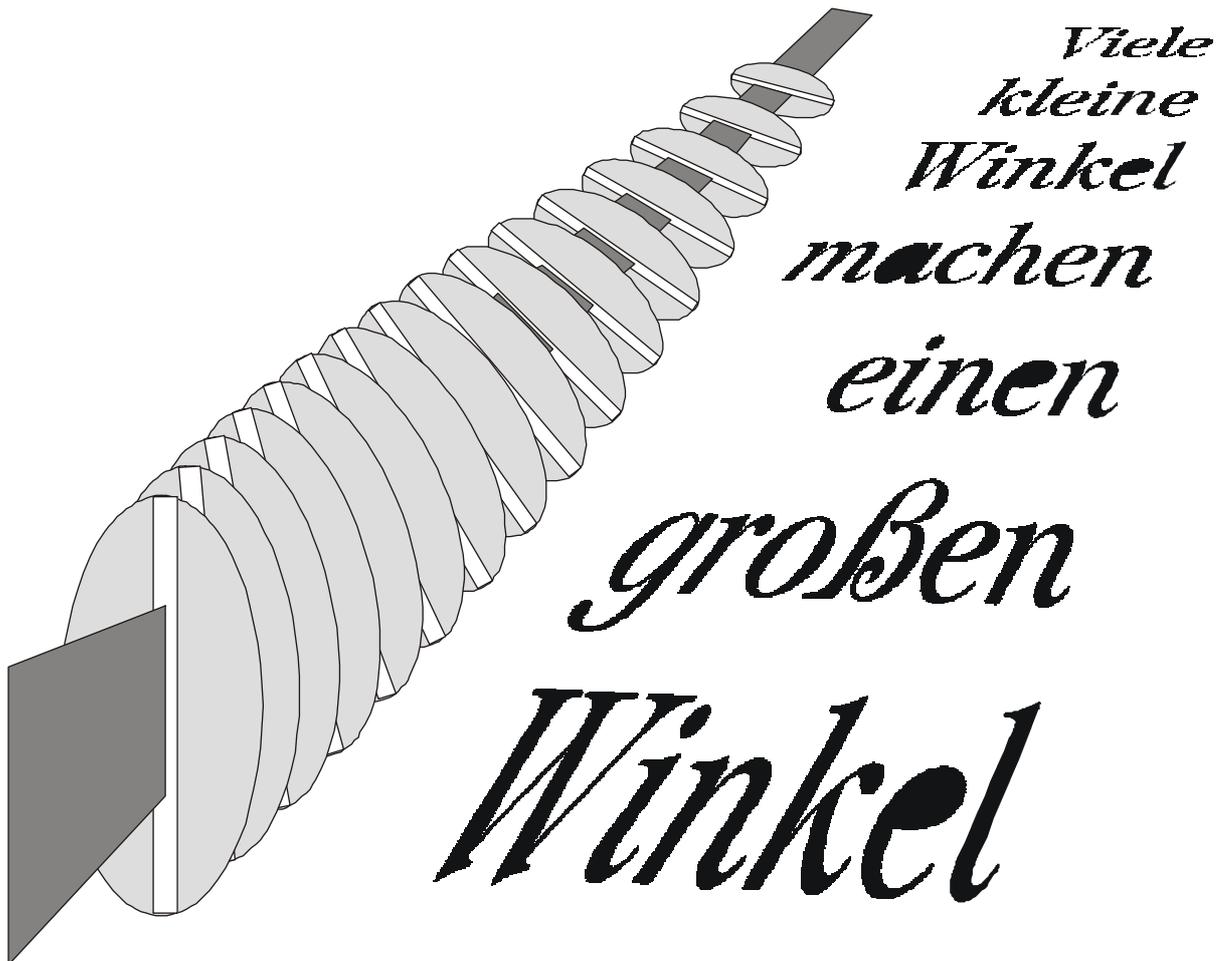


*Bestimmung des
spezifischen Drehwinkels
bei optisch
aktiven Substanzen*



Wettbewerb „Jugend Forscht“ 2001

Anna Maria Biedermann (17 Jahre)

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

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Grundlagen	3
Polarisiertes Licht	3
Phänomen optische Aktivität	4
Planung des Experiments	4
Versuchsaufbau	4
Durchführung und Messmethodik	6
Die untersuchten Stoffe	6
Glucose	6
L-Alanin	7
Untersuchungsergebnisse	7
Darstellung und Auswertung der Messergebnisse	7
D-Glucose	8
Drehwinkel in Abhängigkeit von der Konzentration	8
Drehwinkel in Abhängigkeit von der Messlänge	9
Bestimmung des spezifischen Drehwinkels	10
Vergleich mit den Literaturwerten	11
Alanin	11
Drehwinkel in Abhängigkeit von der Messlänge	11
Bestimmung des spezifischen Drehwinkels	12
Fehlerquellen	12
Schlußfolgerungen	13
Danksagungen	14
Literaturliste	14

Einleitung

Der französische Physiker Jean-Baptiste Biot (1774 - 1862) entdeckte 1815, dass viele natürlich vorkommende organische Verbindungen die Schwingungsebene von linear polarisiertem Licht um einen bestimmten Winkel drehen. Dieses Phänomen wurde optische Aktivität genannt und da es nicht nur in einem Aggregatzustand auftrat, schloss man daraus, dass es sich um eine Moleküleigenschaft handeln muss. Es gibt auch einige Kristalle, wie beispielsweise Quarz, die ebenfalls die Ebene von polarisiertem Licht drehen, aber die Drehung hier ist eine Kristalleigenschaft, denn sie verschwindet beim Schmelzen oder beim Auflösen. Erst 1874 erkannten der Niederländer J.H. van't Hoff und der Franzosen J.A. LeBel unabhängig voneinander, dass die räumliche Anordnung der Atome in den Molekülen die Ursache für die optische Aktivität ist. Sie kamen außerdem zu dem Schluss, dass die vier mit einem C-Atom verbundenen Liganden in den Ecken eines dem C-Atom umschriebenen Tetraeder angeordnet sind. Wenn das C-Atom vier unterschiedliche Liganden besitzt, kann man durch das gesamte Molekül keine Symmetrieachse mehr legen; es wird asymmetrisch. In diesem Fall existieren für die Liganden zwei Anordnungsmöglichkeiten, die sich wie Bild und Spiegelbild unterscheiden.

