

Kristallzuchtung als Hobby

Udo Behner

30. Oktober 2008

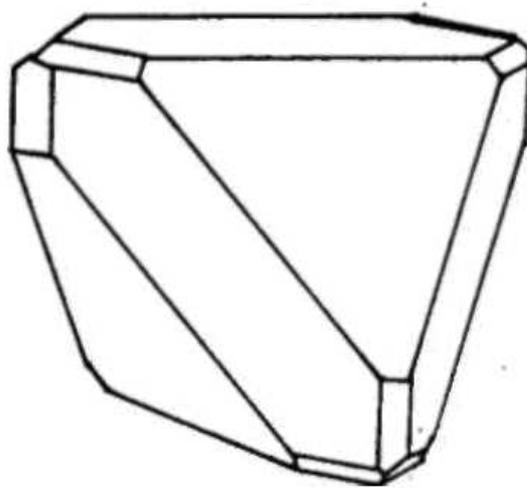


Abbildung 1: Natriurachloratkristall

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
2	Drei verschiedene Arten der Entstehung von Kristallen	6
2.1	Aus der Schmelze	6
2.1.1	Experiment zur Schmelze	6
2.2	Kristallisation aus der Lösung.	7
2.3	Kristallisation aus der Gasphase	11
3	Rezepte zur Kristallzucht	12
3.1	Arbeitsgerät	12
3.2	Arbeitsraum	12
3.3	Herstellung einer genau gesättigten Lösung	12
3.4	Das Verdunstungsverfahren	13
3.4.1	Herstellung und Behandlung von Keimkristallen	13
3.5	Abkühlungsmethode	16
3.5.1	Matrixsteine	16
3.5.2	Ausführung	16
3.6	Das Übersättigungsverfahren	16
3.6.1	Vergleichende Betrachtung der vier Verfahren	17
3.7	Weitere Rezepte	19
3.8	Aufbewahrung von Chemikalien, Lösungen und Kristallen	20
4	Substanzen zur Kristallzucht	22
4.1	Kalialaun	22
4.2	Chromalaun	23
4.3	Kupfervitriol	23
4.4	Kaliumdichromat	24
4.5	Cyanorubin	24

4.6	Natriumchlorat	24
4.7	Seignettesalz, Rochellesalz	24
4.8	Cyanotopas, Gelbes Blutlaugensalz	25
4.9	Rohrzucker, Rübenzucker	26
4.10	Halit, Steinsalz, Kochsalz	26
4.11	Hydrate	26
4.11.1	NICKELSULFAT-7-HYDRAT	28
4.11.2	alpha-NICKELSULFAT-6-HYDRAT	28
4.11.3	beta-NICKELSULFAT-6-HYDRAT	28
4.11.4	Züchtung der verschiedenen Nickelsulfathydrate	33
5	Experimente zum Kristallwachstum	35
5.1	Echte kristenographische Zwillinge	35
5.2	Kristallstufen durch Verdunstung	35
5.3	Skelettwachstum	36
5.4	Färbung von Kristallen	36
5.5	Mischkristalle	37
5.6	Tracht und Habitus	37
5.7	Stufen mit mehreren Sorten von Kristallen	38
5.8	Drusen	39
6	Optische Aktivität	41
6.1	Selbstbau eines Polariskops	42
7	Piezoelektrische Kristalle	43
7.1	Experimente zu piezoelektrischen Kristallen	43
8	Anhang	45
8.1	Mathematische Grundlagen	45
8.2	Löslichkeitsdiagramme	46

8.2.1	Ammoniumdihydrogenphosphat	46
8.2.2	Cyanorubin	47
8.2.3	Kalialaun	48
8.2.4	Kaliumdichromat	49
8.2.5	Kupfersulfat-5-Hydrat	50
8.2.6	Natriumbromat	51
8.2.7	Natriumchlorat	52
8.2.8	Natriumchlorid	53
8.2.9	Sacharose	54

1 Vorwort

Die vorliegende Anleitung 'Kristallzucht als Hobby' lässt sich für alle Züchtungschemikalien verwenden, die zur Zeit angeboten werden. Dieses Heft kann und will die bekannten Mineralogie und Kristallographielehrbücher nicht ersetzen. Es soll vielmehr den interessierten Sammler anregen sich genauer mit dem Wachstum und dem Aufbau der Kristalle zu beschäftigen. Die vielen Experimente leisten dabei wertvolle Hilfe. Es empfiehlt sich zusätzlich zu dieser Anleitung noch ein gutes Mineralogielehrbuch zu benutzen. Weiterführende Literatur über Kristalle und Kristallzucht ist im Anhang aufgeführt.

Die Kristalle, ob Einzelstücke oder Stufen, können jede Mineraliensammlung ergänzen oder den Grundstock dazu bilden. Gute Kristalle von Chalkanthit zum Beispiel sind kaum auf dem Mineralienmarkt zu erhalten. Zuhause kann man ohne großen Aufwand schönere Stücke erhalten, als sie wohl je natürlich gefunden werden.

Falls Sie spezielle Fragen zur Kristallzucht haben schreiben Sie an unsere Adresse. (Rückporto bitte beilegen)

Udo Behner - Crystal Growing Zum Bildchen 62 66687 Wadern eMail: mr.bismuth@crystalgrowing.com eFAX: +1 206 339 3637

2 Drei verschiedene Arten der Entstehung von Kristallen

2.1 Aus der Schmelze

Die Kristallisation aus der Schmelze ist die verbreitetste Art der Kristallbildung; der größte Teil aller kristalliner Materie in der Natur entstand auf diese Weise. Bei der künstlichen Herstellung von Kristallen nimmt sie eine hervorragende Stellung ein, wie z.B. bei der Synthese von Rubin und Saphir oder bei der Produktion der in der Elektronik als Halbleiter verwendeten Kristalle von Silicium und Germanium. Hauchdünne Scheiben, die aus den oft meterlangen Einkristallen gesägt werden, bilden das Grundmaterial für die mikroskopisch kleinen Schaltungen, wie sie z.B. im Taschenrechner Verwendung finden.

Viele Gesteine entstehen aus glutflüssigem Magma; so besteht Granit aus Kristallen von Feldspat, Quarz und Glimmer, die aus der Schmelze gewachsen sind. Marmor besteht aus vielen ebenso entstandenen Calcit-Kristallen. Ein weiteres Musterbeispiel bildet der sehr feinkristalline Basalt.

Schaut man sich Handstücke der genannten Gesteine an, so vermißt man gut ausgebildete Kristalle, vielmehr fehlt es fast vollständig an Kristallflächen, stattdessen bilden die einzelnen Bestandteile der Gesteine nur rundliche Körner. Diese werden auch Kristallite genannt.

Dies rührt daher, daß sich der Kristallisationsvorgang ziemlich schnell abspielte, die einzelnen Kristalle im Laufe des Wachstums aneinanderstießen und sich so gegenseitig bei der Ausbildung von Kristallflächen behinderten.

Sehr schöne Kristalle entstehen, wenn sie für ihr Wachstum lange Zeiträume zur Verfügung hatten. Hervorragende Beispiele liefern immer wieder die aus sehr langsam abgekühlten magmatischen Restschmelzen hervorgegangenen Pegmatite. So fand man in einem Pegmatitgang 12 Meter lange Spodumenkristalle. In der ehemaligen 'ÜDSSR' stellte man fest das ein ganzer Steinbruch in einem einzigen Feldspatkristall angelegt worden war.

Auch die aus der Schmelze erstarrten Metalle bestehen aus Kristallen. Leider sind diese normalerweise nicht zu erkennen. Um die Kristallstruktur sichtbar zu machen, muß man die Metallgegenstände erst mit einer Säure anätzen, ein Verfahren das sich nicht für den Hausgebrauch eignet.

2.1.1 Experiment zur Schmelze

Die zur Kristallzüchtung lieferbaren Stoffe eignen sich jedoch nicht dafür. Hervorragend brauchbar ist aber Natriumthiosulfat-5-Hydrat $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ (monoklin). Es wird als Fixiersalz in der Fotografie verwendet und ist daher leicht erhältlich. Verlangen Sie aber ausdrücklich Natriumthiosulfat-5-Hydrat, da andere Fixiermittel ungeeignet sind. Sollte es nicht erhältlich sein, kann es auch bestellt werden.

Man füllt ein kleines sauberes Marmeladenglas zur Hälfte mit Thiosulfat und erhitzt es im Wasserbad. Mit einem Thermometer kann man umrühren und den Schmelzvorgang kontrollieren. Bei etwa 50°C beginnen die Kristalle zu schmelzen, man rührt und erhitzt, bis das in die klare Schmelze eintauchende Thermometer $70\text{-}80^\circ\text{C}$ anzeigt. Das Glas wird nun aus dem Wasserbad herausgenommen und mit dem Deckel verschlossen. Man läßt es an einem erschütterungsfreien Ort abkühlen. Wenn man Glück hat, wird man feststellen das die Thiosulfatschmelze auch noch nach dem Abkühlen flüssig ist. Öffnet man aber das Glas und wirft einen kleinen Thiosulfatkristall, den man übrigbehalten hat, hinein, schießen aus ihm plötzlich in Sekundenschnelle zentimeterlange Kristallnadeln heraus. Innerhalb weniger Minuten ist das Glas von einem Gewirr nadeliger Kristalle erfüllt. Ein darin eingetauchtes Thermometer zeigt das die Temperatur bis auf den Schmelzpunkt des Salzes (48.5°C) ansteigt.

Man befestigt zwei Drähte an einer 4,5 Volt Flachbatterie, wobei man noch eine kleine Taschenlampenbirne dazwischenschaltet. Taucht man beide Drähte in die Kochsalzlösung leuchtet das Lämpchen auf. Eine Kochsalzlösung leitet also den Strom. Wiederholt man das Experiment

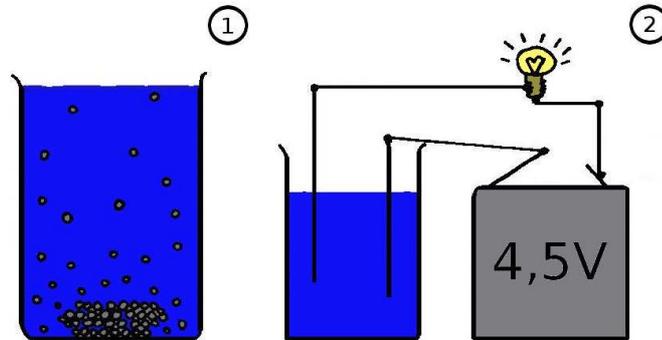


Abbildung 3: Versuchsaufbau

1. Anordnung der Zuckermoleküle im Kristall und in der Lösung.
2. Leitfähigkeitsprüfung von wässrigen Lösungen. ¹

können. Im Fall einer leitfähigen Lösung übernehmen die Ionen den Elektronentransport. Denn durch Aufnahme oder Abgabe eines Elektrons werden Atome zu negativ oder positiv geladenen Ionen. Umgekehrt funktioniert es natürlich genauso. Auch die Schmelze eines aus Ionen bestehenden Salzes leitet den Strom, wie in der wässrigen Lösung können sich die Ionen auch hier frei bewegen, sie sind nicht in einem Kristallgitter "eingefroren".

Mit einer Zuckerlösung bleibt das Lämpchen dunkel. Sie leitet den Strom nicht, genauso wenig wie ein Kochsalzkristall. Kochsalz, chemisch Natriumchlorid (NaCl), besteht zu gleichen Teilen aus Atomen des Metalls Natrium und des gelbgrünen Gases Chlor. Allerdings sind die Atome nicht elektrisch neutral sondern geladen. Solche geladenen Atome nennt man Ionen. Das Natriumion ist positiv, das Chlorion negativ geladen. Beide zusammen bilden das Kristallgitter des Salzes. Man erkennt warum Kochsalz in Würfeln kristallisiert. Insgesamt heben sich die Ladungen der Ionen gegenseitig auf. Bringt man aber einen Kochsalzkristall in Wasser drängen sich die Wassermoleküle zwischen die Ionen, umhüllen sie und lösen sie von einander ab. Der umgekehrte Vorgang tritt bei der Kristallisation ein. Wassermoleküle gleichen in gewisser Weise kleinen Magneten, das eine Ende des Moleküls ist leicht positiv das andere leicht negativ geladen. Auch die anderen Salze, die zur Kristallzüchtung verwendet werden, zerfallen in der wässrigen Lösung in Ionen, die aus einem oder aus mehreren Atomen bestehen können. Die Hülle von Wassermolekülen wird von den Ionen beim Wiedereintritt in ein Kristallgitter oft nicht vollständig abgestreift. So erklärt sich der Einbau von sogenanntem Kristallwasser in ein Kristallgitter. Das Kristallwasser taucht in der chemische Formel als " $x \text{H}_2\text{O}$ " auf. Lies nicht "mal" sondern mit soundsoviel Wasser. Die Erscheinung das ein Salz in der Lösung in seine Ionen zerfällt gibt es eigentlich nur bei Wasser. Bei allen anderen Lösungsmitteln wie Alkohol, Aceton oder Benzin tritt dieser Effekt nicht auf. Ausnahmen sind flüssiges Ammoniak, flüssiger Fluorwasserstoff und ähnliche exotische Lösungsmittel.

Die Löslichkeit eines festen Stoffes wie z.B. Kochsalz in einem Lösungsmittel, wie z.B. Wasser, ist begrenzt. Bei 20°C lösen sich in 100g Wasser, praktisch gleich 100ml Wasser, genau 35.85g Natriumchlorid. Die meisten Stoffe lösen sich nicht in jedem Lösungsmittel gleich gut. Natriumchlorid löst sich nur sehr wenig in Alkohol, Kalialaun überhaupt nicht. Zucker ist aber auch in Alkohol gut löslich.

Die Löslichkeit eines Stoffes in Wasser oder in einem anderen Lösungsmittel steigt mit der Temperatur meist stark an. So lösen sich bei 20°C 37 Gramm bei 100°C aber 195 Gramm Kupfersulfat-5-Hydrat in

100 Gramm Wasser. Bei Natriumchlorid ist diese Löslichkeitserhöhung ziemlich gering, bei 20°C 35.85g, bei 100°C 39.2g in 100g Wasser. Bei einigen wenigen Stoffen nimmt die Löslichkeit mit zunehmender Temperatur auch ab, wie z.B. bei Lithiumsulfat, bei 20°C 34.8g, 100°C 31.0g in 100g Wasser.

Man kann jetzt die Löslichkeit einer Substanz in Wasser bei verschiedenen Temperaturen ermitteln und eine Tabelle erstellen. Löslichkeitstabellen von einigen Substanzen die zur Kristallzucht verwendet werden, sowie die von Zucker und Kochsalz finden sich untenstehend.

Tabelle 1: Löslichkeitstabelle von Salzen

Stoff	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Kalialaun	3.7	7.6	11.6	16.6	28.2	n/a	92.1	n/a	123.4	n/a ²	n/a
Kupfersulfat-5-Hydrat	25.0	n/a	37.0	n/a	54.0	64.0	78.0	n/a	119.5	n/a	195.0
Kaliumdichromat	4.7	7.8	12.3	n/a	26.3	n/a	45.6	n/a	73.0	n/a	103.0
Cyanorubin	29.9	38.8	46.0	52.7	59.5	n/a	70.9	n/a	81.8	n/a	91.6
Natriumchlorat	80.5	n/a	96.1	n/a	115.2	n/a	138.0	n/a	167.0	n/a	204.0
Natriumbromat	28.5	n/a	36.4	n/a	48.8	n/a	62.6	n/a	75.8	n/a	90.8
ADP	22.7	n/a	36.8	n/a	56.7	n/a	82.9	n/a	120.7	n/a	174.0
Natriumnitrat	70.7	n/a	88.0	n/a	104.9	n/a	124.7	n/a	148.0	n/a	176.0
Ammoniumalaun	5.1	n/a	13.4	n/a	26.6	n/a	49.9	n/a	98.9	n/a	n/a
Natriumchlorid	35.6	35.7	35.85	36.15	36.42	36.72	37.05	37.5	38.5	38.7	39.2
Sacharose	179.2	190.5	203.9	219.5	238.1	260.4	287.3	320.5	362.1	415.7	487.2

Eine Lösung die z.B. bei 20° auf 100g Wasser genau 11.6g Kalialaun enthält, nennt man gesättigt. Um eine solche gesättigte Lösung herzustellen, löst man in 100g Wasser von 20° 11.6g Kalialaun oder in 1000g Wasser 116g Kalialaun. Bringt man einen Kalialaunkristall in eine solche Lösung, löst er sich nicht mehr auf. Wohl aber ein Kupfersulfatkristall. Denn in "bezug" auf Kupfersulfat ist die Lösung noch nicht gesättigt. Enthält eine Lösung weniger Substanz gelöst als in der Tabelle angegeben ist sie untersättigt. Ein in die Lösung eingebrachter Kristall löst sich solange auf/bis sie wieder gesättigt ist. Man kann die Löslichkeit auch in Form einer Kurve auftragen, wie hier bei Kupfersulfat-5-Hydrat gezeigt. Der Punkt A kennzeichnet eine untersättigte Lösung von Kupfersulfat bei 20°C. Es gibt aber noch eine weitere Möglichkeit, die übersättigte Lösung, hier enthält sie mehr Substanz gelöst als sie nach der Löslichkeitstabelle eigentlich dürfte. Punkt C kennzeichnet eine solche übersättigte Lösung 4.5g anstatt der "erlaubten" 37g. Dieser Zustand gleicht in gewisser Weise der einer unterkühlten Thiosulfatschmelze (siehe Seite 5). Ein in die Lösung eingebrachter Kupfersulfatkristall wächst solange, bis der Punkt B erreicht ist; die Lösung ist jetzt gesättigt.

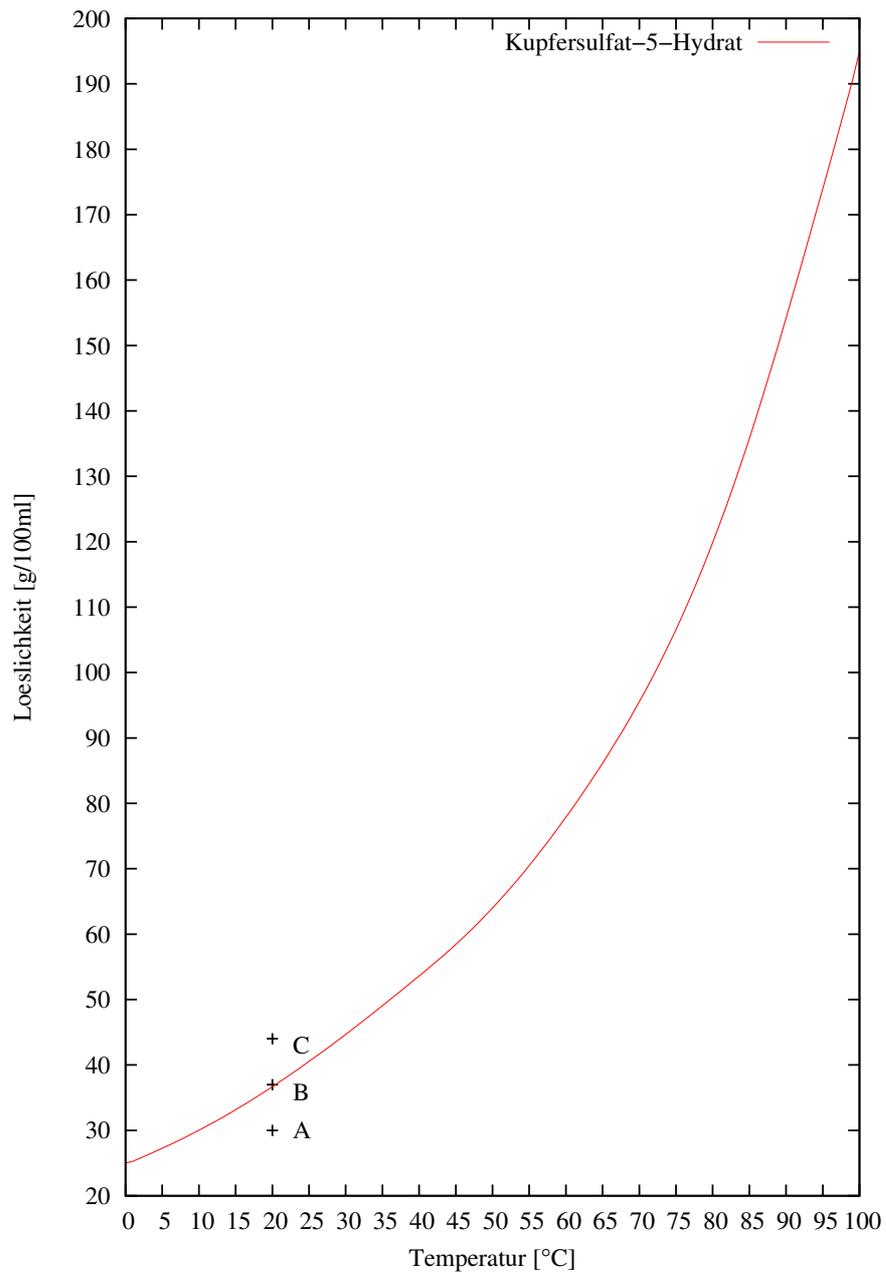


Abbildung 4: Löslichkeitskurve von Kupfersulfat-5-Hydrat

Wie aber stellt man eine solche Lösung her? Man kann beim Lösen von Kupfersulfat in Wasser von 20°C bestenfalls gemäß der Tabelle auf Seite 8 in g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ pro 100g Wasser.³

Punkt B erreichen, also eine gesättigte Lösung. Mehr kann man auf diese Weise beim besten Willen nicht hineinzwingen. Erwärmt man aber die Lösung auf 60°C kann man die zusätzlich erforderliche Menge bequem auflösen. Wenn man jetzt filtriert und wieder abkühlt kann man Punkt C erreichen, wenn das Überschüssige Kupfersulfat nicht vorher auskristallisiert. Was aber kaum geschieht wenn kein kristallines Kupfersulfat mehr zugegen ist und das Eindringen von Staub durch eine Abdeckung verhindert wird. Wie es auch bei dem ähnlich gelagerten Fall der unterkühlten Schmelze nicht zur Kristallisation kommt, wenn man nicht ein Stück kristallines Thiosulfat einwirft. In Analogie zur unterkühlten Schmelze nennt man die übersättigte auch unterkühlte Lösung.

