

Zuckerkristall in ca. 60-facher Vergrößerung, fotografiert unter polarisiertem Licht

Untersuchung optisch aktiver Kristalle unter polarisiertem Licht

Wettbewerb „Schüler Experimentieren“ 1999

Anna Maria Biedermann (15 Jahre)

**Arbeitsgemeinschaft „Jugend Forscht“
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg**

Leitung: StD Thomas Biedermann

Inhaltsverzeichnis

1.	Am Anfang stand ein Foto	3
1.1	Die Ausrüstung	3
1.2	Das Untersuchungsobjekt	3
2.	Die Objekte meiner Neugier	4
2.1	Klärung von Begriffen	4
2.1.1	Polarisiertes Licht	4
2.1.2	Optische Aktivität	4
2.2	Der Versuchsaufbau	5
2.3	Probleme, die beim Versuchsaufbau auftraten	6
2.4	Herstellung der Zuckerlösungen	6
2.5	Ablauf einer typischen Messreihe	7
3.	Auswertung der Beobachtungen	7
3.1	Beschreibung der Kristallisationsvorgänge	7
3.1.1	Lösung 1	7
3.1.2	Lösung 2	7
3.1.3	Lösung 3	8
3.1.4	Lösung 4	8
3.1.5	Lösung 5	9
3.2	Schlussfolgerungen	9
3.2.1	Entstehen und Wachsen der Kristalle	9
3.2.2	Farbgebung der Kristallflächen	10
4.	Aus Fehlern lernt man ...	11
4.1	Fehlerquellen	11
4.2	Ergänzungsmöglichkeiten	11
5.	Danksagungen	11
6.	Literaturliste	11
7.	Bilddokumente	12
7.1	Zuckerlösung 25 % nach 200 Minuten	12
7.2	Zuckerlösung 25 % nach 225 bzw. 250 Minuten	13

1. Am Anfang stand ein Foto

Als ich meinem Vater beim Aufräumen auf dem Boden half, fand ich ein vergrößertes Foto von einem Zuckerkristall. Da ich nicht wußte, was es war, fragte ich meinen Vater danach. Er erzählte mir, dass er dieses Foto vor fast zwanzig Jahren von einem Freund geschenkt bekommen hatte. Ich fand dieses Bild so interessant, dass ich beschloß, mich näher damit zu befassen.

Auf den ersten Blick meint man auf dem Bild eine zerbrochene Glasscheibe zu sehen, bei der die Bruchstellen ungefähr von der Mitte ausgehen. Dann fällt auf, dass einzelne Splitter farbig sind und in unterschiedlichen Farben erscheinen. Die Splitter fügen sich wie Puzzle-Steine nahtlos aneinander. Nach einiger Zeit meint man eine gewisse Räumlichkeit zu erkennen - Grate und Abhänge erschließen sich dem Betrachter. Ohne Größenvergleich könnte es sich genauso gut um eine bizarre Fels- oder Gletscherformation handeln, wären da nicht die überraschend bunten Farben.

Tatsächlich handelt es sich - wie ich erfuhr - um Aufnahmen eines Zuckerkristalls in ca. 120-facher Vergrößerung, die mit Hilfe eines Mikroskops unter polarisiertem Licht gemacht worden waren.

Ich nahm mir vor, eine eigene Apparatur aufzubauen und auch solche Bilder aufzunehmen. Da mich aber gleichzeitig der Bildungsprozess dieser Kristalle interessierte, wollte ich das Angenehme mit dem Nützlichen verbinden und versuchen, eine Systematik bei der Entstehung der Kristalle und der dabei auftretenden Farben zu finden.

1.1 Die Ausrüstung

Für diese Aufnahmen benötige ich ein Mikroskop mit einem Spezialtubus, der die Montage einer Kamera erlaubt sowie eine sehr helle Lichtquelle. Eine geeignete Kamera mit automatischer Belichtungssteuerung und einem passenden Adapter besitze ich selber. Das Mikroskop wurde mir von dem Fachbereich Biologie unserer Schule für diese Arbeit ausgeliehen, dazu gehörte ein Polarisationsfilter für die Objektbeleuchtung.

Da die zugehörige Mikroskoplampe sich als zu lichtschwach erwies, gab mir mein Vater eine aus Gerätespenden zusammengebastelte Halogenlampe mit Kühlgebläse, Kondensor-Linse und einem Lichtleiter, mit der ich das sehr helle Licht dieser Lampe genau auf meine Objekte richten konnte. Als Stromquelle für diese Lampe dienen mir zwei große Autobatterien.

Das noch fehlende zweite Polarisationsfilter musste ich noch passend für meine Kamera besorgen, und dann konnte ich endlich damit anfangen, eigene Kristalle zu züchten.

1.2 Das Untersuchungsobjekt

Wenn ich auch mit verschiedenen Lösungen, aus den ich Kristalle ziehen wollte, experimentiert habe, führte ich alle Experimente in dieser Arbeit mit einer Zuckerlösung aus, weil ich von dieser sicher wusste, dass sie Resultate liefern würde. Dabei habe ich aus unterschiedlich konzentrierten Zuckerlösungen je einen Tropfen auf einen Objektträger gegeben und diese Tropfen alle 25 Minuten untersucht, bis der Tropfen auskristallisiert war. Die Veränderungen hielt ich auf Fotos fest.

2. Die Objekte meiner Neugier

2.1 Klärung von Begriffen

Ich möchte zunächst ein paar Begriffe erklären, die für das Verständnis dieser Arbeit wichtig sind und über das übliche Schulvokabular hinausgehen.

