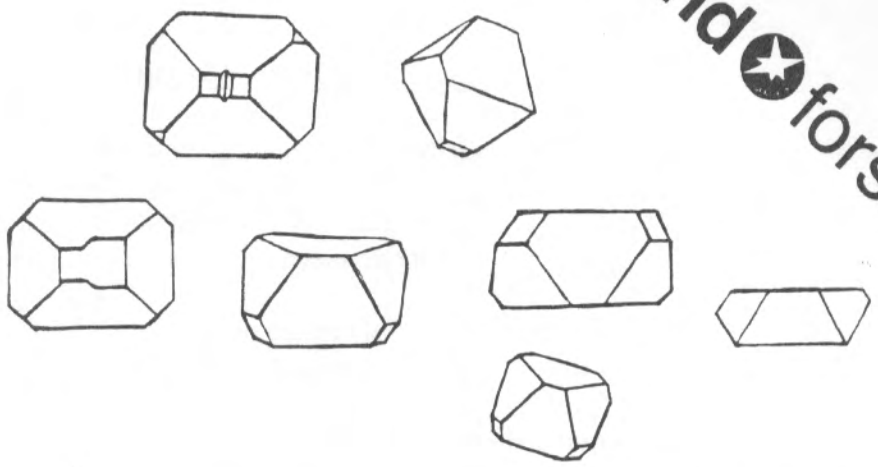
jugend forscht



Züchtung von Kalziumtartratkristallen im Kieselgel

von

Karin Rosskopf und Stefan Müller

Technisches Gymnasium Müllheim

Georg-Kerschensteiner Gymnasium

1994

2nd Edition 2008 by Stefan Müller and Otto Schäfer

30 Jahre jugend forscht

an der Georg-Kerschensteiner Schule
Technisches Gymnasium Müllheim

1978-2008

Züchtung von Kalziumtartratkristallen im Kieselgel

$Ca^{2+}\ C_4H_4O_6^{2-} \cdot 4H_2O$

INHALTSVERZEICHNIS

1. Theoretische Grundlagen

1.1 Kristallographische Grundlagen
1.1.1 Definition eines Kristalls
1.1.2 Einteilung der Kristalle
1.1.3 Kristallzüchtungsmethoden

1.2 Züchtung in einem Gel
1.2.1 Definition eines Gels
1.2.2 Kieselgel
1.2.3 Voraussetzungen für die Kristallzüchtung ionisch aufgebauter Kristalle in einem Gel
1.2.4 Allgemeine Überlegungen für die Züchtung von Kristallen im Gel

2. Hauptteil

2.1 Bildungsgeschwindigkeit des Gels in Abhängigkeit vom pH-Wert
2.2 Festigkeit des Gels
2.3 Gleichzeitige Bildung des Gels sowie Beladung des Gels mit Tartratanionen
2.4 Trennung der Gelbildung von der Beladung mit Tartratanionen
2.5 Apparative Lösungen

3. Ergebnisse

3.1 Züchtungsergebnisse
3.2 Vermessung eines Kristalls mit Hilfe eines zweikreisigen Reflexionsgoniometers

Anhang: Experimenteller Teil

1. Theoretische Grundlagen

1.1 Kristallographische Grundlagen

1.1.1 Definition eines Kristalls

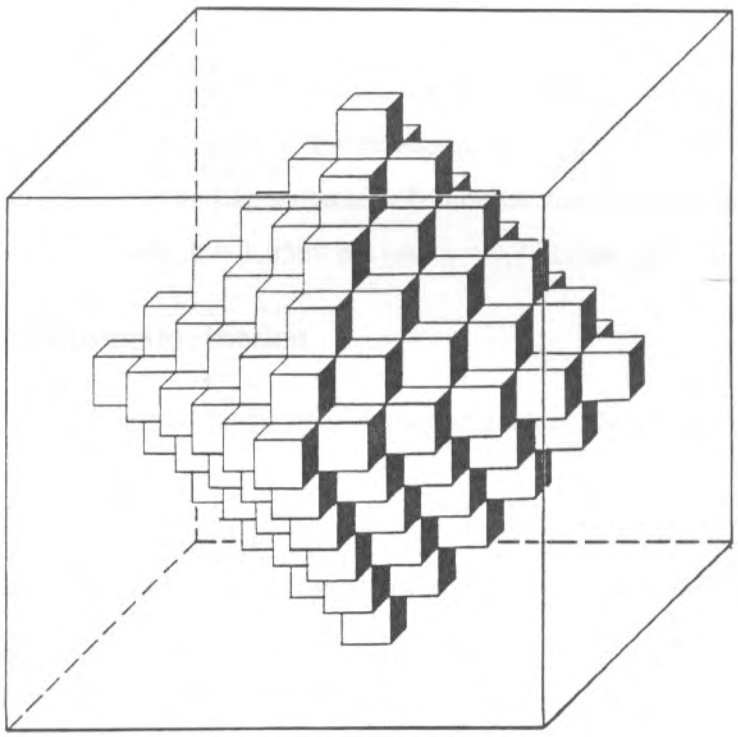
Ein Kristall ist ein homogener anisotroper Körper (Definition nach Niggli)

1.1.2 Einteilung der Kristalle

Entsprechend ihrer Symmetrie werden die Kristalle in 32 Kristallklassen eingeteilt, die sich wiederum auf sieben Kristallsysteme zurückführen lassen. Die Zuordnung eines Kristalls zu einem Kristallsystem richtet sich nach der Geometrie der Elementarzelle. Die Elemantarzelle stellt die kleinste Einheit des Kristalls dar, aus der sich der Kristall durch Translation erzeugen läßt.

