

Untersuchung des Drehwinkels optisch aktiver Stoffe

Wettbewerb "Jugend Forscht" 2000

Anna Maria Biedermann (16 Jahre)

**Arbeitsgemeinschaft "Jugend Forscht"
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg
Leitung: StD Thomas Biedermann**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Grundlagen	4
2.1	Polarisiertes Licht	4
2.2	Optische Aktivität	4
3	Planung des Experimentes	5
3.1	Der Versuchsaufbau	5
3.2	Die Durchführung	7
3.2.1	Verfahren 1	7
3.2.2	Verfahren 2	7
3.2.3	Verfahren 3	7
3.3	Messmethode	8
3.3.1	Intensitätsminimum bestimmen:	8
3.3.2	Transmissionskurve aufnehmen:	8
4	Untersuchungsergebnisse	8
4.1	Die untersuchten Stoffe	8
4.1.1	Weinsäure	9
4.1.2	Glukose	9
4.1.3	Fruktose	9
4.2	Darstellung der Messergebnisse	9
4.3	Auswertung der Messergebnisse	10
4.3.1	Gemessene Drehwinkel	11
4.3.2	Transmissionskurven	12
4.3.3	Vergleich der Verfahren	13
4.3.4	Vergleich der Stoffe	13
4.4	Fehlerbetrachtung	14
5	Fazit	14
6	Danksagungen	15
7	Literaturliste	15

1 Einleitung

Im letzten Jahr habe ich mich - durch ein Foto angeregt - in meinem Projekt mit dem Wachstum von Zuckerkristallen und ihrer Farbverteilung unter polarisiertem Licht beschäftigt. Dieses Thema knüpft in gewisser Weise daran an.

Damals habe ich festgestellt, dass Zuckerkristalle optisch aktiv sind, das heißt: sie drehen eingestrahktes, polarisiertes Licht um einen bestimmten Winkel. Und diesen Drehwinkel wollte ich bei verschiedenen Stoffen genauer untersuchen.

Die bei optisch aktiven Stoffen auftretende Rotationsdispersion ist für die Farberscheinungen verantwortlich, die bei Beleuchtung mit weißem polarisiertem Licht auftreten. Der Begriff "Rotationsdispersion" bedeutet hierbei, dass Licht unterschiedlicher Farbe (Wellenlänge) verschieden stark in seiner Schwingungsebene gedreht wird. Um den Drehwinkel eines Stoffes zu bestimmen, ist es daher notwendig, monochromatisches (einfarbiges) Licht zu verwenden, damit ein Vergleich verschiedener Stoffe möglich und sinnvoll ist. Als monochromatische Lichtquelle kommen dabei grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten in Betracht: aus weißem Licht filtert man durch geeignete Anordnungen (Filter, Prisma oder Gitter) eine bestimmte Farbe heraus, oder man verwendet eine Lichtquelle, die von vornherein einfarbiges Licht emittiert. Dazu käme z.B. eine Natrium-Dampfampe (gelb) oder ein Laser (z.B. rot) in Frage. Da unserer Jugend-forscht-AG ein hochwertiger Laser von der Firma Rheinmetall geschenkt worden war, habe ich mich für diesen entschieden.

Eine weit verbreitete Anwendung optisch aktiver Substanzen findet sich in den sogenannten LCD-Anzeigen (Liquid-Crystal-Display) z.B. von Taschenrechnern oder Uhren. Aber auch bestimmte Kristallformen (z.B. Zucker oder Quarz) weisen optische Aktivität auf.

Der französische Physiker Jean-Baptiste. Biot (1774 - 1862) entdeckte 1815, dass zahlreiche natürlich vorkommende organische Verbindungen die Schwingungsebene eines einfallenden linear polarisierenden Lichtstrahls um einen gewissen Betrag drehen. J.H. van't Hoff und J.A. LeBel kommt das Verdienst zu, beide unabhängig voneinander die räumliche Anordnung der Atome in den Molekülen als Ursache für die optische Aktivität erkannt und beschrieben zu haben [2, S. 91 ff]. Auf sie geht auch die Nomenklatur zurück, auf die ich in einem späteren Kapitel noch einmal kurz eingehe.

Auch Lösungen optisch aktiver Kristalle, Flüssigkeiten und Gase können eine optische Aktivität aufweisen. In meiner Arbeit beschränke ich mich auf Kristalle und ihre wässrigen Lösungen in verschiedenen Konzentrationen. Da einige Stoffe schwierig zu beschaffen sind, habe ich mich auf diejenigen beschränkt, die auch z.B. in unseren Lebensmitteln auftreten und deswegen in der Apotheke in reiner Form leicht zu beschaffen waren. Dabei zeigte die Fruktose in ihrer Lösung die größte optische Aktivität, während in kristalliner Form die Weinsäure den Spitzenreiter darstellte.

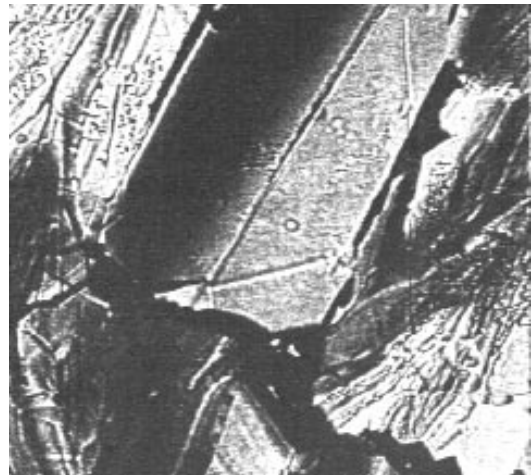


Abb. 1: Zuckerkristall unter polarisiertem Licht in 60-facher Vergrößerung

2 Grundlagen

2.1 Polarisiertes Licht

Was ist polarisiertes Licht? Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen. Natürliches Licht breitet sich in alle Richtungen und mit unterschiedlichen Schwingungsebenen aus. Ein Polarisationsfilter läßt nur den Anteil des Lichtes hindurch, der einer bestimmten Schwingungsrichtung entspricht. Das Licht, das aus dem Polarisationsfilter wieder austritt, besteht nur aus Wellen mit dieser einen Richtung, es ist polarisiert. Das übrige Licht, das diese Kriterien nicht erfüllt, wird vom Polarisationsfilter absorbiert. Wenn die polarisierten Lichtwellen in einer Schwingungsebene schwingen, dann spricht man von linear polarisiertem Licht.