In den letzten zwei Jahren habe ich mich in verschiedener Weise mit optischer Aktivität beschäftigt. Auch in diesem Jahr bin ich von dem Thema nicht losgekommen. Ziel meiner Arbeit ist es, die Abhängigkeit des Drehwinkels von verschiedenen Parametern näher zu untersuchen. Dazu habe ich eine entsprechende Messapparatur gebaut. Mit ihr führe ich mit Glucose und Alanin Messreihen durch, in denen ich die Konzentration und die Länge der durchstrahlten Lösung variiere.

Grundlagen

Polarisiertes Licht

Linear polarisiertes Licht ist Licht, das ständig in einer Ebene schwingt. Die Ebene, in der das Licht schwingt, wird als Schwingungsebene bezeichnet, und die dazu senkrechte Ebene als Polarisationsebene. Normales, unpolarisiertes Licht schwingt in allen Winkeln um die Ausbreitungsrichtung. Polarisiertes Licht erhält man, indem man es durch einen Polarisationsfilter schickt. Dabei kann man folgendes beobachten: In der Abbildung 1 sind Polarisator und Analysator in der gleichen Richtung ausgerichtet. Das Licht, das den Polarisator passieren kann, gelangt auch durch den Analysator. Wenn man nun aber den Analysator um 90° dreht wie in Abbildung 2, so dass beide senkrecht zueinander ausgerichtet sind, kann das durch den Polarisator polarisierte Licht nicht durch den Analysator gelangen.

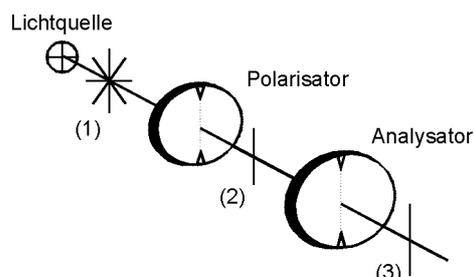


Abb.1: Polarisator und Analysator sind in der gleichen Richtung ausgerichtet

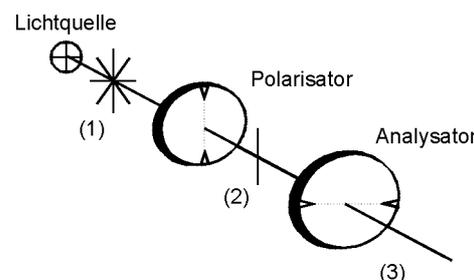


Abb.2: Polarisator und Analysator sind senkrecht zu einander ausgerichtet

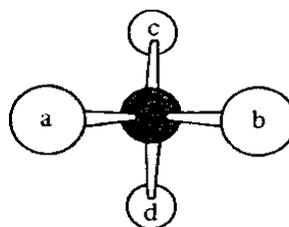
Phänomen optische Aktivität

Die optische Aktivität ist die Fähigkeit eines Stoffes, die Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht um einen für das Molekül charakteristischen Winkel zu drehen. Sie tritt sowohl bei anorganischen wie bei organischen Verbindungen auf.

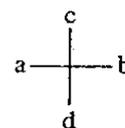
Voraussetzung für die optische Aktivität ist, dass das Molekül und sein Spiegelbild nicht deckungsgleich sind. Ein Molekül, das sich von seinem Spiegelbild wie die rechte Hand von der linken unterscheidet, nennt man chiral (griechisch: „Hand“). Die Verbindung und sein Spiegelbild bezeichnet man als Enantiomere (griechisch: „entgegengesetzte Teile“). Enantiomere besitzen bis auf zwei Ausnahmen die gleichen chemischen und physikalischen Eigenschaften: sie können unterschiedlich mit anderen chiralen Verbindungen reagieren, außerdem drehen sie als optisch aktive Substanzen die Ebene von linear polarisiertem Licht um den gleichen Winkel, aber in die entgegengesetzte Richtung. Ein homogenes Gemisch beider Enantiomere heißt Racemat und ist optisch inaktiv. Ob eine organische Verbindung chiral - und damit auch optisch aktiv ist, lässt sich meist dadurch entscheiden, indem man überprüft, ob sie mindestens ein Kohlenstoffatom enthält, an das vier unterschiedliche Gruppen gebunden sind. Denn dann kann sie nicht mit ihrem Spiegelbild übereinstimmen.

Blickt man in Richtung der Lichtquelle, so wird eine Drehung der Polarisationssebene im Uhrzeigersinn als rechts oder (+)- bezeichnet; die entgegengesetzte Drehung folglich links oder (-)-. Bei Kohlenhydraten und Aminosäuren werden die Enantiomere mit den Buchstaben D- (lateinisch dexter: „rechts“) und L- (lateinisch laevus: „links“) nach einer älteren Nomenklatur benannt, die von Glycerinaldehyd als Standardsubstanz ausgeht.

Eine Möglichkeit der Darstellung von Molekülen mit asymmetrischen Kohlenstoff-Atomen ist die *Fischer-Projektion*. Die längste Kette des Moleküls wird senkrecht angeordnet, so dass das C-Atom mit der höchsten Oxydationsstufe oben steht. Gruppen über und unter dem C*-Atom liegen hinter der Papierebene, Gruppen links und rechts davon ragen aus der Ebene heraus.



Perspektivische Formel



Fischer-Projektion

Abb. 3: Von der Perspektive zur Ebene

Befindet sich in der Fischer-Projektion die OH-Gruppe des Glycerinaldehyds am mittleren Kohlenstoffatom auf der rechten Seite, setzt man das Präfix D- vor den Namen, also D-Glycerinaldehyd. Die anderen Substanzen hat man analog zum Glycerinaldehyd benannt. Also bezeichnen (+)- und (-)- den Drehsinn, D- und L- die Konfiguration.