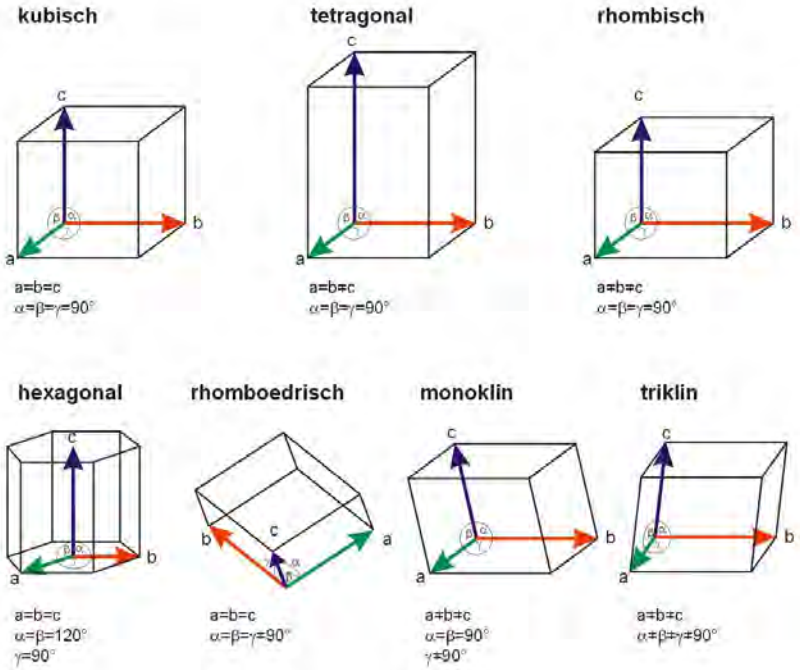
Das Oktaeder zum Beispiel läßt sich auf kubische Elementarzellen zurückführen.

Abbildung 1: [1]



Lage des Oktaeders im Würfel

Die sieben Kristallsysteme: [2]



Die Kenntnis über die Zugehörigkeit eines Kristalls zu einem Kristallsystem und einer Kristallklasse ist wichtig, in Hinblick auf seine Anwendung in verschiedenen Bereichen. Bestimmte physikalische Eigenschaften wie zum Beispiel Piezoelektrizität, Pyroelektrizität oder Doppelbrechung sind an bestimmte Kristallklassen gebunden. [3]
Kalziumtartrat gehört der rhombisch-bisphenoiden Kristallklasse und damit dem ortho-rhombischen Kristallsystem an. In dieser Klasse ist mit dem Piezoeffekt und der Enantiomorphie zu rechnen. Die Elementarzelle beinhaltet vier Formeleinheiten, sie hat die Basisvektoren a = 0,9215 nm , b = 1,0569 nm und c = 0,9627 nm. [4]

1.1.3 Kristallzüchtungsmethoden

Kristalle lassen sich nach unterschiedlichen Methoden züchten. Man unterscheidet Züchtungen

- aus der Schmelze

  z.B. Silizium für Microchips oder Natriumchlorid für optische Anwendungen in der IR-Spektroskopie

- aus wässrigen Lösungen, wobei es hier wiederum unterschiedliche Methoden je nach Art der Löslichkeitskurve gibt.
  - Abkühlungsmethode bei ansteigender Löslichkeitskurve (TGS [$(NH_3^+ CH_2COO^-)\cdot(NH_3^+CH_2COOH)\cdot SO_2^{2-}$], Alaun [$KAl(SO_4)_2\cdot 12H_2O$], Seignettesalz [$KNaC_4H_4O_6\cdot 4H_2O$])
  - Aufwärmmethode bei abfallender Löslichkeitskurve (Lithiumsulfat [$Li_2SO_4\cdot H_2O$])
  - Verdunstungsmethode bei praktisch konstanter Löslichkeitskurve (Kochsalz [NaCl])

- aus wässrigen überhitzten Lösungen (Hydrothermalsynthese) z.B. für Quarz [SiO_2], der als Schwingquarz Anwendung findet.
- aus der Dampfphase bei allen Kristallen die inkongruent schmelzen (Pyrit [FeS_2] und Cadmiumsulfid [CdS])
- in Gelen

Der Vorteil der Kristallzüchtung im Gel besteht darin, daß der wachsende Kristall vom hochviskosen Gel gehalten wird und es dadurch keiner Aufhängungsvorrichtung bedarf. Das Wachstum erfolgt isometrisch. Der Nachteil besteht darin, daß die gezüchteten Kristalle nicht sehr groß werden. Kantenlängen bis 1cm sind erreichbar.

1.2 Züchtung im Gel

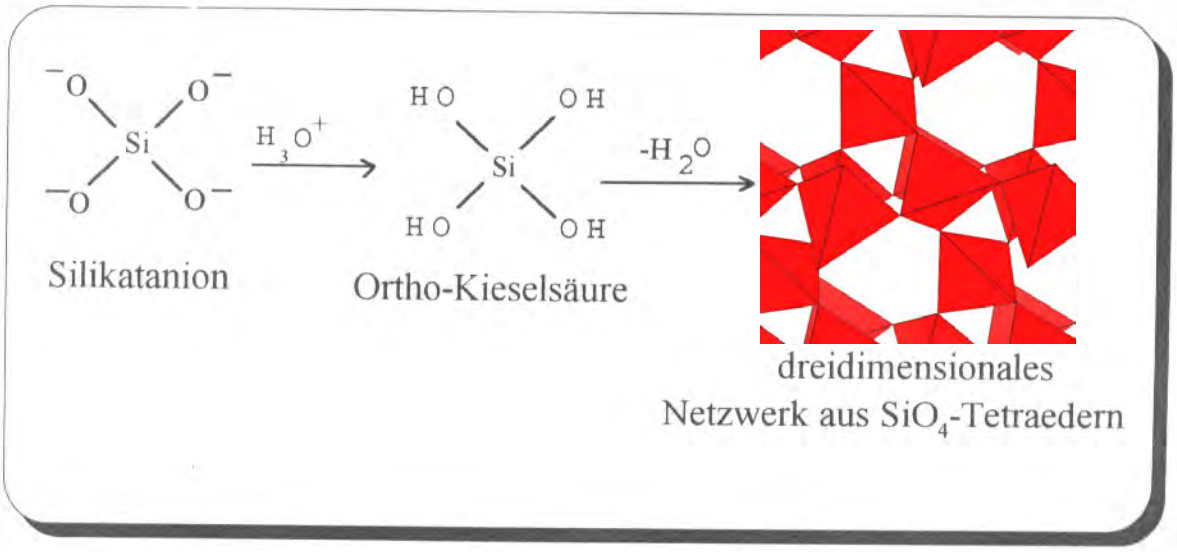
1.2.1 Definition des Gels

"Unter Gelen versteht man formbeständige leicht deformierbare an Flüssigkeit und Gasen reiche disperse Systeme aus mindestens zwei Komponenten, die zumeist aus einem festen, koloiden Stoff mit langen oder stark verzweigten Teilchen bestehen." [4]
"Von Hydrogelen spricht man , wenn es sich beim Dispersionsmittel um Wasser handelt. Man unterscheidet bei Hydrogelen organische Gele wie Gelantine bzw. Agar Agar und anorganische Gele wie Kieselgele." [4]