Die Kristallisation aus der Lösung wird sehr häufig angewendet, um Kristalle herzustellen, z.B. solche von Zucker, die dann, manchmal auch brauneingefärbt, als Kandiszucker verkauft werden. Aber auch viele technisch wichtige Kristalle werden auf diese Weise gewonnen. Manchmal wendet man dabei auch einen Trick an. Der Siedepunkt des Wassers wird erhöht in dem man es in einem Autoklaven hohem Druck, aussetzt. Ein kleiner Autoklav ist z.B. ein Dampfdruckkochtopf. Man kann so den Kochpunkt von Wasser auf über 370°C steigern. (Drücke bis 1000 Atmosphären). Jetzt kann man auch Substanzen gut auflösen, die normalerweise nur schlecht oder garnicht löslich sind, wie Quarz zum Beispiel. Man ahmt mit diesem Syntheseweg die hydrothermale Mineralbildung in der Natur nach. Er wird deshalb Hydrothermalaynthese genannt.

2.3 Kristallisation aus der Gasphase

Es tritt bei der Kristallbildung manchmal der seltene Fall ein, daß sich die Kristalle einer Substanz direkt aus dem Gaszustand bilden. Beispiele sind Raureif und Schnee. Auch die heißen Dämpfe von Vulkanen scheiden Kristalle, wie solche von Salmiak und Schwefel, ab. Allgemein hat diese Art der Kristallbildung am wenigsten Bedeutung, die Kristalle sind meist nur schlecht ausgebildet. Deshalb wird dieses Verfahren auch zur künstlichen Herstellung von Kristallen nur selten verwendet.

³Die Tabellen in diesem Heft beziehen sich immer auf die kristallwasserhaltigen Substanzen. Sie können sich deshalb von den Angaben in anderen Tabellenwerken unterscheiden.

3 Rezepte zur Kristallzucht

3.1 Arbeitsgerät

Die nachfolgend beschriebenen Methoden der Kristallzucht sind so einfach, daß sie sich ohne großen Aufwand durchführen lassen. Einige Arbeitsgeräte sind jedoch unbedingt notwendig.

1. Kochtopf ab 5 Liter aufwärts. Irgend ein altes Exemplar das nicht mehr zur Essenszubereitung genutzt wird.
2. Zuchtgefäße; dazu sind Weckgläser, emaillierte Stahltopfe, Kunststoffgefäße und ganz besonders Bechergläser geeignet, von denen jetzt auch größere Exemplare (3000, 5000 und 10000ml) lieferbar sind. Sie bestehen aus Duran 50 und können direkt auf den Elektroherd erhitzt werden (bei Gasherden empfiehlt sich das Unterlegen eines Asbestdrahtnetzes).
3. Filter: Ein Kaffeefilter mit normalem Filterpapier genügt.
4. Thermometer: Hinreichend genau sind nur chemische Thermometer. Einmachthermometer sind nur ein Notbehelf.
5. Waage: Für größere Mengen benutzt man eine Küchenwaage, kleinere Mengen wägt man mit einer Briefwaage.
6. Durchsichtiger dünner Faden.
7. Rührstab aus Glas.

3.2 Arbeitsraum

Natürlich kann man Kristalle nicht in der guten Stube züchten, aber schon in einer Küche kann man gute Kristalle gewinnen. Wünschenswert ist natürlich ein separater Raum mit Strom und Wasseranschluß (Waschküche, Hobbykeller oder ähnliches). Auf jedenfall sollte der Raum in dem die Kristalle wachsen keine größeren Temperaturschwankungen aufweisen. Viele Wohnungen sind ja schon mit Heizkörperthermostaten ausgerüstet. Außerdem sollten die Kristalle beim Wachstum nicht erschüttert werden.

Man kann Kristalle ohne großen Aufwand nach folgenden drei Verfahren aus der wässrigen Lösung züchten nämlich nach der Verdunstungs-, Abkühlungs- und dem Übersättigungsverfahren. Als Beispiel fungiert die Züchtung von Kalialaunkristallen nach den drei Methoden. Für die anderen Stoffe müssen dann nur die Mengenangaben geändert werden.

3.3 Herstellung einer genau gesättigten Lösung

Ausgangspunkt bei allen drei Verfahren ist eine genau bei Arbeitstemperatur (ist normalerweise gleich Raumtemperatur) gesättigte Lösung. Als Anhaltspunkt kann die Löslichkeitstabelle auf Seite dienen, zur Sicherheit wird noch etwas mehr aufgelöst als notwendig. Man gibt zu je 100ml Wasser 20g Kalialaun, rührt und erhitzt so lange bis alles Salz gelöst ist, filtriert, läßt wieder abkühlen und wartet dann noch zwei bis drei Tage.

Beispiele: Zur Füllung von einem 1l Glas benötigt man 800ml Wasser und 160g Kalialaun, für 1.5l 1200ml Wasser und 240g Kalialaun, für ein 2l Glas schließlich 1600ml Wasser und 320g Kalialaun.

3.4 Das Verdunstungsverfahren

Die nach Vorschrift bereitete bei Arbeitstemperatur gesättigte Alaunlösung wird vom Bodenkörper, den abgeschiedenen Alaunkristallen getrennt und filtriert. Nun braucht man nur noch einen Keimkristall.

3.4.1 Herstellung und Behandlung von Keimkristallen

Keimkristalle sind gewissermaßen die Brückenköpfe für die in der Lösung herumvagabundierenden Ionen. Sind die Bedingungen für die Abscheidung von zusätzlicher Kristallsubstanz gegeben, lagern sich die Ionen an den Keimling an, der dadurch schichtenweise wächst. Wird in eine Lösung ein Kristall eingebracht, spricht man auch von Impfen den Kristall nennt man Impfling. Als Impfling bzw. Keimkristall kann man prinzipiell jedes Kristallstückchen verwenden. Um den Impfling gut handhaben zu können sollte er mindestens 3mm Kantenlänge aufweisen. Bei der Herstellung einer gesättigten Lösung bilden sich anfangs als Bodenkörper meist gut geeignete Exemplare. Man entnimmt sie der Lösung mit einem Löffel bevor sie mit den anderen Kristallen zusammenwachsen. Auch wenn man die gesättigte Lösung in einer flachen Schale eindunsten lässt erhält man gute Impflinge. Die Keimkristalle werden abgetrocknet und in kleinen Lösschen aufbewahrt. Für einen Zuchtversuch werden die Kristalle an einem Faden befestigt. Damit der Faden nicht abrutscht werden in die Kanten des Kristalls mit einer Nagelfeile kleine Scharten gesägt. Der Keimling muß samt Faden vor dem Impfen mit lauwarmem Wasser kurz abgespült werden.

Keimkristalle sind gewissermaßen die Brückenköpfe für die in der Lösung herumvagabundierenden Ionen. Sind die Bedingungen für die Abscheidung von zusätzlicher Kristallsubstanz gegeben, lagern sich die Ionen an den Keimling an, der dadurch schichtenweise wächst. Wird in eine Lösung ein Kristall eingebracht, spricht man auch von Impfen den Kristall nennt man Impfling. Als Impfling bzw. Keimkristall kann man prinzipiell jedes Kristallstückchen verwenden. Um den Impfling gut handhaben zu können sollte er mindestens 3mm Kantenlänge aufweisen. Bei der Herstellung einer gesättigten Lösung bilden sich anfangs als Bodenkörper meist gut geeignete Exemplare. Man entnimmt sie der Lösung mit einem Löffel bevor sie mit den anderen Kristallen zusammenwachsen. Auch wenn man die gesättigte Lösung in einer flachen Schale eindunsten lässt erhält man gute Impflinge. Die Keimkristalle werden abgetrocknet und in kleinen Lösschen aufbewahrt. Für einen Zuchtversuch werden die Kristalle an einem Faden befestigt. Damit der Faden nicht abrutscht werden in die Kanten des Kristalls mit einer Nagelfeile kleine Scharten gesägt.

Der Keimling muß samt Faden vor dem Impfen mit lauwarmem Wasser kurz abgespült werden. Der Faden wird jetzt an einem quer über das Zuchgefäß gelegten Draht oder Holzstück befestigt. Die Länge des Fadens sollte so bemessen sein, daß der Kristall in der Lösung 2-3cm über dem Boden des Gefäßes schwebt. Zum Schutz vor Staub und Insekten kann man das Gefäß mit etwas Gaze abdecken. Das Zuchtgefäß kann man nun an jedem, von Temperaturschwankungen unbehelligten Ort aufstellen. Gut geeignet sind z.B. Kellerräume (Verdunstungs- und daher auch Wachstumsgeschwindigkeit langsam) oder Plätze in der Nähe gleichmäßig wärmerer Heizkörper. Man muß aber dabei Bedenken, daß die Lösung immer bei der Temperatur gesättigt wird, bei der man sie einsetzen will. Im kühleren Keller sollte man die Lösung noch drei Tage ruhen lassen und dann erst den Bodenkörper entfernen. Erst danach wird der Impfling eingebracht.

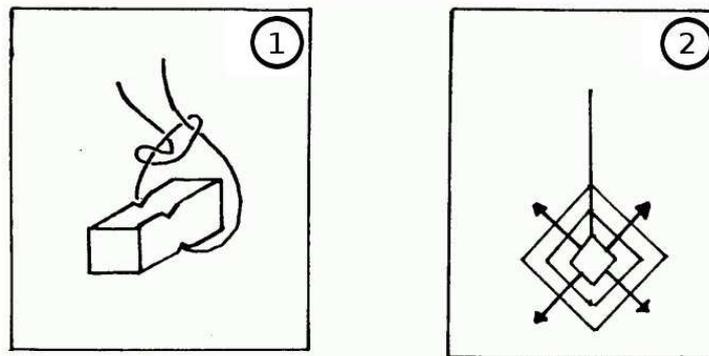
Geht man von geeigneten Substanzmengen aus, etwa 2 Liter, und hat man etwas Geduld, kann man auf diese Weise recht große und gut ausgebildete Kristalle erhalten. Die Lösung sollte öfter kontrolliert werden. Wenn sich am Boden oder gar am Faden zusätzliche Kristalle gebildet haben oder wenn auf der Oberfläche Flöße aus flachen Kristallen herumschwimmen oder wenn sich an den Gefäßwand Ausblühungen zeigen, wird die Lösung umfiltriert, der Zuchtkristall samt Faden nochmal abgespült und am Faden zusätzlich abgeschiedene Kristalle werden entfernt. Solche "Generalüberholungen" sind meist nur einmal in der Woche nötig und werden allmählich zur Routine.

Der Faden wird jetzt an einem quer über das Zuchgefäß gelegten Draht oder Holzstück befestigt. Die Länge des Fadens sollte so bemessen sei, daß der Kristall in der Lösung 2-3cm über dem Boden des

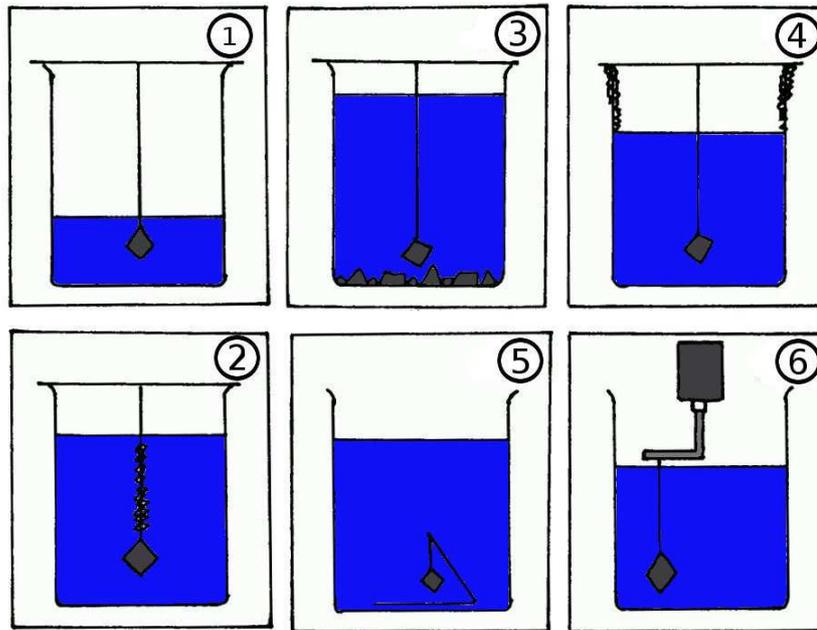
Gefäßes schwebt. Zum Schutz vor Staub und Insekten kann man das Gefäß mit etwas Gaze abdecken. Das Zuchtgefäß kann man nun an jedem, von Temperaturschwankungen unbehelligten, Ort aufstellen. Gut geeignet sind z.B. Kellerräume (Verdunstungs- und daher auch Wachstumsgeschwindigkeit langsam) oder Plätze in der Nähe gleichmäßig wärmender Heizkörper. Man muß aber dabei bedenken, daß die Lösung immer bei der Temperatur gesättigt wird, bei der man sie einsetzen will. Im kühleren Keller sollte man die Lösung noch drei Tage ruhen lassen und dann erst den Bodenkörper entfernen. Erst danach wird der Impfling eingebracht.

Geht man von geeigneten Substanzmengen aus, etwa 2 Liter, und hat man etwas Geduld, kann man auf diese Weise recht große und gut ausgebildete Kristalle erhalten.

Die Lösung sollte öfter kontrolliert werden. Wenn sich am Boden oder gar am Faden zusätzliche Kristalle gebildet haben oder wenn auf der Oberfläche Flöße aus flachen Kristallen herumschwimmen oder wenn sich an den Gefäßwand Ausblühungen zeigen, wird die Lösung umfiltriert, der Zuchtkristall samt Faden nochmal abgespült und am Faden zusätzlich abgeschiedene Kristalle werden entfernt. Solche "Generalüberholungen" sind meist nur einmal in der Woche nötig und werden allmählich zur Routine.



1. Einbinden des Keimkristalls.
2. Durch schichtenweise Substanzanlagerung wächst der Kristall.



1. Lösungsstand zu niedrig. Frische Lösung nachfüllen oder Kristall entnehmen
2. Parasitäre Keime am Faden müssen entfernt werden, sie behindern den Hauptkristall beim Wachstum.
3. Kristalle am Boden müssen entfernt werden, wenn sie so groß sind, das sie den Hauptkristall behindern.
4. Die leidigen Ausblühungen sind eine ständige Quelle von parasitären Keimen.
5. Ein Glas- oder Drahtgestell wirkt sich günstig aus, der Faden schaut nicht mehr oben heraus.
6. Wird der Kristall durch einen Motor bewegt wachsen die Flächen gleichmäßiger.

3.5 Abkühlungsmethode

Bei der Abkühlungsmethode werden vor allem Kristallstufen gewonnen, d. h. die einzelnen Kristalle wachsen auf einer natürlichen Matrix auf. Keimkristalle werden nicht benötigt. Ausgangspunkt ist wieder die bei Arbeitstemperatur gesättigte Lösung. Als eigentliche Zuchtgefäße haben sich Weckgläser von 1-1.5l Inhalt bewährt; außerdem kann man auch kleine emaillierte Stahlöpfe verwenden. Weiterhin braucht man einen großen Kochtopf und Isoliermaterial (Decken, Glasfasermatten o. ä.). Zum Erhitzen der Lösungen können die Bechergläser verwendet werden. Wichtigstes Zubehör sind aber die Matrixsteine.

3.5.1 Matrixsteine

Grundsätzlich können dazu alle Mineralien und Gesteine verwendet werden, die gegenüber chemischen Reagenzien besonders Säuren unempfindlich sind. Gute Erfahrungen wurden mit Baryt, Limonit und vulkanischen Gesteinen gemacht. Will man Matrixsteine auf ihre Gebrauchsfähigkeit testen, legt man sie in eine gesättigte Alaunlösung; haben sich nach einer Woche noch keine Zersetzungserscheinungen eingestellt, ist das Material brauchbar. Ungeeignet sind Calcit, Kalk, Dolomit und Magnesit. Die Steine sollten interessant geformt sein aber nicht zu hoch aufragen. Vor dem Gebrauch werden die Matrixsteine gut gesäubert und mit heißem Wasser abgespült. Die Größe muß so gewählt werden, daß im Zuchtgefäß noch Platz für die zusätzlich anwachsenden Kristalle vorhanden ist.

3.5.2 Ausführung

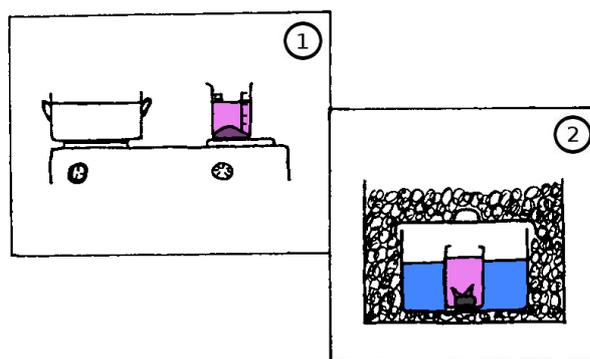
Im Becherglas wird die Lösung mit Zusatzmenge erhitzt und dabei gut umgerührt. In der Wahl der oben angeführten Menge ist man ziemlich frei. Orientiert man sich an der Löslichkeitstabelle wählt man den Zusatz so, daß man eine zwischen 60 bis 80°C gesättigte Lösung erhält. Nach einigen Experimenten kann man auch nach Augenmaß und Gefühl gehen.

Während die Lösung zum Kochen gebracht wird, setzt man einen großen Topf mit Wasser auf und erhitzt ebenfalls bis zum Kochen. Ist es soweit gießt man die Lösung in das Zuchtgefäß. Weckgläser werden vorher mit heißem Wasser ausgespült, sie könnten sonst springen. Der große Topf wird nun vom Herd genommen und an einen ruhigen, erschütterungsfreien Ort gestellt. Jetzt wird der Matrixstein in den Lösung eingelegt (Handschuhe oder Löffel !) und das Zuchtgefäß in den Topf gestellt. Nun wird das ganze mit Isolationsmaterial umgeben z.B. mit Decken und alten Handtüchern. Nach 48 Stunden ist das Kristallwachstum im Allgemeinen abgeschlossen und die Lösungen sind erkaltet. Gießt man diese nun ab findet den Matrixstein, je nach Zusatzmenge, mit Kristallen überwuchert oder mit Einzelexemplaren besetzt. Häufig ist die Kristallstufe so fest mit dem Bodenkörper verwachsen, daß man sie herausmeißeln muß. (Vorsicht!) Den Ansätzen beim Abkühlungsverfahren ist keine Größenbeschränkung auferlegt. Stufen von 10kg Gewicht aus etwa 20l Lösung lassen sich innerhalb von 96h züchten.

Mit einem gut emaillierten Kochtopf von 5-10l Inhalt kann sich auch der Anfänger versuchen. Es sei aber gesagt, daß auch kleine Stufen sehr schön ausfallen können, vor allem verbrauchen sie nicht so viel Chemikalien.

