen von einer dunkelbraunen, schleimigen Schicht.

Untersuche die besonders langen, glasartig glitzernden Brennhaare auf dem Stiel des Brennesselblattes mit der Lupe. Halte das Blatt mit der Pinzette fest, damit du dir nicht die Finger „verbrennst“.

Du entdeckst an der Brennhaarspitze – vorausgesetzt, sie ist nicht bereits abgebrochen und der brennende Inhalt des Haares ausgeflossen – eine winzige kugelförmige Verdickung. Sobald sie die weiche Haut berührt, bricht sie ab. Dadurch entsteht eine schräge Öffnung, wie du sie von der Injektionsnadel einer Arztspritze vielleicht kennst.

Eine solche Öffnung gleitet durch die Haut, ohne sich dabei verstopfen zu können, so daß sich der Inhalt der Spritze oder auch des Brennesselhaares in die Blutgefäße oder in das Zellgewebe ergießen kann. Wären die Zellwände des Brennhaares und des kugelförmigen Endes nur wie die der übrigen Blattzellen aus weicher Zellulose, dann würde sich das Haar bei der Berührung lediglich umbiegen. Die Kugelspitze könnte nicht abbrechen, noch könnte sich das Brennhaar durch die Haut bohren. Das erreicht die Pflanze nur durch Einlagerung des spröden, sehr harten SiO_2 .



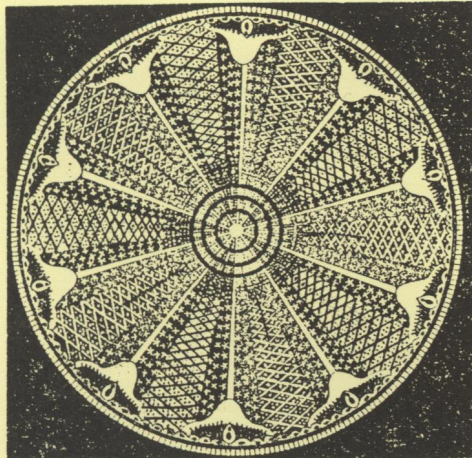


Schalen einzelliger Tiere aus dem Tiefseeschlamm. A=Globigerina-Kalkgehäuse, B=Kalkgehäuse der Textularia (an ein Turmschneckenhaus erinnernd) und C=Kieselsäure-Gehäuse einer Radiolarie.

Vergleiche einen Quarzkristall, wie wir ihn schon abgebildet haben, mit dem Brennhaar. Das liefert ein besonders schönes Beispiel dafür, wie die lebendige Pflanze einen Stoff formt, der allein aufgrund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften ein regelmäßig-einförmiger Kristall würde!

Wenn du ein Mikroskop hast, mache jetzt folgenden Versuch:

Sauge mit der Pipette etwas von dem braunen Schleim des Bachkiesels ab und verrühre ihn mit einem Tropfen Wasser auf einem Objektträger. Notfalls kannst du auch den braunen Belag mit der Spitze eines Taschenmessers vom Stein abkratzen. Lege ein Deckglas auf den Schleim und betrachte das Präparat zunächst bei schwächerer, dann auch bei stärkerer Vergrößerung unter deinem Mikroskop.



So fein sind die winzigen Schalen der Diatomeen „verziert“, daß man sie „Kunstformen der Natur“ genannt hat und sie benutzt, um die Schärfe („Auflösungsfähigkeit“) der Mikroskop-Linsensysteme damit zu testen. (Runde Schale nach einer Zeichnung von Ernst Haeckel).

Du wirst eine ganze Menge verschieden gestalteter „Panzer“ von einzelligen Pflanzen entdecken, die man **Diatomeen** nennt. Ihre Panzer sind wie Schachteln gebaut: ihre etwas größere Deckelhälfte übergreift mit dem Rand den der kleineren Bodenhälfte.