1.2.2 Kieselgel

Kieselgel bildet sich aus wasserlöslichen Natrium- bzw. Kaliumsilikaten bei Einwirkung von Säure. Dabei findet folgender Vorgang statt:

Abbildung 2:



Es resultiert ein räumliches Netzwerk aus Siliziumatomen, die über Sauerstoffatome miteinander verknüpft sind. Besonders eindrucksvoll ist ein natürliches Gel, der als Schmuckstein verwendete Opal.

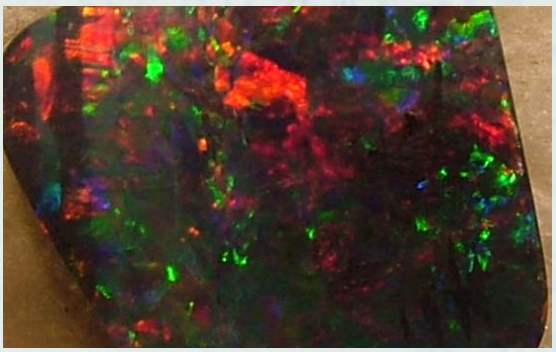


Bild 1: Maßstab 7:1
Der Opal besteht aus Kieselgelkügelchen von der Größe der Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Durch Reflexion und Interferenz der Wellen an den einzelnen Schichten kommt das Farbenspiel des Opals zustande. [5]

Entsprechend des obigen Reaktionsschemas ist die Gelbildung von der Konzentration der H_3O^+-Ionen d.h. vom pH-Wert abhängig.
Der pH-Wert stellt den negativen dekadischen Logarithmus der Konzentration der H_3O^+-Ionen dar.

$$pH = -\lg\ c(H_3O^+)$$

1.2.3 Vorausetzungen für die Kristallzüchtung ionisch aufgebauter Kristalle in einem Gel

Die Kristallbildung im Gel beschränkt sich auf Kristalle mit geringer Löslichkeit. Sie sollte etwa zwischen 0.1g/l und 0.001g/l liegen. Das Prinzip besteht in der Ausnutzung einer als Doppelte Umsetzung bezeichneten Reaktion nach dem Schema.

$$AB + CD \rightarrow AD\downarrow + BC$$

Vorausetzung ist die gute Wasserlöslichkeit der Substanzen AB,CD und BC sowie die schwere Wasserlöslichkeit von AD.

Beispiele für Doppelte Umsetzungen sind:

a) $Na_2CO_3 + CaCl_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + 2NaCl$
Natriumcarbonat + Kalziumchlorid → Kalziumcarbonat + Natriumchlorid

b) $Na_2SO_4 + CaCl_2 \rightarrow CaSO_4\downarrow + 2NaCl$
Natriumsulfat + Kalziumchlorid →Kalziumsulfat + Natriumchlorid

c) $Pb(NO_3)_2 + 2KI \rightarrow PbI_2\downarrow + 2KNO_3$
Bleinitrat + Kaliumjodid → Bleijodid + Kaliumnitrat

d) $Na_2\ C_4H_4O_6 + CaCl_2 \rightarrow CaC_4H_4O_6\downarrow + 2NaCl$
Natriumtartrat + Kalziumchlorid → Kalziumtartrat + Natriumchlorid

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Untersuchung der Bildung von L-(+)-Kalziumtartratkristallen im Kieselgel.

1.2.4 Allgemeine Überlegungen für die Züchtung von Kristallen im Gel

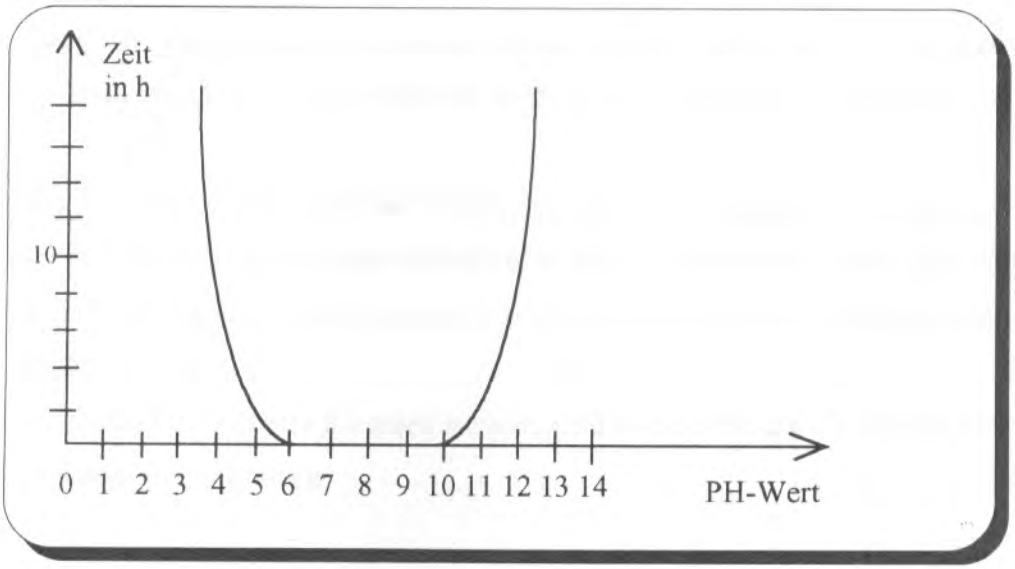
Gießt man entsprechend den obigen Reaktionsgleichungen hergestellte Lösungen der Edukte zusammen, erfolgt schlagartig die Auskristallisation des schwerlöslichen Produkts.
Wegen der hohen Konzentration der Edukte, entsteht eine Unzahl sehr kleiner Kristalle, die sich pulverförmig absetzen.
Löst man hingegen eines der Edukte zusammen mit dem Natriumsilikat in Wasser und bringt diese Lösung auf einen pH-Wert um 4, so erfolgt im Laufe von 24 Stunden die Gelbildung des Silikats. In den Hohlräumen der vernetzten SiO_4-Tetraeder bleibt das Edukt gelöst.
Überschichtet man nun dieses Gel mit einer wässrigen Lösung des zweiten Edukts, so treffen die beiden Edukte sehr langsam aufeinander. Der Stofftransport erfolgt durch Diffusion sowohl in das Gel, wie auch aus dem Gel. Die Keimbildung erfolgt spontan und das Wachstum findet über mehrere Wochen statt. Wegen der hohen Viskosität des Gels bleiben die Kristalle am Ort ihrer Entstehung, sie setzen sich nicht am Boden ab.