2.1.1 Polarisiertes Licht

Natürliches Licht ist nicht polarisiert. Es besteht aus vielen ungeordneten und von einander unabhängigen Wellen (Position (1) in den Abbildungen 1 und 2). Schickt man einen Lichtstrahl durch ein mit besonderen optischen Eigenschaften versehenes sogenanntes *Polarisationsfilter*, wird nur der Anteil des Lichtes durchgelassen, der mit der Vorzugsrichtung des Filters übereinstimmt (Position (2)). Sind die Schwingungen alle in einer Ebene ausgerichtet, spricht man von *linear polarisiertem Licht*. Das übrige Licht, das nicht die "richtige" Schwingungsrichtung aufweist, wird vom Polarisationsfilter absorbiert.

Lässt man dieses polarisierte Licht durch ein zweites Polarisationsfilter gehen, gibt es mehrere Möglichkeiten: Wenn beide Filter gleich ausgerichtet sind, wird das Licht sogar fast ungehindert durchgelassen - es herrscht maximale Helligkeit (siehe Abbildung 1, Position (3)). Steht die Vorzugsrichtung des zweiten Filters im rechten Winkel zu der des ersten, wird das Licht absorbiert, es kann kein Licht mehr austreten (Abbildung 2, Position (3)). In jedem anderen Winkel kann die Absorption zwischen 0 % und 100 % liegen.

Das erste Polarisationsfilter nennt man *Polarisator*, das zweite *Analysator*.

2.1.2 Optische Aktivität

Optische Aktivität ist eine Eigenschaft von verschiedenen Feststoffen, Flüssigkeiten, Lösungen und Gasen. Diese Substanzen sind in der Lage, linear polarisiertes Licht, das in sie eingestrahlt wird, um einen bestimmten Winkel zu drehen. Mit Hilfe eines Polarimeters, ein Gerät zum Messen der optischen Aktivität, wird der Drehwinkel α (siehe Abb. 3) gemessen, durch den der optische Drehwert angegeben wird. Den *spezifischen* optischen Drehwert $[\alpha]$ berechnet man nach:

$$[\alpha] = \frac{\alpha \cdot V}{m \cdot l}$$

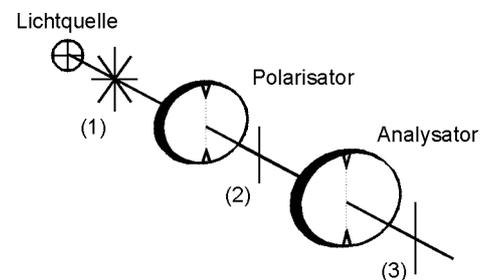


Abb. 1: Polarisator und Analysator sind in der gleichen Richtung ausgerichtet

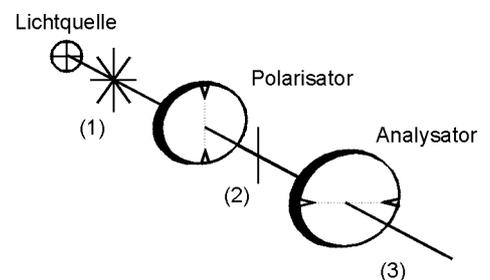


Abb. 2: Polarisator und Analysator sind senkrecht zueinander ausgerichtet

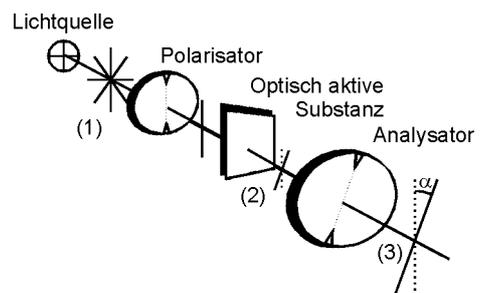


Abb. 3: Polarisator und Analysator sind senkrecht zueinander ausgerichtet

Hier sind V das Volumen der Lösung; m die Masse der gelösten optisch aktiven Substanz; α der gemessene Drehwinkel und l die Länge des Messrohres [1]. Die optische Aktivität bei organischen Stoffen kann durch ein (oder auch mehrere) asymmetrisches Kohlenstoffatom verursacht werden. Ein asymmetrisches Kohlenstoffatom (Abb. 4) ist durch seine vier freien Außenelektronen (Valenzen) mit vier verschiedenen Stoffen verbunden.