3.6 Das Übersättigungsverfahren

Dieses Verfahren eignet sich praktisch nur für die Gewinnung von Einzelkristallen, die theoretischen Voraussetzungen wurden schon im Abschnitt über Lösungen besprochen. Zuerst braucht man wieder eine bei Arbeitstemperatur gesättigte Lösung. Für Kalialaun empfiehlt sich eine Menge von etwa 2l. Die Lösung wird auf etwa 60°C erwärmt und pro 100ml ursprünglich vorhandenem Wasser 2-3g Alaun



1. Erhitzen der Lösung und des Wärmebälgen.
2. Die fertige Versuchsanordnung

hinzugefügt. Es wird so lange gerührt, bis die Lösung alles Salz aufgenommen hat. Man filtriert in ein sauberes heiß ausgespültes Becherglas oder in ein Weckglas. Dieses wird mit einem Teller abgedeckt und in ein kaltes Wasserbad gestellt. Währenddessen versieht man eine Pappscheibe, die das Zuchtgefäß gut abdeckt, mit einem kleinen Loch. Ein Keim wird an einen Faden gebunden, der Faden durch das Loch in der Pappscheibe gezogen und dann mit einer Wäscheklammer so fixiert, daß der Impfling 2-3cm über dem Boden des Zuchtgefäßes schwebt. Vor dem Einsetzen in die Lösung werden die Keimkristalle samt Faden gut abgespült.

Die im Wasserbad stehende Lösung wird ab und zu mit dem Thermometer gerührt. Wenn sie auf etwa 3°C über der Arbeitstemperatur abgekühlt ist wird geimpft. Hat man z. B. die Temperatur der Lösung vor dem Erwärmen zu 19°C bestimmt, wird der Keimkristall bei 22°C eingebracht. Die Pappscheibe muß, wie gesagt, das Zuchtgefäß gut abdecken.

Man beläßt nun den Versuch eine Woche an einem ruhigen von Temperaturschwankungen unbehelligten Ort. Nach Ablauf der Zeit entnimmt man einen stattlichen, wenn auch nicht immer ganz trübungsfreien Kristall aus der Lösung. Man kann die so erhaltenen Kristalle wieder als Keimlinge für einen neuen Zuchtversuch verwenden und kann auf diese Weise noch größere Kristalle gewinnen.

3.6.1 Vergleichende Betrachtung der vier Verfahren

Die drei angeführten Verfahren schöpfen die Möglichkeiten, im Rahmen der (Gegebenheiten beim Hobbykristallzüchten, voll aus. Aber welches Verfahren soll man für welche Kristalle anwenden? Auskunft darüber gibt folgende Tabelle.

Tabelle 2: Eignung der Verfahren für verschiedene Salze

Verfahren	Kalialaun	Chromalaun	Cyanorubin	Kaliumdichromat	Kupfersulfat	Natriumsulfat	KNT
Verdunstung	++	++	++	+	++	+	+
Abkühlung	++	+	++	++	++	+	+
Übersättigung	++	++	+	-	+	++	++

Das Verdunstungsverfahren wird bei der technischen Kristallzüchtung relativ selten angewendet. Es ist aber dann wichtig wenn Kristalle von Substanzen gezüchtet werden sollen die einen nur wenig positiven oder gar negativen Temperaturkoeffizienten der Löslichkeit besitzen wie Natriurachlorid oder Lithiumsulfat.

Auch die Natur wendet dieses Verfahren an, z.B. bei der Entstehung von Salzkristallen in Salzseen oder bei Wüstenrosen, die aus, durch Wasserverdunstung entstandenen. Gips- und Barytkristallen bestehen. Die Wachstumsdauer des Kristalls kann man beim Verdunstungsverfahren beliebig lange ausdehnen, die Kristalle beliebig groß wachsen lassen.

Je höher die Löslichkeit eines Stoffes ist, desto schneller wachsen die Kristalle. Etwas benachteiligt sind dabei Kalialaun und Kaliumdichromat, diese zwei Salze lösen sich bei Zimmertemperatur nur schlecht in Wasser.

Trockenheit und Wärme fördern die Verdunstung. Künstliche Trockenheit kann man mit der unten gezeigten Apparatur erzeugen, der Boden wird mit Calciumchlorid oder Blaugel (regenerierbar) aufgefüllt. Der Deckel des Behälters muß gut abdichten.

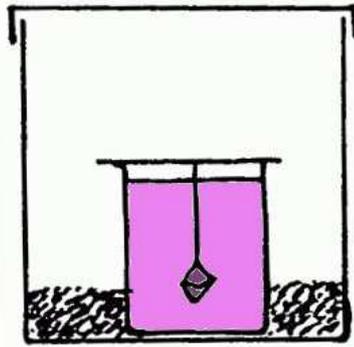
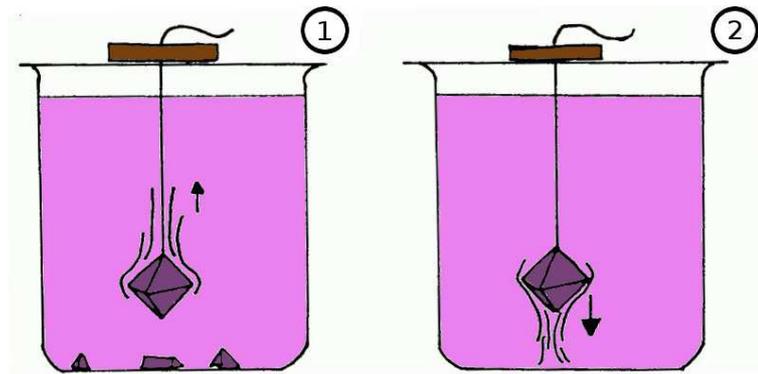


Abbildung 5: Behälter mit Trockenmittel zur Beschleunigung des Verdunstungsverfahrens

Das Abkühlungsverfahren wird in der Technik häufig angewendet. Oft wird es mit dem übersättigungsverfahren kombiniert und heißt dann Temperaturdifferenzverfahren. Man braucht aber eine spezielle Apparatur dafür. Ein Selbstbausatz hierzu befindet sich in Vorbereitung.

Nachteilig beim Abkühlungsverfahren ist, daß man die Kristalle beim Wachstum nicht beobachten und eventuell eingreifen kann. Wie dies bei den beiden anderen Methoden möglich ist. Man ist also immer auf Zufallsergebnisse angewiesen. Einzelkristalle kann man auch nur züchten, wenn man über Thermostaten und Programmgeber verfügt.

Das Übersättigungsverfahren ist leider etwas störanfällig. Sollten die Zuchtversuche nicht auf Anhieb gelingen, braucht man die Flinte nicht gleich ins Korn zu werfen. Das Wachstum des Kristalls geht aber viel schneller vor sich, als beim Verdunstungsverfahren. Es gibt auch eine gute Überwachungsmethode um festzustellen ob der Kristall wächst, schon fertig ist oder sich gar wieder auflöst. Beim Einsetzen des Impfkristalls ist die Lösung schwach übersättigt der Kristall fängt an zu wachsen und entzieht ihr jetzt gelösten Stoff. Dadurch wird die Lösung leichter und steigt empor. Zeigen sich also über dem Keimling aufsteigende Schlieren wächst der Kristall. Tut sich nichts ist die Lösung gesättigt der Kristall ist fertig. Sinken aber Schlieren abwärts löst sich der Kristall auf. Der Kristall wird herausgenommen und die Lösung nocheinmal angesetzt. Temperatur Schwankungen, die diese Auflösung hervorrufen, sind ein besonderer Feind des Kristallzüchters.



1. Aufsteigende Schlieren am Kristall zeigen das er wächst.
2. Sinken die Schlieren abwärts löst der Kristall sich auf.

3.7 Weitere Rezepte

Die folgenden Rezepte dienen zur Herstellung von gesättigten Lösungen. Als erstes unter

- a) zur Herstellung der empfehlenswerten Menge Lösung, dann unter
- b) in Gramm Substanz pro 100ml Wasser. Darunter folgt jeweils unter
- c) die Zusatzmenge beim Übersättigungsverfahren für die unter a) genannte Menge Lösung, unter
- d) die Zusatzmenge berechnet auf jeweils 100ml ursprünglich vorhandenes Wasser.

1. Kalialaun

- a) 320g Kalialaun auf 1600ml Wasser.
- b) 20g Kalialaun auf 100ml Wasser.
- c) 30-40g Kalialaun.
- d) 2-3 g Kalialaun auf 100ml Wasser.

2. Chromalaun

- a) 300g Chromalaun auf 500ml Wasser bis 600g auf 1000ml.
- b) 60g Chromalaun auf 100ml Wasser.
- c) 20g bzw. 40g.
- d) 3-5g Chromalaun auf 100ml Wasser.

3. Seignettesalz, KNT

- a) 650g KNT auf 500ml Wasser.
- b) 130g KNT auf 100ml Wasser.
- c) 20-25g KNT.
- d) 5g KNT auf 100ml Wasser.

4. Natriumchlorat

- a) 770g Natriumchlorat auf 700ml Wasser.

- b) 110g Natriumchlorat auf 100ml Wasser.
- c) 21g Natriumchlorat.
- d) 3g Natriumchlorat auf 100ml Wasser.

5. Kupfersulfat

- a) 400g Kupfersulfat auf 1000ml Wasser.
- b) 40g Kupfersulfat auf 100ml Wasser.
- c) 20-30g Kupfersulfat.
- d) 2-5g Kupfersulfat auf 100ml Wasser.

6. Cyanorubin

- a) 500g Cyanorubin auf 1000ml Wasser.
- b) 50g Cyanorubin auf 100ml Wasser.
- c) 10-20g Cyanorubin.
- d) 1-2g Cyanorubin auf 100ml Wasser.

7. Kaliumdichromat

- b) 20g Kaliumdichromat auf 100ml Wasser.

Kaliumdichromat eignet sich leider nicht für das Übersättigungsverfahren. Der Bereich in dem eine Übersättigung einer Kaliumdichromatlösung möglich ist, ist, wenigstens bei Raumtemperatur so schmal, daß ein Zuchtversuch nicht lohnt. Die Übersättigung beim Kaliumdichromat ist auch noch wenig erforscht. Vielleicht ergeben sich jedoch beim Zusatz von Schwefel- oder Chromsäure oder bei Temperaturen ab 60°C Möglichkeiten.

TIP: Zur Herstellungen der Lösungen sollte man nur destilliertes oder deionisiertes Wasser verwenden.

Sollten die Arbeitstemperaturen wesentlich höher als 20°C liegen muß natürlich die Chemikalienmenge, die man zur Herstellung der gesättigten Lösung verwendet, erhöht werden. Diese Maßnahme muß auf jeden Fall Getroffen werden, wenn sich kein Bodenkörper bildet. Die Angaben der Zusatzmengen für das Übersättigungsverfahren sind nicht immer absolut genau. Im Allgemeinen kann man sagen, je höher die Arbeitstemperatur, desto höher die Übersättigung. Sollten die Kristalle, auch bei wiederholten Versuchen, nicht einwandfrei wachsen, muß die Zusatzmenge verringert werden.

3.8 Aufbewahrung von Chemikalien, Lösungen und Kristallen

Bei der Auswahl der angebotenen Chemikalien zur Kristallzüchtung wurde darauf geachtet nur solche Stoffe ins Angebot aufzunehmen, die weitgehend ungefährlich sind. Kalialaun und Seignettesalz sind absolut ungefährlich. Selbst wenn man größere Mengen davon einnimmt, tritt keine Wirkung ein. Kupfersulfat schmeckt metallisch bitter und verursacht eingenommen Brechreiz. Vergiftungen mit Kupfersulfat sind noch nie vorgekommen. Chromalaun enthält das Schwermetall Chrom. Aus den gleichen Gründen wie bei Kupfersulfat dürften freiwillig keine wirksamen Chromalaunmengen eingenommen werden. Für Kaliumdichromat gilt das gleiche wie für Chromalaun. Cyanorubin sollte ebenfalls nicht eingenommen werden.

Natriumchlorat: Vorsicht Natriumchlorat gibt beim Erhitzen oder unter katalytischer Einwirkung Sauerstoff ab. Es ist also in diesem Sinne feuergefährlich. Ein Verschütten der Lösung ist zu vermeiden. Lappen mit denen aufgewischt wurde und auch Filtrierpapier vor dem Wegwerfen auswaschen! Kein festes Natriumchlorat mit Seignettesalz, Zucker, Kohlepulver oder Schwefel mischen!

Unser Natriumchlorat enthält einen Zusatz der die Gefährlichkeit vermindert. Natriumchlorat ist schwach giftig.

Werden die Warnungen beachtet kann beim Experimentieren nichts passieren. Kleinkinder sollten nicht an die Chemikalien gelangen können. Kinder beim Experimentieren, wenn möglich beaufsichtigen. Vorteilhaft können die Chemikalien in verschlossenen Weckgläsern aufbewahrt werden.

Lösungen werden bei Nichtgebrauch in Weckgläsern oder Flaschen aufbewahrt. Lösungen von Cyanorubin werden besser in flachen Schalen eingedunstet, da sie sich bei längerem Herumstehen langsam zersetzen. Die Kristalle werden nach dem Herausnehmen aus der Lösung mit weichem saugfähigen Papier abgetrocknet. Die glänzenden Kristallflächen sind gegenüber der Feuchtigkeit der Finger sehr empfindlich. Man sollte sie nur an Ecken oder Kanten anfassen. Am besten benutzt man billige Plastikfolienhandschuhe. Die kristallwasserhaltigen Kristalle müssen außerdem vor zu großer Trockenheit geschützt werden. Einzelkristalle und kleine Kristallstufen können in Plastikdosen aufbewahrt werden, wie sie für Micro-mounts angeboten werden. Größere Stücke können in Frischhaltebeutel oder Folien verpackt werden. Stellt man die Kristalle in eine Vitrine, sollte in diese kein Staub gelangen können. Die Luftfeuchtigkeit für kristallwasserhaltige Kristalle durch Aufstellen einer mit Wasser gefüllten Schale erhöhen.

4 Substanzen zur Kristallzüchtung

4.1 Kalialaun

Kaliumaluminiumsulfat-12-Hydrat

$KAl(SO_4)_2 \times 12 H_2O$

xx-System kubisch (regulär)

Schmelzpunkt $92^\circ C$

Dichte = 1.74

$n = 1.4593$ (Brechungsindex)

Kalialaun ist eine der beliebtesten Substanzen zur Kristallzüchtung. Was auf seiner guten Kristallisationsfähigkeit beruht. Die typische Kristallform ist der Oktaeder, allerdings oft in Kombination mit Würfel und Rhombendodekaeder. Unter bestimmten Bedingungen kann man auch kleine Würfel erhalten. Wasserklare Kalialaunkristalle werden auch in der Technik verwendet, z.B. als Prismen und Linsen in der Optik. Die Kristalle sind für die infrarote Strahlung undurchlässig.

Von Kalialaun wurden schon Kristalle mit 45cm Kantenlänge und über 100kg Masse gezüchtet. Nach BUCKLEY sind dies die größten künstlich gewonnenen Kristalle der Welt! Im gleichen Kristallgitter und in gleichartigen Kristallformen kristallisieren die Verwandten des Kalialaun, Ammoniumalaun, Eisenalaun, Chromalaun um nur die wichtigsten Vertreter der Gruppe der Alaune zu nennen. Kalialaun kommt, wie seine basische Abart Alunit, in der Natur vor, ebenso Ammoniumalaun als Tschermigit. Weitere natürliche Alaune sind im "STRUNZ" nachzulesen.

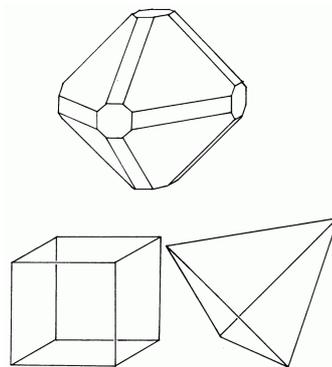
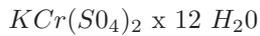


Abbildung 6: Die typische Kristallform von Kalialaun.

1. Die typische Kristallform von Kalialaun, der Oktaeder in Kombination mit dem Würfel und Rhombendodekaeder. Ähnliche Kristalle vermag auch Galenit (Bleiglanz) zu bilden, obwohl er von Kalialaun chemisch völlig verschieden ist.
2. Die zwei Kristallformen von Natriumchlorat, der Würfel und der Tetraeder.

4.2 Chromalaun

Kaliumchromsulfat-12-Hydrat



xx-System kubisch

Schmelzpunkt 89°C

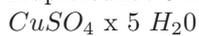
Dichte = 1.81

n = 1.4814

Chromalaun bildet, genauso wie Kalialaun, Oktaeder in Kombination mit Würfel und Rhombendodekaeder. Allerdings sind die Kristalle tief rot-violett gefärbt, im Auflicht sogar fast schwarz. Im Gegensatz zu Kalialaun haben Chromalaunkristalle noch keine technische Verwendung gefunden. Außerdem ist Chromalaun in der Natur bis jetzt noch nicht als Mineral aufgefunden worden, obwohl er als Chromsekundärmineral durchaus denkbar wäre.

4.3 Kupfervitriol

Kupfersulfat-5-Hydrat



xx-System triklin

Dichte = 2.29 doppelbrechend

Die intensiv blauen Kristalle bilden durch ihre asymmetrische Form ein Musterbeispiel für das triklin Kristallsystem. Auffällig ist die parallelogrammartige Gestalt der Kristalle. Als Chalkanthit kommt Kupfersulfat in Kupferlagerstätten als Sekundärmineral vor. Neben Kristallen vermag es dort auch stalaktitische Formen zu bilden. Während die Chalkanthite aus Deutschland kaum über Micromountqualität heraus kommen, erreichen Stufen aus dem Ausland beachtliche Größen. Die Fundorte liegen vorzugsweise in ariden d.h. trockenen Gebieten. Berühmt sind z.B. Chuquicamata (Chile), Chihuahua (Mexiko) und Rio Tinto (Spanien), über weitere Kupfersulfat-Mineralien siehe STRUNZ.

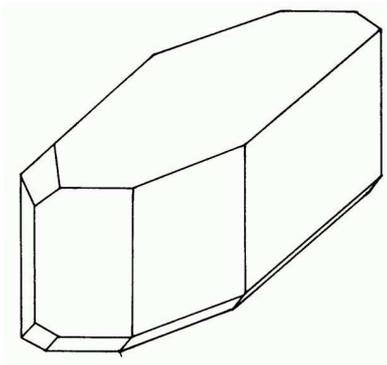


Abbildung 7: Kristallform von Kupfersulfat-5-Hydrat

4.4 Kaliumdichromat

$K_2Cr_2O_7$
xx-System triklin
Schmelzpunkt 398°C
Dichte = 2.69
 $n = 1.72; 1.74; 1.82$

Die orangeroten tafeligen Kristalle sind nicht so leicht zu züchten, wie Kristalle der vorhergegangenen Substanzen. Vor allem um große klare Kristalle zu gewinnen muß man viel Geduld aufbringen. Als Lopezit kommt Kaliumdichromat in den Salpeterlagerstätten der Atacamawüste (Chile) vor.

4.5 Cyanorubin

Kaliumhexacyanoferrat III
 $K_3(Fe(CN)_6)$
xx-System monoklin
Dichte = 1.89
 $n = 1.566; 1.569; 1.583$

Cyanorubin ist ein frei gewählter Kunstnaehae, um die umständliche chemische Bezeichnung zu vermeiden. Cyanorubin kristallisiert entweder in langen rubinroten Prismen oder in gedrungeenen manchmal aber auch in tafeligen Kristallen. Kristalle der zwei letzten Formen vor allem beim Abkühlungs und beim Übersättigungsverfahren, die Prismen bei Verdunstung. Cyanorubin und seine Lösung sind etwas lichtempfindlich.

4.6 Natriumchlorat

$NaClO_3$
xx-System kubisch
Schmelzpunkt 255°C
Dichte = 2.49
 $n = 1.5151$

Natriumchloratkristalle lassen sich ähnlich gut züchten, wie Kalialaunkristalle. Natriumchlorat kristallisiert normalerweise in Würfeln unter besonderen Umständen auch in Tetraedern. Die Kristalle sind optisch aktiv, d.h. sie drehen die Schwingungsebene des linear polarisierten Lichts. Außerdem zeigt Natriumchlorat einen geringen piezoelektrischen Effekt. Bin chemischer Verwandter von Natriumchlorat, Natriumbromat ($NaBrO_3$) kristallisiert im selben Gitter, bildet aber von vornherein tetraederförmige Kristalle aus.

4.7 Seignettesalz, Rochellesalz

Kaliumnatriumtartrat-4-Hydrat, KNT
 $KNaC_4H_4O_6 \times 4 H_2O$
xx-System rhombisch

Schmelzpunkt 55°C
Dichte = 1.766

Seignettesalz kristallisiert in dicken gedrungenen Säulen. Um fehlerfreie Kristalle zu züchten, bedarf es aber trotz des guten Kristallisationsvermögens einiger Erfahrung. KKT ist die einzige unter den aufgeführten Substanzen, die organischer Natur ist, Tartrate sind Salze der Weinsäure. Beim Schmelzpunkt zersetzt sich Seignettesalz in die normale Kristallform von Seignettesalz (Natriumtartrat-4-Hydrat und Kaliumtartrat-1/2-Hydrat). In der Schmelze scheiden sich diese Stoffe wieder als Kristalle aus. Seignettesalz wurde wegen seines starken piezoelektrischen Effekts früher in großem Maßstab von den Elektrofirmen gezüchtet. Heute ist KNT in seinem technischen Anwendungsbereich durch synthetische Quarzkristalle verdrängt worden.