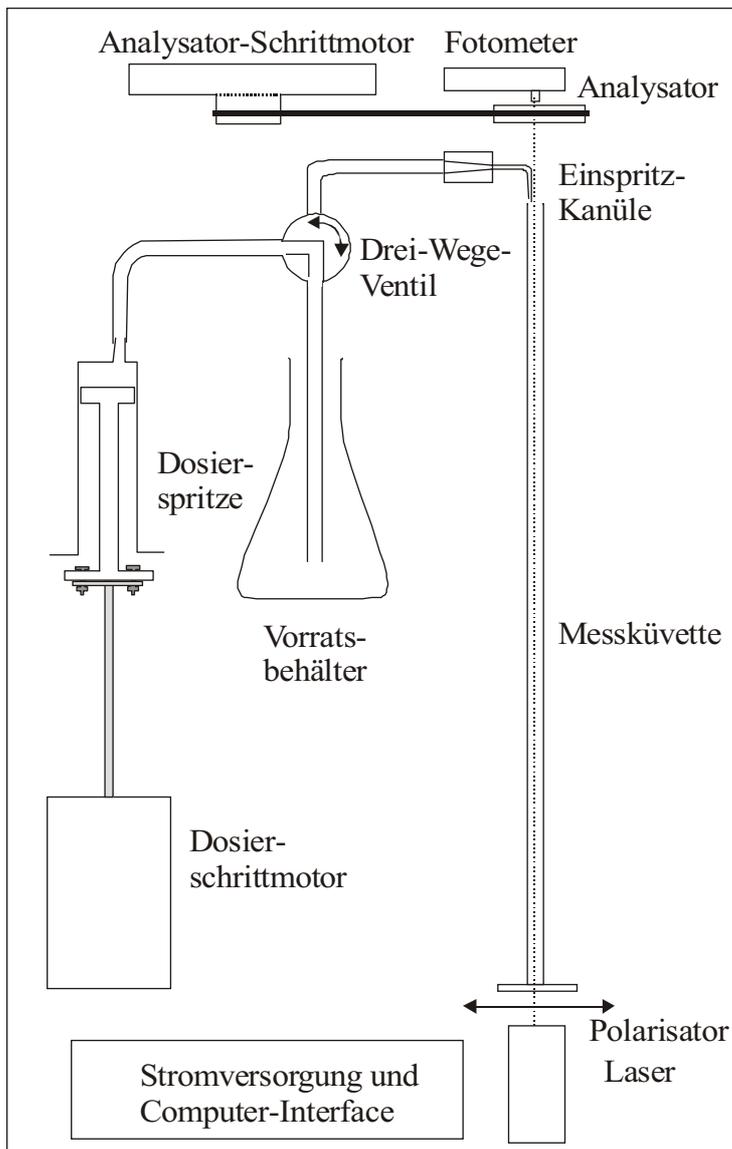
Planung des Experiments

Versuchsaufbau

Für mein Experiment benötige ich grundsätzlich eine monochromatische (einfarbige) Lichtquelle, zwei Polarisationsfilter, von denen einer drehbar sein muss, sowie eine Messtechnik, mit der die Intensitätsveränderung des Lichts gemessen wird.

Als Lichtquelle verwende ich einen kleinen Laser mit einer Leistung von 1 mW. Das erzeugte Licht hat eine Wellenlänge von $\lambda = 650 \text{ nm}$ (rot). Direkt über dem Laser befindet sich der erste Polarisationsfilter. Nachdem das Licht diesen Filter passiert hat, ist es linear polarisiert. Man nennt ihn deswegen einfach Polarisator. Der Lichtstrahl läuft nun durch die Messküvette. Es handelt sich hier um ein 40 cm langes Glasrohr mit einem Innendurchmesser von 5 mm. Darauf folgt der zweite Polarisationsfilter, mit dem das polarisierte Licht auf eine Veränderung der Polarisations Ebene überprüft wird. Man nennt ihn nach seiner Funktion Analysator. Der Analysator wird durch einen Schrittmotor gedreht, der über eine Elektronik vom Computer angesteuert wird. Direkt nach dem Analysator trifft der Lichtstrahl auf eine Fotodiode. Die Fotodiode liefert dem Computer einen zur Lichtintensität proportionalen Strom. Ein zweiter Schrittmotor erlaubt das Verfahren eines Kolbens in einer Spritze zum Befüllen des Messrohres mit der Messsubstanz.

Alle eben beschriebenen Komponenten sind in einem hochkant gestellten 19''-Rack montiert, was den Vorteil hat, dass alle optischen Komponenten nur einmalig justiert werden müssen und die zahlreichen



Leitungsverbindungen nicht so leicht beschädigt werden können. Das Computerinterface erlaubt - bis auf das Entleeren der Mess-Küvette - die automatische Steuerung der beiden Schrittmotore sowie das Auslesen des aktuellen Fotostroms über einen Analog-Digitalwandler durch einen angeschlossenen Computer.

Das Computerprogramm, mit dem ich die Messreihen aufnehme, ist in Pascal geschrieben. Auf der Benutzeroberfläche zeigt sich ein viergeteilter Bildschirm (Angabe der Tastenfunktionen, Steuerung des Analysators, Steuerung der Befüllungseinheit, Meldungsfenster). Die Kommunikation mit dem Messgerät erfolgt über eine bidirektional angesprochene Druckerportverbindung. Ein großteils automatisierter Messvorgang erlaubt die Aufnahme einer vollständigen Messkurve bei einer Drehung des Analysators um 360° in Schritten von ca. $0,7^\circ$ bei gleichzeiti-

Abb. 4: Übersichtsskizze des Versuchsaufbaues

ger Speicherung der Fotowerte in einer Datei, die von Excel aus weiter bearbeitet werden kann. Ebenfalls automatisch erfolgt die Kalibrierung des Analysators sowie der Befüllungseinrichtung. Alle Steuerfunktionen können auch manuell vorgenommen werden. Für Messungen, die eine höhere Genauigkeit und Auflösung als die des A-D-Wandlers verlangen, ist der Ausgang des Fotoverstärkers direkt nach außen geführt.

Durchführung und Messmethodik

Meine Messmethode beruht darauf, dass eine optisch aktive Substanz den Winkel verändert, bei dem es zur vollständigen Auslöschung des Lichtes hinter dem Analysator kommt, der ohne optisch aktive Substanz 90° beträgt.

Die Glucose lag mir zu Anfang in Form von weißem kristallinen Pulver vor. Ich habe mir mehrere Lösungen mit unterschiedlichen Konzentrationen erstellt. Die Messung des jeweiligen Drehwinkels erfolgte bei verschiedenen Füllhöhen, beginnend mit 10 cm und in Schritten von 5 cm bis maximal 35 cm. Je Füllhöhe führte ich zehn Messungen mit je etwa 540 Messpunkten durch. Vor jedem Messdurchgang mit einer neuen Konzentration wird die Apparatur mit Wasser gereinigt und ohne eine optisch aktive Substanz so kalibriert, dass bei 0° Polarisator und Analysator genau senkrecht zueinander stehen.