Trifft das polarisierte Licht nun auf einen weiteren Polarisationsfilter, dessen Polarisationssebene zu der des ersten Polarisationsfilter parallel steht, so kann das Licht ungehindert passieren (Abb. 2). Wird der zweite Filter allerdings zum ersten um 90° gedreht, dann wird das polarisierte Licht vom zweiten Filter nahezu vollständig absorbiert (Abb. 3).

Den ersten Polarisationsfilter nennt man Polarisator, den zweiten Analysator.

2.2 Optische Aktivität

Ein optisch aktiver Stoff ist in der Lage, die Schwingungsebene von Lichtwellen zu drehen - und zwar je nach Lichtfarbe unterschiedlich stark. Bei natürlichem Licht fällt das nicht weiter auf. Wenn man aber diese Substanz mit polarisiertem Licht beleuchtet und durch einen Polarisationsfilter betrachtet (Abb. 4), dann sieht zum Beispiel ein Zuckerkristall bunt aus.

Optische Aktivität wird bei organischen Verbindungen meistens durch mindestens ein asymmetrisches Kohlenstoffatom verursacht. Ein Kohlenstoffatom hat auf Grund der sp^3 -Hybridisierung vier Valenzelektronen, mit denen es andere Atome an sich binden kann und die energetisch gleichwertig sind. Normalerweise hat ein Kohlenstoffatom auf Grund seiner Stellung im Periodensystem nur zwei Valenzelektronen. Der Hybridisierung geht eine Anregung voraus, bei der ein s-Elektron durch Energiezufuhr in das dritte p-Orbital übergeht. Damit bilden nun das verbliebene s- und die nun insgesamt drei p-Elektronen ein neues Orbital, in dem alle Valenzelektronen energetisch gleichwertig sind und für Verbindungen mit anderen Atomen zur Verfügung stehen.

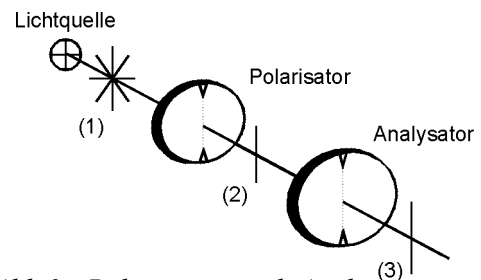


Abb.2: Polarisator und Analysator sind in der gleichen Richtung ausgerichtet

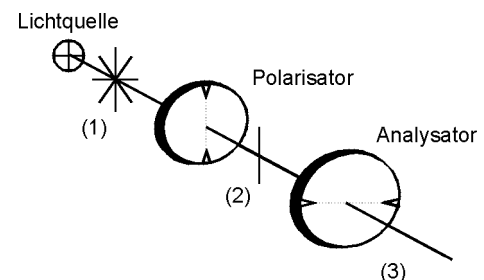


Abb.3: Polarisator und Analysator sind senkrecht zu einander ausgerichtet

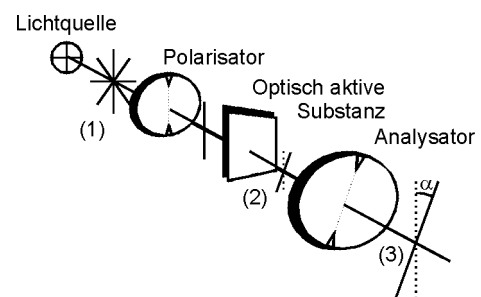


Abb.4: Polarisator und Analysator sind senkrecht zueinander ausgerichtet

Wenn ein Kohlenstoffatom vier unterschiedliche Atome (oder Moleküle) an sich gebunden hat, dann spricht man von einem asymmetrischen Kohlenstoffatom, weil es nicht zur Deckung gebracht werden kann, da entweder eine Spiegelebene oder ein Symmetriezentrum fehlt [2, S. 94/95]. Zur Unterscheidung zu einem normalen Kohlenstoffatom wird es in der Verbindung mit einem Stern gekennzeichnet: C*.

Auch bei anorganischen Stoffen, beispielsweise einem Quarzkristall, kann optische Aktivität auftreten, die auf eine besondere Anordnung der Moleküle zurückgeführt werden kann.

3 Planung des Experimentes

3.1 Der Versuchsaufbau

Für meine Versuche benötige ich eine Lichtquelle, zwei Polarisationsfilter und eine Messeinheit sowie ein Mikroskop.

Bei den Messungen benutze ich einen Helium-Neon-Laser mit einer Leistung von 1 mW. Er verfügt über einen eingebautem Strahlaufweiter (Strahldurchmesser: 5 mm) sowie eine zusätzliche Blende zur Abschwächung des Laserstrahls. Das von ihm erzeugte Licht hat eine Wellenlänge von 633 nm (rot). Durch hochwertige justierbare Oberflächenspiegel, die aus einem defektem Kopierer stammen, wird der Laserstrahl auf einen Umlenkspiegel auf den Mikroskopfuß gelenkt und gelangt von dort durch die mikroskop-eigene Optik in das Mikroskop (vergl. Abb. 5).

Zur Überprüfung der Position der zu untersuchenden Objekte muss ich aber auch mit meinen eigenen Augen durch die Linse des Mikroskops sehen können. Bekanntlicherweise darf man nicht direkt in einen Laserstrahl hineinsehen, deshalb benötige ich eine zweite Lichtquelle, die keine Gefahr für die Augen