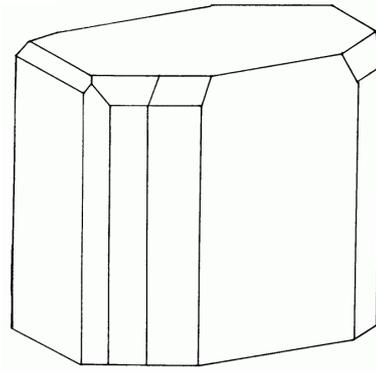


Abbildung 8: Die normale Kristallform von Seignettesalz.

4.8 Cyanotopas, Gelbes Blutlaugensalz

Kaliumhexacyanoferrat II-3-Hydrat
 $K_4(Fe(CN)_6) \times 3 H_2O$
xx-System raonoklin
Dichte = 1.85
 $n = 1.57; 1.575; 1.58$

Tabelle 3: Löslichkeit von Cyanotopas [g/100ml]

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100°C
17.6	24.8	33.5	44.6	52.2	n/a	70.0	n/a	87.9	n/a	107.9g

Herstellung der gesättigten Lösung 40g Salz auf 100ml Wasser

Cyanotopas unterscheidet sich in seinem chemischen Aufbau nur wenig von Cyanorubin. Das Salz bildet tafelige, schwefelgelbe, pseudotetragonale Kristalle, die in Form und Farbe oft an Wulfenit-Kristalle erinnern. Da Cyanotopas bei Temperaturen unterhalb von 17.7°C in eine zweite, schlecht kristallisierende Form übergeht, sind bis jetzt nur Züchtungen nach dem Abkühlungsverfahren bekannt geworden. Gelbes Blutlaugensalz lässt sich zu allen Experimenten, die mit dem Abkühlungsverfahren durchgeführt werden, ausgezeichnet verwenden. Es sind dabei keine besonderen Vorschriften zu beachten. Das Ansetzen der Lösungen geht genauso vor sich, wie bei den anderen Züchtungschemikalien. Probieren Sie auch Kombinationen von Cyanorubin und Cyanotopas.

4.9 Rohrzucker, Rübenzucker

Sacharose
 $C_{12}H_{22}O_{11}$
xx-System monoklin
Dichte = 1.5737
Schmelzpunkt ca. 180°C

Herstellung der gesättigten Lösung: 220g Zucker auf 100ml Wasser.

Lösungen von Sacharose in Wasser sind recht viskos und klebrig. Die Lösung lässt sich stark übersättigen. Man muß etwa anderthalb Wochen warten bis sich das Gleichgewicht eingestellt hat, die Lösung also gesättigt ist. Die Übersättigungsmethode (5g Zusatz pro 100ml ursprünglich vorhandenem Wasser) und das Abkühlungsverfahren (Stufen und Aggregate) lassen sich gut anwenden. Die Entfernung der Lösung von den Kristallflächen ist etwas problematisch. Rohrzuckerkristalle zeigen die interessante Eigenschaft der Triboluminiszenz. Zerschlägt man große Kristalle, am besten fertig gekauften weißen Kandiszucker, kann man in einem absolut dunklen Raum beobachten, daß die Bruchflächen schwach aufleuchten. Eng verwandt mit der Triboluminiszenz ist die Kristalloluminiszenz. Bestimmte Stoffe z.B. Arsensäure leuchten beim Auskristallisieren schwach auf.

4.10 Halit, Steinsalz, Kochsalz

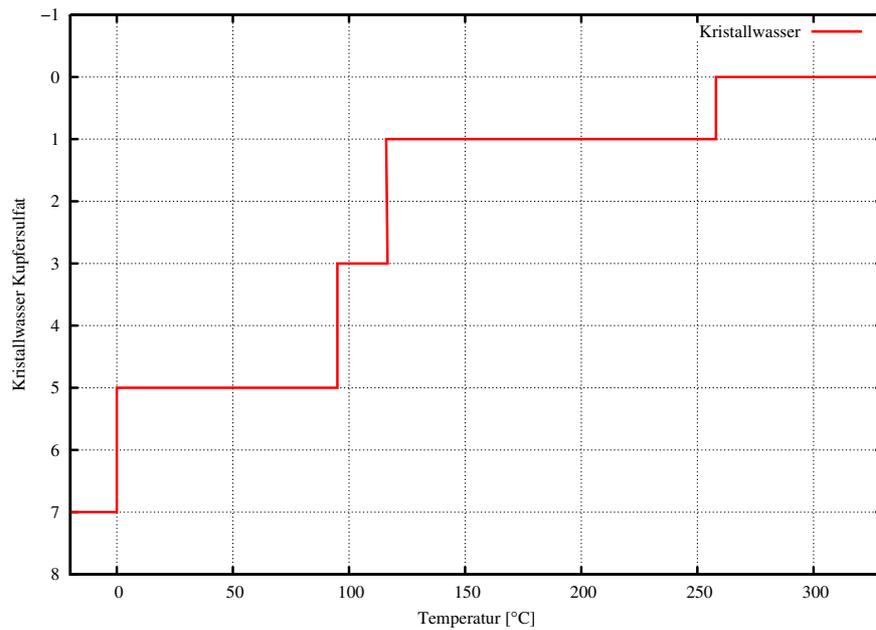
Natriumchlorid
NaCl
xx-System kubisch
Dichte = 2.163
Schmelzpunkt 800°C
 $n = 1.5443$

Herstellung der gesättigten Lösung: Auflösen von Kochsalz in kochendem Wasser unter ständigem Rühren 40g auf 100ml Wasser.

Natriumchlorid eignet sich nur für das Verdunstungsverfahren, man erhält dabei trübe Würfel. Um klare Kristalle zu erhalten muß man der Lösung Schwefelsäure oder Bleinitrat zusetzen. Unter Einfluß von Harnstoff bildet Natriumchlorid auch Oktaeder. Natriumchloridkristalle die aus der Schmelze gewonnen wurden werden zu Linsen und Prismen für optische Spezialzwecke

4.11 Hydrate

Bis jetzt wurden in diesem Heft zwei Typen von Züchtungssubstanzen vorgestellt, kristallwasserfreie, wie z.B. Cyanorubin und Natriumchlorat, und kristallwasserhaltige, wie z.B. Kupfersulfat-5-Hydrat oder Kalialaun (Kaliumaluminiumsulfat-12-Hydrat). Die kristallwasserhaltigen Substanzen, auch Salzhydrate genannt, leiten sich von kristallwasserfreien Stoffen, den wasserfreien Salzen, ab. Diese werden, wie schon auf den Seiten 7 und 8 beschrieben, beim Lösen in Wasser in Ionen aufgespalten und diese wiederum von Wassermolekülen umhüllt. Einige dieser Wassermoleküle werden beim Zusammentritt der Ionen zu einem Kristallgitter mit in den Kristall eingebaut und bilden einen festen und wichtigen Bestandteil des selben. Bemerkenswert ist, daß das Verhältniss von kristallwasserfreier Substanz und Kristallwasser in einem Hydratkristall genau festgelegt ist und nur unter Zerstörung des Kristallgitters, was zum "Verwittern" eines Hydratkristalls führt, verändert, werden kann. Das Verhältniss von Kristallwasser und



4.11.1 NICKELSULFAT-7-HYDRAT

$NiSO_4 \times 7 H_2O$
 x-System rhombisch
 a,b,c: 11.8, 12.0, 6.81
 Dichte: 1.984
 n = 1.4893

Smaragdgrüne, länglich-prismatische Kristalle, die in der Natur als Mineral Morenosit gefunden werden können. Geht bei 29.1°C über in alpha-NICKELSULFAT-6-HYDRAT.

4.11.2 alpha-NICKELSULFAT-6-HYDRAT

$NiSO_4 \times 6 H_2O$
 x-System tetragonal
 a,c: 6.79, 18.28
 Dichte: 2.07
 Härte: 2.5
 n = 1.487, 1.511

Blaugrüne gedrungene Kristalle, die als Mineral Retgersit in der Natur vorkommen. Das alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat geht bei 60.3°C über in beta-NICKELSULFAT-6-HYDRAT.

4.11.3 beta-NICKELSULFAT-6-HYDRAT

$NiSO_4 \times 6 H_2O$
 x-System monoklin

a,b,c: 9-84, 7.17, 24.0

β : 97°30'

Dichte: 2.08

Blaugrüne bis apfelgrüne Kristalle. Ebenfalls als natürliches Mineral unter dem Namen Nickelhexahydrat bekannt.

Ein Nickelsulfat-1-Hydrat ist oberhalb von 84.8°C beständig. Das wasserfreie Nickelsulfat kristallisiert rhombisch und hat eine gelbgrüne Farbe (a,b,c: 6.338, 7-842, 5-155, Dichte: 3-68). Nickelsulfat-7-Hydrat und alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat sind beide piezoelektrisch, alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat ist optisch aktiv, der spezifische Drehwinkel ist aber sehr klein.

Retgersit und Nickelhexahydrat sind zwei verschiedene Modifikationen eines Hydrats, nämlich Nickelsulfat-6-Hydrat. Die Kristalle sind in ihrer chemischen Zusammensetzung gleich und unterscheiden sich nur durch ihren kristallographischen Aufbau und die dadurch bedingten physikalischen Eigenschaften. Die Existenz mehrerer Modifikationen bei einem Element, wie z.B. Kohlenstoff (Diamant und Graphit) oder Schwefel (alpha-, beta-, gamma- usw. Schwefel) wird als Allotropie bezeichnet, während man bei chemischen Verbindungen wie Nickelsulfat-6-Hydrat von Polymorphie spricht. Beim vorliegenden Fall handelt es sich um eine Dimorphie (zu Deutsch: Zweigestaltigkeit). Bei der Erstellung einer Löslichkeitstabelle für Nickelsulfat scheint es wenig sinnvoll die Angaben auf die kristallwasserhaltige Substanz zu beziehen, da sich ja der Kristallwassergehalt laufend ändert, wenn die Tabelle einen Temperaturbereich von 0-100°C umfassen soll. Man geht daher von kristallwasserfreiem Nickelsulfat aus.

Tabelle 4: Löslichkeitstabelle für Nickelsulfat [g/100ml]

				UP.		UP.		UP.		
	0	10	20	29.1	40	60.3	70	84.8	100	°C
a)	27.2	32.0	37.8	43.7	50.4	n/a	n/a	n/a	n/a	g
b)	n/a	n/a	40.0	43.7	47.6	57.0	n/a	n/a	n/a	g
c)	n/a	n/a	44.4	n/a	49.1	57.0	60.2	69.4	n/a	g
d)	n/a	69.4	77.9	g						

- a) für Nickelsulfat-7-Hydrat als Bodenkörper
- b) für alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat als Bodenkörper
- c) für beta-Nickelsulfat-6-Hydrat als Bodenkörper
- d) für Nickelsulfat-1-Hydrat als Bodenkörper

Wenn man jedoch verschiedene Tabellen und jeweils nur für den Existenzbereich eines Hydrates aufstellt, kann man seine Löslichkeitsangaben auch auf die kristallwasserhaltige Substanz beziehen.

Tabelle 5: Löslichkeit von Nickelsulfat-7-Hydrat [g/100ml]

0	10	20	29.1	40	°C
63.5	78.6	99.2	123.2	155-2	g

Tabelle 6: Löslichkeit von alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat [g/100ml]

20	29.1	40	60.3	°C
94.3	106.8	121.1	160.8	g

Bei der Betrachtung des Löslichkeitsdiagramms und der Löslichkeitstabelle A fällt auf, daß bei einer Temperatur unterschiedliche Löslichkeiten für verschiedene Hydrate angegeben sind; sogar für solche, die

Tabelle 7: Löslichkeit von beta-Nickelsulfat-6-Hydret [g/100ml]

20	40	60.3	70	84.8	°C
109.3	126.9	160.8	176.4	228.7	g

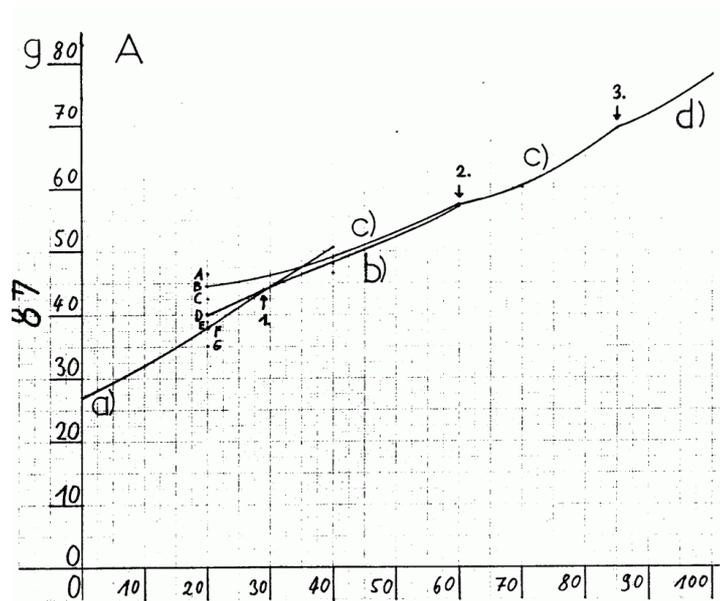


Abbildung 9: löslichkeit von Nickelsulfat ohne Berücksichtigung des Kristallwassergehalts.

- a) Nickelsulfat-7-Hydrat als Bodenkörper
- b) alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat als Bodenkörper
- c) beta-Nickelsulfat-6-Hydrat als Bodenkörper
- d) Nickelsulfat-1-Hydrat als Bodenkörper
- 1) Umwandlung von Morenosit in Retgersit bei 29.1°C
- 2) Umwandlung von Retgersit in Nickelhexahydrat bei 60.3°C
- 3) Umwandlung von Nickelhexahydrat in Nickelsulfat-1-Hydrat bei 84.8°C

bei dieser Temperatur garnicht mehr existieren dürften, wie zum Beispiel bei beta-Nickelsulfat-6-Hydrat, für das eine Löslichkeit bei 20°C angegeben ist, obwohl es sich unter normalen Umständen bereits bei 60.3°C in die alpha-Form umwandeln müsste. Trotzdem lässt sich auch bei Temperaturen weit unterhalb des Umwandlungspunktes Nickelhexahydrat aus der wässrigen Lösung abscheiden, wenn man Keime von Morenosit oder Retgersit sorgfältig ausschließt und für eine entsprechende Übersättigung sorgt. Kan spricht hier auch von einem metastabilen Existenzbereich.

Punkt A im Löslichkeitsdiagramm A kennzeichnet eine Nickelsulfatlösung die bei 20°C bezüglich beta-Nickelsulfat-6-Hydrat übersättigt ist und natürlich auch, aber wesentlich stärker, bezüglich alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat und Nickelsulfat-7-Hydrat. Hängt man nun in diese Lösung einen Nickelhexahydratkeim wächst dieser, bis Punkt B erreicht ist, also eine bei 20°C bezüglich Nickelhexahydrat gesättigte Lösung. Diese ist aber nun immer noch bezüglich Retgersit übersättigt. Ein in die Lösung eingehängter Retgersitkeim wächst und der durch die gleichzeitige Anwesenheit eines bei dieser Temperatur stabileren Nickelsulfats instabil gewordene Nickelhexahydratkristall löst sich zu Gunsten des Retgersitkeims auf. Hat man auf diese Weise schließlich Punkt D erreicht, also die bezüglich Retgersit gesättigte Lösung, kann man das Spiel wiederholen indem man nun einen Morenositkeim einhängt. Dieser wächst, die Lösung ist ja immer noch bezüglich Morenosit übersättigt, und zum Teil auf Kosten des nun durch die Anwesenheit des noch stabileren Morenosits instabil gewordenen Retgersitkristalls, wodurch schließlich Punkt F erreicht wird, die endgültig stabile bezüglich Morenosit bei 20°C gesättigte wässrige Lösung.

Natürlich hätte man auch gleich bei Punkt A einen Morenositkeim einhängen können, dieser wäre dann in einem Fort gewachsen bis Punkt F erreicht worden wäre, ohne daß sich Keime von Retgersit oder gar Nickelhexahydrat gebildet hätten. Bedingt durch die hohe Übersättigung und die damit verbundene große Wachstumsgeschwindigkeit hätte man stark vergrößerte Morenositkristalle oder gar Skelettkristallbildungen erhalten.

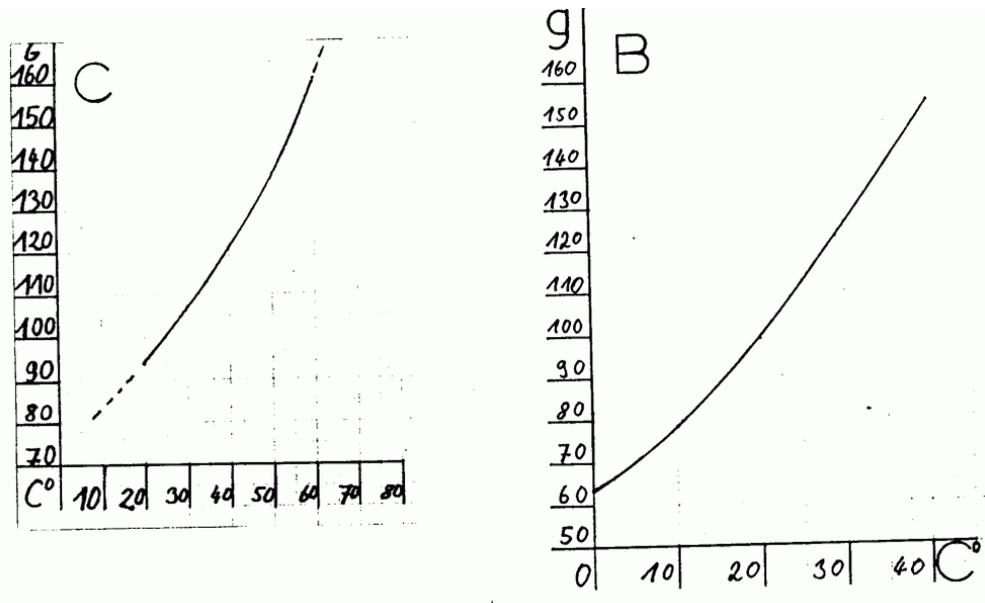


Abbildung 10: Löslichkeit von Morenosit/Retgersit

- B) Löslichkeit von Nickelsulfat-7-Hydrat (Morenosit)
- C) Löslichkeit von alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat (Retgersit)

Wie aus dem oben gesagten hervorgeht kann eine Nickelsulfatlösung bei 20°C insgesamt 7 unterschiedliche Zustände aufweisen, die in der folgenden Tabelle zusammengefaßt sind.

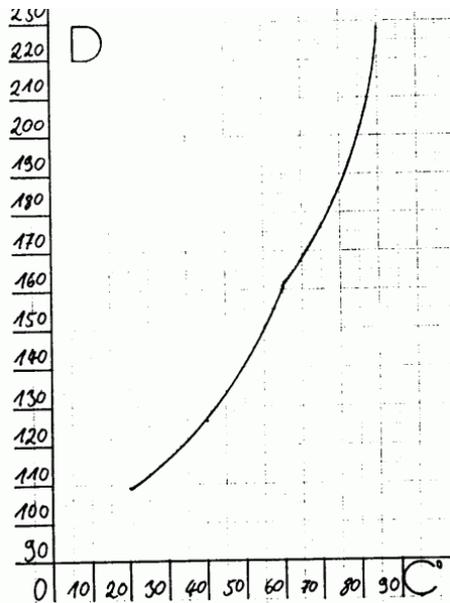


Abbildung 11: Löslichkeit von Nickelhexahydrat

D) Löslichkeit von beta-Nickelsulfat-6-Hydrat (Nickelhexahydrat)

Tabelle 8: Zustandstabelle für eine Nickelsulfatlösung bei 20°C

bezüglich bei Punkt	Nickelhexahydrat	Retgersit	Morenosit
A	übersättigt	übersättigt	übersättigt
B	gesättigt	übersättigt	übersättigt
C	untersättigt	übersättigt	übersättigt
D	untersättigt	gesättigt	übersättigt
E	“	untersättigt	übersättigt
F	“	“	gesättigt
G	“	“	untersättigt

Aufgabe: Suchen Sie im Löslichkeitsdiagramm A den Bereich der eine bezüglich Retgersit übersättigte und bezüglich Morenosit untersättigte Nickelsulfatlösung kennzeichnet!