Die untersuchten Stoffe

Ich habe als optisch aktiven Stoff D-Glucose gewählt (besser bekannt als Dextrose oder Traubenzucker), die einem im Alltag begegnen und außerdem auch günstig zu bekommen war. Als zweite Substanz möchte ich Alanin verwenden, das allerdings erst am Tag vor der Abgabe der Arbeit geliefert worden ist, so dass ich zunächst nur ein Messbeispiel mit diesem Stoff berücksichtigen kann.

Glucose

D-Glucose, mit der Summenformel $C_6H_{12}O_6$, ist das am häufigsten auftretende Monosaccharid. Sie kommt in der Natur frei in süßen Früchten, im Honig und im Blut von Säugetieren vor. Außerdem ist sie Bestandteil vieler Oligosaccharide.

Die Numerierung der C-Atome beginnt am Aldehyd-C-Atom. Die Glucose tritt

kettenförmig und auch als cyclisches Halbacetal auf.

Den sechsgliedrigen Ring bezeichnet man als

Pyranoseform der Glucose wegen der Ähnlichkeit mit

dem cyclischen Ether Pyran. Man spricht dann auch

von Glucopyranose. In Lösung stehen beide Formen

im Gleichgewicht. Die offenkettige Form wird oft mithilfe der Fischer-Projektion dargestellt (Abb. 5). Die C-Atome von der zweiten bis zur vierten

Stelle sind asymmetrisch. Die cyclische Halbacetalform besitzt dagegen ein

zusätzliches asymmetrisches C-Atom mehr. Weit verbreitet ist die Darstellung

mittels der Haworth-Projektion (S. 7, Abb. 7). Der Ring trägt das

Sauerstoffatom in der rechten oberen Ecke. Man unterscheidet hier zwei

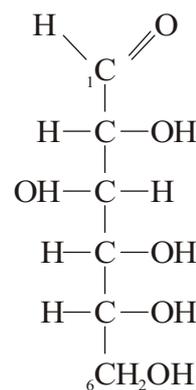


Abb. 5: D-Glucose

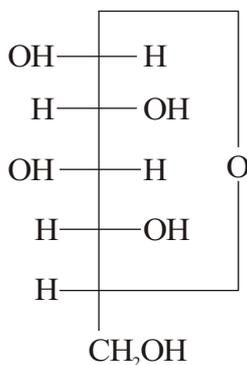


Abb. 6: modifizierte Fischer-Projektion der β -D-Glucose

cyclische Isomere, die man Anomere nennt. Anomere sind Stereoisomere, die sich nicht wie Bild und Spiegelbild verhalten und oft einige verschiedene chemische und physikalische Eigenschaften haben. Bei der D-Glucose unterscheidet man sie durch die Lage der

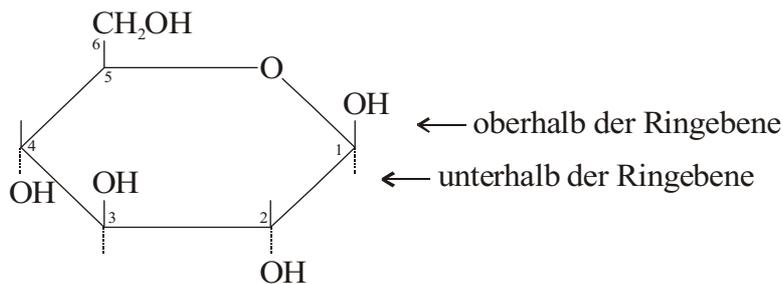


Abb. 7: Haworth-Projektion der β -D-Glucose

Substituenten am Acetalkohlenstoff, das man auch atomares C-Atom nennt. Steht die OH-Gruppe am Acetalkohlenstoff in cis-Stellung zur CH_2OH -Gruppe am C-5, so liegt ein β -Anomer vor. In diesem Fall wird die OH-Gruppe in der modifizierten Fischer-Projektion links eingezeichnet (S. 6, Abb. 6). Mit 63,6% hat die β -D-Glucose den größeren Anteil im natürlichen Lösungsgleichgewicht als die α -D-Glucose (36,4%).

L-Alanin

Alanin, dessen IUPAC-Name 2-Aminopropansäure lautet, ist eine Aminosäure mit der Summenformel $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$. Aminosäuren sind Carbonsäuren, die eine oder mehrere Aminogruppen ($-\text{NH}_2$) enthalten. Wichtig sind hierbei besonders die 2-Aminosäuren, zu denen auch Alanin gehört. Sie dienen als Bausteine für Peptide und Proteine, die in der Natur weit verbreitet sind. Alanin ist die kleinste optisch aktive Aminosäure. Von ihr werden eine große Zahl anderer Aminosäuren abgeleitet, indem in der Methylgruppe (CH_3) mindestens ein Wasserstoffatom durch andere Radikale ersetzt wird. In der Natur tritt nur das L-Alanin auf, wie überhaupt die überwiegende Zahl der natürlichen Aminosäuren in der L-Konfiguration vorliegen. Nur bei dem durch industriell synthetisierten Alanin entsteht ein Racemat.

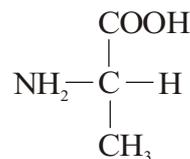


Abb. 8: L-(+)-Alanin

Untersuchungsergebnisse

Darstellung und Auswertung der Messergebnisse

Für jede Füllhöhe habe ich zehn Messungen mit je etwa 540 Messwerten aufgenommen. Jeder Messwert gibt den Fotostrom des Fotosensors bei einem bestimmten Winkel wieder, der sich aus der in der Datei gespeicherten Schrittposition des Motors berechnen lässt. Für jede Füllhöhe erhalte ich also 10 solcher Dateien.

Ein kleines Hilfsprogramm bildet aus diesen Dateien eine Sammeldatei, die zu jeder Schrittnummer dann die 10 Messwerte in einer Zeile enthält, wobei die Einträge durch Tabulatoren getrennt sind. Dieses ist ein Dateiformat, das von Excel importiert werden kann. Die Werte aus dieser Datei habe ich mit Excel weiter ausgewertet, indem ich den Mittelwert gebildet und aus dem ersten Tiefpunkt den Drehwinkel bestimmt habe.