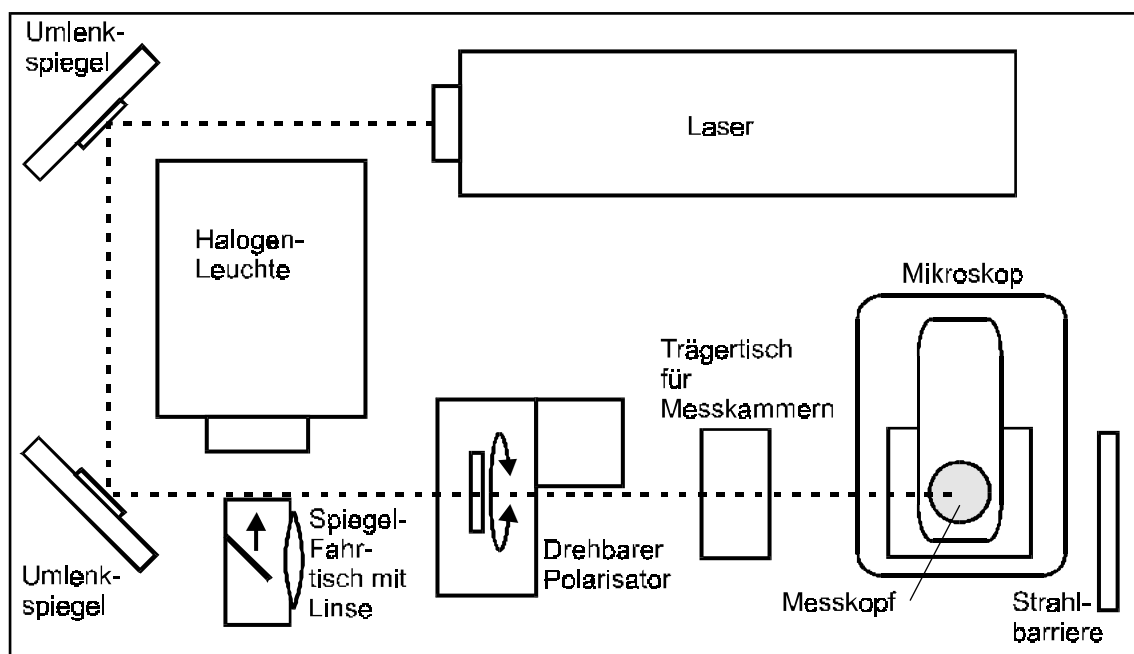


Abb.5: Ansicht des Versuchsaufbaues von oben

darstellt. Dazu habe ich außerhalb des Laserstrahlenganges eine Halogenlampe (250 W Projektorlampe) aufgestellt. Durch einen fahrbaren Tisch mit Spiegel und einer Fokussierungslinse kann ich deren Licht in den Strahlengang des Lasers einspiegeln. Beim Einfahren des Spiegelträgers unterbricht dieser mit seiner Rückseite den Lichtweg des Lasers, so dass ich gefahrlos durch das Mikroskop blicken kann. Das Licht der Halogenlampe kann ebenfalls abgeblendet werden, um die Beleuchtungsstärke an die jeweilige Vergrößerung anzupassen, ohne das Auge zu blenden.

Im Strahlengang zwischen den Lichtquellen und dem Mikroskop befindet sich der Polarisator. Mit einem Polarisationsfilter erzeuge ich hier linear polarisiertes Licht. Es besteht aus einem handelsüblichen Polarisationsfilter für Fotokameras mit einem Durchmesser von 46 mm. Der Lichtstrahl wird mit Hilfe von Spiegeln durch diesen Polarisator geschickt. Der kreisrunde Filter ist zentrisch auf einem großen Zahnrad aus Fischertechnik befestigt. Dieses Zahnrad wird über ein Untersetzungsgetriebe von einem kleinen Motor bewegt. Zur Winkelmessung treibt das Zahnrad mit dem Polarisator ein weiteres Zahnrad an, auf dessen Achse ein 10-Gang-Wendelpotentiometer befestigt ist. An den äußeren Anschlüssen des Potentiometers ist eine Spannung von +12V bzw. -12V angeschlossen, sodass der Abgriff eine dem Winkel proportionale Spannung zwischen diesen beiden Werten liefert. Diese wird mit einem Digitalvoltmeter gemessen, dessen Anzeige so geeicht ist, dass es den Winkel unmittelbar in Grad anzeigt. Die Auflösung beträgt ca. $0,5^\circ$.

Der aus dem Polarisator austretende Lichtstrahl trifft auf einen weiteren Spiegel am Mikroskopfuß. Dieser lenkt den Lichtstrahl in die Beleuchtungsoptik des Mikroskops und durchstrahlt das zu untersuchende Objekt, das mit dem jeweiligen Objektiv und einem 6-fach vergrößernden Okular beobachtet werden kann. Zwischen Objektiv und Okular befindet sich als Analysator ein zweiter Polarisationsfilter in der gleichen Ausführung wie der Polarisator, jedoch etwas kleiner. Dieser darf feststehend sein, da bereits der Polarisator drehbar ist. Zur eigentlichen Messung wird auf das Okular ein Meßkopf aufgesetzt, der das Auge des Beobachters ersetzt und die Lichtintensität mißt. Dazu wird eine Fotodiode verwendet, deren Strom proportional zur Lichtmenge ist. Ein direkt am Kopf angebaute Messverstärker (Strom-Spannungswandler) erzeugt eine zum Fotostrom und damit zur Lichtintensität proportionale Spannung. Diese wird über ein weiteres, in der Empfindlichkeit umschaltbares Digitalvoltmeter gemessen. Die Messbereiche von 200mV, 1V und 10V mit einer maximalen Auflösung von 0,1mV im empfindlichsten Bereich erlauben auch bei nahezu vollständiger Auslöschung noch hinreichend genaue Messungen. Für meine Zwecke genügt eine Messung in beliebigen Skalenteilen, eine Eichung auf die tatsächliche Helligkeit ist nicht notwendig.

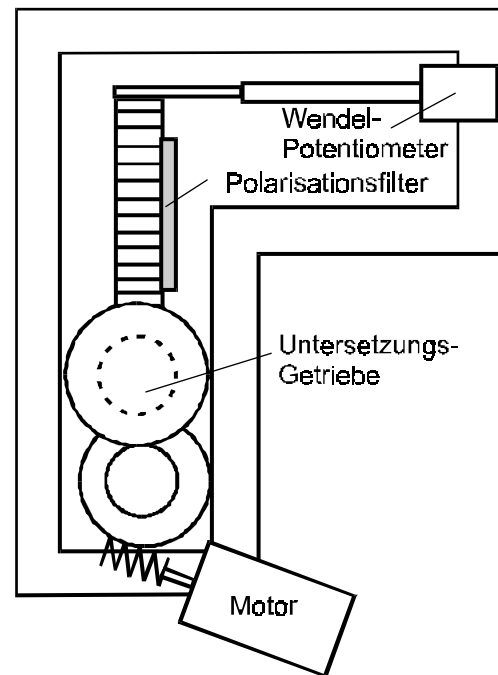


Abb. 6: Polarisator mit Drehvorrichtung

3.2 Die Durchführung

Zu Anfang hatte ich meine Stoffe in fester Form vorliegen. Deshalb habe ich für jeden Stoff drei unterschiedliche Lösungen erstellt, mit denen ich meine Versuche durchführte. Dazu habe ich den zu lösenden Stoff und das Wasser nach Gewichtsanteilen gemischt. Eine 1:1-Mischung bedeutet folglich, dass Wasser und Zucker zu gleichen Gewichtsanteilen gemischt wurden.