4.11.4 Züchtung der verschiedenen Nickelsulfathydrate

Als Ausgangsbasis für alle Versuche zur Züchtung der Nickelsulfathydrate hat sich eine bei Arbeitstemperatur bezüglich des 7-Hydrates gesättigte wässrige Lösung bewährt. Zur Herstellung der selben gibt man zu je 100ml Wasser 135g Nickelsulfat-7-Hydrat (Empfehlenswerte Menge 600ml Wasser und 810g Nickelsulfat-7-Hydrat). Das käufliche Nickelsulfat ist im Allgemeinen ein Gemisch aus dem 7-Hydrat und dem 6-Hydrat. Die daraus resultierende Fehlmenge an Nickelsulfat stört normalerweise nicht. Bei den Zusatzmengen für die Übersättigungsmethode sollte man allerdings die reinen frischen Hydrate verwenden, wie man sie bei der Herstellung der gesättigten Lösung leicht erhalten kann.

Bei der weiteren Herstellung der gesättigten Lösung verfährt man wie üblich. Es wird auf mindestens 60°C erhitzt, filtriert und langsam abgekühlt. Die Abkühlung der Lösung wird zweckmäßigerweise mit dem Thermometer kontrolliert. Hat man oberhalb von 30°C die Lösung schon einmal gerührt findet man unter Umständen die blaugrünen, gedrungenen Kristalle von Retgersit als Bodenkörper vor. Die Lösung wird nun in ein anderes Gefäß umfiltriert. Die Retgersitkristalle können nun entnommen und abgetrocknet werden, die gut ausgebildeten Exemplare werden in einem besonderen Behältnis als Impflinge aufbewahrt, den Rest kann man als Nährsubstanz für weitere Züchtungsversuche verwenden. Das "Ernten" der Retgersitkristalle sollte man durchführen wenn die Temperatur der Lösung auf etwa 30°C gesunken ist.

Die umfiltrierte Lösung belässt man noch ein paar Tage in Ruhe, als Bodenkörper haben sich nun die smaragdgrünen länglichen Kristalle von Morenosit abgeschieden. Wiederum kann man jetzt die gut ausgebildeten Kristalle als Impflinge herauslesen. Der Rest wird wieder als Nährsubstanz aufbewahrt. Morenosit wandelt sich an trockener Luft leicht in Retgersit um und zerfällt dabei. Er muß deshalb in dichtschießenden Behältern aufbewahrt werden, wobei man zur Vorsicht noch einen feuchten Wattebausch dazu tun kann.

Zur Züchtung von Kristallen nach dem Übersättigungsverfahren wird, wenn man Morenosit erhalten will, die nach obiger Anweisung hergestellte Stammlösung mit 7g Nickelsulfat-7-Hydrat (6g 6-Hydrat) pro 100ml Wasser übersättigt, bei Verwendung der empfohlenen Menge Lösung wären das etwa 40g Nickelsulfat-7-Hydrat. Als Impfling wird natürlich ein 7-Hydratkristall, also Morenosit, benötigt. Will man Retgersitkristalle züchten muß man die Stammlösung wesentlich stärker übersättigen und zwar mit 18g Nickelsulfat-7-Hydrat (15g 6-Hydrat) pro 100ml Wasser. Als Impfling wird diesmal natürlich ein Retgersitkristall verwendet. Wenn dieser ausgewachsen ist, kann man die Lösung getrost zur Züchtung eines 7-Hydratkristalls weiterverwenden, denn bezüglich Morenosit ist sie ja noch immer übersättigt. Geimpft wird bei der Züchtung von Morenosit und Retgersit 2-3°C oberhalb der Arbeitstemperatur.

Um Misserfolge zu vermeiden, muß man sehr sorgfältig und sauber arbeiten, sonst kann es passieren, daß das falsche Hydrat auskristallisiert. Zur Sicherheit kann man z.B. die heiße, schon mit der Zusatzmenge versehene Stammlösung nach dem vorgeschriebenen ersten Filtern noch einmal um 10-20°C erwärmen und dann noch einmal filtern.

Durch Verdunstung des Lösungsmittels lässt sich Morenosit recht einfach und mit gutem Erfolg nach den schon im allgemeinen Teil beschriebenen Methoden züchten. Bei Retgersit dagegen stößt man begreiflicherweise auf einige Schwierigkeiten, da man nur selten Arbeitstemperaturen oberhalb von 30°C zur Verfügung hat, wie sie sich mit einem, allerdings teuren, Badthermostaten erhalten lassen. Nur oberhalb von 29.1°C ist ja Retgersit in der wässrigen Lösung beständig. Bei der Züchtung durch Übersättigung konnte man auch unterhalb dieser Temperatur, also im metastabilen Existenzbereich arbeiten, da in das praktisch abgeschlossene Gefäß keine störenden Keime von Morenosit dringen konnten. Bei der Verdunstungszüchtung werden aber immer neue Keime eingeschleppt, die die Lösung ins Ungleichgewicht

bringen.

Durch einen Trick kann man aber den Umwandlungspunkt von Retgersit bis unterhalb der normalen Arbeitstemperatur von etwa 20°C senken. Anstatt Wasser benutzt man 20-30% Schwefelsäure. Der Gehalt an größeren Mengen von fremden Stoffen (hier Schwefelsäure) in der Lösung vermag den Umwandlungspunkt von Hydraten zu senken, ähnlich wie durch Zusatz von Streusalz der Schmelzpunkt von Eis erniedrigt wird. Die benötigte Säure ist als Akkusäure o.a. leicht erhältlich und löst etwa halb so viel Nickelsulfat wie die entsprechende Wassermenge. Zur Züchtung von Retgersit durch Verdunstung kann man eine solche Lösung in 20-30% Schwefelsäure hervorragend verwenden. Das verdunstende Wasser wird durch reine wässrige gesättigte Nickelsulfatlösung ersetzt. Allerdings Vorsicht beim Umgang mit der ätzenden giftigen Säurelösung!

Will man Stufen von Morenosit nach der Abkühlungsmethode züchten, hat man normalerweise nur das schmale Temperaturintervall zwischen 20 und 30°C zur Verfügung in dem man laut Löslichkeitstabelle nur etwa 20g Morenosit pro 100ml Wasser abscheiden kann. Erweitert man den Temperaturbereich nach unten, indem man das Züchtungsgefäß samt Wärmeballast und Isolierung in den Kühlschrank (5°C) stellt, kann man etwa 40-50g Morenosit pro 100ml auskristallisieren lassen, was zur Züchtung von guten Stufen gerade ausreicht.

Der bei Raumtemperatur (ca. 20°C) gesättigten Lösung wird 20g Nickelsulfat-7-Hydrat pro 100ml Wasser hinzu gefügt und auf 30°C erwärmt (es schadet nichts wenn noch ein geringer Rest 7-Hydrat ungelöst bleibt). Diese Temperatur sollte der Wärmeballast ebenfalls aufweisen. Wenn man gut isoliert dauert es bis zu 72h, bis die Lösung im Kühlschrank auf 5°C abgekühlt ist. Im Winter kann man das Ganze auch im Freien abkühlen lassen.

Stufen von Retgersit züchtet man aus der schwefelsauren Lösung im Temperaturbereich zwischen 20 und 60°C. Zu je 100g der Säure gibt man 80-100g Nickelsulfat-7-Hydrat oder 6-Hydrat und erhitzt bis 60°C, das Gleiche gilt für den Wärmeballast.

Vor unliebsamen Überraschungen, nämlich, daß das falsche Hydrat auskristallisiert oder sich gar beide Hydrate gleichzeitig abscheiden, ist man bei Anwendung der Abkühlungsmethode niemals ganz sicher. Stufen von zwei verschiedenen Hydraten gleichzeitig zerfallen meist in kurzer Zeit.

Kristalle des beta-Nickelsulfat-6-Hydrats, also solche von Nickel-hexahydrat, lassen sich erhalten, wenn man zu je 100ml Wasser 285g Nickelsulfat-7-Hydrat gibt, aufkocht und unbedeckt abkühlen lässt, eventuell unter Verwendung eines Wärmeballasts. Ab etwa 80°C beginnt die Kristallbildung, wenn 65°C erreicht sind gießt man die überstehende Lösung ab und findet Nickelhexahydratkristalle als Bodenkörper vor.

Um Nickelhexahydrat mit Hilfe der Übersättigungsmethode zu züchten, übersättigt man die Stammlösung mit 40g Nickelsulfat-7-Hydrat pro 100ml Wasser (man sollte nur die Hälfte der sonst empfohlenen Menge Lösung einsetzen), erhitzt nun auf mindestens 80°C, filtriert und erhitzt nochmals, filtriert ein zweites Mal in absolut sauberes Gefäß und lässt schließlich im z.B. mit Frischhaltefolie bedeckten Gefäß abkühlen. Geimpft wird bei 5°C oberhalb der Arbeitstemperatur mit einem möglichst frisch hergestellten Keimling. Auf das einbinden des Keimlings in den Haltefaden kann verzichtet werden, um das Einschleppen von unerwünschten Keimen zu vermeiden, vielmehr sollte man den Keimling nur mit einer heiß abgewaschenen Pinzette anfassen. Nur mit sorgfältiger Arbeit und einer guten Portion Glück lassen sich auf diese Weise Nickelhexahydratkristalle gewinnen. Einfacher und sicherer ist da natürlich die Verdunstungsmethode, man benötigt jedoch einen Thermostaten der die Lösung ständig bei etwa 65 °C hält, damit sie bei dieser Temperatur langsam eindunsten kann.

Tips zur Aufbewahrung Morenosit verwittert an trockener Luft sehr leicht zu Retgersit. Zum Schutz solcher empfindlicher Kristalle verwendet man eine Mischung aus einem Teil Spannlack und vier Teilen Nitroverdünnung, in die die Kristalle eingetaucht werden. Diese Lackierung empfiehlt sich auch für reine Chromalaun- sowie für Seignettesalz- und Natriumchlorat-Kristalle. Nickelhexahydrat muß sehr sorgfältig geschützt werden, insbesondere darf er nicht mit Retgersit in Kontakt kommen.



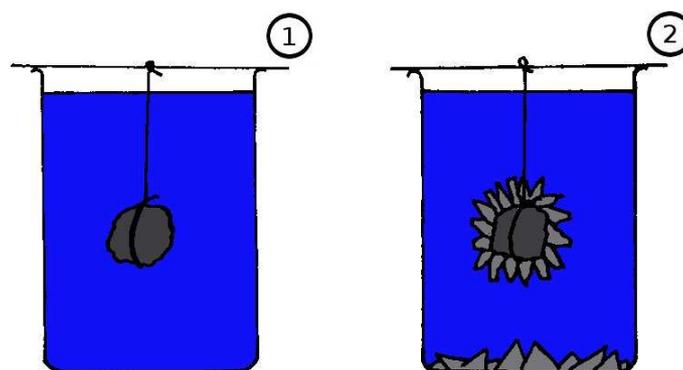
Abbildung 12: Morenosit xx nach Goldschmidt's Atlas der Kristallformen. Der untere Teil fehlt.

5 Experimente zum Kristallwachstum

5.1 Echte kristenographische Zwillinge

Echte kristenographische Zwillinge, also gesetzmäßig verwachsene Kristalle, wird man kaum als Impflinge aufzutreiben können, wohl aber regellos verwachsene Kristallaggregate erhält man

1. Aggregate nach dem Verdunstungsverfahren man statt eines Einzelkristalls ein verwachsenes Stück des Bodensatzes als Impfling benutzt. Gut geeignet dazu sind Kupfersulfat und Cyanorubin die sehr zur Bildung von Aggregaten neigen. Am besten sammelt man immer wieder als Keimlinge geeignete Stücke aus dem Bodenkörper.
2. Hübsche radialstrahlige Aggregate erhält man nach dem Abkühlungsverfahren indem man einen kleinen rundlichen Stein in die heiße Lösung einhängt. Gut geeignet sind Cyanorubin, Kupfersulfat, Kalialaun und Chromalaun. Der Steinkern ist nachher unsichtbar. Man kann auch das Verdunstungsverfahren anwenden, was aber mehr Zeit beansprucht .



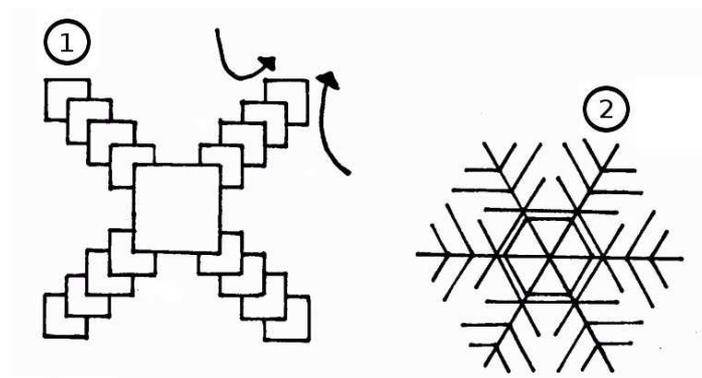
5.2 Kristallstufen durch Verdunstung

Einfache Stücke erhält man indem man in die Lösung einen Matrixstein einlegt und solange wartet bis genügend große Kristalle auf dem Stein aufgewachsen sind. Leider kann man dabei die Orientierung und Position der Kristalle nicht im Voraus bestimmen, kittet man aber geeignete Impflinge mit Gips auf den

Matrizstein ist dieses Übel behoben. Gut geeignet sind Cyanorubin und Kupfersulfat. Verfügt man über thermostatische Einrichtungen kann man durch höhere Temperaturen der Lösungen die Verdunstungs- und damit auch die Wachstumsgeschwindigkeit steigern. Mit etwas Phantasie kann man auf die gezeigte Weise aussergewöhnliche Stücke erhalten.

5.3 Skelettwachstum

Skelettkristalle entstehen bei sehr schnellem Wachstum. Die Anlagerung von Kristallsubstanz erfolgt naturgemäß verstärkt an den Ecken und Kanten. Kommen die Flächen beim Wachstum nicht mehr mit, stehen Ecken und Kanten hervor und behindern die Zufuhr von Kristallsubstanz zu den Flächenmitten, während die exponierten Ecken und Kanten um so bessere Wachstumsbedingungen erhalten. Ein Prozess der sich selbst verstärkt. Skelettkristalle können auf alle drei Arten des Kristallwachstums entstehen. Aus der Schmelze kennt man z.B. die synthetischen Wismutkristalle, wie sie auf Börsen angeboten werden. Schneekristalle liefern ein Musterbeispiel aus der Gasphase; rezente Kochsalzkristalle und Fensterquarz, Beispiele für die Kristallisation aus der Lösung. Auch Dendriten sind eine Art des Skelettwachstums. Im Experiment kann man solche Kristalle erhalten wenn man beim Übersättigungsverfahren die angegebene Zusatzmenge verdoppelt oder verdreifacht. Gut geeignete Substanzen sind Kalialaun, Chromalaun, Natriumchlorat und Seignettesalz.



1. Mechanismus des Skelettwachstums. Die Strömungen in der Lösung versorgen nur die exponierten Ecken und Kanten mit Substanz.
2. Schneekristall als Musterbeispiel für das Skelettwachstum.

5.4 Färbung von Kristallen

Viele, an sich farblose Kristalle, erscheinen farbig, wenn sie Verunreinigungen aus der Lösung aufnehmen. Die Natur liefert hierfür viele Beispiele: farbloser Korund wird durch geringe Chrommengen zu Rubin, Quarz durch Beimengungen von Mangan zu Amethyst.

Ebenso kann man durch Zusatz einiger Stoffe zu den Lösungen auch Zuchtkristalle färben. Ein Beispiel: gibt man zu einer Kalialaunlösung einen Esslöffel Kaliumdichromat erhält man eine gelbe Lösung aus der sich dann nach der Abkühlungsmethode gelbe Kalialaunkristalle gewinnen lassen. Andere stark färbende Substanzen, vor allem wasserlösliche organische Farbstoffe, lassen sich genauso verwenden, wie z.B. Malachitgrün, Fuchsin, Methylviolett, Rhodamin B (orange/pink fluoreszierend), Methylenblau. Von diesen Stoffen reicht bereits eine Messerspitze um 1l Lösung zu färben. Man kann sie in der Apotheke erhalten. Besonders Kalialaun ist für Färbungsversuche geeignet. Kupfersulfat kann man durch Methylenblau eine

Farbvertiefung erteilen, von Natur aus farbige Kristalle lassen sich aber kaum in der Farbe ändern. Die Ursache der Färbung der Zuchtkristalle ist noch nicht ganz geklärt, beruht aber wahrscheinlich darauf, daß bei der Züchtung nach dem Abkühlungsverfahren farbige Lösungströpfchen in den Kristall eingeschlossen werden.

5.5 Mischkristalle

Bei manchen Substanzen können in den Kristallgittern Atome oder Atomgruppen durch andere ähnliche Atome oder Atomgruppen ersetzt werden. Oft können solche Atome nur zu einem bestimmten Teil in das Gitter eingebaut werden, es gibt aber auch Fälle in denen unbegrenzte Mischbarkeit vorliegt. Manchmal wachsen sogar Kristalle der einen Substanz in der Lösung der anderen weiter. Man spricht dann von Isomorphie. Bei den Alaunen lassen sich diese Erscheinungen besonders gut beobachten. Die Alaune haben einen ganz bestimmten Bauplan der aus der allgemeinen chemischen Formel erkenntlich wird. Diese lautet $XY(SO_4)_2 \times 12 H_2O$. X kann im Kristallgitter durch Ionen von Natrium, Kalium, Rubidium, Cäsium und Thallium sowie durch das Ammoniumradikal NH_4^+ vertreten werden, Y durch Ionen der Metalle Aluminium, Gallium, Indium, Eisen, Titan, Chrom, Scandium, Vanadium, Kobalt, Mangan, Rhodium, Iridium. Man kann also 72 verschiedene Alaune herstellen die nur 2 Metalle enthalten. Beispiele wären Kaliumaluminiumalaun und Kaliumchromalaun, Ammoniumaluminiumalaun, Ammoniumeisenalaun usw. Zur Zeit wird erforscht ob sich auch die SO_4^{2-} Gruppe durch andere Gruppen wie CrO_4^{2-} (Chromat) oder $CuCl_4^{2-}$ (Chlorocuprat) ersetzen lässt. Bereits bekannt sind Alaune die anstatt der Sulfat- die Chlorozinkatgruppe $ZnCl_4^{2-}$ enthalten.

Für eigene Experimente versetzt man eine Kalialaunlösung mit soviel Chromalaunlösung, so daß man sie gerade von hinten durchleuchten kann. Diese Lösung lässt sich in allen drei Verfahren anwenden. Als Keime benutzt man Kali- oder Chromalaunkristalle. Je nach Chromalaunmenge erhält man zartrosa bis tiefviolette Kristalle. Impft man beim Verdunstungs- oder Übersättigungsverfahren eine Kalialaunlösung mit einem Chromalaunkristall, erhält man einen durchsichtigen Oktaeder von Kalialaun der in seinem Innern einen solchen von Chromalaun enthält. Reine Chromalaunkristalle lassen sich so durch Überwachsen mit ein paar mm Kalialaun vor der Verwitterung schützen.

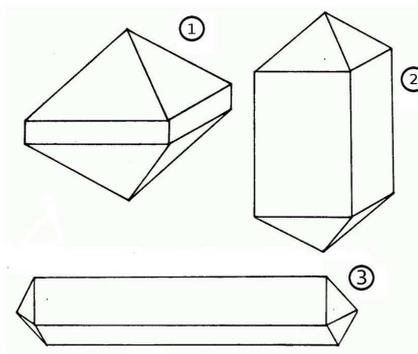
5.6 Tracht und Habitus

Viele Mineralien bilden die unterschiedlichsten Kristallformen aus, so kennt man von Calcit mehrere hundert verschiedene, auch Fluorit zeigt viele Formen, wie z.B. Würfel, Oktaeder, Hexakisoktaeder usw. Diese Kristallformen, die die Tracht des Kristalls darstellen, können aber wieder verschiedenen Habitus aufweisen, je nach dem ob nlattige, gedrungene oder langstenglige Kristalle vorliegen. Die Kristallform also die typischen Kristallflächen bleiben erhalten.

Beispiele: Kalialaun erhält man oft in Form von Würfeln wenn die Lösung mit Kaliumhydroxid alkalisch gemacht wurde. Auf jeden Fall sind die Kristalle sehr flächenreich. Gibt man zu je 100ml gesättigter Natriumchloratlösung 3g Borax erhält man Natriumchlorattetraeder. Bei weniger Boraxzusatz entstehen Kombinationen von Würfel und Tetraeder. Gibt man zu 1000ml Seignettesalzlösung 1-2g Kupfersulfat erhält man daraus lange dünnprismatische Kristalle die aber die gleiche Tracht wie die normalen Seignettesalzkristalle aufweisen. Setzt man dieser Lösung auf 1000ml noch 2g Natrium- oder Kaliumhydroxid zu erhält man flache Platten. Kupfersulfat bildet sattelförmig gekrümmte Flächen aus, wenn in der Lösung Schwefelsäure zugegen ist.