Das lebendige Zelleiweiß (Plasma) mit dem Zellkern und sogenannten Chromatophoren, den Farbstoffträgern mit dem Blattgrün Chlorophyll A, stellt den Inhalt so einer Schachtel dar. Auf die dünne Zellwand ist als schützender und stützender Panzer Quarz (SiO_2) aufgelagert.

Auch hier also zwingt die lebendige Zelle diesem sonst nur regelmäßige, ewig gleiche hexagonale Kristalle bildenden Mineral eine ganz bestimmte Zweckform auf. Sie dient dem Schutz des lebenden Inhalts.

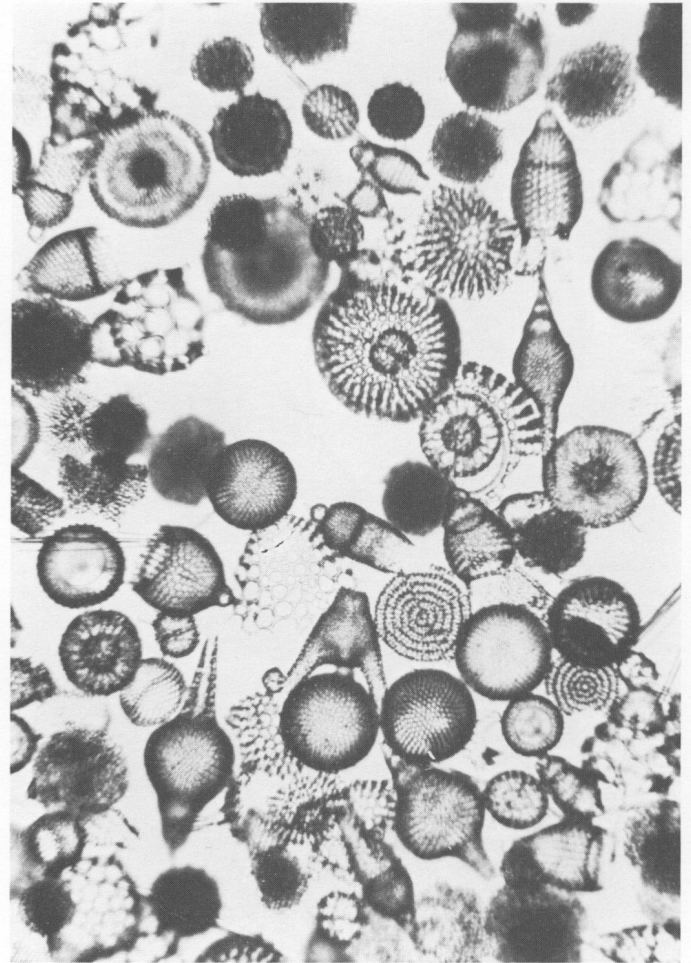
Diese verkieselten Wände sind nun auf vielfältige Weise durch Rinnen, Gruben, Löcher und Leisten verziert, und zwar derart fein und regelmäßig, daß man Diatomeenschalen dazu benutzt, um damit die Güte von Mikroskop-Linsen-Systemen zu testen. Unserer Technik ist es nicht möglich, derart feine Muster herzustellen.

Versuche einmal, ein paar dieser Schalenformen nachzuzeichnen. Dann wird dir deutlich werden, was diese winzigen Einzeller aus dem sonst unlöslichen, plumpen Material Quarz herstellen.

Andere einzellige Tiere bauen ihre gitterartig durchbrochenen mit stachelartigen, langen Schwebefortsätzen versehenen Gehäuse aus dem gleichen Stoff: die nur im Meer vorkommenden Radiolarien. Radiolariengehäuse, wie man sie im Tiefseeschlamm findet, sind noch weit komplizierter und schöner als die Diatomeenschalen. Man hat sie **Kunstformen der Natur** genannt, und manche von ihnen erinnern an ziselierte Zwiebelkuppeln, wie sie bayerische, österreichische und russische Kirchtürme zieren.