Ich habe meine Lösungen nach drei unterschiedlichen Verfahren untersucht.

3.2.1 Verfahren 1:

Zwei Objektträger werden mit zwei Deckblättchen von 0,1 mm Stärke als Abstandshalter aufeinander gelegt. Mit Hilfe einer Pipette gebe ich einen kleinen Tropfen auf die Kanten der Objektträger, der wegen der Kapillarkräfte einen dünnen Flüssigkeitsfilm zwischen den beiden Objektträgern bildet. Diese Anordnung wurde auf dem Mikroskopisch plaziert und mit 60-facher Vergrößerung untersucht.

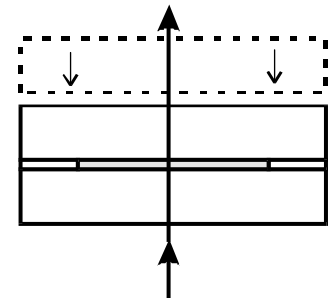


Abb.7: Kapillarverfahren

3.2.2 Verfahren 2:

Aus Objektträgern habe ich mir zwei unterschiedlich große Kammern mit chemisch hinreichend resistentem Epoxydharz-Kleber zusammengeklebt. Die zu untersuchende Lösung habe ich in die Kammer gefüllt und auf optische Aktivität untersucht. Da diese Kammern nun leider nicht unter das Objektiv auf den Mikroskopisch passen, habe ich mir aus Lego-Bausteinen einen kleinen Tisch gebaut. Dieser befindet sich mit der Kammer im Lichtweg zwischen dem Polarisator und dem Mikroskop, das hierfür ohne Objekt lediglich zur Lichtmessung benutzt wird. Die beiden gegenüberliegenden Seiten der Kammer sind senkrecht und zueinander parallel, so dass die Ergebnisse nicht durch Lichtbrechung verfälscht werden können. Die Kammer allein führt zu keiner Drehung der Polarisations Ebene des Lichtes.



Abb.8: Kammerverfahren

3.2.3 Verfahren 3:

Von der jeweils höchsten angefertigten Konzentration habe ich zum einen einen Tropfen und zum anderen einen dünnen Ausstrich auf einer Heizplatte auskristallisieren lassen. Die Heizplatte benutzte ich deshalb, weil ich aus meinen Erfahrungen im letzten Jahr gelernt hatte, dass etwas Wärme den Vorgang beschleunigt. Während des anschließenden Abkühlens bildeten sich Kristalle, die ich dann untersuchen konnte. Die Objektträger mit den Kristallen wurden auf den Mikroskopisch gelegt und mit 60-facher bzw. 240-facher Vergrößerung untersucht.

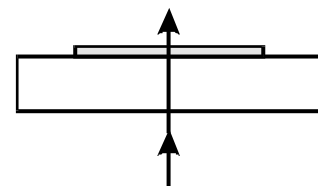


Abb. 9: Kristalldurchleuchtung

3.3 Messmethode

Zur Bestimmung des Drehwinkels habe ich zwei verschiedene Methoden verwendet. Beide beruhen darauf, dass eine optisch aktive Substanz den Winkel verändert, bei dem es zu einer vollständigen Auslöschung des Lichtes hinter dem Analysator kommt, der sonst immer 90° betragen müsste.

3.3.1 Intensitätsminimum bestimmen:

Bei jedem der zuvor beschriebenen Verfahren habe ich zunächst die Lichtintensität bei einer Verdrehung des Polarisators zum Analysator von 0° und von 90° gemessen. Dann habe ich den Winkel gesucht, bei dem die niedrigste Intensität auftrat und den dazugehörigen Winkel notiert.

3.3.2 Transmissionskurve aufnehmen:

Bei dem Verfahren 3 habe ich eine Stelle im Kristallgemisch gesucht, die im weißen Licht der Halogenlampe einerseits eine eindeutige Verfärbung aufwies, andererseits aber möglichst nur eine Farbe zeigte, damit ein Vergleich unterschiedlicher Kristalle möglich ist. Dabei habe ich mit jeweils zwei unterschiedlichen Vergrößerungen am Mikroskop gearbeitet. Dann habe ich mit dem monochromatischen Licht des Lasers die Transmission, also die im Mikroskop zu registrierende Lichtintensität, bei den einzelnen Winkeln in Schritten von 5° bzw. 10° im Bereich von 90° bis -90° gemessen und die Werte notiert.

4 Untersuchungsergebnisse

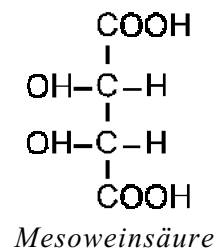
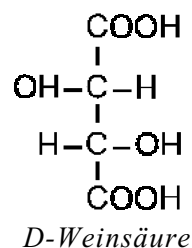
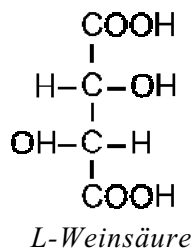
4.1 Die untersuchten Stoffe

Ich habe aus Zeitgründen zunächst nur drei Stoffe untersucht, von denen ich aus der Literatur wusste, dass sie optisch aktiv sind, nämlich Weinsäure, Glukose und Fruktose. Weinsäure findet sich im Wein, während Glukose und Fruktose wohl besser unter den Namen Traubenzucker und Fruchtzucker bekannt sind. Beides sind Monosaccharide (Einfachzucker) und haben die Summenformel $C_6H_{12}O_6$. Sie unterscheiden sich nur in ihrer Struktur. Stoffe, die dieselbe Summenformel haben, aber unterschiedlich gebaut sind, nennt man Isomere. Die Kohlenhydrate enthalten Hydroxylgruppen (-OH) und entweder eine Aldehydgruppe (-COH) oder eine Ketogruppe (CO-CH₂OH). Je nachdem ob das Kohlenhydrat eine Aldo- oder eine Ketogruppe enthält, ist es eine Aldose oder eine Ketose.

Man unterscheidet bei der optischen Aktivität zwischen linksdrehenden und rechtsdrehenden Stoffen. Es gibt zwei Kennzeichnungsarten: betrachtet man die Position der OH-Gruppe bei der Projektion auf die Papierebene, gibt der Buchstabe L (Lat.: laevus = links) bzw. D (Lat.: dexter = rechts) an, an welcher Seite des asymmetrischen Kohlenstoffatoms sich die OH-Gruppe befindet. Mit einem "(+)" (im Uhrzeigersinn) bzw. "(-)" kennzeichnet man die optische Drehrichtung. Aus historischen Gründen ist ein L-Stoff aber nicht zwangsläufig linksdrehend, da zum Zeitpunkt der Festlegung der Nomenklatur der optische Drehsinn der Konfiguration noch nicht zugeordnet werden konnte.