Die Drehwinkel hängen von zwei Parametern ab: der Messlänge ℓ (in cm) in der Mess-Küvette und der Konzentration c (in g/ml) der Lösung. Deswegen ist eine Darstellung der Messwerte in zwei verschiedenen Diagrammen sinnvoll.

D-Glucose

Drehwinkel in Abhängigkeit von der Konzentration

In dem Diagramm 1 wird der Drehwinkel in Abhängigkeit von der Konzentration bei verschiedenen Messlängen (als Parameter) dargestellt. Der Graph muss durch den Ursprung [Punkt (0|0)] verlaufen, denn bei einer Konzentration von Null - also keine optisch aktive Substanz in der Messlösung! - muss auch ein Drehwinkel von Null vorliegen. Wie man in dem Diagramm bei den Höhen 15, 20 und 25 cm gut sehen kann, handelt es sich bei diesen Graphen tatsächlich im Rahmen der Messgenauigkeit um Geraden. Nach der Eingangsvoraussetzung hieße das, dass hier eine Proportionalität vorliegen müsste. Deshalb habe ich zur Überprüfung durch jede Datenreihe eine Trendlinie legen und mir die Formel dafür angeben lassen. Aus den Formeln ist aber ersichtlich, dass es sich hierbei nicht um eine proportionale Zuordnung, sondern lediglich um lineare Funktionen handelt, da die Trendlinie die Senkrechte oberhalb der Nulllinie schneidet. Das kann nur bedeuten, dass es trotz aller Bemühungen noch eine Fehlerquelle in meinem Versuchsaufbau gibt, die eine mir aus der Messanordnung unerklärliche Verschiebung des gemessenen Drehwinkels bewirkt.

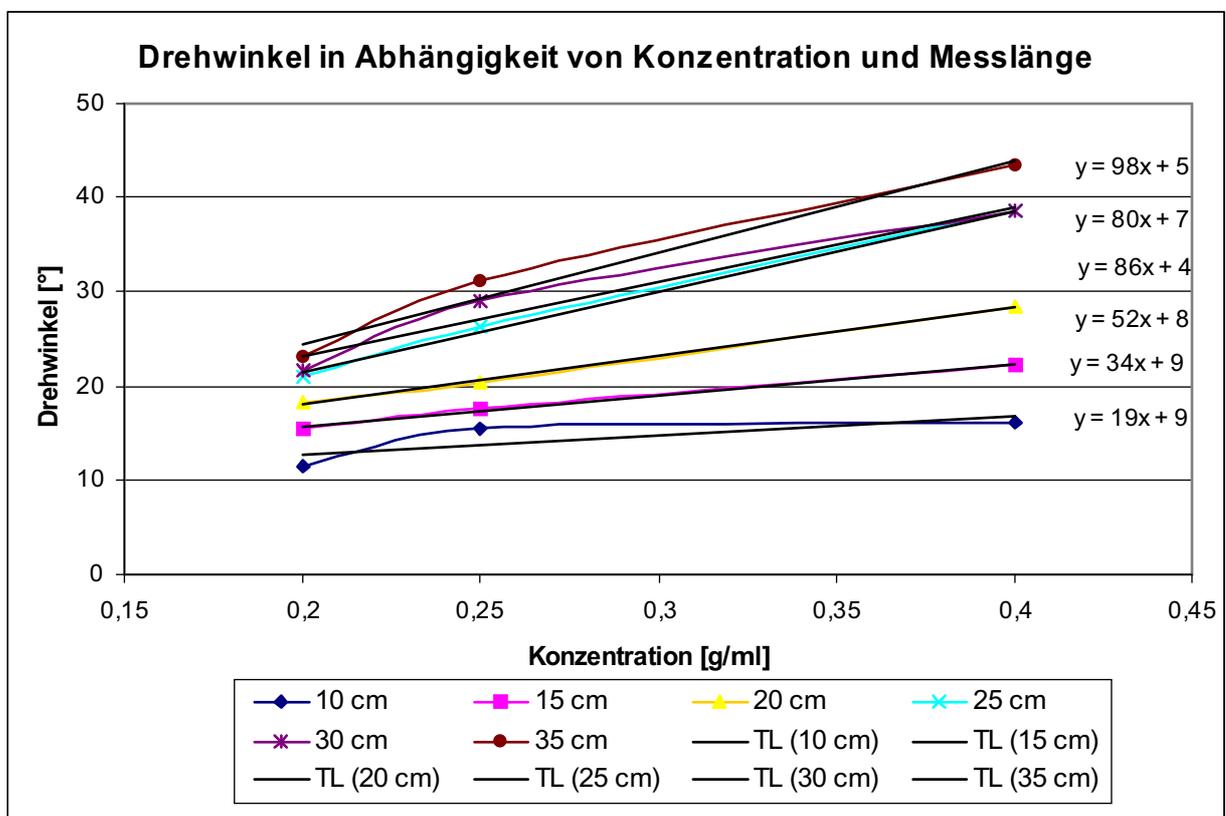


Diagramm 1: Drehwinkel für Glucose in Abhängigkeit von der Konzentration

Drehwinkel in Abhängigkeit von der Messlänge

Im Diagramm 2 wird der Drehwinkel in Abhängigkeit von der Messlänge ℓ bei verschiedenen Konzentrationen (als Parameter) dargestellt. Auch hier gilt wieder, dass der Graph durch den Ursprung verlaufen muss, denn bei einer Höhe von 0 cm kann man auch keinen anderen Drehwinkel als 0° messen. Besonders der Graph der höchsten Konzentration zeigt die Form einer Geraden, wenn man den vierten Datenpunkt, der einen Ausreißer darstellt, einmal außen vor lässt. Wenn man nun auch hier eine Trendlinie durch die Datenreihen legt, erhält man aber wieder nur lineare und keine proportionalen Funktionen. Das lässt sich aber wie bereits im vorherigen Diagramm auf noch vorhandene Messfehler zurückführen. Dennoch bilden die Datenreihen annähernd Geraden. Allerdings fällt auf, dass die letzten Datenpunkte alle unterhalb der Trendlinie liegen. Die gemessenen Drehwerte sind somit bei größeren Messlängen zu klein. Eine mögliche Erklärung wäre folgende: In der Dosierspritze bildet sich im Laufe der Messung ein Konzentrationsgefälle, weil immer mehr Moleküle nach unten sinken. Die Konzentration der während der Messung in die Messküvette eingebrachten Lösung nimmt also stetig ab, so dass auch die Gesamtkonzentration - und damit der gemessene Drehwinkel - im Messrohr sinkt.