Denk einmal darüber nach, was ein Glasbläser leisten müßte, um so ein Naturgebilde in allen Einzelheiten nachzubauen – und zwar symmetrisch richtig! Und dennoch bringt es eine einzige lebende Zelle fertig, diesen sonst schwer löslichen Stoff so zu formen.

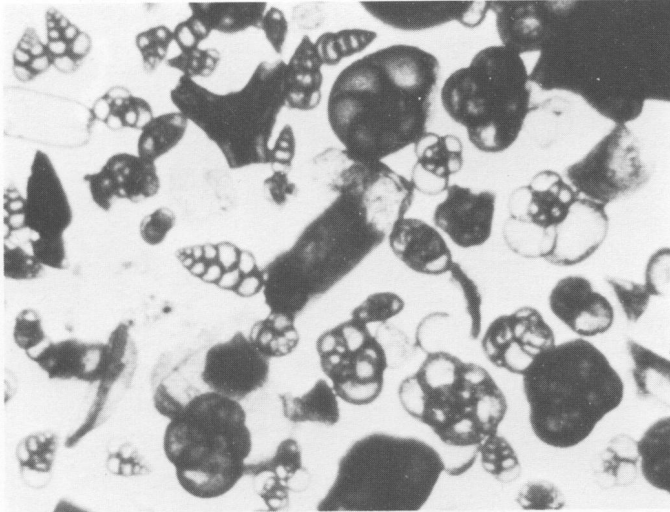
Übrigens: wie hart diese Quarzpanzer und Quarzgehäuse sind, das beweist dir der „Feuerstein“. Feuersteinknollen, wie man sie besonders in Kreideablagerungen findet, bestehen aus Milliarden fest zusammengebackener Gehäuse von Radiolarien und Diatomeen.



Verschiedene Radiolariengehäuse aus Meeressediment. Trotz ihrer geringen Größe (es sind ja Gehäuse von Einzellern!) sind sie alle regelmäßig und exakt symmetrisch gebaut – aus SiO_2 („Quarz“), einem Stoff, der sich nicht in Wasser löst.

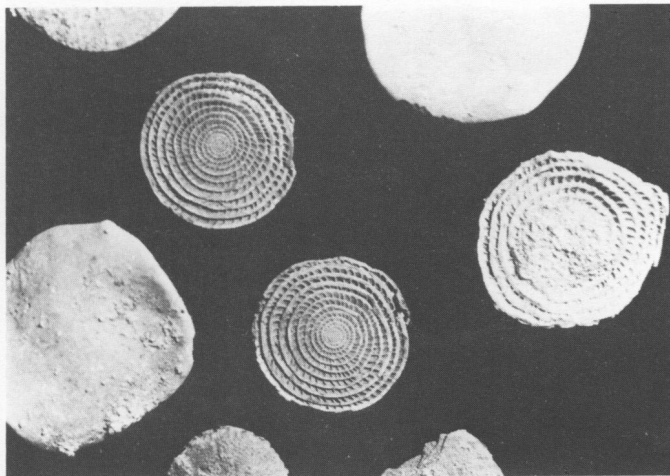
Aus so einem Feuerstein, der härter ist als der beste Stahl, fertigten die Menschen der Steinzeit ihre Werkzeuge und Waffen.

Unregelmäßige Gehäuse aus regelmäßigen Kristallen



Tiefseeschlamm besteht aus Milliarden von Einzeller-Kalkgehäusen (Foraminiferen). Sie sind bereits ebenso kompliziert gebaut wie die Schneckenchalen, Ammonshörner und Nautilusgehäuse, obwohl man die Einzeller immer als „primitive“ Lebewesen bezeichnet!

In solchen Ablagerungen oder Sedimenten von Schlamm und Sand auf dem Meeresboden sowie im Sand der Küsten findet man aber auch winzige Tiergehäuse aus Kalk, der sich im Gegensatz zum Quarz ja in Wasser löst (genauer gesagt als doppelkohlen-saurer Kalk).