4.1.1 Weinsäure

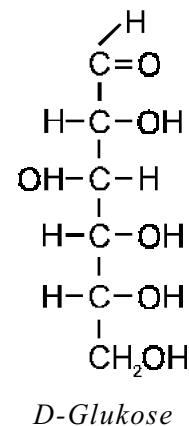
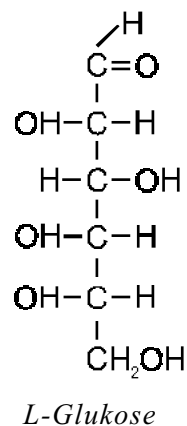
Der chemisch korrekte Name lautet eigentlich Dihydroxy-butandisäure, aber der Trivialname Weinsäure ist etwas kürzer und auch leichter zu behalten. Weinsäure hat die Summenformel $C_4H_6O_6$ und tritt in drei isomeren Formen auf. Die L(+)-Weinsäure kommt in vielen Früchten als freie Säure



oder in Form ihrer Salze vor. Die beiden anderen Isomeren sind D(-)-Weinsäure und die Mesoweinsäure, wobei letztere aber optisch inaktiv ist. Die drei Weinsäureisomeren unterscheiden sich nur in der Stellung der OH-Gruppe. Eine Mischung von L(+)-Weinsäure und D(-)-Weinsäure zu gleichen Teilen ergibt Traubensäure.

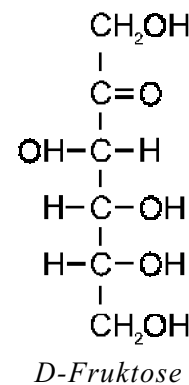
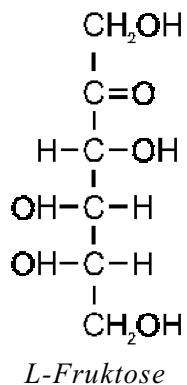
4.1.2 Glukose

Glukose tritt in der Natur in vielen Früchten frei auf, im Blut (als Blutzucker), im Honig und chemisch gebunden in Saccharose, Zellulose, Stärke und in vielen anderen Kohlenhydraten. Es ist ein feines weißes, süß schmeckendes Kristallpulver. Glukose ist das am häufigsten auftretende Monosaccharid und wegen der Aldehydgruppe (oben in der nebenstehenden Abbildung) eine Aldohehexose (Hexose mit Aldehydgruppe). Es lässt sich gut in Wasser lösen.



4.1.3 Fruktose

Fruktose kommt frei in vielen Früchten und im Honig vor, gebunden im Disaccharid Saccharose und im Polysaccharid Inulin (z.B. in Dahlienknollen). Es ist ein weißes, süß schmeckendes Kristallpulver, das sich in Wasser lösen lässt. Anders als der Traubenzucker ist die Fruktose eine Ketohehexose, weil es statt der Aldehydgruppe an der entsprechenden Stelle eine Ketogruppe besitzt.



4.2 Darstellung der Messergebnisse

Um eine gewisse Vergleichbarkeit der Werte zu erhalten, stellte ich die Werte, die ich nach der in dem Kapitel 3.3.1 beschriebenen Messmethode erhalten habe, mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 97 als Säulendiagramme dar. Die Winkel, bei denen die niedrigste Lichtintensität auftritt, trug ich in Abhängigkeit von ihrem Mischungsverhältnis in die Tabellen ein und erstellte aus diesen Werten die Diagramme. Neben den einzelnen Diagrammen für jede Lösung erstellte ich auch ein Gesamtdiagramm, um

eine bessere Übersicht zum Vergleich der Werte zu erreichen. Die Diagramme, die bei diesen Auswertungen entstanden, sehen in der Gesamtübersicht auf Seite 11, Abb. 12 gezeigt.

Für die Messungen, die ich nach dem Verfahren, das in dem Kapitel 3.3.2 genauer erläutert und beschrieben wird, ausführte, trug ich die dabei entstandenen Messwerte in eine Tabelle ein, mit deren gesammelten Werten ich in Excel ein Liniendiagramm erstellte. Außerdem habe ich in jeder Vergrößerung eine Transmissionskurve ohne irgend ein Objekt aufgenommen. Diese Werte habe ich normiert, indem ich sie durch den Maximalwert der Messung teilte. Dadurch ergaben sich Werte, die in einem Diagramm dargestellt denen der Funktion \cos^2 ähneln. Nach [8; S.673] ist die Intensität proportional zum Quadrat der Amplitude der Welle. Für die Amplitude hinter dem Polarisator gilt aber die Beziehung

$$A(\alpha) = A_0 \cdot \cos(\alpha)$$

wobei A_0 die Amplitude der Welle vor dem Polarisator angibt und α den Winkel zwischen Polarisator und Analysator, somit erhält man für die Intensität I die Beziehung

$$I(\alpha) \sim A_0^2 \cdot \cos^2(\alpha)$$

was ich durch diese Messung auch weitgehend bestätigen konnte, wie das nebenstehende Diagramm zeigt. Auffällig ist, dass meine gemessene Transmission für Winkel größer 0° mit der berechneten übereinstimmt, während für Winkel kleiner 0° eine zunehmende Abweichung zu erkennen ist. Ich vermute, dass hier ein Justierungsproblem vorliegt, indem eine leichte Schrägstellung der Polarisationsfilter-Halterung zu einer geringfügigen Abweichung des Strahles von der optischen Achse führt, sodass der Messsensor nicht mehr den gesamten Lichtstrahl erfasst.