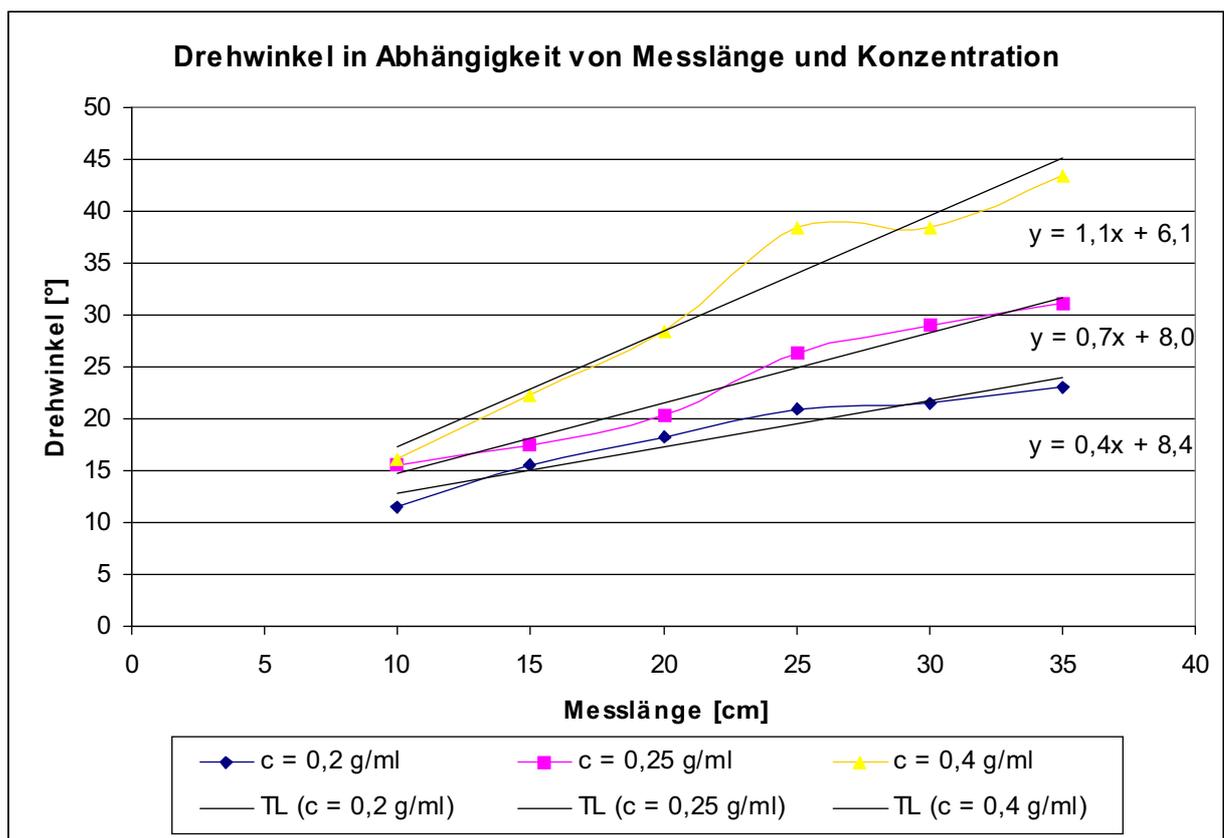


Diagramm 2: Drehwinkel für Glucose in Abhängigkeit von der Messlänge

Bestimmung des spezifischen Drehwinkels

Zur Bestimmung des spezifischen Drehwinkels nutze ich die Feststellung, dass es sich um lineare Funktionen handelt. Diese kann ich durch eine Parallelverschiebung in eine proportionale Funktion überführen, wobei die Größe der Verschiebung den von mir vermuteten Fehler in der Messanordnung ausgleicht. Wie man in der Skizze (Abb. 9) leicht sieht, sind die Steigungen beider Graphen gleich, sie liefern mir also ein Maß für den spezifischen Drehwinkel.

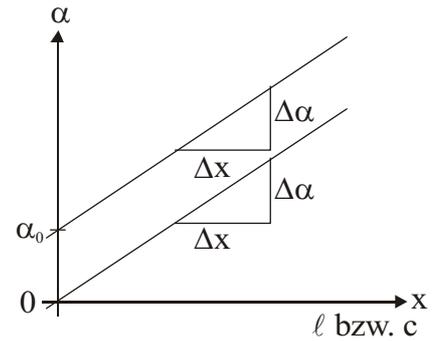


Abb. 9 Bestimmung der Steigung

Aus den Graphen der Diagramme 1 und 2 ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\alpha \sim c \quad (1)$$

$$\alpha \sim \ell \quad (2)$$

Daraus ergibt sich

$$\alpha \sim c \cdot \ell \quad (3)$$

Die Proportionalität wird durch Einfügen einer Konstante k in eine Gleichung überführt:

$$\alpha = k \cdot c \cdot \ell \quad (4)$$

Durch Umformen erhält man für k die Bestimmungsgleichung

$$k = \frac{\alpha}{c \cdot \ell} \quad (5)$$

So ergibt sich z.B. eine Konzentration $c = 0,4 \text{ g/ml}$ und einer Messlänge ℓ von $20 \text{ cm} = 2,0 \text{ dm}$ folgende Rechnung:

$$k = \frac{\alpha - \alpha_0}{c \cdot \ell} = \frac{28,4^\circ - 8^\circ}{0,4 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \cdot 2,0 \text{ dm}} = 25,5^\circ \frac{\text{ml}}{\text{g} \cdot \text{dm}}$$

darin ist α_0 die Winkelverschiebung meiner Messapparatur (laut Trendlinie 8°), α der gemessene Drehwinkel (hier $28,4^\circ$), c die Konzentration und ℓ die verwendete Messlänge. Man erhält also einen spezifischen Drehwinkel von ca. 26° . Die nebenstehende Tabelle zeigt die vollständige Berechnung aller Messwerte. Der Mittelwert über alle drei Konzentrationen ergibt einen spezifischen Drehwinkel

$$[\alpha] = 25,9^\circ \frac{\text{ml}}{\text{g} \cdot \text{dm}}$$

ℓ/dm	c in g/ml		
	0,4	0,25	0,2
3,5	27,5	29,8	25,7
3,0	26,3	29,3	24,3
2,5	34,5	35,7	33,8
2,0	25,5	24,6	25,5
1,5	22,2	22,7	21,7
1,0	18,0	26,0	12,5
[\alpha]	25,7	28,0	23,9