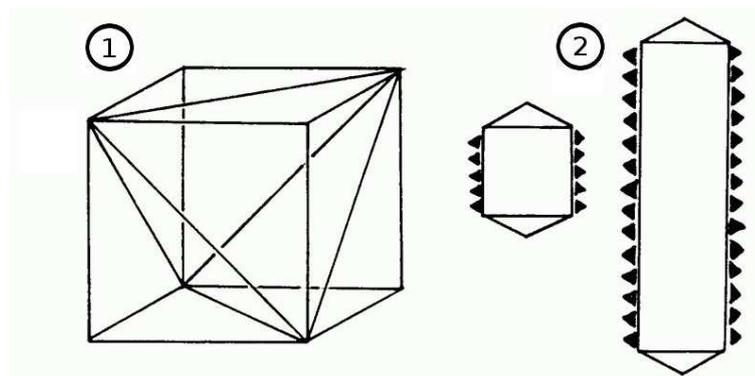
Die Kristalle von Cyanorubin werden durch Kupfersulfat beeinflusst. Die Rezepte sind vor allem für das Übersättigungsverfahren gedacht, aber auch das Abkühlungsverfahren ist anwendbar.

Es empfiehlt sich die so bereiteten Lösungen öfters zu filtrieren, da sie manchmal Zersetzungsprodukte



1. plattiger, dünntafeliger
2. gedrungener
3. dünnstengelig Habitus einer einfachen Kristallform aus dem tetragonalen System

abscheiden. Dem Mechanismus der Tracht und Habitusbeeinflussung kommt man auf die Spur wenn man sich die modifizierten Seignettesalzkristalle Renauer ansieht. Manche der Flächen zeigen einen bläulichen Schimmer durch die Anlagerung von Kupferionen. Es sind genau die



1. Die Entstehung des Tetraeders aus dem Würfel bei Natriumchlorat
2. Mechanismus der Tracht und Habitusbeeinflussung. Die angelagerten Fremdionen sind durch kleine Dreiecke dargestellt.

Flächen an denen eine Anlagerung von Kristallsubstanz verhindert werden muß, damit der gewünschte Habitus auftritt. Warum aber die Kupferionen gerade diese Flächen bevorzugen und keine anderen, warum sie ihre Bevorzugung bei Zusatz von Natriumhydroxid ändern, ist noch weitgehend ungeklärt. Durch ähnliche Mechanismen erklärt sich auch die Trachtbeeinflussung. Viele Lösungsgenossen die Tracht bzw. Habitus beeinflussen beschreibt BUCKLEY in CRYSTAL GROWTH.

5.7 Stufen mit mehreren Sorten von Kristallen

Viele Mineraliensammler achten bei ihren Stufen darauf, daß sie Begleitminerale aufweisen. Diese Begleiter, die Paragneee, lassen nicht nur Rückschlüsse auf die Entstehung der Mineralstufen zu, sondern machen oft gerade ihren ästhetischen Reiz aus. Um derartige Zuchtkristallstufen herzustellen braucht man zunächst einen Stammlösung die in Bezug auf beide Substanzen gesättigt ist. Man wendet dabei

wieder die Rezepte auf Seite 4. Um eine bezüglich Kalialaun und Kaliumdichromat gesättigte Lösung herzustellen, gibt man zu je 100ml Wasser 20g Kalialaun und 20g Kaliumdichromat. Wählt man die Zusatzmengen beim Abkühlungsverfahren unter Beachtung der Löslichkeitstabelle, so daß Kaliumdichromat zuerst auszukristallisieren beginnt, erhält man gelbe Kalialaunkristalle, die auf einem Rasen von kleinen orangeroten Kaliumdichromatkristallen aufgewachsen sind. Umgekehrt erhält man Kaliumdichromatkristalle die auf Kalialaunkristallen aufsitzen oder gar darin eingewachsen sind. Weitere gut geeignete Paare sind Kalialaun mit Kupfersulfat, Mischkristalle von Kali- und Chromalaun mit Kupfersulfat, Kalialaun und Cyanorubin.

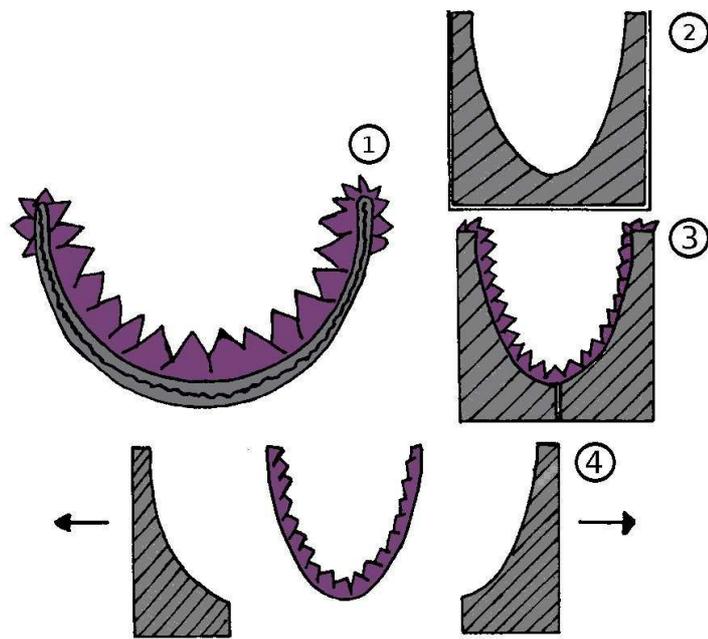
Beim ausprobieren von neuen Zusammenstellungen ist man nicht immer vor Überraschungen sicher. So wollte ein Experimentator Natriurachlorat- und Kaliumdichromatkristalle auf einer Stufe züchten. Er erhielt aber nur dünne parallelogrammartige orangefarbige Blättchen, die ziemlich empfindlich waren, ohne daß jedoch Kaliumdichromatkristalle aufzufinden waren. Schließlich stellte sich heraus das es sich bei den Blättchen um Kaliumchloratkristalle handelte. Kaliumchlorat entstand gleichzeitig mit Natriumdichromat durch eine chemische Reaktion zwischen Natriumchlorat und Kaliumdichromat. Das sehr leicht in Wasser lösliche Natriumdichromat blieb gelöst, während das in der Kälte nur schlecht lösliche Kaliumchlorat auskristallisierte, dem obendrein durch das $Cr_2O_7^{2-}$ Ion eine Trachtbeeinflussung sowie die orange Farbe erteilt wurde.

Man kann die bei der Herstellung der gesättigten Lösungen im Bodenkörper anfallenden Verwachsungen als Impflinge zur Gewinnung von Kristallaggregaten mit mehreren Sorten von Kristallen verwenden. Will man mit der Übersättigungsraethode arbeiten muß man natürlich bezüglich beider Substanzen übersättigen. Selbstverständlich ist auch das Verdunstungsverfahren anwendbar.

5.8 Drusen

Einfache drusenartige Stufen erhält man, wenn man eine leere Druse als Matrixstein benutzt. Beim Mineraliensammeln fallen öfter solche "taube Nüsse" ab. Man kann sie aber auch selber herstellen. Aus Alufolie formt man zunächst drusenartige Körper die dann mit Gipsbrei gut überstrichen werden.

Man kann aber auch Drusen erhalten, die ohne einen Steinkern auskommen. Dazu benötigt man einen rechteckigen Gipsblock mit drusenförmiger Höhlung. Als Form für den Gipsblock wurde mit Vorteil die Sondervitrine S. 20 107x107x107 mm der Firma H. Brückner verwendet. Diese Form wird, nachdem sie mit Vaseline eingefettet wurde, mit Gipsbrei gefüllt. Dabei befindet sich schon eine Hohlform aus Alufolie darin. Wenn der Gips fest geworden ist löst man den Gipsblock aus der Form, entfernt die Alufolie und sägt den Block mitten durch. Die Hohlform wird jetzt auslackiert, damit eine schön glatte Oberfläche entsteht. Die so vorbereitete Form wird nun als Matrixstein verwendet. Ist der Block nach dem Abkühlen der Lösung mit Kristallen überwuchert, nimmt man ihn auseinander und erhält eine Druse die vollkommen aus Kristallsubstanz besteht. Geeignete Substanzen sind vor allem Kali- und Chromalaun man kann aber auch andere ausprobieren.

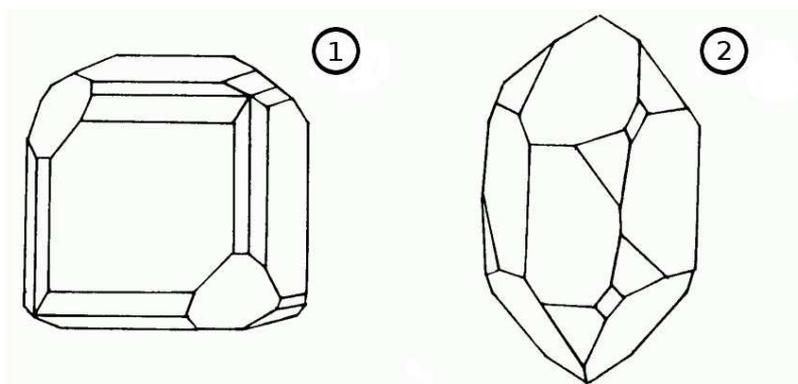


1. Eine bereits fertige Druse mit ihrem Alufolie und Gips Grundkörper.
2. Die Hohlform für die nur aus Kristallsubstanz bestehenden Drusen.
3. Die bereits gesägte Form wird mit Kristallen überwuchert.
4. Die Form wird auseinander genommen und man erhält eine Druse die nur aus Kristallsubstanz besteht. Die Hohlform kann nach dem Säubern wieder verwendet werden.

6 Optische Aktivität

Wie man weiß ist das sichtbare Licht nur ein winziger Bereich aus dem gesamten Spektrum der elektromagnetischen Strahlung, das von den Rundfunkwellen bis zur härtesten Röntgen bzw. Gammastrahlung reicht. Diese Strahlung pflanzt sich, wie die Bezeichnung Rundfunkwellen schon verrät, in Wellenform fort.

Wellen im Wasser schwingen nur in einer Ebene, nämlich senkrecht zum Wasserspiegel. Lichtwellen schwingen aber im Raum und das Licht der meisten leuchtenden Körper besitzt beliebig viele Schwingungsebenen. Polarisiertes Licht besitzt nur eine Schwingungsebene. Man kann dies erreichen, wenn man normales Licht mit einem Nicolprisma oder mit einer dünnen Turmalinplatte filtert. Diese Filter lassen nur Licht durch, daß nur eine Schwingungsebene besitzt. Die teuren Nicolprismen und Turmalinplatten kann man heute durch Kunststoffolien ersetzen. Das menschliche Auge kann polarisiertes Licht nicht von unpolarisiertem Licht unterscheiden. Bringt man nun aber einen zweiten Polarisator



hinter den ersten und dreht sie gegeneinander, stellt man fest, daß sich Hell und Dunkelphasen abwechseln. Sind die Polarisierungsebenen der zwei Polarisatoren um 90° gegeneinander verdreht bleibt das Gesichtsfeld dunkel. Denn der zweite Polarisator würde ja nur Licht durchlassen, das von dem, das durch den ersten Polarisator kommt, eine um 90° gedrehte Schwingungsebene aufweist. Man sagt dazu, die Polarisatoren befinden sich in gekreuzter Stellung. Einige Stoffe vermögen nun die Polarisierungsebene des Lichts zu drehen, sie sind optisch aktiv. Dies kann man nun mit dem zweiten Polarisator, der auch Analysator genannt wird, feststellen. Zu diesen Substanzen zählen einige Lösungen und Kristalle. Unter den Kristallen findet man Natriumchlorat und Quarz. Untersucht man nun einige dieser Kristalle mit dem Polarisator stellt man fest, daß es Exemplare gibt, die die Schwingungsebene nach rechts drehen und andere die sie nach links drehen. Wollte man statistische Untersuchungen anstellen, stellte man fest, daß es genauso viele rechtsdrehende wie linksdrehende Exemplare gibt. Von Quarz kennt der Mineraliensammler ja Kristalle, die sich in ihrer Form zueinander spiegelbildlich verhalten, Rechts- und Linksquarze. Rechtsquarze drehen die Schwingungsebene des Lichts nach rechts, Linksquarze nach links. Auch von Natriumchlorat kennt man eine Rechte- und eine Linksform. Die Flächen, die eine Unterscheidung ermöglichen kann man aber oft nicht feststellen. Nur wenn die Kristalle sehr langsam wachsen treten diese Flächen hervor.

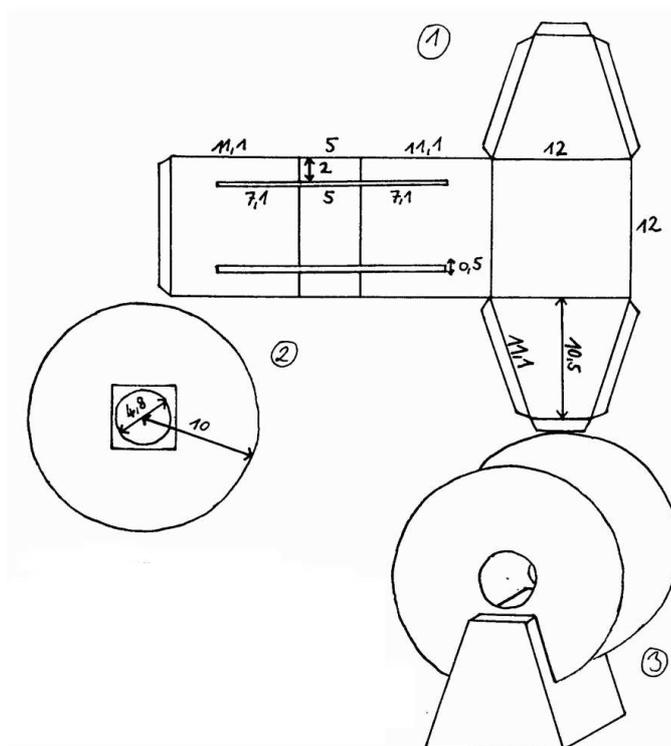
Für Natriumchlorat und Quarz gibt es jeweils zwei, sich spiegelbildlich zueinander verhaltende Kristallgitter. Löst man Natriumchlorat in Wasser wird das Kristallgitter zerstört, es kann also kein Einfluß mehr auf die Schwingungsebene genommen werden, die Lösung polarisiert nicht. Es gibt aber auch Moleküle, die optisch aktiv sind, wie z.B. Weinsäuremoleküle und Tartrationen. Lösungen von Weinsäure und ihren Salzen, den Tartraten, sind optisch aktiv, also auch Seignettesalzlösungen. Weitere optisch aktive Moleküle sind zum Beispiel die von Rohrzucker, Traubenzucker, Fructose (Süßmittel für Diabetiker) und Vitamin C (Ascorbinsäure). Lösungen dieser Substanzen sind optisch aktiv.

Betrachtet man einen Natriumchloratkristall im Polarisator, stellt man beim drehen des Analysators fest, daß verschiedene Farben auftreten. Dreht man den Analysator nach rechts, also im Uhrzeigersinn,

erscheint ein rechtsdrehender Kristall oder eine rechtsdrehende Lösung in folgender Reihenfolge von Farben, grün (oft undeutlich), blau, purpur, rot, orang, gelb, grün usw. Bei linksdrehenden Kristallen oder Lösungen geht die Reihenfolge der Farben in umgekehrter Richtung, also grün, gelb, orange, rot, purpur, blau, grün usw. Man kann so rechts und linksdrehende Kristalle erkennen und voneinander trennen. Sucht man sich einen rechtsdrehenden Keim heraus, kann man damit einen großen rechtsdrehenden Natriumchloratkristall züchten. Die Farbenfülle beim Polariskop beruht darauf, daß die Schwingungsebene von Licht verschiedener Wellenlänge verschieden stark gedreht wird, blaues Licht am stärksten rotes Licht am schwächsten. Das weiße Licht setzt sich aus allen Regenbogenfarben zusammen, die vom Kristall oder der Lösung über die optische Aktivität getrennt werden. Für genaue Messungen des Drehwinkels benutzt man einfarbiges Licht, wie das einer Natriumdampfampe (gelb, Wellenlänge 589,2 Nanometer) . Man stellte so fest das ein 1mm dicker Natriumchloratkristall dieses Licht um $3,12^\circ$, ein 2mm dicker um $6,24^\circ$, also pro mm um $3,12^\circ$ drehte. Grünem Licht einer Quecksilberdampfampe wird eine spezifische Drehung von $4,8^\circ$ pro mm erteilt. Bei Lösungen kann man über die spezifische Drehung der Schwingungsebene des Lichts die Konzentration eines optisch aktiven Stoffs in der Lösung genau bestimmen. Für die Messung von Zuckergehalten gibt es automatisch arbeitende Sacharimeter.

6.1 Selbstbau eines Polariskops

Man schneidet zunächst die Form in Abb. 1 aus Pappe aus. Die Zahlenangaben bedeuten cm. Von der Drehscheibe in Abb. 2 benötigt man 2 Exemplare. Der Grundkörper wird nun zurechtgefaltet, die Klebefalze werden mit Uhu bestrichen und das ganze zusammengeklebt. Das innere Loch der beiden runden Scheiben wird mit je einer Pol-Polie abgedeckt, die mit Tesafilm befestigt werden kann (die zur Herstellung des Polariskops nötigen Polarisationsfolien können bei uns zum Preis von 10 DM für 2 Stück einschließlich Porto bestellt werden). Die so vorbereiteten Scheiben müssen nur noch in die dafür vorgesehenen Schlitze gesteckt werden (Abb. 3). Bringt man nun einen optisch aktiven Kristall oder eine solche Lösung zwischen die zwei Scheiben, so treten an den Objekten die verschiedensten Farben auf, wenn man von hinten mit einer Lampe beleuchtet. Versieht man die Scheibe mit einer Grad Einteilung, kann man auch quantitative Messungen durchführen.



7 Piezoelektrische Kristalle

Was ist Piezoelektrizität? piezo (griechisch) = drücken, pressen (übt man auf einen Kristall Druck aus, wird er etwas deformiert ohne zu brechen. Dabei erleidet natürlich auch das Kristallgitter eine gewisse Verformung. Wie wir bereits wissen bestehen viele Kristalle aus Ionen, also aus elektrisch geladenen Teilchen. Diese Ladungsträger sind normalerweise so auf die Gitterplätze verteilt, daß die unterschiedlichen elektrischen Ladungen überall gleich häufig auftreten. Es sitzen somit niemals alle positiven Ionen an einen und alle negativen am anderen Ende des Kristalls. Bei einigen Kristallen wird durch die Druckeinwirkung das Gitter so verformt, daß kein Ladungsgleichgewicht mehr besteht. An den Kristallflächen treten negative bzw. positive Ladungen auf; verbindet man diese Flächen mit einem Draht, so fließt ein elektrischer Strom, der Kristall ist piezoelektrisch.

Es gibt über 1000 Substanzen die piezoelektrisch sind darunter, Natriumchlorat, Natriumbromat, Nickelsulfat-6-Hydrat, Lithiumtrinatrium Chromat, Ammoniumdihydrogenphosphat, Bariumtitanat und vor allem Quarz. Für eigene Experimente eignen sich Seignettsalzkristalle hervorragend. Wie schon erwähnt wurden früher solche Kristalle unter dem Kürzel KNT in großtechnischem Maßstab gezüchtet. Allerdings sollte man für eigene Versuche nur optisch klare, einwandfreie Exemplare von 3-4 cm Größe verwenden.

7.1 Experimente zu piezoelektrischen Kristallen

1. Man beklebt die gegenüberliegenden Prismenflächen eines säulenförmigen Seignettsalzkristalls mit Elektroden aus Alufolie und verbindet diese mittels isoliertem Draht mit den Polen einer Signalglimmlampe. Mit einer der Basisflächen wird der Kristall auf eine isolierende Unterlage gestellt, auf die Oberseite kommt etwas Filz oder Pappe. Schlägt man nun mit einem kleinen Hammer auf den Kristall, leuchtet das Lämpchen schwach auf.
2. Verbindet man die Elektroden mit einem Wechselspannungsverstärker kann man den Spannungsstoß auch messen.
3. Kristall / Metall
 - (a) Man legt einen Kristall auf eine Metallplatte, die sich auf einer isolierenden Unterlage befindet. Die Metallplatte wird mit dem Gittereingang eines Wechselspannungsverstärkers verbunden. Der zweite gut geerdete Eingang des Verstärkers wird mit einer Stimmgabel verbunden. Man drückt nun den Fuß der angeschlagenen Stimmgabel auf den Kristall und hört nun im Lautsprecher einen Ton von der Frequenz der Stimmgabel.
 - (b) Hat man nur kleine Kristalle oder Splitter legt man sie auf die Metallplatte aus Versuch 3.1 und bedeckt diese mit einer am zweiten Eingang des Verstärkers liegenden Platte. Setzt man nun die angeschlagene Stimmgabel darauf, hört man bei piezoelektrischen Kristallen wieder einen Ton im Lautsprecher. Einige Kriställchen liegen immer in der geeigneten Richtung.
4. An die Elektroden des Kristalls aus Versuch 1. legt man die Ausgangsspannung eines Tonfrequenzgenerators (hochohmiger Ausgang, 150V). Der Kristall wird in der Frequenz der angelegten Wechselspannung deformiert und erzeugt so Schallwellen. Es handelt sich hierbei um den umgekehrten piezoelektrischen Effekt.