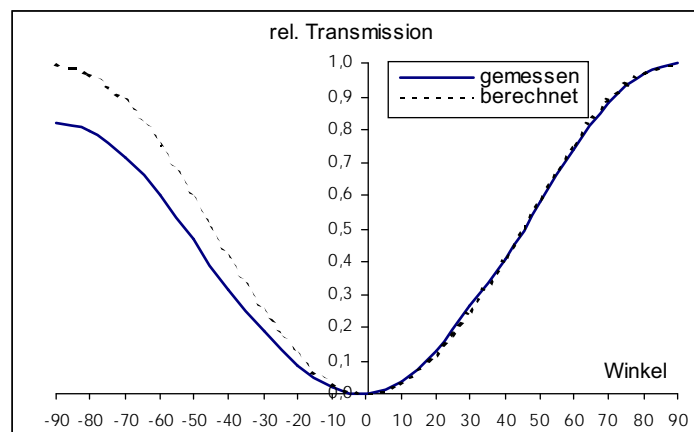


Abb. 10: Transmissionskurve der Kombination Polarisator - Analysator

4.3 Auswertung der Messergebnisse

Bevor ich mich an die Auswertung meiner Messergebnisse machte, wollte ich zuerst feststellen, ob das Wasser oder die verwendeten Objektträger (zum Beispiel in der Kammer) selber eine optische Aktivität aufweisen oder die Messung beeinträchtigen. Dazu habe ich das Verfahren nach 2.4.1 (Kapillarkräfte) und nach 2.4.2 (Kammer) angewendet, aber anstatt mit einer Lösung habe ich mit destilliertem Wasser gearbeitet. Ich konnte keine Beeinflussung des Drehwinkels durch das Wasser oder das Glas feststellen. Für meine Auswertung bedeutet dies, dass die bei den Lösungen beobachteten Drehwinkel ausschließlich auf die verwendete Lösung und nicht auf die Messkammer zurückzuführen sein werden. Darin eingeschlossen ist auch die gesamte Optik im Mikroskop zwischen Polarisator und dem Messkopf oberhalb des Okulars.

4.3.1 Gemessene Drehwinkel

Bei der Fruktose fielen mir bei der Auswertung der Messung zwei Punkte besonders auf: Zum einen war dies der sinkende Drehwinkel bei geringerer Zuckerkonzentration in der Kammer, eine Differenz von fast 10° , wie es in *Abb. 11* noch einmal genauer in einem Diagramm am Beispiel der Fruktose dargestellt ist. Nach meinen Beobachtungen hängt dieses Phänomen mit der Abnahme des Zuckergehalts im Wasser direkt

zusammen. Je höher die Fruktosekonzentration in der Lösung ist, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Laser auf ein Fruktosemolekül trifft. Dabei wird ein Teil des auftreffenden Strahls in seiner Schwingungsebene gedreht. Durch diese Drehung wird die Lichtintensität verändert. Wenn sich nur wenige optisch aktive Moleküle in der Lösung befinden, dann wird die Schwingungsebene und damit auch die Lichtintensität seltener verändert. Die Intensitätenverteilung ähnelt dann einer Messung ohne irgendein Objekt. Die niedrigste Lichtintensität nähert sich damit der Nullmarke, was auch bedeutet, dass der dazugehörige Drehwinkel betragsmäßig kleiner wird.

Diese Beobachtungen treffen auch für den anderen Monosaccharid Glukose zu. Hier ist der Drehwinkel allerdings negativ, sodass der Wert des Drehwinkels folglich größer wird, je mehr er sich der Null nähert, der Betrag aber kleiner. Im Unterschied zu den beiden Kohlenhydraten hat die Weinsäure allerdings einen relativ konstanten Drehwert um $1,9^\circ$ in allen Mischungsverhältnissen.

Bei dem Kapillarverfahren fiel mir sofort ins Auge, dass sich die Werte so gut wie gar nicht änderten und zwar durchgängig bei allen Lösungen. Nach den Ergebnissen mit der Kammer hätte man erwarten können, dass auch hier der Drehwinkel bei sinkender Konzentration abnimmt. Aber das ist hier nicht der Fall., sondern er bleibt immer in der selben Größenordnung. Vielleicht liegt die Ursache in der Dicke des Flüssigkeitsfilms von ungefähr $0,1\text{ mm}$. Ich vermute, da ich für diesen Versuch nur einen kleinen Tropfen verwendet habe, dass die Anzahl der optisch aktiven Moleküle in dem vom Licht durchstrahlten Flüssigkeitsfilm so klein ist, dass die Drehung der Polarisationsrichtung des Laserstrahls zu gering und mit den mir zur Verfügung stehenden Technik deswegen nicht nachweisbar ist. Die Schwankungen in den Messwerten sind deshalb wohl eher auf Messungenauigkeiten zurückzuführen, denn sie liegen noch innerhalb der Fehlergrenze meiner Messanordnung.

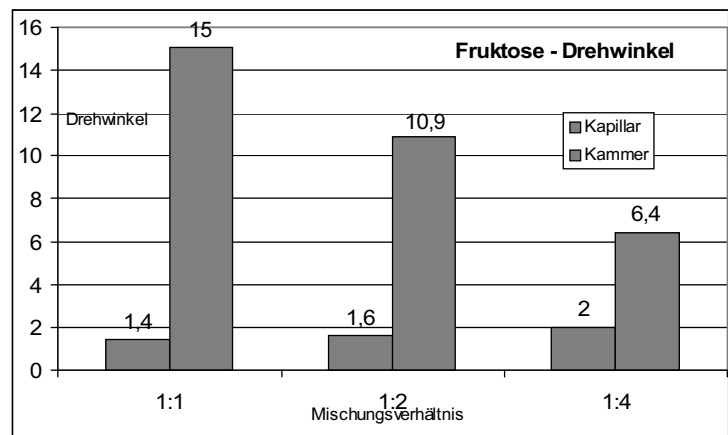


Abb. 11: Drehwinkel einer Kapillarfläche und innerhalb der Messkammer am Beispiel der Fruktoselösung

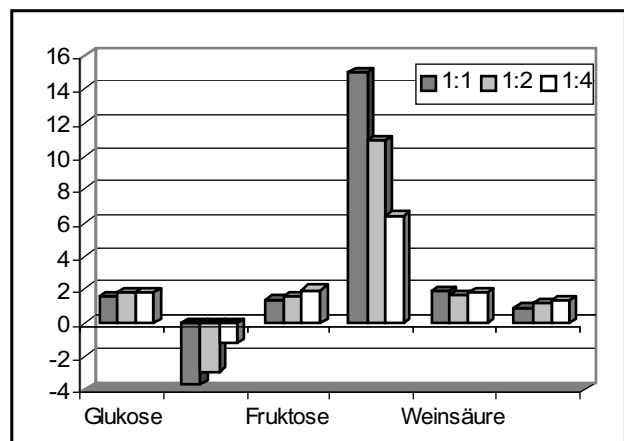


Abb. 12: Übersicht über die Drehwinkel der einzelnen Lösungskonzentrationen

4.3.2 Transmissionskurven

Für diese Messmethode habe ich ausschließlich nach 3.2.3 selbst-gezogene Kristalle benutzt.