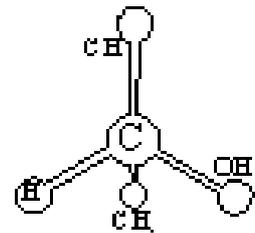


Abb. 4: Asymmetrisches Kohlenstoffatom

2.2 Der Versuchsaufbau

Mein Versuchsaufbau besteht eigentlich aus zwei Teilen, einem Mikroskop zum Beobachten der Untersuchungsobjekte und einer Heizvorrichtung zum beschleunigten Wachstum der Kristalle. Das Mikroskop ist ein LEITZ Wetzlar mit einem Okular mit dem Vergrößerungsfaktor $\times 6$ und einem Objektiv $\times 10$ - folglich verwende ich eine 60-fache Vergrößerung. Der selbst konstruierte Lichtleiter dient als Kaltlichtquelle mit einer Eingangsleistung von 250 W. Da es sich um eine 24-Volt-Lampe handelt, benötigte ich eine Stromquelle, die mehr als 10A liefern kann, als kostengünstige Lösung verwende ich dazu zwei in Reihe geschaltete 12-Volt Autobatterien, die ich von Zeit zu Zeit nachladen muss. Zwischen Lichtleiter (a) und Blende (c) befindet sich der Polarisator (b). Das verwendete Objektiv (d) ist das kleinste auf dem Objektivrevolver. Das Okular (e) wird sowohl für die direkte Beobachtung mit dem Auge als auch für die Kameraaufnahmen benötigt. Auf dem Okular ist ein Kameraadapter (f) für Minolta-Bajonette aufgesetzt. In diesem zerlegbaren Adapter befindet sich der Analysator (g) fast unmittelbar vor der Kameraöffnung. Die beim Fotografieren benutzte Kamera (h) ist eine Minolta mit Bajonettverschluss vom Typ XG2. Die verwendeten Filme waren alle vom Typ Kodak GOLD, 200 ASA (24 DIN), mit 24 beziehungsweise 36 Aufnahmen.

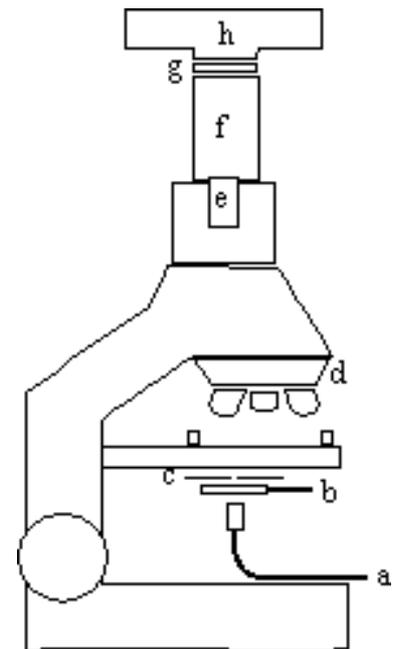


Abb. 5: Das Mikroskop und seine Zubehörteile

In Vorversuchen stellte ich fest, dass die Kristalle bei Zimmertemperatur bis zu zwei Tagen benötigten, um vollständig auszukristallisieren. Durch eine Heizvorrichtung gelang es mir, diese Zeit auf etwa 4 Stunden zu reduzieren. Dazu verwende ich ein ganz einfaches System, bei dem ich die sonst unerwünschte Wärme von Glühlampen ausnutze.

In meiner Schreibtischlampe (1) befindet sich eine Lampe (Strahler) mit einer Leistung von 60 W. Die Objektträger mit den auszukristallisierenden Lösungen lege ich auf einen umgedrehten Edelstahlkochtopf (2), um die Wärme gleichmäßig zu verteilen und auch weil ich wußte, dass dem Kochtopf die Wärme nicht schaden würde. Durch Konstanthalten des Abstandes zwischen Lampe und Objektträgern hatte ich so eine reproduzierbare Heizvorrichtung.

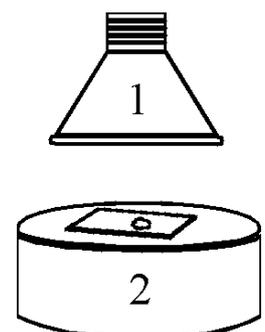


Abb. 6: Heizvorrichtung

2.3 Probleme, die beim Versuchsaufbau auftraten

Es traten anfangs verschiedene Probleme beim Versuchsaufbau. Als ein kleines Problem stellte sich der zweite Polarisationsfilter (Analysator) heraus. Der Polarisator war mir mit entsprechender Einbaumöglichkeit mit dem Mikroskop aus der Schule mitgegeben, aber es stand kein zweiter Filter (Analysator) zur Verfügung. Der bei dem Hermannsburger Fotografen bestellte Polarisationsfilter wurde nach einigem Versuchen im Kameraaufsatz dazwischengeschraubt. Nach der ersten Versuchsreihe wurde der Polarisator mit einem Griff versehen, damit er präziser bewegt werden konnte.

Ich wollte bei meinen Untersuchungen immer die gleiche Stelle unter dem Mikroskop liegen haben. Die erste Lösung war, auf einem Glasobjektträger ein feines Fadenkreuz einzuritzen, aber es erwies sich als etwas schwierig, dies Fadenkreuz mit den Fingern immer wieder genau zu positionieren, außerdem war zu befürchten, dass die feinen Ritzlinien im Glas den Kristallisationsprozess beeinflussen könnten. Daraufhin habe ich ein flaches Holzstück in Form eines rechten Winkels zugesägt. Dieser wurde mit Klemmen auf dem Objektisch in einer bestimmten Lage fixiert. Nun war es möglich, durch Anlegen der Objektträger an diesen Winkel jedesmal dieselbe Stelle unter das Objektiv zu bekommen.

Das nächste Problem entdeckte ich bei meinen ersten Fotografierversuchen: Die Lichtquelle des Mikroskops lieferte zu wenig Helligkeit, um durch den Sucher der Kamera etwas zu erkennen; das Sichtfeld war einfach nur dunkelgrau, was ein Scharfstellen unmöglich machte. Hier schaffte die bereits beschriebene Halogenlichtquelle Abhilfe. Die beiden Autobatterien mit ihrem großen Gewicht sind da eher ein kleineres Übel

2.4 Herstellung der Zuckerlösungen

Ich habe Lösungen mit unterschiedlichen Zuckerkonzentrationen verwendet. Da Zucker bekanntlicherweise von Wasser in unbegrenztem Maße aufgenommen werden kann, gibt es keine richtige 100%-ige Zuckerlösung. Daher habe ich das Mischungsverhältnis 1:1 von Zucker und Wasser gleich 100% gesetzt und durch Verdünnung fünf verschiedene Konzentrationen erhalten. Diese bewahre ich dicht verschlossen in Filmdosen auf und kann so bei Bedarf mit einer Pipette eine reproduzierbare Menge von Lösung auf die Objektträger aufbringen.