Die Experimente 2-4 eignen sich nur für Hobbyelektroniker oder Elektrobastler. Der Versuch 1. eignet sich auch für Nichtkenner, die dazu erforderliche Glimmlampe kostet nur wenige Pfennige. Die technische Verwendung von piezoelektrischen Kristallen liegt auf der Hand. Bei piezoelektrischen Feuerzeugen wird das Gas durch einen elektrischen Funken entzündet, der von einem piezoelektrischen Kristall erzeugt wird. Ebenso funktionieren auch die ewigen Gasanzünder.

Wie in Versuch 3.1 zu sehen eignen sich piezoelektrische Kristalle hervorragend um mechanische Schwingungen in elektrische umzuwandeln. Beispielsweise auch die Schwingungen der Tonabnehmernadel eines

Plattenspielers. Aber auch der umgekehrte piezoelektrische Effekt lässt sich anwenden, also die Deformation eines Kristalls durch eine angelegte Spannung. Diese Verformung macht aber nur wenige tausendstel Millimeter aus. Wie in Versuch 4. gezeigt lässt sich der Kristall auch als Lautsprecher verwenden.

Bei den Quarzuhren werden stimmungsgabelartige Quarzstückchen elektrisch in Schwingungen versetzt, die dann wiederum elektrisch abgegriffen werden. Eine bestimmte Anzahl dieser Schwingungen stellt dann eine Sekunde dar.

8 Anhang

8.1 Mathematische Grundlagen

a) Umrechnung von Löslichkeiten

1. Löslichkeit ohne Kristallwasser

Häufig findet man in der Literatur die Löslichkeiten von Substanzen nicht in Gramm Substanz in 100g Lösungsmittel, sondern in Prozenten ausgedrückt, also in Gramm Substanz in 100g Lösung. Hier ist die Umrechnung recht einfach und wird durch folgende Formel wiedergegeben.

y = Löslichkeit in Prozent
x = Löslichkeit in 100g Lösungsmittel

$$x = \frac{100*y}{100-y}$$

2. Löslichkeit ohne Kristallwasser

Bei den meisten Löslichkeitstabellen ist der Kristallwassergehalt der Substanzen nicht berücksichtigt, aber jeweils angegeben. Für den Kristallzüchter ist aber nur die kristallwasserhaltige Substanz maßgebend mit der er ja die Lösung sättigt und die er auch auskristallisieren lässt. Man muß die Löslichkeitsangaben daher nach folgender Formel umrechnen:

y = Löslichkeit der kristallwasserfreien
x = Löslichkeit der kristallwasserhaltigen Substanz in 100g Lösungsmittel

$$x = \frac{100*y*(k+1)}{100-k*y}$$

3. Molgewicht Kristallwasser

Der Wert von k hängt von der jeweiligen Substanz ab und berechnet sich wie folgt.

$$k = \frac{\text{MolgewichtKristallwasser}}{\text{MolgewichtkristallwasserfreieSubstanz}}$$

Die reziproke Formel lautet:

a = Molgewicht kristallwasserfreie Substanz
b = Molgewicht Kristallwasser

$$y = \frac{100*ax}{100*(a+b)+bx}$$

b) Auffinden von Zwischenwerten bei Löslichkeitstabellen

Oft ist erwünscht nicht nur die Löslichkeiten einer Substanz bei 0, 10, 20, 40, 60 usw. Grad Celsius zu kennen, sondern auch die Werte für z.B. 15°C oder 27°C die in den normalen Löslichkeitstabellen nicht angegeben sind. Der einfachste Weg ist die zeichnerische Lösung mit Hilfe eines Löslichkeitsdiagramms. Hier kann man die Löslichkeiten bei den verschiedensten Temperaturen leicht und schnell ablesen, aber selten besonders genau, was natürlich auch von Qualität und Maßstab der Zeichnung abhängt.