Die Abbildung 13 zeigt exemplarisch die Ergebnisse für einen auskristallisierten Ausstrich einer 1:1 Weinsäure-Lösung. Zum Vergleich ist in das Diagramm die Transmissionskurve ohne Objekt mit eingetragen. Durch die Dehnung der Transmissionsachse werden allerdings die oberen Werte dieser Kurve nicht mehr dargestellt, dies ist aber ohne Belang, da lediglich die Lage des relativen Minimums für die Bestimmung des Verschiebungswinkels von Bedeutung ist.

Wie man aus der Darstellung entnehmen kann, liegt der Drehwinkel des Kristalls bei ca. -30° . Im weißen Licht erscheint die Kristallfläche in mehreren Farben, das bedeutet, dass bei Beleuchtung mit monochromatischem Licht unterschiedliche Transmissionswerte auftreten. Gemessen wurde damit ein Mittelwert der Transmission. Wie man an dem Maximalwert erkennen kann, betrug die Gesamttransmission maximal 15%, während im Minimum noch 5% gemessen wurden. Damit nahm die Transmission über den gemessenen Gesamtwinkel um maximal 67% bezogen auf die Maximaltransmission ab.

In der Abbildung 14 wurde am gleichen Kristall bei höherer Vergrößerung eine Kristallfläche ausgewählt, die im weißen Licht purpurfarben erscheint. Hier kann ich davon ausgehen, dass die gesamte betrachtete Fläche einen einheitlichen Drehwinkel aufweist. Man kann deutlich erkennen, dass die maximale Transmission 100% erreicht, während das Minimum bei 12% liegt und einen Drehwinkel von ca. -15° ausweist. In diesem Falle ist anders als beim vorigen Versuch eine eindeutige Aussage über den Drehwinkel für die betrachtete Kristallfläche möglich.

Dieses Ergebnis macht deutlich, dass Voraussetzung für eine vergleichende Untersuchung verschiedener Kristalle die Notwendigkeit ist, einheitlich und in der gleichen Farbe gefärbte Kristall-

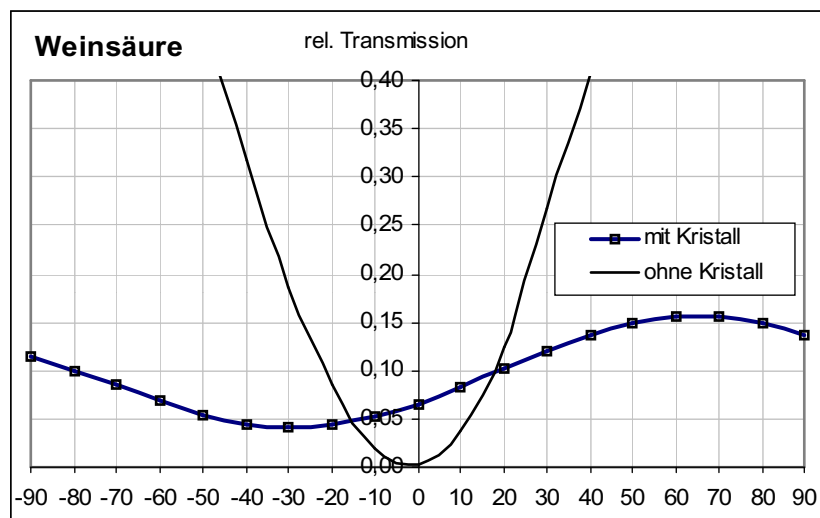


Abb. 13: Verschiebung des Transmissionsminimums bei Weinsäure (in weißem Licht mehrfarbige Kristallfläche)

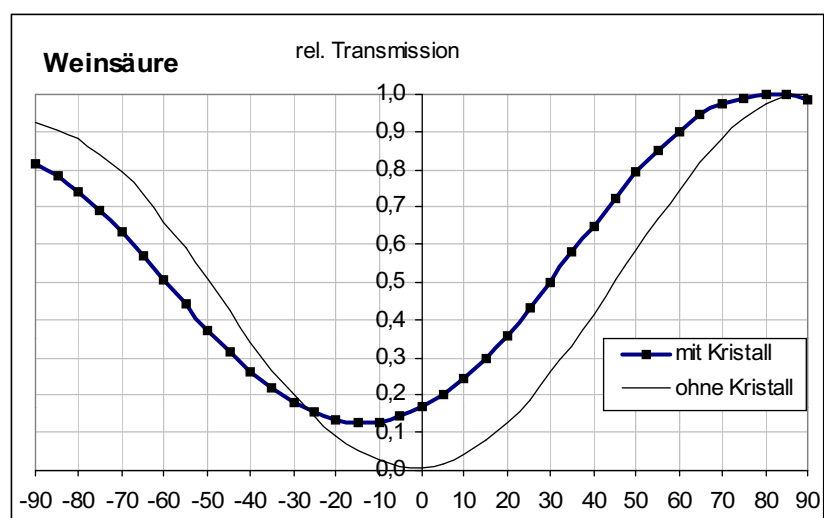


Abb. 14: Verschiebung des Transmissionsminimums bei Weinsäure (in weißem Licht purpurfarbige Kristallfläche)

flächen zu finden. Dies erwies sich als sehr schwierig, da fast alle meine gezüchteten Kristalle nur kleine derartige Zonen aufwiesen und es mir nicht möglich war, die Vergrößerung weiter zu steigern. Deswegen habe ich in der Regel lediglich die mittleren Transmissionen bestimmen können, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind:

Vergößerung	Fruktose	Glukose	Weinsäure
60-fach	--- ¹⁾	-42° (bunt)	-15° (bunt)
240-fach	--- ¹⁾	-15° (gelb)	-30° (purpur)

¹⁾ keine auswertbaren Kristalle

4.3.3 Vergleich der Verfahren

In meinen drei Verfahren habe ich unterschiedliche Ergebnisse erhalten. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da bei einer Lösung sowohl die Konzentration als auch die Dicke der durchstrahlten Flüssigkeitsschicht eine Rolle spielen, während bei den Kristallen die jeweilige Zonenausrichtung und die Schichtdicke von Bedeutung sind. Bei den Kristallen kommt außerdem hinzu, dass ich nicht sicherstellen kann, dass unter der von mir beobachteten Kristallzone nicht noch eine andere mit anderer Zonenausrichtung liegt.