Die Nummulites-Foraminiferen sind die größten Einzeller. Ihr Kalkgehäuse besteht aus zahllosen Kämmerchen, die in der Ebene zu einer regelmäßigen Spirale aufgewunden sind. In großen Massen bildeten diese Schalen Kalksteinablagerungen. Aus solchem Nummulitenkalk bauten die alten Ägypter ihre Pyramiden!

Wenn man derartige Sedimente untersucht, entdeckt man unter dem Mikroskop viele recht unterschiedliche Einzellergehäuse. Manche scheinen aus lauter Kalkkugeln zumsammengesetzt, andere erinnern an flache, spiralig aufgewundene Schneckenhäuser oder an Turmschneckengehäuse. Immer ist es jedoch Kalziumkarbonat, aus dem diese Gehäuse bestehen. Einige sind so groß wie ein Zehnpfennigstück und im Laufe vieler Jahrmmillionen durch den starken Druck der dicken Sedimentschichten zu festem Kalkstein zusammengekittet worden.

Die Pyramiden in Ägypten wurden aus diesem Kalkstein errichtet – sie bestehen also aus Abermilliarden von Einzeller-Kalkgehäusen. Jedes einzelne davon zeigt, wie die lebende Zelle den toten Stoff für sich nutzbar macht und überformt.

Du kannst dies aber auch in Ruhe zu Hause untersuchen, wenn du nur ein paar ganz gewöhnliche leere Schneckenhäuser sammelst.

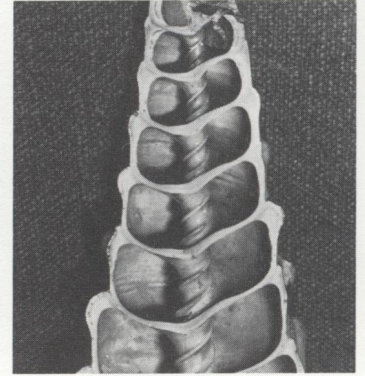
Du brauchst zum Arbeiten:

Leere Schneckenhäuser von verschiedenen Arten, Glaspapier mit feiner Körnung, Lupe, Bleistift und Radiergummi, Pipette, Uhrglas und verdünnte Salzsäure.

Untersuche ein großes Haus einer Weinbergschnecke mit der Lupe. Parallel zum Rand der weiten Schalenöffnung entdeckst du zahlreiche „Zuwachsstreifen“, die insgesamt die feine Riffelung des Gehäuses bilden – bei manchen ist es deutlich, bei anderen wieder nicht so gut zu sehen.

Der Name verrät schon, wie diese Streifen entstehen. Der weiche Körper der Schnecke scheidet Kalk ab – einen Zuwachsstreifen auf den anderen. Dadurch entsteht eine Kalkröhre, die sich nach unten ganz regelmäßig erweitert. Diese Regelmäßigkeit zeigt sich besonders schön, wenn du das Gehäuse von oben betrachtest. Von seiner Spitze bis zur Öffnung kannst du die Schraubenlinie verfolgen: die Grenzlinie zwischen den „Umgängen“ der Schneckenhauswindungen.

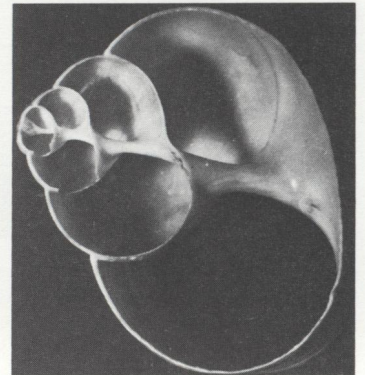
Längs durchsägt Riesenschnecke (Cerithium) aus dem Tertiär. Noch nach Jahrmillionen ist der streng gesetzmäßige Aufbau der Kalkschale zu erkennen. Die „Wendeltreppe“ verleiht dem Gehäuse seine Festigkeit, die selbst dem Gesteinsdruck in hohen Ablagerungsschichten standhält.