2. Hauptteil

2.1 Bildungsgeschwindigkeit des Kieselgels in Abhängigeit des pH-Wertes

Die Bildung des Kieselgels erfolgt nur im pH-Wertbereich zwischen 4 und 10. Unterhalb und oberhalb dieser Werte liegt eine klare Lösung vor.
Die Bildungsgeschwindigkeit des Gels in Abhängigkeit vom pH-Wert gibt Abbildung 3 wieder.

Abbildung 3:



2.2 Festigkeit des Kieselgels

Die Festigkeit des Gels läßt sich über die Konzentration der Natriumsilikatlösung, welche angesäuert wird, verändern.

Für die Kristallzüchtung im Kieselgel sollte das Gel einerseits möglichst dünn wegen der Transparenz sowie des Diffusionsverhaltens, andererseits aber noch von genügend großer Festigkeit sein, um die Kristalle halten zu können. Bei den festen Gelen besteht außerdem die Gefahr, daß durch den wachsenden Kristall das Gel aufreißt (Keilwirkung des Kristalls) und damit kein gleichmäßiger Materialtransport mehr durch Diffusion erfolgen kann. Die optimalen Verhältnisse lassen sich durch Reihenversuche ermitteln.

2.3 Gleichzeitige Bildung des Gels sowie Beladung des Gels mit Tartratanionen [7,8]

Da der optimale pH-Bereich für die Bildung des Kieselgels aus Natronwasserglas bei einen pH-Wert zwischen 3,5 und 4,0 liegt, müssen H_3O^+-Ionen d.h. es muß eine Säure zugesetzt werden. Es erscheint daher günstig den pH-Wert mit Hilfe von Weinsäurelösungen abzusenken. Es gibt folgende zwei Möglichkeiten.

- Man gibt die Weinsäurelösung unter pH-Kontrolle zu der stark alkalischen Natronwasserglaslösung. In diesem Falle gelangt man jedoch nicht in den gewünschten pH-Bereich, da bereits unterhalb pH 10 die Lösung innerhalb von Sekunden geliert.

- Man tropft die stark alkalische Natronwasserglaslösung langsam und unter gutem Rühren mit dem Magnetrührer in die Weinsäure. In stark saurem Milieu (Abb.3) erfolgt keine Gelbildung. Bei pH-Werten von 3,5-4,0 erfolgt die Gelierung bei Raumtemperatur innerhalb 12-24 Stunden.
  Das so langsam gelierte Kieselgel ist genügend transparent um die weitere Kristallbildung gut verfolgen zu können.

Das Gel enthält nun bereits die gewünschten Tartratanionen.
Durch Überschichtung mit einer Kalziumchloridlösung kommt es zur Bildung von Kalziumtartratkristallen sobald das Löslichkeitsprodukt überschritten wird.
Es ist verständlich, daß dies insbesondere an der Grenzfläche sehr schnell erreicht ist und es hier zur unerwünschten "Massenkristallisation" kommt. In den tiefer gelegenen Schichten des Gels wird das Löslichkeitsprodukt aufgrund der Diffusion erst später erreicht, die Häufigkeit der Keimbildung nimmt ab, die Kristallqualität wird besser.
Bei unseren Versuchen stellten wir nun fest, daß nach anfänglich guter Kristallbildung es nach Wochen wieder zu einer teilweisen Auflösung der gebildeten Kalziumtartratkristalle kam. Es zeigte sich, daß der pH-Wert im Gel extrem abgefallen war ($pH<1$). In diesem pH-Bereich ist Kalziumtartrat jedoch wasserlöslich.
Diese Beobachtung gab Anlaß dazu, die pH-Abhängigkeit der Bildung von Kalziumtartrat näher zu untersuchen.
Es zeigte sich, daß Kalziumtartrat nicht unterhalb pH 2 auskristallisiert, d.h. gebildete Kristalle wieder aufgelöst werden. Zur näheren Untersuchung der pH-Abhängigkeit der Bildung von Kalziumtartrat war des Verfahren der gleichzeitigen Bildung des Gels und der Beladung mit Tartratanionen ungeeignet da die Gelbildung an den oben bereits genannten pH-Bereich gebunden ist.

2.4 Trennung der Gelbildung von der Beladung mit Tartratanionen

Anstelle von Weinsäure wurde die Gelbildung mit Hilfe von Salzsäure vorgenommen. Das bei der Reaktion gebildete Kochsalz wurde mit Hilfe einer geeigneten Spülvorrichtung aus dem Gel gewaschen. Im Anschluß daran wurde das Gel mit Natriumtartratlösungen unterschiedlichen pH-Werts überschichtet und 2 Wochen lang stehen gelassen.Während dieser Zeit diffundierte genügend Natriumtartrat in das Gel. Nach dieser Zeit wurde die restliche Lösung abgegossen und gegen eine Kalziumchloridlösung ersetzt. Mit Hilfe von Reihenversuchen gelang es die für diesen pH-Bereich wesentliche Ergebnisse von zufälligen zu trennen.