Tabelle 1: Auswertung der Messwerte

Vergleich mit den Literaturwerten

Für D-Glucose werden zwei spezifische Drehwinkel angegeben, da die Lösung aus α - und β -D-Glucose besteht, von denen die β -Glucose überwiegt. Sie weisen die gleiche Drehrichtung auf, aber mit unterschiedlichen spezifischen Drehwinkeln. Aus der Literatur [3, S. 395] entnimmt man folgende Angaben:

α -D-Glucose: $[\alpha] = +112^\circ$ mit 36,4% Anteil

β -D-Glucose: $[\alpha] = +18,7^\circ$ mit 63,6% Anteil

Daraus ergibt sich der mittlere spezifische Drehwinkel zu

$$[\alpha] = 112^\circ \cdot 36,4\% + 18,7^\circ \cdot 63,6\% = 52,7^\circ$$

Der Literaturwert ist damit fast genau um den Faktor 2 größer als der von mir gemessene.

Alanin

Drehwinkel in Abhängigkeit von der Messlänge

In dem Diagramm 3 wird der Drehwinkel α in Abhängigkeit von der Messlänge l dargestellt. Wie bei der Glucose muss der Graph auch hier wieder durch den Ursprung verlaufen. Den ersten Datenpunkt sollte man ignorieren, denn wie man deutlich sieht, handelt es sich hierbei um einen Ausreisser. Auch durch diese Datenreihe lässt sich wieder eine Trendlinie legen. Die Datenpunkte schwanken um die Trendlinie, was sicher auf den noch vorhandenen Messfehler zurückzuführen ist. Es ist aber trotzdem durchaus zu erkennen, dass mit größerer Messlänge der Drehwinkel stetig zunimmt. Die großen Abweichungen im Vergleich zur Glucose erklären sich durch die hier erheblich kleineren Drehwinkel.

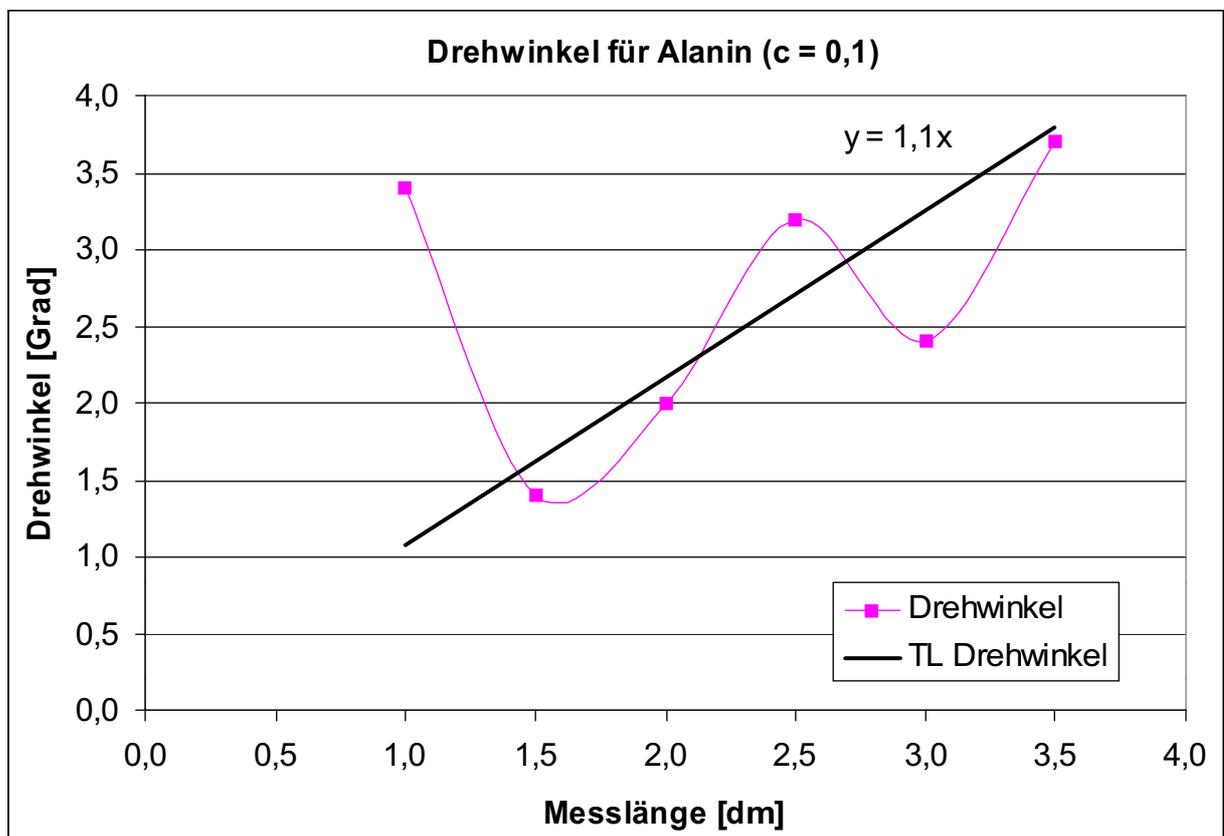


Diagramm 3: Drehwinkel für Alanin in Abhängigkeit von der Messlänge

Bestimmung des spezifischen Drehwinkels

Wie ich bereits bei der Glucose nachgewiesen habe, ist der Drehwinkel α proportional zur Messlänge ℓ und der Konzentration c .

$$\alpha \sim c \cdot \ell \quad (1)$$

Die Überführung in eine Gleichung erfolgt durch das Einfügen einer Konstanten k .

$$\alpha = k \cdot c \cdot \ell \quad (2)$$

Durch Umformen erhält man eine Gleichung, mit der ein Wert für k bestimmt werden kann

$$k = \frac{\alpha}{c \cdot \ell} \quad (3)$$

Die Steigung der Trendlinie ist der Quotient aus dem Drehwinkel α und der Messlänge ℓ .

$$m = \frac{\alpha}{\ell} \quad (4)$$

Entweder man formt den gesamten Ausdruck nach α um, damit man einen fehlerkorrigierten Wert für den Drehwinkel erhält, oder man ersetzt den Quotienten in (3) durch die Steigung m und bekommt nun

$$k = \frac{m}{c} \quad (5)$$

So ergibt sich für die Konzentration $c = 0,1 \text{ g/ml}$ und der Steigung $m = 1,1 \text{ }^\circ/\text{dm}$ die folgende Rechnung

$$k = \frac{m}{c} = \frac{1,1 \frac{^\circ}{\text{dm}}}{0,1 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} = 11 \frac{^\circ}{\text{g} \cdot \text{dm}}$$

Man erhält so einen spezifischen Drehwinkel $[\alpha]$ von 11° für Alanin. Auf der Verpackung ist ein spezifischer Drehwinkel von $14,5^\circ$ angegeben. Da es dort sonst keine weiteren diesbezüglichen Annahmen gibt, nehme ich eine Wellenlänge von $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ (Natrium-D-Linie) an.