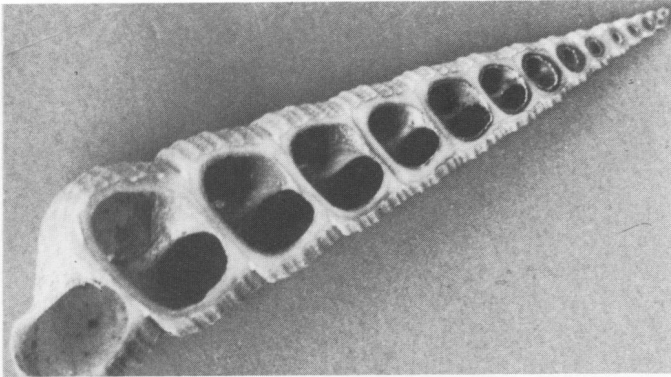


Dieses Foto zeigt sozusagen das „Gegenstück“ zu dem der aufgesägten Riesenschnecke. Es handelt sich um das versteinerte Innere, also die vor Jahrmillionen durch Schlamm ausgefüllten „Wendeltreppenumgänge“ eines Schneckenhauses. Der Schlamm ist inzwischen zu Stein geworden und läßt die Regelmäßigkeit dieser „natürlichen Wendeltreppe“ sehr schön erkennen!



Haus unserer Weinbergschnecke, durch Reiben auf Glaspapier geöffnet. Die Umgänge um die stützende und zusammenhaltende „Spindel“ in der Mitte (Längsachse) erweitern sich gesetzmäßig nach unten zu. In den Räumen, die durch diesen „Wendeltreppenbau“ entstehen, finden alle Organe des Tieres ausreichend Platz und Schutz.





Das geöffnete Gehäuse dieser Turmschnecke läßt erkennen, daß es im Inneren wie eine Wendeltreppe gebaut ist. Die „Umgänge“ verjüngen sich nach oben ganz regelmäßig.



Schnirkelschnecke (Gartenschnirkelschnecke). Ihr sich von Umgang zu Umgang regelmäßig erweiterndes Gehäuse besteht – wie die Gehäuse aller dir bekannten Schnecken, aus Kalk (Kalziumkarbonat). Der wachsende Tierkörper zwingt aber die Kalzitkristalle, sich zu dieser komplizierten, zweckmäßigen Gestalt anzuordnen!

Fasse jetzt das große Schneckenhaus zwischen Daumen und Zeigefinger und reibe es langsam immer mit der gleichen Seite auf dem Glaspapier hin und her. Höre erst damit auf, wenn von unten bis oben alle Schalenumgänge fensterartige Öffnungen zeigen, durch die du das Innere des Gehäuses betrachten kannst.

Du siehst dort die sogenannte „Spindel“, vergleichbar der Schraubenachse einer Wendeltreppe. Sie hält alle Umgänge zusammen. Ein Schneckenhaus ist ein recht stabiles Gebilde, das nicht so leicht zerbricht. Durch die Wendeltreppe im Innern besitzt das Haus mehrere Räume und Etagen für die verschiedenen Organe der Schnecke, die sicher darin untergebracht sind (Lunge, Herz, Nieren, Darm, Keimdrüsen etc.).

Mit der Schale einer Turmschnecke, wie man sie überall am Meeresstrand auflesen kann, läßt es sich noch leichter arbeiten auf Glaspapier. Sie ist dicker und splittert daher nicht so leicht.

Versuche einmal, den Schnitt durch ein Schneckenhaus zu zeichnen. Dabei wirst du merken, wie überaus kompliziert dieses Gebilde aus Kalk ist – im Vergleich zu einem Kalkkristall, zum Kalkspat.