2.5 Apparative Lösungen

In der Anfangsphase und zur Durchführung von Reihenversuchen wurde mit 100 ml Reagengläsern gearbeitet.

Nachdem mit Hilfe dieser Versuche eine Reihe von Fragen geklärt werden konnten, wurden Apparaturen bevorzugt, die es erlauben, beide Edukte (Tartratanionen und Kalziumionen) getrennt in das Gel diffundieren zu lassen. Gegenüber der Reagenzglasmethode ergibt sich dabei ein weiterer erheblicher Vorteil. Die Konzentration der Edukte ist sehr klein, was die Häufigkeit der Keimbildung pro Volumeneinheit herabsetzt, zu langsamem Wachstum und damit zu guter Kristallqualität führt.

Abbildung 4:

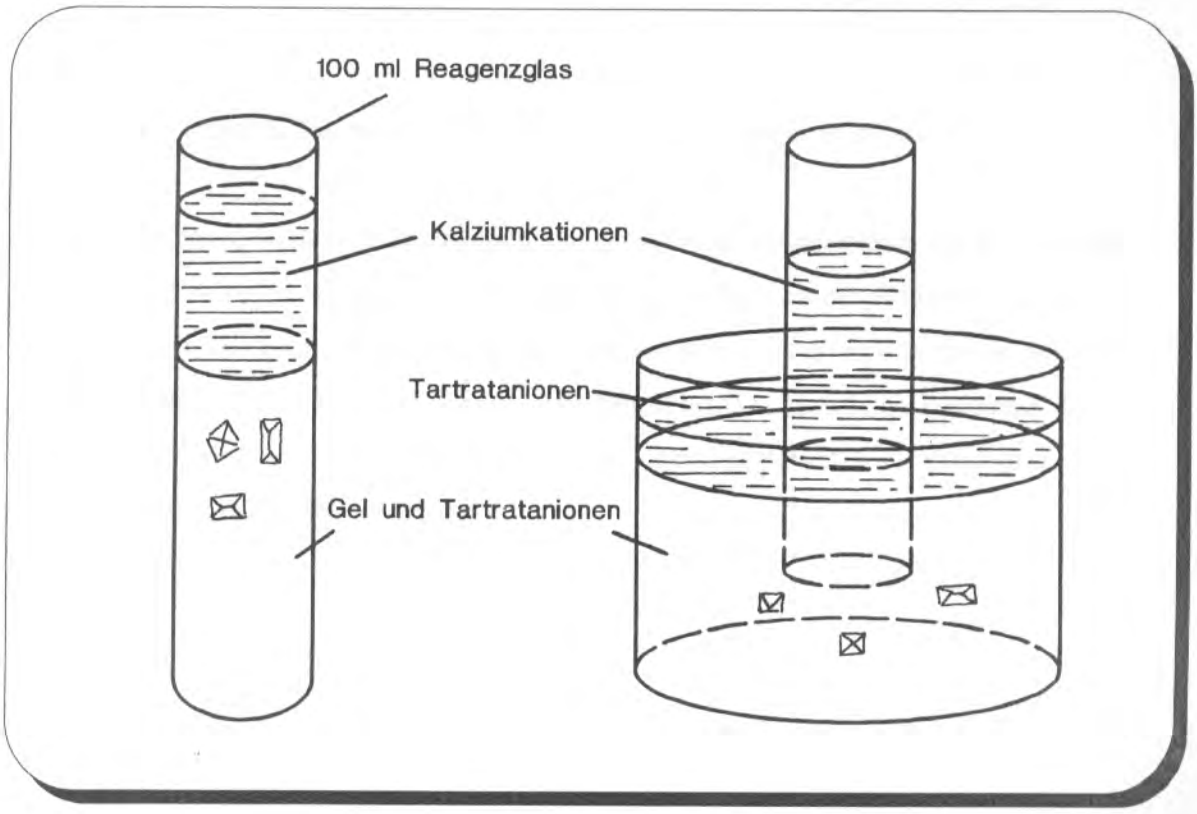


Bild 2:

3. Ergebnisse

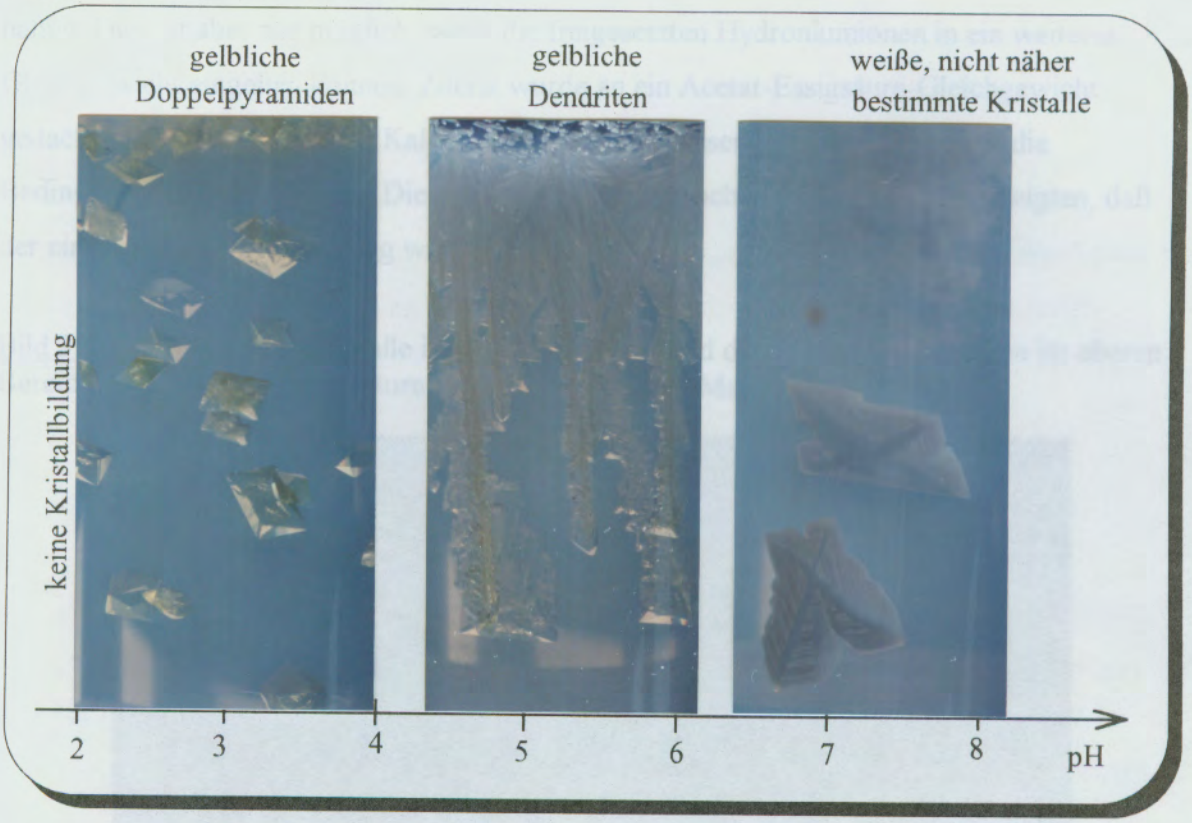
3.1 Züchtungsergebnisse

Zur Feststellung optimaler Bedingungen für die Bildung von Kalziumtartratkristallen wurde dem Einfluß folgender Parameter nachgegangen.

- Festigkeit des Gels
- Konzentration der Edukte (Kalziumchlorid und Natriumtartrat)
- pH-Abhängigkeit
- anderes Edukt (Kalziumacetat oder Kalziumformiat)
- Apparative Varianten die unterschiedliches Diffusionsverhalten erlauben

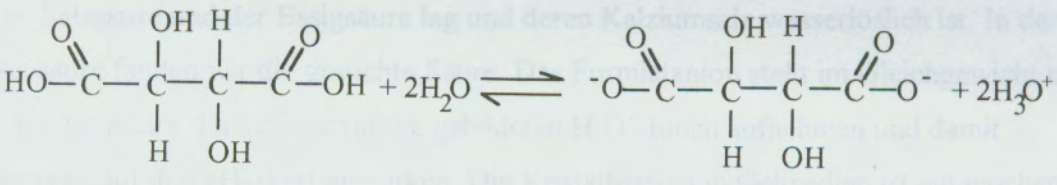
Zahlreiche Reihenversuche mit unterschiedlich festen Gelen trugen wenig zur Klärung des Sachverhaltes bei. Auch Versuche bei denen die Konzentrationen der Edukte geändert wurden, ergaben keine eindeutigen Resultate. Erst die weitere Verfolgung der Beobachtung daß sich bereits gebildete Kristalle wieder auflösten, führte in die richtige Richtung, der Untersuchung der pH-Abhängigkeit.Es zeigte sich, daß in bestimmten pH-Bereichen unterschiedliche Kristallbildung erfolgt.

Abbildung 5: Maßstab 1,5:1



Die Tatsache ,daß während der Kristallisation der pH-Wert abfällt d.h. Hydroniumionen entstehen, bedarf einer Erklärung.

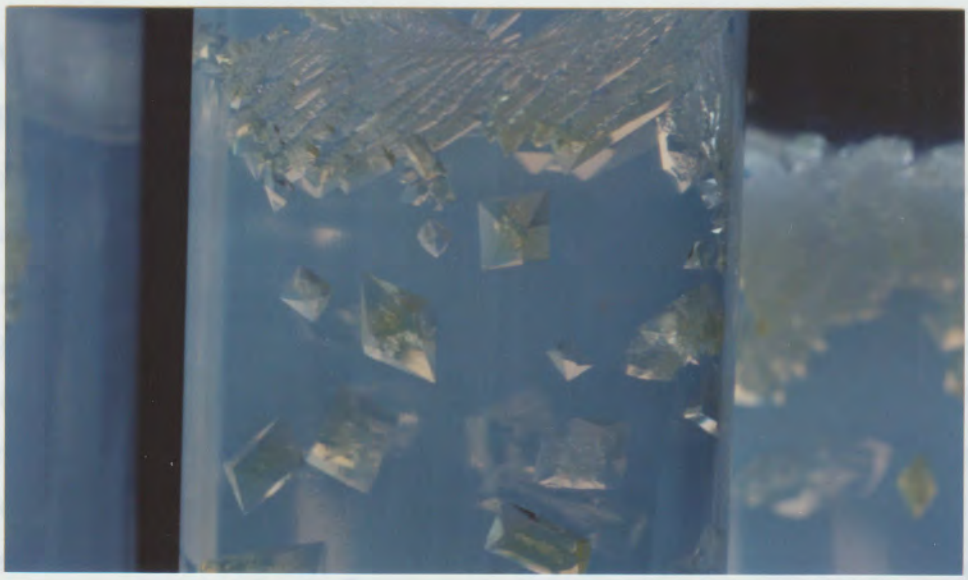
Bei dem pH-Wert der Gelbildung liegt nur ein Teil der eingesetzten Weinsäure als Tartratanion vor. Es besteht das folgende Gleichgewicht.



Die Kalziumchloridlösung ist praktisch neutral, d.h. durch sie können keine Hydroniumionen hinzukommen. Fällt nun schwer lösliches Kalziumtartrat aus, wird das Tartrat-Säure-Gleichgewicht durch Entzug von Tartrat nach rechts verschoben d.h. es bilden sich H_3O^+-Ionen. Da Hydroniumionen und Chloridionen nicht zu unprotolysierter Salzsäure weiterreagieren, fällt der pH-Wert (HCl ist in diesem Konzentrationsbereich vollständig protolysiert).

Es kam also darauf an, den pH-Wert im Verlauf der Kristallbildung möglichst konstant zu halten. Dies ist aber nur möglich, wenn die freigesetzten Hydroniumionen in ein weiteres Gleichgewicht eingehen können. Zuerst wurde an ein Acetat-Essigsäure-Gleichgewicht gedacht. Erfreulicherweise ist Kalziumacetat gut in Wasser löslich, erfüllt damit die Bedingungen an unser Edukt. Die anschließenden Versuche mit Kalziumacetat zeigten, daß der eingeschlagene Weg richtig war.