Zum Ansetzen der Lösungen verwendete ich haushaltsüblichen Zucker sowie normales Leitungswasser. Beim Ausmessen der Anteile bin ich von Gewichtsanteilen (1 Teil = 5 g) ausgegangen, die ich mit einer Präzisionswaage mit einer Genauigkeit von 0,01 g auswiegen konnte.

100%-ige Lösung Lösung 1	Mischungsverhältnis 1:1 - Ich habe Wasser und Zucker zu gleichen Teilen gemischt.
75%-ige Lösung Lösung 2	Mischungsverhältnis 3:4 - Ich habe ein 1/4 der Lösung aus Wasser und 3/4 von der 100%-igen Lösung gemischt.
50%-ige Lösung Lösung 3	Mischungsverhältnis 1:2 - Ich habe die 100%-ige Lösung und das Wasser zu gleichen Teilen gemischt.
25%-ige Lösung Lösung 4	Mischungsverhältnis 1:4 - Ich habe die 50%-ige Lösung und das Wasser zu gleichen Teilen gemischt.
12,5%-ige Lösung Lösung 5	Mischungsverhältnis 1:8 - Ich habe die 25%-ige Lösung und das Wasser zu gleichen Teilen gemischt.

Abb.7: Übersicht über die verwendeten Zuckerlösungen

2.5 Ablauf einer typischen Messreihe

Von den vorbereiteten Zuckerlösungen trug ich einen Tropfen jeder Konzentration auf einen Objektträger auf und legte ihn unter die Heizvorrichtung. Alle 25 Minuten untersuchte ich einen bestimmten Ausschnitt des Tropfens unter dem Mikroskop. Jedesmal wenn eine Veränderung eingetreten war, machte ich ein Foto, um mit diesem nachher den Vorgang der Kristallbildung dokumentieren zu können. Wenn sich deutliche Kristallbildungen zeigten, wurde jeweils ein Foto bei Parallelstellung von Polarisator und Analysator und bei gekreuzter Einstellung gemacht. Die Farberscheinungen waren im letzteren Fall sehr viel ausgeprägter.

Im Laufe einer Messreihe entstanden so etwa 30 bis 40 Aufnahmen.

3. Auswertung der Beobachtungen

Zur Auswertung standen mir zwei Versuchsreihen mit den oben beschriebenen Zuckerlösungen zur Verfügung, die nahezu lückenlos mit entsprechenden Farbfotos sowie entsprechenden Beobachtungsprotokollen dokumentiert waren. Die Beobachtungen für die einzelnen Lösungen werden im Folgenden beschrieben.

3.1 Beschreibung der Kristallisationsvorgänge

3.1.1 Lösung 1

Bereits nach 25 Minuten wächst bei dieser Zuckerkonzentration ein Kristall von oben links in das Bild. Nach 50 Minuten nimmt der Kristall schon ein Viertel der Bildfläche ein. Auf dem Foto ist erkennbar, dass es drei tropfenförmige Zacken sind. Nur einer von ihnen ist farbig. Bei der nächsten Untersuchung bedeckt der Kristall das gesamte Blickfeld. Man kann auf der Aufnahme sehen, dass der Kristall aus mehreren kleineren Teilkristallen besteht; die schwarzen Linien auf dem Bild sind die Ränder der Teilkristalle. Es ist also nicht *ein* Kristall, sondern viele kleine, die zusammenhängen. Nach nahezu 3 Stunden (genauer 175 Minuten) ist keine weitere Veränderung erkennbar, der Tropfen ist auskristallisiert.

3.1.2 Lösung 2

Nach 50 Minuten bilden sich die ersten Kristalle am Rand des Tropfens. Diese habe ich aber vernachlässigt, denn die Kristalle am Rand sind nach kurzer Zeit uninteressant, da sich dann nichts mehr verändert.

Nach 75 Minuten wächst ein Kristall in den oberen rechten Bildrand. Bei der nächsten Messung (100 Min.) bedeckt der Kristall bereits ungefähr die Hälfte des Blickfelds. Auf dem Foto ist erkennbar, daß der Kristall mehrere Schichten übereinander schiebt. Auf dem nächsten Foto nach 125 Minuten wird das noch deutlicher. Dieser Kristall besteht also auch aus vielen kleinen zusammengesetzten Teilen. Im Gegensatz zu Lösung 1 ist der Kristall bei paralleler Stellung der Filter farblos.

Bei der folgenden Messung (150 Min.) ist der Kristall bereits aus dem Blickfeld herausgewachsen. Auf den Fotos kann man sehen, dass sich die Farben unter gekreuzten Polarisationsfiltern von 125 bis 150 Minuten nicht verändert haben. Nach ungefähr 200 Minuten ist der Tropfen auskristallisiert.