8.2 Löslichkeitsdiagramme

8.2.1 Ammoniumdihydrogenphosphat

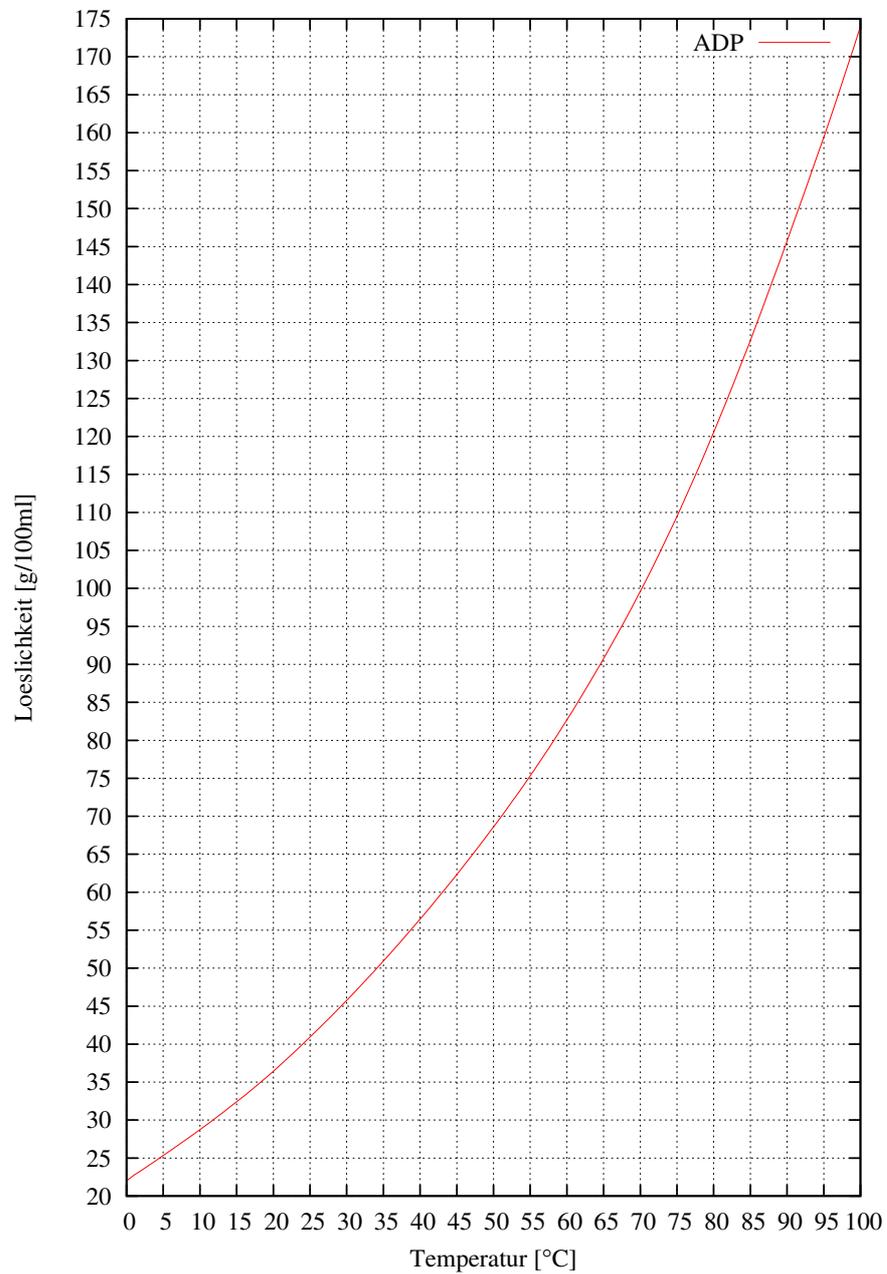


Abbildung 13: Löslichkeitskurve von Ammoniumdihydrogenphosphat

8.2.2 Cyanorubin

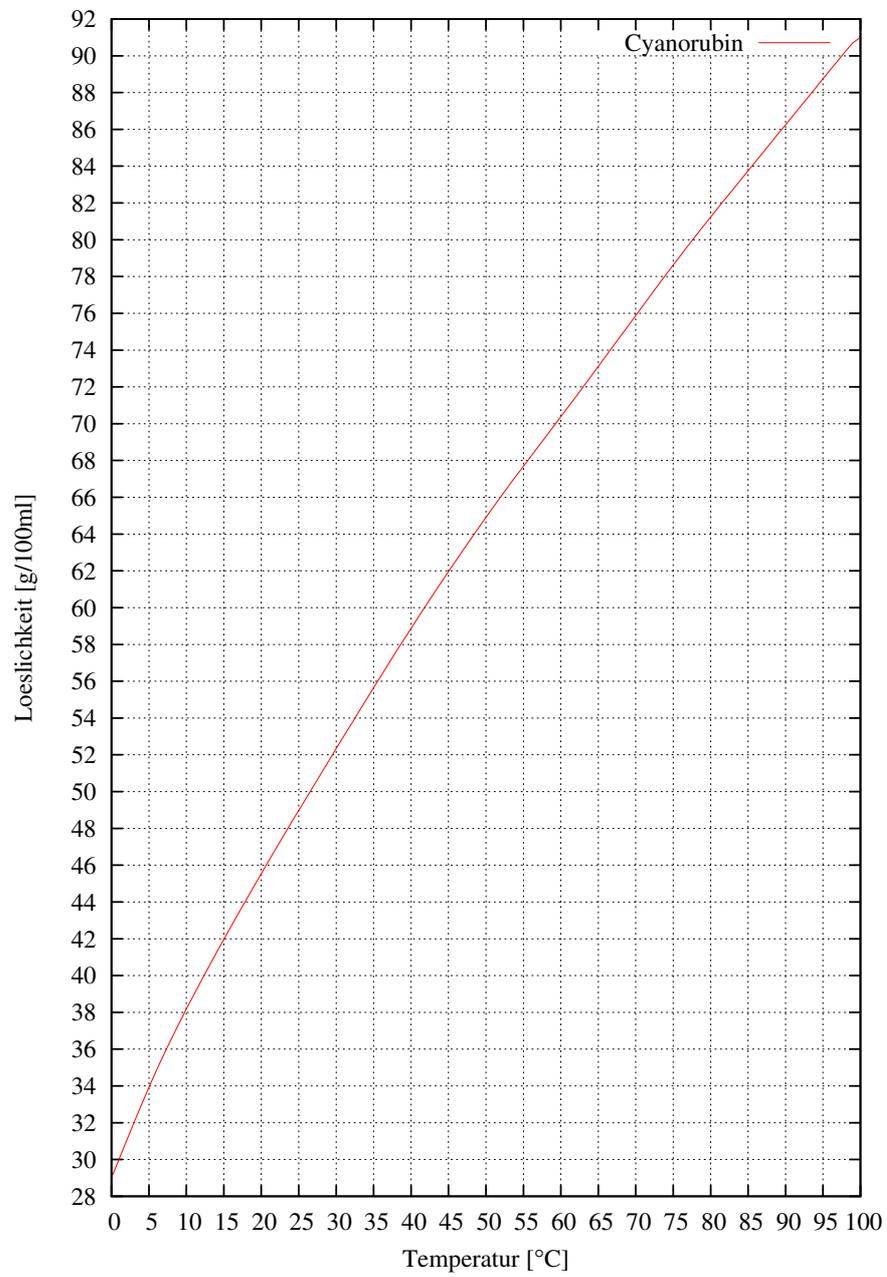


Abbildung 14: Löslichkeitskurve von Cyanorubin

8.2.3 Kalialaun

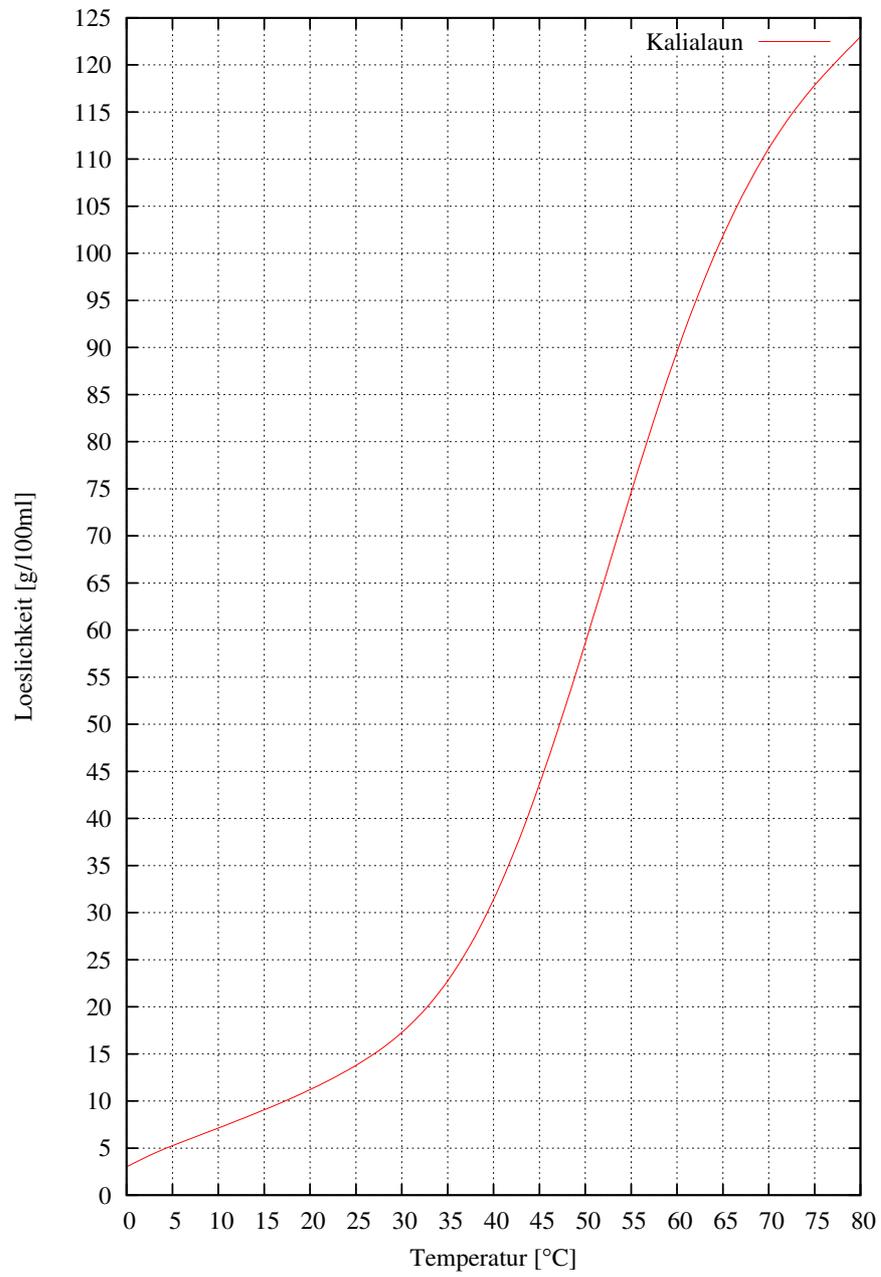


Abbildung 15: Löslichkeitskurve von Kalialaun

8.2.4 Kaliumdichromat

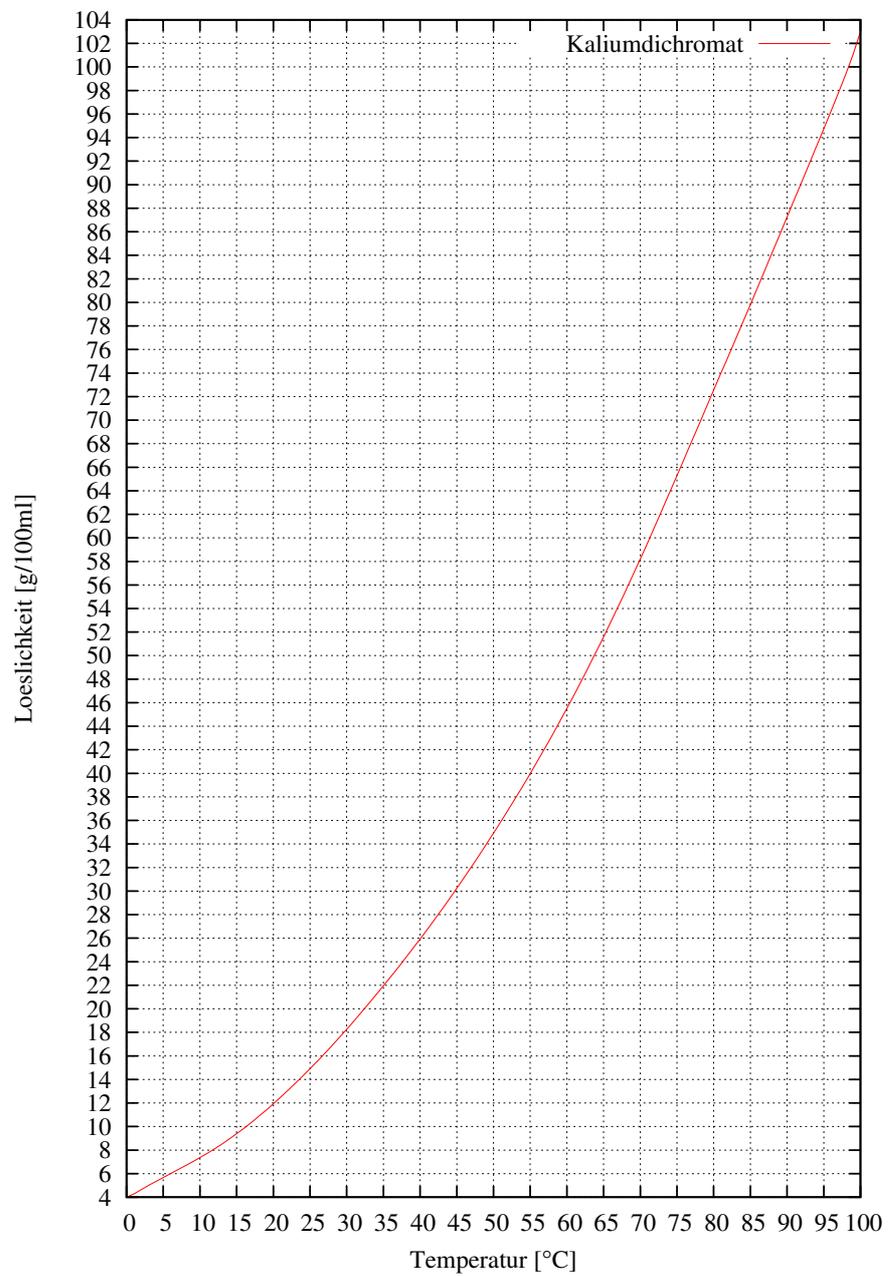


Abbildung 16: Löslichkeitskurve von Kaliumdichromat

8.2.5 Kupfersulfat-5-Hydrat

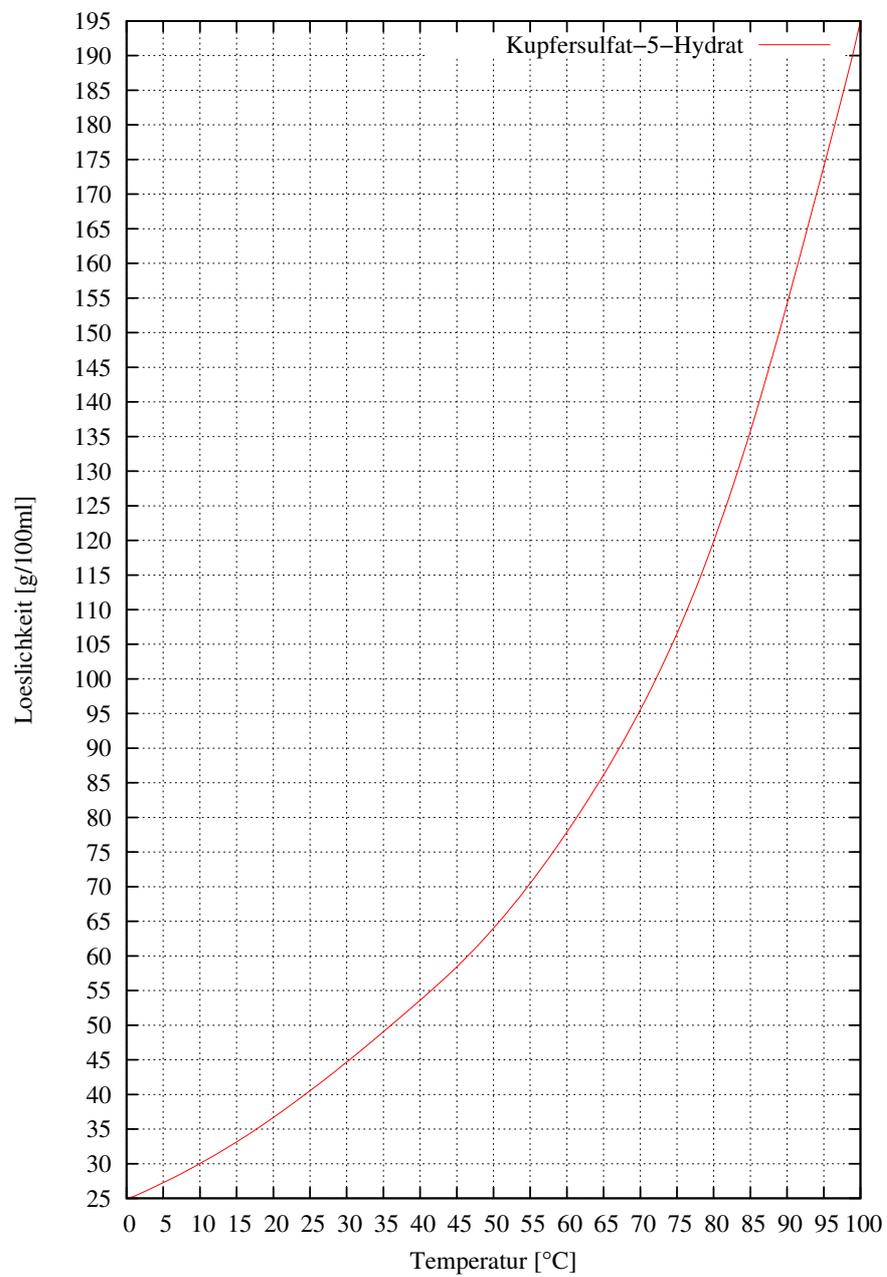


Abbildung 17: Löslichkeitskurve von Kupfersulfat-5-Hydrat

8.2.6 Natriumbromat

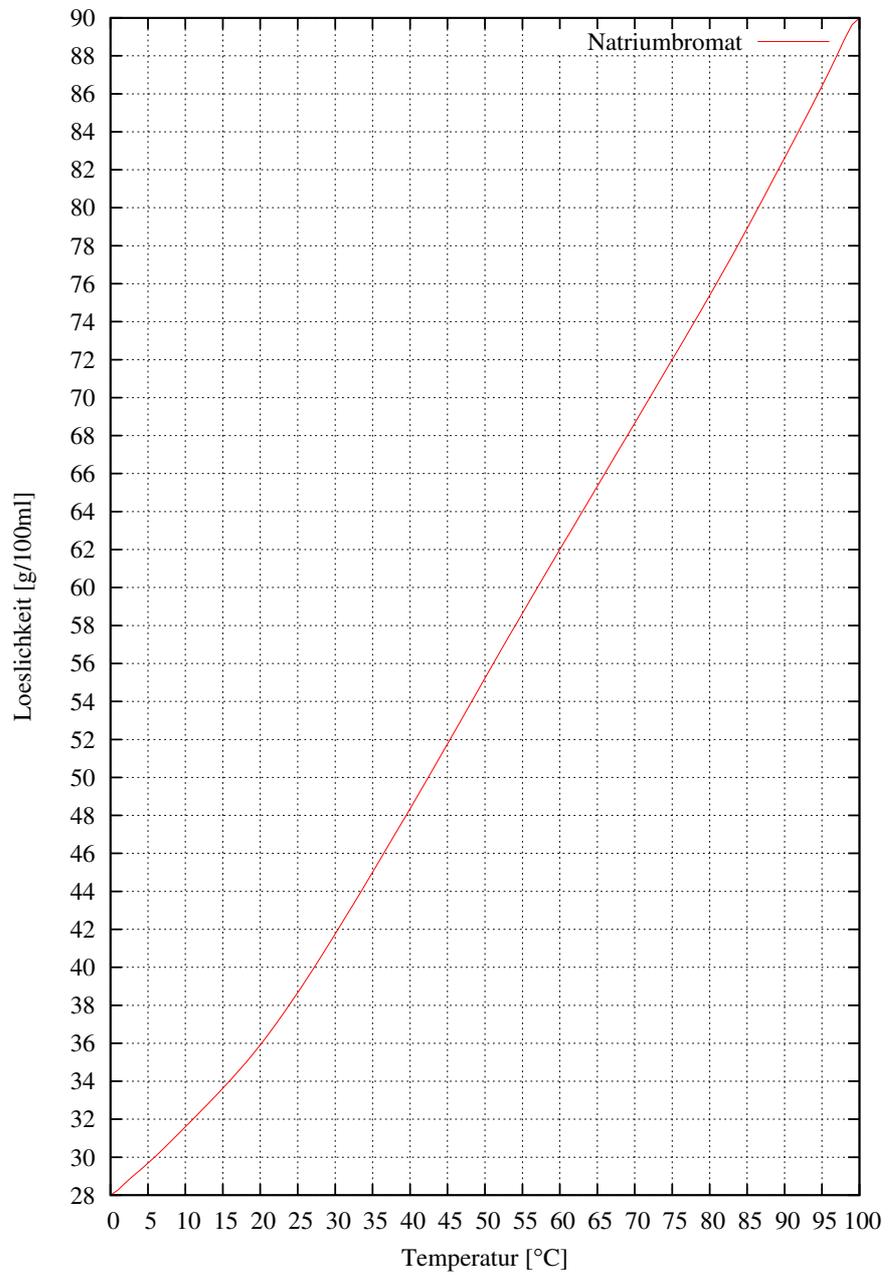


Abbildung 18: Löslichkeitskurve von Natriumbromat

8.2.7 Natriumchlorat

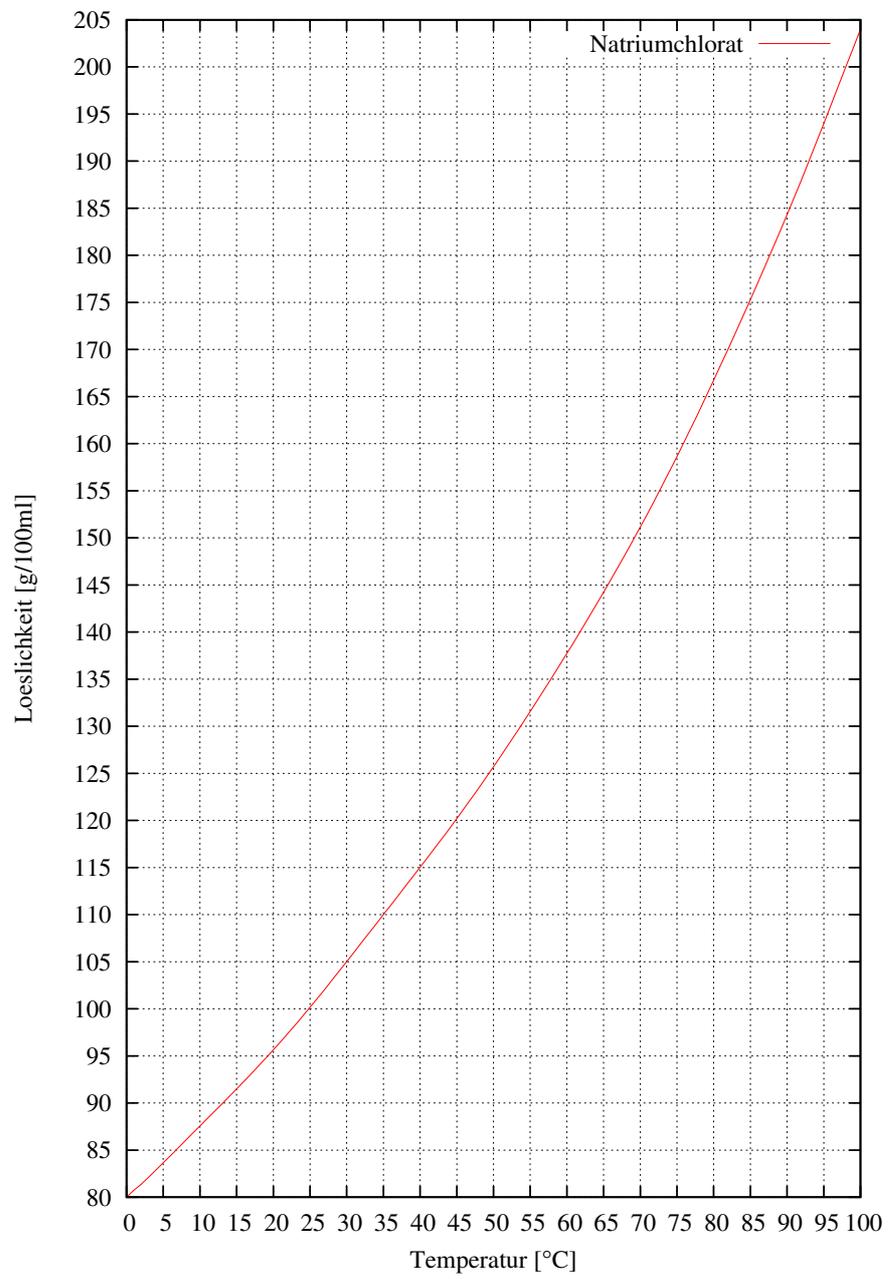


Abbildung 19: Löslichkeitskurve von Natriumchlorat

8.2.8 Natriumchlorid

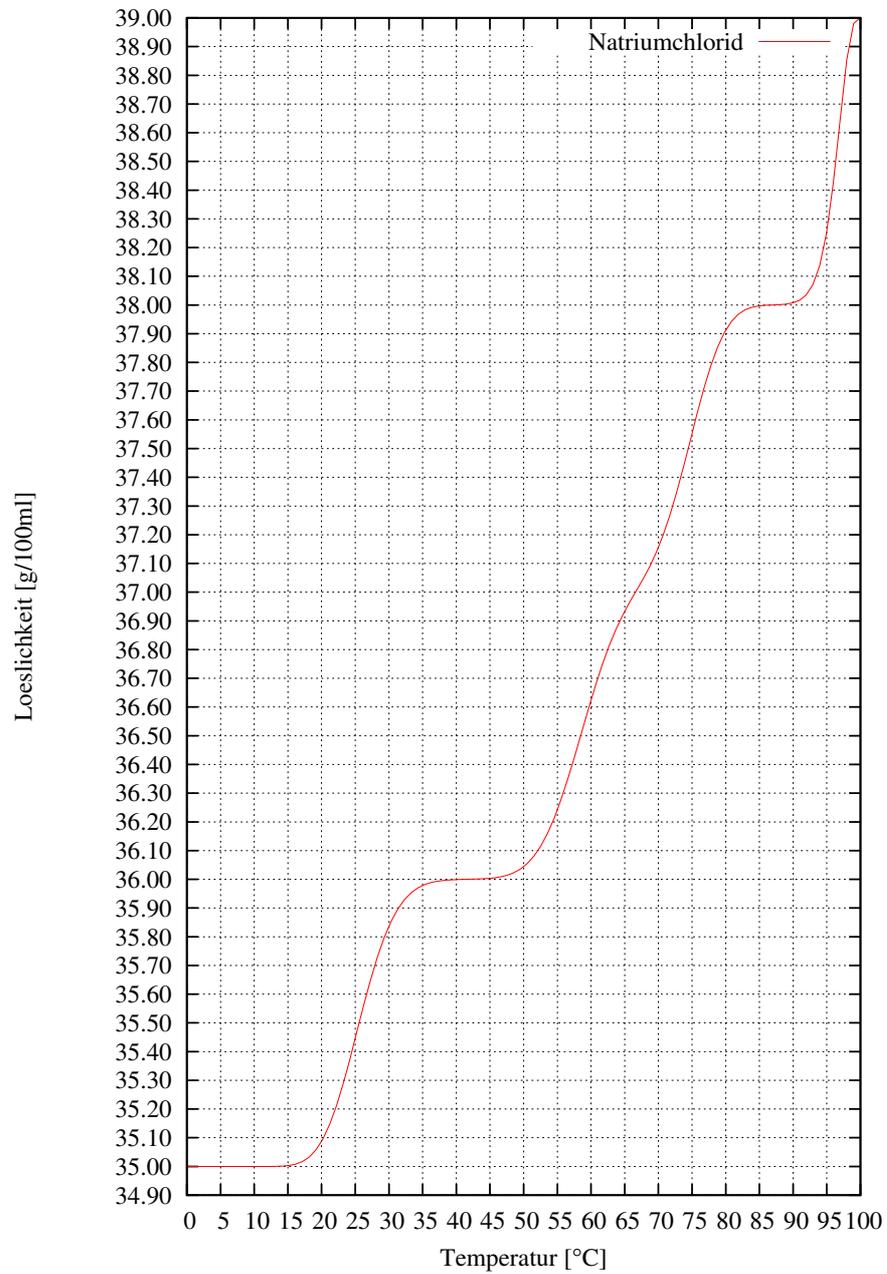


Abbildung 20: Löslichkeitskurve von Natriumchlorid

8.2.9 Sacharose

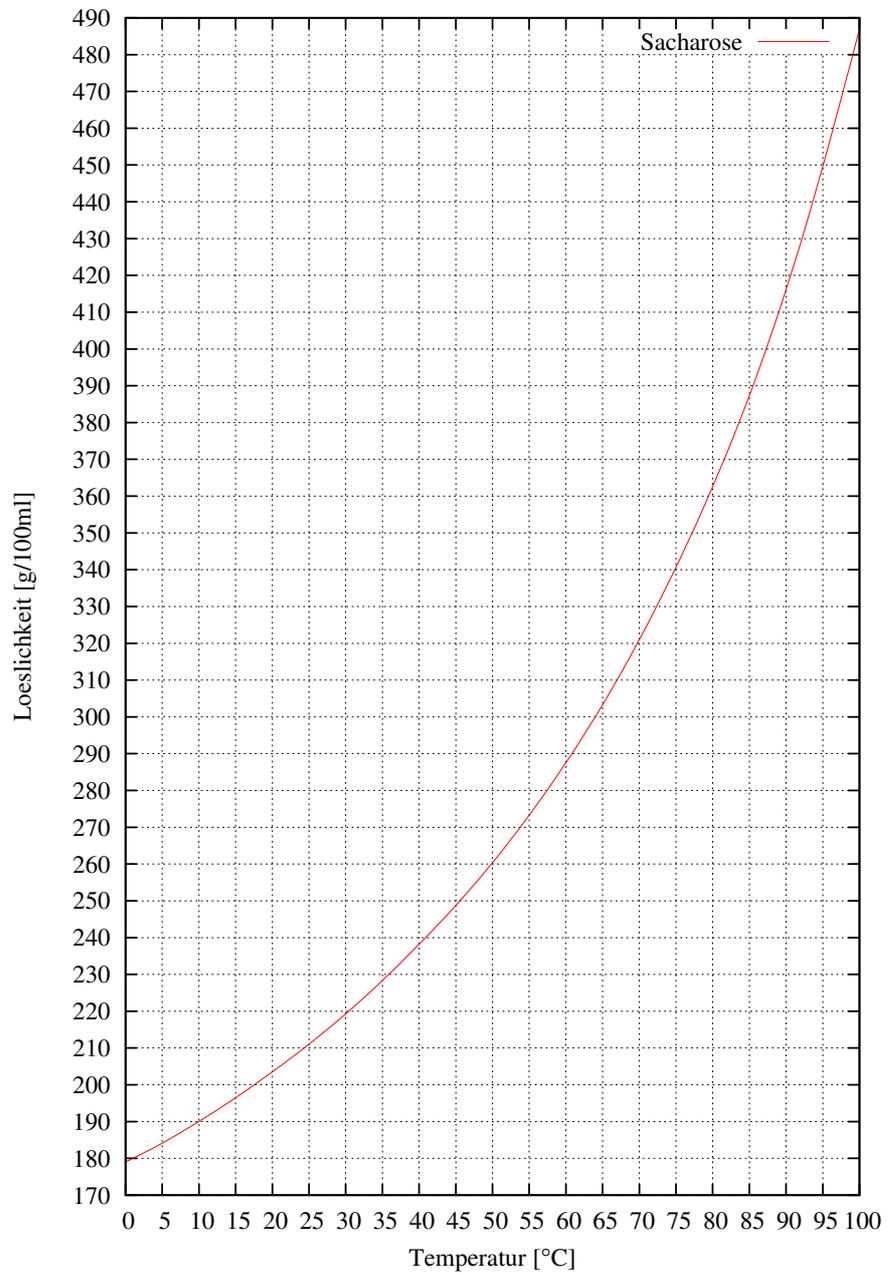


Abbildung 21: Löslichkeitskurve von Sacharose

Literatur

- [BUCKLEY H.E.] Crystal Growth New York 1951
- [HOLDEN-SINGER] Crystals and Crystal Growing London 1961
- [HOLDEN-SINGER] Die Welt der Kristalle München 1960
- [RAAZ, KÖHLER] Bau und Bildung der Kristalle Wien 1953
- [WINKLER H.G.P.] Struktur und Eigenschaften der Kristalle Berlin 1955
- [DOREMUS, ROBERTS, TURNBULL] Growth and Perfection of Crystals New York 1958
- [GILMAN J.J.] The Art and Science of Growing Crystals New York 1963
- [WILKE] Methoden der Kristallzüchtung Berlin 1963
- [WILKE] Kristallzüchtung Berlin 1973
- [NIELSON S.] Preparation of Single Crystals London 1958
- [SCHRÖTER H.] Einkristalle Garmisch-Partenkirchen 1955
- [SMAKULA] Einkristalle Wachstum, Herstellung und Anwendung Berlin 1962
- [KELLER E.] Wachstum und Aufbau der Kristalle Köln 1964 und 1972

Abbildungsverzeichnis

1	Natriurachloratkristall	1
2	Versuchsaufbau: Kristalle aus der Schmelze	7
3	Versuchsaufbau	8
4	Löslichkeitskurve von Kupfersulfat-5-Hydrat	10
5	Behälter mit Trockenmittel zur Beschleunigung des Verdunstungsverfahrens	18
6	Die typische Kristallform von Kalialaun.	22
7	Kristallform von Kupfersulfat-5-Hydrat	23
8	Die normale Kristallform von Seignettesalz.	25
9	löslichkeit von Nickelsulfat ohne Berücksichtigung des Kristallwassergehalts.	30
10	Löslichkeit von Morenosit/Retgersit	31
11	Löslichkeit von Nickelhexahydrat	32
12	Morenosit xx nach Goldschmidt's Atlas der Kristallformen. Der untere Teil fehlt.	35
13	Löslichkeitskurve von Ammoniumdihydrogenphosphat	46
14	Löslichkeitskurve von Cyanorubin	47
15	Löslichkeitskurve von Kalialaun	48
16	Löslichkeitskurve von Kaliumdichromat	49
17	Löslichkeitskurve von Kupfersulfat-5-Hydrat	50
18	Löslichkeitskurve von Natriumbromat	51
19	Löslichkeitskurve von Natriumchlorat	52
20	Löslichkeitskurve von Natriumchlorid	53
21	Löslichkeitskurve von Saccharose	54

Tabellenverzeichnis

1	Löslichkeitstabelle von Salzen	9
2	Eignung der Verfahren für verschiedene Salze	17
3	Löslichkeit von Cyanotopas [g/100ml]	25
4	Löslichkeitstabelle für Nickelsulfat [g/100ml]	29
5	Löslichkeit von Nickelsulfat-7-Hydrat [g/100ml]	29
6	Löslichkeit von alpha-Nickelsulfat-6-Hydrat [g/100ml]	29
7	Löslichkeit von beta-Nickelsulfat-6-Hydrat [g/100ml]	30
8	Zustandstabelle für eine Nickelsulfatlösung bei 20°C	32

Index

E

Erstarrungspunkt 7

G

Gasphase 11, 36

H

Habitus 37 f.

Habitusbeeinflussung 38

K

Kristallgitter 7 f., 22, 26 f., 37, 41, 43

Kristallstufen 16, 21, 35

L

Löslichkeitstabelle 9, 12, 16, 29, 34, 39, 45

Lösung

 gesättigt 9, 11 ff., 16, 19 f., 25 f., 31, 33 f.

P

piezoelektrisch 43

Polariskop 41 f.

S

Schmelze 6

Skelettwachstum 36

T

Thiosulfat 7

 Schmelze 7, 9