Lege nun etwas verwittertes, nicht mehr farbiges, sondern weißgraues Schneckengehäuse auf das Uhrglas. Laß aus der Pipette ein paar Tropfen verdünnter Salzsäure darauf träufeln. Die Salzsäure darf sonst nichts berühren! Sie ätzt! Es braust und schäumt auf dem Uhrglas. Schaue nicht zu nahe hin – schütze deine Augen!

Salzsäure zerfrißt Kalk. Sie löst ihn unter Bildung von Kohlendioxid auf. Salzsäure ist ein einfaches Nachweismittel für Kalk: ein Reagenz.

Überzeuge dich davon und untersuche einige verschiedene Steine mit jeweils einem Tropfen Salzsäure. Quarz zeigt keinerlei Reaktion, ebensowenig Steine wie Granit, Basalt oder Schiefer – wohl aber alle Marmorsorten, echte Kreise und alle gewöhnlichen Kalksteine. Marmorabfälle bekommst du übrigens bei jedem Steinmetz.

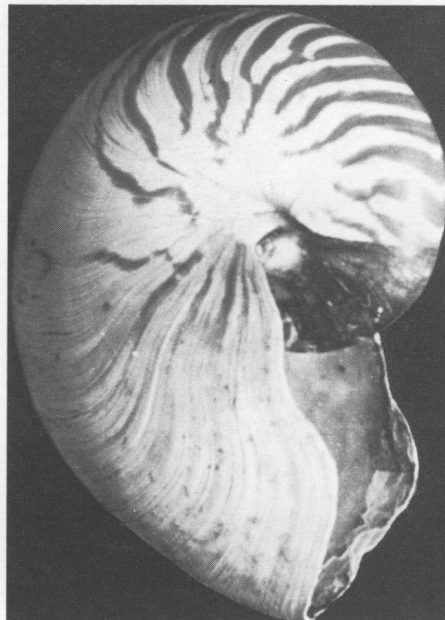
Mit dem Versuch hast du bestätigt, daß ein Schneckenhaus aus dem gleichen Stoff wie Kalkstein, nämlich Kalziumkarbonat besteht. Nur zwingt das Lebewesen Schnecke das Mineral in eine zweckmäßige Form: das unsymmetrische Schneckenhaus.

Die Kalziumkarbonatkristalle selbst sind aber streng symmetrisch. Kalkspat z. B. kristallisiert in Rhomboedern. Das Kristallgitter ist dabei aber auch im Kalk eines Schneckenhauses das gleiche. Nur die Gestalt des Gehäuses ist völlig unabhängig davon.

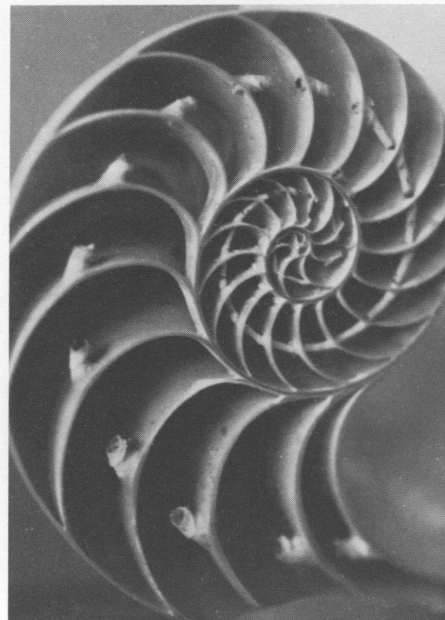
Das schönste Beispiel für ein regelmäßig, streng geometrisch aufgebautes Weichtiergehäuse stellt die Kalkschale des Tintenfisches Nautilus (Das Perlboot) dar. Es besteht wie die Schnecken- schale aus winzigen Kalkspatkristallen, aber sie sind nur die Bausteine, die das wachsende Tier auf unerklärliche Weise zu seinem Gehäuse formt und anordnet. Versuche einmal nach unserer Abbildung die sich streng gesetzmäßig allmählich erweiternde Spirale nachzuzeichnen, die von der Trennwand der vielen Kammern gebildet wird.