3.1.3 Lösung 3

Für diese Lösung habe ich zwei Messreihen mit gleichen Versuchsbedingungen durchgeführt. In der ersten Messreihe geschah folgendes:

Nach 75 Minuten entstehen die ersten Kristalle am Rand. In den nächsten Messungen ist noch nichts im Blickfeld zu sehen, aber das Kristallwachstum am Rand geht stetig weiter. Nach 200 Minuten (etwas mehr als 3 Stunden) sieht man einen Kristall, der von der rechten Seite ins Bild gewachsen ist. Soweit man ihn sieht, ist er vollständig farbig und nicht nur teilweise wie die anderen. Nach 275 Minuten (nahezu 5 Stunden) ist der Tropfen auskristallisiert. Auf diesen Fotos kann man sehr gut sehen, wie der Kristall weiter "ausfranst". An diesen "Fransen" setzen sich die weiteren Kristalle an. Die zweite Meßreihe führte ich zwei Wochen später durch. Dabei habe ich folgende Beobachtungen gemacht: Nach 100 Minuten haben sich am Rand 5 Kristalle gebildet. Es bilden sich im Laufe der Zeit weitere Kristalle. Nach 175 Minuten wächst ein Kristall von unten ins Bild, aber noch kann man nur einen "Zipfel" sehen. Bei der nächsten Messung (200 Min.) nimmt er schon die halbe Bildfläche ein. Man kann drei verschiedene Teilkristalle sehen, die bei gekreuzten Polarisationsfiltern alle farbig sind, bei paralleler Stellung aber nur einer. Der Kristall bedeckt bei der nächsten Messung (225 Min.) drei Viertel der Fläche. Nach 250 Minuten ist der Kristall aus dem Bild heraus gewachsen. Der ganze Tropfen ist mit Kristallen bedeckt.

Auf diesen Fotos kann man wieder sehr gut die einzelnen Teilkristalle erkennen, die zusammen den größeren Kristall bilden.

In den zwei Versuchsreihen kann man mehrere Dinge feststellen. Die Kristallbildung am Rand beginnt bei beiden zu verschiedenen Zeiten. Der in der ersten Messreihe fängt nach 75 Minuten an, der in der zweiten 25 Minuten später (bei 100 Min.). Aber beide Tropfen sind nach 200 Minuten soweit kristallisiert, dass die Hälfte der Bildfläche von einem Kristall bedeckt ist. Sehr gut kann man das "Ausfransen" des Kristalls in der ersten Messreihe beobachten, in der zweiten allerdings nicht. Die Kristalle auf den Fotos sehen auch verschieden aus. Im ersten Versuch hat der Kristall eine gezahnte, aber fast gerade Außenlinie, im zweiten ist die Kante eher gebuchtet. Die Teilkristalle im ersten Versuch sind fächerförmig, im zweiten sind sie zum größten Teil wie ein umgekehrter Wassertropfen geformt.

3.1.4 Lösung 4

Auch bei dieser Konzentration habe ich zwei Versuchsreihen durchgeführt.

Bei dem ersten Versuch habe ich vergessen, zu beobachten, ob und wann sich außerhalb des Blickfelds Kristalle bildeten. Der Ausschnitt, den ich beobachtete, lag etwas näher am Rand als der von

Lösung 3 in der ersten Versuchsreihe.

Nach 175 Minuten sieht man einen Kristall "zipfel" in der oberen rechten Ecke. Bei der nächsten Messung (200 Min.) nimmt der leicht farbige Kristall bereits ein Drittel der Bildfläche ein. Nach 225 Minuten hat man zwei Kristalle im Bild, der größere von oben rechts, der kleinere von unten, die verschiedenfarbig sind und sich nicht berühren. Aber bei der folgenden Messung (250 Min.) hat sich der gewachsene kleinere Kristall über den größeren hinüberschoben. Man kann auch bei diesen Fotos sehr schön erkennen, dass die größeren Kristalle aus mehreren kleineren Teilkristallen bestehen.

Bei der zweiten Versuchsreihe passierte folgendes: Erst nach 100 Minuten bilden sich 3 Kristalle am Rand. In den darauf vergangenen 300 Minuten sind die Kristalle am Rand entlang gewachsen und bilden nach 400 Minuten (fast 7 Stunden) ein Hufeisen. In der Mitte sind keine Kristalle entstanden. Da sich nach 500 Minuten (ca. 8 Stunden) nichts geändert hat, mußte ich annehmen, dass die Lösung nicht mehr weiter kristallisieren wird, und habe deshalb den Versuch beendet.

Diese beiden Versuchsreihen sind nicht zu vergleichen. Zum einen habe ich in der ersten Versuchsreihe nicht daran gedacht, die Kristalle am Rand zu beobachten, zum anderen ist der Tropfen in der zweiten Versuchsreihe etwas verlaufen und hat dadurch eine größere Oberfläche bekommen und ist dünner geworden. Der Tropfen in der zweiten Messreihe ist nicht auskristallisiert.

3.1.5 Lösung 5

Die erste Stunde passiert nichts erkennbares. Nach 100 Minuten bilden sich erste Kristalle am Rand des Tropfens. Da sich aber nach 5 Stunden noch immer keine Kristalle im Blickfeld und in der Mitte des Tropfens gebildet haben, habe ich angenommen, dass keine mehr entstehen werden, und den Versuch abgebrochen.

3.2 Schlussfolgerungen

Aus den Beobachtungen bei den verschiedenen Konzentrationen kann man über den Vorgang des Auskristallisierens des Tropfens ungefähr folgende Aussagen treffen.