Das Kapillarverfahren liefert mir keine auswertbaren Ergebnisse, weil die Schichtdicke erheblich zu gering ist, obwohl sie in der gleichen Größenordnung liegt wie die meiner Kristalle. Das bedeutet, dass die regelmäßige Anordnung der Moleküle in der Kristallstruktur eine wesentliche Bedingung für das Auftreten optischer Aktivität darstellt.

Für weitere Untersuchungen könnte man sich also in Zukunft auf das Kammerverfahren und - eventuell mit einer verbesserten Methode der Kristallzüchtung - auf die Kristallmethode beschränken.

4.3.4 Vergleich der Stoffe

Alle von mir untersuchten Stoffe weisen bei mindestens einem der Verfahren eine deutliche optische Aktivität auf. Dies stimmt überein mit den Angaben in der Literatur und begründet sich auf der Asymmetrie der Moleküle, wie bereits am Anfang ausführlicher dargestellt. Als problematisch erweist sich die Frage hinsichtlich der Glukoselösungen, da es sowohl links- als auch rechtsdrehende Glukose gibt. Die mir von der Apotheke gelieferte Substanz ist nicht entsprechend gekennzeichnet, also muss ich davon ausgehen, dass ich eine Mischung - zu vermutlich gleichen Teilen - von beiden Varianten habe. Dies bedeutet, dass eine Lösung daraus keine oder nur eine zufallsbedingte geringe optische Aktivität aufweist, während sich beim Kristall die Moleküle so anordnen, dass die optische Aktivität erkennbar wird.

Um diesbezügliche Unsicherheiten - auch bei den anderen von mir untersuchten Substanzen - auszuschließen, müsste man entsprechend reine und gekennzeichnete Materialien von der chemischen Industrie beziehen, was aber nicht ganz einfach und kostenintensiv wäre.

4.4 Fehlerbetrachtung

Die Apparatur beinhaltet verschiedene Fehlerquellen. Verhältnismäßig genau dürfte die Winkelmessung sein, wie die gemessene Transmissionskurve im Vergleich zur berechneten Kurve deutlich zeigt. Eine größere Fehlerquelle stellt dagegen der Messkopf dar, da ich nicht eindeutig feststellen kann, welcher Bildausschnitt von ihm für die Intensitätsmessung erfasst wird. Auf Probleme in dieser Richtung weist die Asymmetrie der Transmissionskurve hin. Auch die Justierung der Spiegel für den Strahlengang des Lasers kann hier eine Rolle spielen, da bereits geringste Veränderungen (z.B. durch thermisch bedingte Verformungen der Bodenplatte) einen starken Abfall der gemessenen Intensität zur Folge haben.

Alle weiteren Unwägbarkeiten lassen sich auf die Zusammensetzung und Reinheit der Substanzen zurückführen, auf die ich bereits im vorhergehenden Abschnitt eingegangen bin.

5 Fazit

Zur genaueren Untersuchung der Abhängigkeit des Drehwinkels von der Schichtdicke bei den Lösungen bieten sich noch weitere Messreihen unter Verwendung verschieden langer Kammern an, auch sollte ich noch weitere Konzentrationen systematisch untersuchen, um diesbezügliche Abhängigkeiten genauer nachweisen zu können. Außerdem wäre es interessant zu testen, ob eine Mischung einer links- und einer rechtsdrehenden Lösung zweier Stoffe insgesamt optisch noch aktiv ist oder nicht.

Unter Verwendung eines optischen Gitters zur Auswahl bestimmter Spektralfarben wäre auch die Untersuchung des Drehwinkels in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei jeweils einer Lösung interessant, jedoch müsste ich dazu die Messempfindlichkeit meines Messkopfes noch deutlich erhöhen, da die Lichtintensität bei dieser Methode erheblich geringer ist als beim Laser oder dem weißen Licht der Halogenlampe.

Eine weitere Ergänzung wäre die Untersuchung der optischen Aktivität bei Plexiglas, das durch eine außen angreifende Kraft mechanisch verformt wird. Unter polarisiertem Licht erscheint eine solche Platte farbig, wobei die Verteilung und Dichte der dabei auftretenden farbigen Flächen als ein Maß für die Größe der im Inneren wirkenden Kräfte darstellt (Spannungsanalyse). In manchen Physik-Lehrbüchern (z.B. [9, S. 64]) findet man eine entsprechende Abbildung, die zeigt, wo an einem Schraubenschlüssel, der eine Mutter dreht, die größten Kräfte auftreten.

Insgesamt ist dieses Thema ein weites Feld, das zu beackern sich sicherlich noch weiter lohnt!

6 Danksagungen

Ich möchte mich bei Herrn Vogel ganz herzlich dafür bedanken, dass er mir die Chemikalien besorgt hat und mir das nötige Labormaterial beschaffen konnte. Meinem Vater und Betreuungslehrer gebührt auch ein ganz großes "Dankeschön!". Ohne seine Unterstützung beim Bau des Versuchsaufbaus und seinen Anstoß, doch endlich richtig anzufangen mit den Messungen und der schriftlichen Arbeit, wäre ich wohl nie fertig geworden. Bei der schriftlichen Arbeit hat mir manchmal mein Bruder unter die Arme gegriffen, wenn ich mal wieder an einer Stelle nicht weiterkam. Bei dem Förderkreis Jugend forscht möchte ich mich ebenfalls für die Unterstützung der Arbeitsgemeinschaft danken, denn ohne ihre Hilfe läßt sich nicht jedes Thema so einfach verwirklichen.

7 Literaturliste

- [1] NIST WebBook, URL <http://webbook.nist.gov/chemistry>
- [2] N.L Allinger u.a. "Organische Chemie", Walter de Gruyter, Berlin 1980
- [3] chemfinder, URL <http://www.chemfinder.com/cgi-win/cfserver.exe>
- [4] Praxis Schriftenreihe PHYSIK, Band 10, Erich Keller "Wachstum und Aufbau der Kristalle", Aulis Verlag, 3. Aufl. 1980
- [5] Lüthje - Gall - Reuber "Lehrbuch der Chemie", Salle, 3. Aufl. 1969
- [6] Werner Schröter "Taschenbuch der Chemie", Verlag Harri Deutsch, 7. Aufl., 1978
- [7] Schülerduden Chemie, Dudenverlag, Mannheim 1995
- [8] Brockhaus abc Physik, Band 1, VEB F.A. Brockhaus-Verlag, Leipzig 1972
- [9] Physik - Wellenlehre und Optik, bsv-Verlag, München 1987