Fehlerquellen

In der Literatur [3, S. 296] ist an einer einzigen Stelle eine Tabelle angegeben, aus der hier zwei Einträge entnommen sind

Substanz	Lösungsmittel	$[\alpha]$	λ in nm
Maltose	Wasser	$153,8^\circ$	546,1
Maltose	Wasser	$138,5^\circ$	589,3

(siehe Tabelle 2). Aus ihr kann man er-

Tabelle 2: Abhängigkeit von der Wellenlänge

kennen, dass der Drehwinkel stark von der Wellenlänge abhängt. Dort ändert sich der Drehwinkel um 11% bei einer Änderung der Wellenlänge um 7%. Die von mir verwendete Wellenlänge des Lasers von 650 nm weicht um 10% von der Wellenlänge der üblicherweise benutzten Natrium-D-Linie ab, was zumindest zum Teil die bei mir auftretenden Abweichungen erklären kann. Es erscheint mir daher sinnvoll, in einer weiteren Ausbaustufe meiner Messapparatur Messungen des Drehwinkels bei verschiedenen Wellenlängen durchführen zu können - z.B. durch Verwendung einer weißen Lichtquelle und eines Spektrographen - um eine entsprechende Gesetzmäßigkeit näher zu untersuchen.

Da bei allen Literaturwerten auch die Temperatur angegeben wird, liegt hier eine mögliche zweite Quelle für die Abweichungen, da meine Messlösung in der Regel zwar etwa Zimmertemperatur hatte, aber durch die Apparatur - besonders das Drei-Wege-Ventil - zusätzlich erwärmt wurde.

Ein weiterer möglicher Einfluss könnte sich durch die Verwendung der im Vergleich zur Länge sehr dünnen Messküvette ergeben, dass Randeffekte (Adhäsion) an der Glaswandung im Vergleich zum freien Querschnitt der Flüssigkeit sich störend bemerkbar machen. Dieser Fehler könnte durch Verwendung einer Küvette mit größerem Durchmesser näher eingegrenzt werden, doch dafür muss ich einen Teil meiner Apparatur noch umbauen.

Ebenfalls durch Adhäsion bildet sich an der Oberfläche der Flüssigkeitssäule eine Wölbung aus, die eine starke Linsenwirkung hat, wie man leicht an der Aufweitung des Laserstrahls bei abgenommenem Fotosensor sehen kann. Obwohl bei einer Kontrollmessung mit reinem Wasser dadurch keine Drehwinkeländerung zu beobachten war, kann ich nicht ausschließen, dass diese bei optisch aktiven Substanzen nicht vielleicht doch auftritt.

Beim Erstellen der Lösungen habe ich mit Stoffmengen im Bereich von 2 g bis zu 10 g auf jeweils 20 ml Lösung gearbeitet. Die mir zur Verfügung stehende Waage ist mit einem Fehler von $\pm 0,1$ g angegeben, während das Lösungsmittel mit einer 10 ml-Spritze abgemessen wurde, die auf 0,5 ml genau ist. Von daher kann ich davon ausgehen, dass der verbleibende Fehler in seiner Größenordnung nicht auf eine falsche Mischung zurückzuführen ist.

Für eher unwahrscheinlich halte ich die Möglichkeit, dass der mir gelieferte Stoff nicht die optischen Eigenschaften aufweist, die auf dem Etikett angegeben sind, dass also zum Beispiel auch ein gewisser Anteil L-Glucose enthalten ist, der den effektiven Drehwinkel verkleinern würde.

Schlußfolgerungen

Eigentlich hatte ich gehofft, dass meine Apparatur hinreichend genau ist, um nicht nur die in der Literatur angegebenen spezifischen Drehwinkel bestätigen zu können, sondern auch noch genauere Untersuchungen darüber anzustellen, ob die zu messenden Drehwinkel tatsächlich proportional zu Messlänge und Konzentration sind. Die bisherigen Messungen zeigen leider, dass ich dieses Ziel noch nicht ganz erreicht habe.

Danksagungen

Ich möchte mich bei den freundlichen Damen der Hubertus-Apotheke ganz herzlich dafür bedanken, dass sie mir einiges Spritzenzubehör (sprich verschiedene Kanülen) und die Chemikalien besorgt haben. Ebenso danke ich der Firma Braun, die mir einen Kasten Spritzen zur Verfügung stellte, und der Praxis Dr. Dittmann, wo ich gleichfalls Spritzenzubehör erhalten habe. Besonders meinem Vater (und Betreuungslehrer) ein großes „Dankeschön!“. Ohne seine Hilfe hätte ich weder den Versuchsaufbau bauen, das Programm in dieser Weise erstellen können, noch wäre ich ohne den einen oder anderen Anstoß noch fertig geworden. Bei dem Förderkreis Jugend forscht möchte ich mich ebenfalls bedanken, denn ohne ihre Unterstützung der Arbeitsgemeinschaft wäre das Projekt nicht in dieser Form zu verwirklichen gewesen.

Literaturliste

- [1] N.L.Allinger u.a. „Organische Chemie“, Walter de Gruyter, Berlin 1980
- [2] Peter W. Atkins, Jo A. Beran „Chemie: einfach alles“, VCH, 2. Auflage, Weinheim 1998
- [3] Hans Breuer „dtv-Atlas zur Chemie“ Band 2, dtv, 7.Auflage, München 1997
- [4] Schülerduden Chemie, Dudenverlag, Mannheim 1995
- [5] Schülerduden Physik, Dudenverlag, Mannheim 1995