3.2.1 Entstehen und Wachsen der Kristalle

Das Wasser aus dem Tropfen verdunstet, und zwar zuerst am Rand, weil er dort durch die Krümmung seine größte Oberflächenberührung mit der Luft hat und die Schichten dünner werden. Wenn eine ausreichende Zuckerkonzentration an einer Stelle erreicht wird, beginnen sich kleine Kristalle zu bilden. An diesen setzen sich dann immer mehr Kristalle ab, auf-, unter- und nebeneinander. So wachsen die Kristalle vom Rand nach innen.

Bei den Lösungen 4 und 5 setzte die Kristallbildung sehr spät oder gar nicht innerhalb des Blickfeldes ein. Das könnte daran liegen, dass in der Mitte des Tropfens die Zuckerkonzentration zu gering

für eine Kristallbildung war. Vermutlich ist die Zuckerkonzentration so gering gewesen, dass nur am Rand die notwendige Konzentration zur Kristallbildung entstehen konnte. Das würde bedeuten, dass offensichtlich eine bestimmte Mindestkonzentration von Zucker im Wasser auftreten muss, damit es zur Ausbildung von beobachtbaren Kristallen kommt. In meinen Mischungen liegt die Grenze etwa zwischen 15 % und 20 %.

3.2.2 Farbgebung der Kristallflächen

Besonders bei gekreuztem Polarisator und Analysator ist bei einigen Kristallen ein ausgeprägtes Farbspiel zu erkennen. Bei genauerem Hinsehen kann man einige Gesetzmäßigkeiten erkennen.

- Erscheint eine Kristallfläche mit einer bestimmten Farbe - z.B. blau - so behält sie diese Farbe auch weiterhin und zeigt lediglich geringfügige Schattierungen z.B. zu grünblau oder blauviolett.
- Auch direkt nebeneinander liegende Kristallflächen können unterschiedliche Farben haben.
- Alle Farben scheinen dadurch zu entstehen, dass eine bestimmte Grundfarbe fehlt, z.B. tritt kein reines Rot auf.

Die Erklärung zumindest für den letzten Punkt findet sich in [4]. Dort wird festgestellt, dass optisch aktive Substanzen ähnlich wie ein Glasprisma die Eigenschaft haben, auf Licht unterschiedlicher Farbe unterschiedliche stark zu wirken, also auch, den Polarisationswinkel je nach Farbe unterschiedlich stark zu drehen. Wird nun der Analysator verdreht, so gibt es eine Position, wo er gerade die Farbe herauslöscht, die senkrecht zu seiner Vorzugsrichtung auftrifft und alle anderen Farben mehr oder weniger geschwächt durchlässt: Es entsteht ein Farbeindruck wie oben beschrieben. Diesen Effekt nennt man *Rotationsdispersion*. Während beim Glasprisma der Lichtstrahl je nach Farbe unterschiedlich stark gebrochen wird (blau am stärksten, rot am wenigsten) und damit die Farben des Regenbogens erzeugt, werden in optisch aktiven Substanzen die Winkel der Schwingungsebenen je nach Farbe unterschiedlich stark gedreht.

Für die ersten beiden Beobachtungen gibt es eine - wie ich finde - einleuchtende Erklärung. Die Anordnung der Moleküle im Kristall ist entscheidend für den Drehwinkel der Polarisationsebene bei einer bestimmten Farbe. Da sich alle weiteren Moleküle innerhalb einer Kristallfläche an der Ausrichtung bereits vorhandener Moleküle orientieren und sie fortsetzen, sind alle Moleküle gleich orientiert und haben die gleiche optische Wirkung. Deswegen erscheinen die Flächen, die zu einem Teilkristall gehören, einfarbig. Eine unmittelbar benachbarte Kristallfläche hatte einen anderen Ausgangsmolekül mit einer anderen Ausrichtung und kann daher eine völlig andere Farbe ergeben. Die Kanten und Grate, die ich auf dem Bild, was mich auf die Idee zu dieser Arbeit gebracht hat, sehen konnte, waren also nichts anderes als die Grenzen zwischen den verschiedenen Teilkristallen, die den gesamten vielfältigen Zuckerkristall bildeten.

4. Aus Fehlern lernt man ...

4.1 Fehlerquellen

Bei meinen Versuchen gibt es ein paar Dinge, die Fehler verursacht haben. Die Anleghilfe, die ich dazu brauchte, um die Objektträger immer in die gleiche Position zu bringen, ist mit der Zeit doch etwas verrutscht. Es waren zwar nur Bruchteile von Millimetern, aber auf den letzten Fotos merkt man die sich daraus ergebende Verschiebung des Bildausschnittes. Auch sind nicht alle Bilder, die ich zur Dokumentation gemacht hatte, etwas geworden; zum Beispiel sind die ersten Bilder beim ersten Versuch falsch belichtet und damit nicht entwickelt worden, einige andere sind etwas unscharf. Eine weitere Fehlerquelle ist, dass die Tropfen nicht alle exakt die gleiche Position und Größe hatten. Dadurch sind die Aussagen über die tatsächliche Größe und Dicke der Kristallschichtungen etwas ungenau und lassen sich auch nicht so gut vergleichen, wie ich gehofft hatte.

4.2 Ergänzungsmöglichkeiten

Die Farbverteilung bei den einzelnen Kristallen entsteht durch die optische Aktivität des Materials. Ich hatte ursprünglich angenommen, dass es möglich wäre, durch die Einstellung des Objektivtisches zur Schärfeneinstellung eine Aussage über die aktuellen Schichtdicken machen zu können und diese dann mit den verschiedenen Farben in Bezug zu setzen. Leider erwies sich dieses Vorhaben bislang als undurchführbar, da ich im schwachen Licht des Kamerasuchers nicht die notwendigen Feineinstellungen vornehmen konnte.