Bild 3: Kalziumtartrateinkristalle im unteren Bereich und dendritisches Wachstum im oberen Bereich. Züchtung mit Essigsäure-Acetat-Puffer. Maßstab 2,5:1



Trotzdem entsprach der pH-Bereich nicht dem optimalen Bereich für die Bildung der gewünschten Einkristalle. Es mußte eine Säure gefunden werden deren pK_s-Wert zwischen dem der Salzsäure und der Essigsäure lag und deren Kalziumsalz wasserlöslich ist. In der Ameisensäure fanden wir die gesuchte Säure. Das Formiatanion steht im Gleichgewicht mit freier Ameisensäure. Es kann somit die gebildeten H_3O^+-Ionen aufnehmen und damit stabilisierend auf den pH-Wert einwirken. Die Kristallisation in Gelmedien ist ein wochenlang dauernder Vorgang, bei dem es in der Regel zu Pilzbefall kommt. Ein positiver Nebeneffekt der Verwendung von Ameisensäure-Formiat-Puffer ist die Vermeidung dieses Befalls. Tatsächlich führten die Versuche mit Kalziumformiat-Ameisensäure zu den besten Resultaten.Der pH-Wert stellte sich auf 2.0-2.5 ein, was sowohl für die Keimbildung wie auch für das Wachstum optimal ist. Im Detail wurde wie folgt vorgegangen:
Durch Zugabe von Natronwasserglaslösung zu einer entsprechend berechneten Ameisensäure wurde ein pH-Wert von 3,5-4 eingestellt. Nach etwa 24 Stunden war die Lösung geliert.

Im Anschluß daran wurde das Gel 4 Tage lang mit 25%iger Ameisensäure (30% bezogen auf das Gelvolumen) überschichtet. Anschließend wurde die Ameisensäure gegen eine 1 molare Kalziumformiatlösung ausgetauscht. Nach 7-10 Tagen setzte die spontane Einkristallbildung ein. Das Wachstum hielt im Reagenzglas ca. 4-5 Wochen an.
Die Konzentrationsverhältnisse spielten gegenüber dem pH-Wert eine untergeordnete Rolle. Als optimal erwies sich eine Konzentration der Edukte um 1 mol/l. Höhere Konzentrationen bewirken ebenfalls dendritisches Wachstum und bei niedrigen Konzentrationen erfolgte geringfügige Diffusion ins Gel.

3.2 Vermessung eines Kristalls mit Hilfe eines zweikreisigen Reflexionsgoniometers

Zur Bestimmung wichtiger kristallographischer Daten (Kristallsystem - Achsenabschnitte) wurde ein etwa 1mm großer, gut ausgebildeter Kristall auf einer dünnen Glasnadel festgeklebt. Die Nadel sollte dabei möglichst parallel zur kristallographischen c-Achse verlaufen. Die Messung erfolgte im Kristallographischen Institut der Universität Freiburg. Zu diesem Zweck wurde der Kristall zuerst im Goniometer justiert. Gemessen wurden die Winkel zur Flächennormalen (Pol der Fläche). Auf den Kristall wird dabei ein Lichtstrahl gerichtet, der nach Reflexion an einer Fläche in ein Beobachtungsmikroskop fällt, sobald die Fläche eine bestimmte Position erreicht hat. Abgelesen wird dann der Azimutwinkel φ und der Polwinkel ρ der Flächennormalen.
Die von uns gemessenen Winkel wurden anschließend in ein Wulffsches Netz übertragen. Beim Wulffschen Netz werden alle Flächenpole in einer Äquatorebene abgebildet. Diese stereographische Projektion ist winkeltreu, d.h. man kann die Winkel zwichen den Flächennormalen und den kristallographischen Achsen direkt ablesen. Aus der Projektion folgt:

- Alle drei kristallographischen Achsen stehen senkrecht aufeinander.
- Die c-Achse ist zweizählig.
- Die Winkel zwischen den kristallographischen Achsen und der Flächennormalen der (111)-Fläche betragen $\varepsilon_a = 52°$; $\varepsilon_b = 58°$; $\varepsilon_c = 54°$.

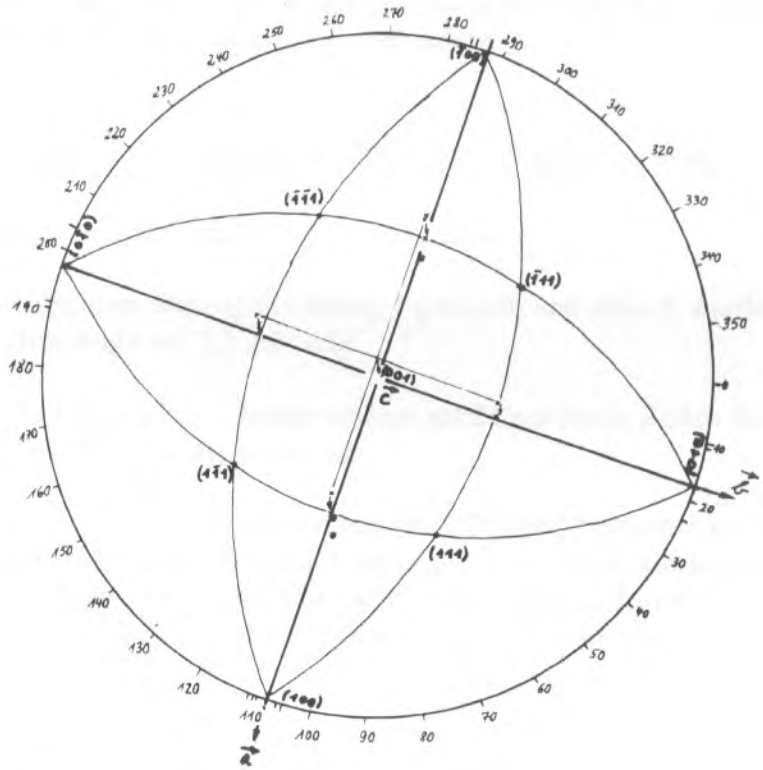
Hieraus folgt eindeutig, daß Kalziumtartrat dem ortho-rhombischen Kristallsystem angehört. Sein Achsenverhältnis beträgt auf b = 1,00 normiert.