Im übrigen sind diese Kammern beim lebenden Tier bis auf eine, in der sich das Tier aufhält, mit Luft gefüllt. Dadurch kann der Nautilus wie ein U-Boot in allen Wassertiefen schweben.

Aus den Gesetzen des Kalkspatkristallgitters ist das alles freilich nicht zu erklären.



Schale eines Tintenfisches mit Namen „Nautilus“. Sie ist das komplizierteste Weichtiergehäuse der Gegenwart – was man ihr von außen gar nicht ansieht. Der Nautilus lebt im Pazifik in einer Tiefe von 400 Metern – und diesen kolossalen Wasserdruck hält die dünne Kalkschale aus. Eine durchsägte Schale läßt erkennen, durch welche „technischen“ Besonderheiten dies möglich ist.



Aufgesägte Nautilus-Schale. Die Kammern sind mit Gas gefüllt – mit Ausnahme der größten am äußeren Ende der regelmäßigen Spirale, zu der sie aufgerollt sind. In ihr sitzt das Tier. Ein „Sipho“ – ein Gewebeschlauch in den hier sichtbaren kurzen Kalkröhren verlaufend – verbindet alle Kammern. Ihre Querwände machen das dünnwandige Gehäuse so druckfest. Versuche einmal, die „Spirale“ nachzuzeichnen!



Über die Vielzahl der Experimente:

Du entdeckst mit Lupe und Chemikalien Geheimnisse der Natur
Du findest eine Wunderwelt
Du verstehst die Baupläne der Kristalle
Du beobachtest ihr Wachstum
Du lernst, sie zu züchten
Du baust ein Mobile aus Kristallformen
Du erkennst Biokristalle in der lebenden Zelle

Die folgenden Hinweise sollen dir das Experimentieren mit dem „Architekt Natur 6532“ erleichtern:

Vor dem ersten Experiment mit dem Brenner mußt du diesen mit Brennspritus, den du in jeder Drogerie erhältst, etwa halb voll füllen. Benutze dazu den beiliegenden Trichter. Schließe die Brennspritus-Flasche gleich wieder und stelle sie an einen sicheren Ort. Ziehe dann den Docht durch den Dochthalter (du findest ihn und die Abdeckkappe in den Löchern der Grundplatte) und stecke beides in den Brenner. Warte, bis der Brennspritus in den Docht gezogen ist. Jetzt kannst du vorsichtig mit einem Streichholz die Flamme entzünden. Soll der Brenner später nachgefüllt werden, mußt du auf jeden Fall vorher die Flamme löschen!

Auf Seite 33 wird ein Experiment mit Kristallsoda beschrieben, das du dir besorgen sollst. Dies wurde jedoch noch dem Kasten beigelegt. Der Kasten enthält außerdem einen Erlenmeyerkolben (Bestell-Nr. 4002) anstelle des dritten Becherglases.

Selbstverständlich kannst du alle Teile, die mit einer Bestell-Nummer versehen sind, bei deinem Spielwaren-Händler oder direkt bei uns nachbestellen.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, findest du nachstehend einige Namen für Teile, die im Anleitungsbuch unterschiedlich benannt werden:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 4012 Grundplatte | – Ständer |
| 4022 Plastiklöffel | – Kaffeelöffel |
| 4050 Eisen-III-Chlorid | – Eisen-3-Chlorid,
Eisen-chlorid |
| 4333 Aluminium-Alaun | – Kalium-Alaun,
Kalium-Aluminium-Alaun |
| 4338 Fadenzählerlupe
aufgeklappt | – Standlupe |
| 4345 Klinge | – Rasierklinge |
| 4349 Uhrschälchen | – Uhrglas |
| 4352 Tropfpipette | – Pipette |

Glaspapier – Schmirgelpapier

Brenner mit Gestell – Aufbau siehe Foto auf Seite 6