5. Danksagungen

Ich möchte mich bei meinem Vater und Betreuungslehrer bedanken, dass er mir beim Versuchsaufbau und anderen Gelegenheiten so viel geholfen hat. Bei den Biologielehrern meiner Schule möchte ich mich ebenfalls ganz herzlich für die Bereitstellung des Mikroskops, des Kameraadapters und des einen Polarisationsfilters bedanken. Auch meinem Chemielehrer Herrn Uhlig, der mir ein paar Informationen herausgesucht hat, möchte ich meinen Dank sagen. Ein herzlicher Dank gebührt auch unserem Förderkreis Jugend Forscht, der es durch seine finanzielle Unterstützung der Arbeit unserer Arbeitsgemeinschaft ermöglicht, dass auch ein durch die vielen Fotos nicht gerade billiges Forschungsprojekt durchgeführt werden konnte.

6. Literaturliste

- [1] *Schülerduden "Die Chemie", 3. bearbeitete Auflage, Dudenverlag, 1995, S. 295*
- [2] *Schülerduden "Die Chemie", Dudenverlag, 1976, S. 263*
- [3] *Der große Brockhaus, Band 8, Stichwort "Polarisation", S. 259*
- [4] *N. L. Allinger u. a. "Organische Chemie", Walter de Gruyter, Berlin 1980, S. 95*

7. Bilddokumente

7.1 Zuckerlösung 25 % nach 200 Minuten

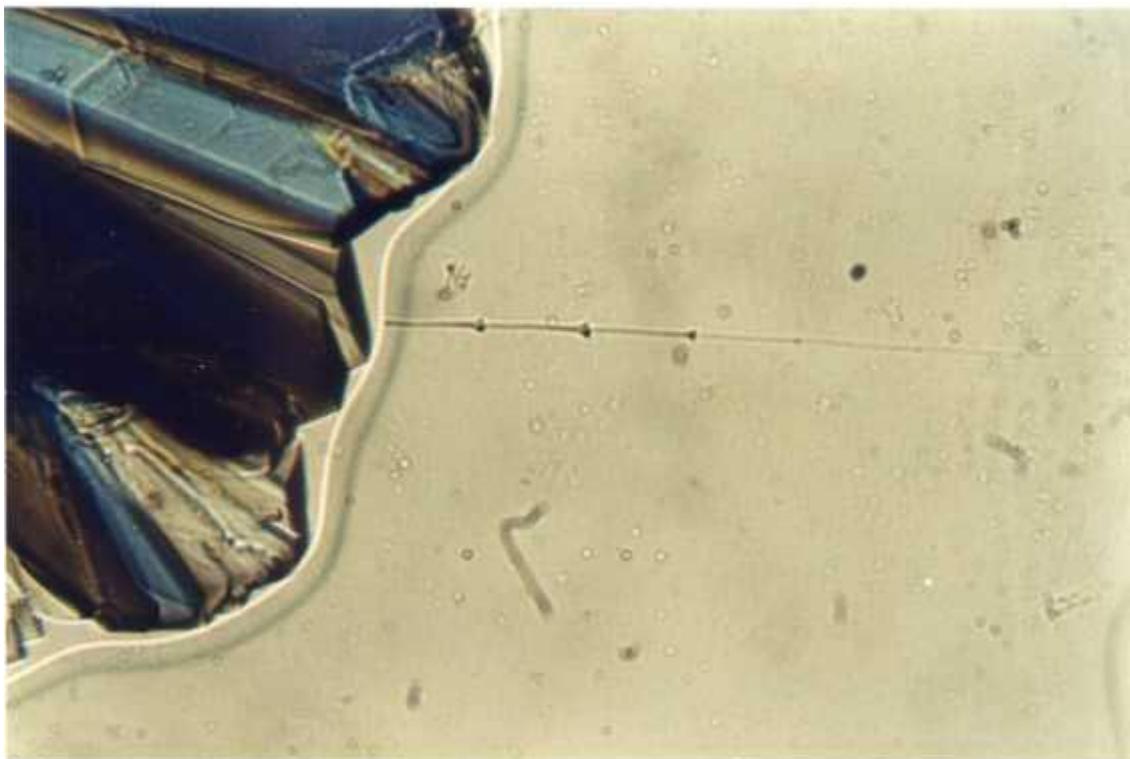


Abb. 8: Analysator nicht gegen Polarisator verdreht, es herrscht eine blaue Farbgebung vor



Abb. 9: Analysator um 90° gegen Polarisator verdreht, es herrscht eine gelbe Farbgebung vor