a = 0,87 b =1,00 c = 0,90

Dies stimmt recht gut mit den auf Basis von Röntgendaten ermittelten Werten (Seite 4).

absolute Werte :	a = 0,9215 nm	b = 1,0569 nm	c = 0,9627 nm
Verhältnis:	a = 0,87	b = 1,00	c = 0,91

Abbildung 6: Stereographische Projektion des Kalziumtatratkristalls



Literaturverzeichnis

[1] G.Bolanz , Jugend-forscht 2.Bundessieger 1984
[2] H.J.Rösler ,Lehrbuch der Mineralogie 2.Auflage 1981 VEB Verlag , Leipzig
[3] W.Kleber , Einführung in die Kristallographie 14.Auflage 1979 VEB Verlag Technik Berlin
[4] Evens, A.Krist. A92 154-155 (1935)
[5] Römpp Chemielexikon 8.Auflage Stuttgart 1979
[6] E.Gübelin in LAPIS Mineralienmagazin Febr.88 Christian Weise Verlag München
[7] I.Eckstein, persönliche Mitteilungen Kristallographisches Institut Freiburg i.Br.
[8] W.Haas, persönliche Mitteilungen an Prof. Arendt EDTH Zürich

Bildnachweis

Die Bilder stammen von Herrn Schäfer.

Danksagungen

Dem Leiter des Kristallographischen Institutes der Universität Freiburg Herrn Prof.Dr.Benz sowie seinen Mitarbeitern Herrn Dr. I.Eckstein, Herrn Dr. Keller und Herrn A. Auersch.

Herrn Schäfer unseren betreuenden Lehrer am Technischen Gymnasium Müllheim.

Versuch der zu den besten Resultaten führte:

Vorbemerkung:

Bei diesem Versuch wurde abgekochtes demineralisiertes Wasser zur Herstellung des Gels benutzt um die Bildung von Bakterien- und Pilzkulturen und Luftbläschen im Gel zu verhindern.
Bei allen Lösungen mit denen das Gel überschichtet wurde ausschließlich demineralisiertes Wasser verwendet um Konkurenzreaktionen zu verhindern.

Lösung 1:
10,8 ml Ameisensäure und 43 g Weinsäure wurden in 600 ml Wasser gelöst.
Lösung 2:
100 ml Natronwasserglas wurden mit 600 ml Wasser versetzt.

Lösung 2 wurde mit Hilfe einer Bürette in Lösung 1 getropft, und danach wurde der pH-Wert mit konzentrierter Natronlauge auf 3,5 gebracht.

Zum gelieren wurde die Lösung in 20 Reagenzgläser gefüllt auf deren Boden 20 mg Titriplex III in einem Milliliter Wasser gelöst war.

Das Gel wurde nach dem gelieren eine Woche lang mit 20%iger Ameisensäure überschichted. Danach wurde die Ameisensäure durch einen Ameisensäure-Kalziumformiatpuffer ausgetauscht dessen pH-Wert bei 1,9 lag. Der Puffer wurde aus 1,2 molarer Kalziumformiatlösung durch die Zugabe von Ameisensäure gewonnen.

Titriplex III:
Merck Nr. 8418
Summenformel: $C_{18}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$
Nomenklaturname: Ethylendinitroltetraessigsäure Dinatriumsalz Dihydrat
Eigenschaften: Titriplex ist in der Lage Schwermetallionen komplex an sich zu binden und sie in Lösung zu halten, so daß die Ionen nicht in das Kristallgitter eingebaut werden.

Natronwasserglas:
reinst Merck Nr.5621 Dichte 1,296-1,396 kg/l

URKUNDE

Jugend forscht – der naturwissenschaftlich-technische Nachwuchswettbewerb –
gefördert von Stern, Industrie, Schule und Bundesregierung

Die Gruppe

- Karin Rosskopf, Stefan Müller -

Georg-Kerschensteiner-Gymnasium, Müllheim

hat teilgenommen am

jugend forscht

Regionalwettbewerb Schwarzwald/Oberrhein
21. und 22. Februar 1994

mit einer Arbeit aus dem Fachbereich

Chemie

mit dem Thema

Züchtung von Kalziumtartratkristallen im Kieselgel

1. Preis

Ort, Datum

Freiburg, 22. Februar 1994

Wettbewerbsleiter/in
C. Gurlitt

Patenbeauftragte/r
Gödecke AG, H. Holtze

Bilder vom Regionalwettbewerb:

Herr Dr. Schubert von der Firma Gödecke, die in Freiburg den Regionalwettbewerb organisierte

URKUNDE

Jugend forscht – der naturwissenschaftlich-technische Nachwuchswettbewerb –
gefördert von Stern, Industrie, Schule und Bundesregierung

Karin Rosskopf

hat teilgenommen am

29. Landeswettbewerb

jugend forscht

in Baden-Württemberg

mit einer Arbeit aus dem Fachbereich

Chemie

mit dem Thema

Züchtung von Kalziumtratratkristallen im Kieselgel

2. Preis

Leinfelden-Echterdingen, 24. März 1994
Ort, Datum

BOSCH

Prof. Dr. Werner Bayh
Wettbewerbsleiter/in

Dr. Thomas Hilberath
Patenbeauftragte/r

Bilder vom Regionalwettbewerb:

Karin und Stefan an ihrem Stand und bei der Preisverleihung

Bilder vom Landeswettbewerb:

Die Preisvergabe erfolgte im Rahmen einer Feierstunde in Anwesenheit der Kultusministerin

Bilder vom Landeswettbewerb:

Stefan an seinem Stand. Karin konnte leider nicht teilnehmen, da sie zu dieser Zeit in den USA war.

Gemeinsame Vorstellung aller Teilnehmer

Bilder vom Landeswettbewerb:

Tanzeinlagen während der Feierstunde sorgten für eine Abwechslung