7.2 Zuckerlösung 25 % nach 225 bzw. 250 Minuten

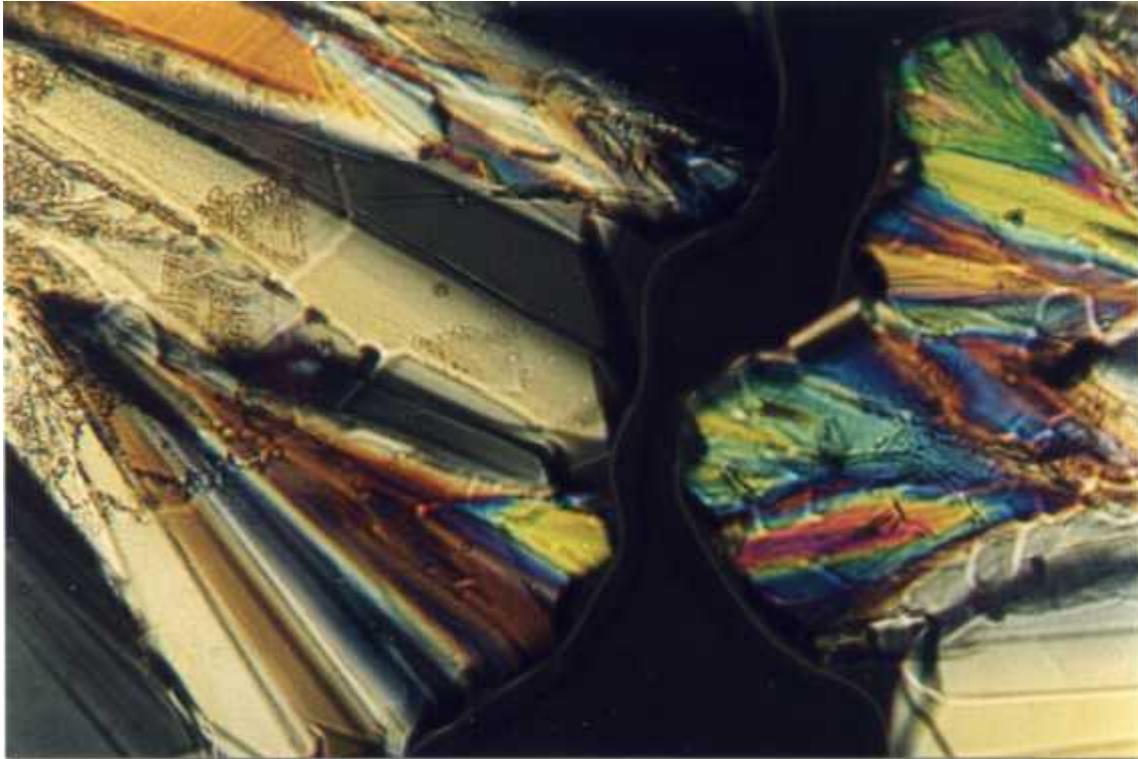


Abb. 10: Analysator um 90° gegen Polarisator verdreht, noch liegen zwei Kristallbereiche getrennt durch die hier dunkel erscheinende Zuckerlösung vor, beide zeigen viele Farbnouancen

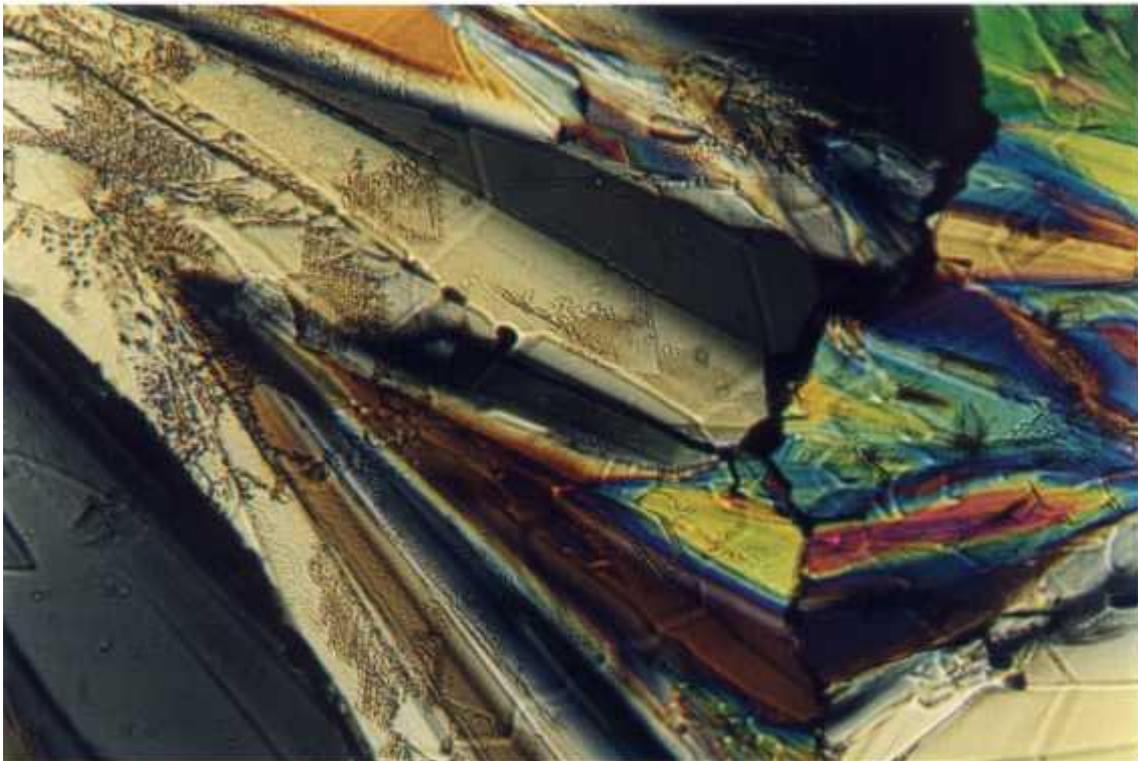


Abb. 11: Analysator um 90° gegen Polarisator verdreht, deutlich erkennt man die Grenzflächen, an denen sich die Kristallzonen nun begegnen, die Farbnouancen haben sich aber kaum verändert.