

Physiklabor für Anfänger\*innen  
Ferienpraktikum im Wintersemester 2019/2020

# Versuch 79: Polarimeter und linear polarisiertes Licht

Gruppe

(durchgeführt am bei )



# Inhaltsverzeichnis

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>        | <b>3</b>  |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>     | <b>4</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>       | <b>4</b>  |
| <b>1 Ziel des Versuchs</b>       | <b>5</b>  |
| <b>2 Benutzte Gleichungen</b>    | <b>5</b>  |
| <b>3 Aufbau und Durchführung</b> | <b>6</b>  |
| 3.1 Aufbau . . . . .             | 6         |
| 3.2 Durchführung . . . . .       | 7         |
| <b>4 Messung</b>                 | <b>7</b>  |
| <b>5 Auswertung</b>              | <b>9</b>  |
| <b>6 Diskussion</b>              | <b>14</b> |
| <b>7 Anhang</b>                  | <b>17</b> |
| <b>8 Literaturverzeichnis</b>    | <b>20</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|   |                                                  |    |
|---|--------------------------------------------------|----|
| 1 | Versuchsaufbau Teil 1 . . . . .                  | 6  |
| 2 | Versuchsaufbau Teil 2 . . . . .                  | 6  |
| 3 | Intensitätsverhältnis für weißes Licht . . . . . | 11 |
| 4 | Intensitätsverhältnis für blaues Licht . . . . . | 12 |
| 5 | Intensitätsverhältnis für rotes Licht . . . . .  | 12 |
| 6 | Laborheftseite 1 . . . . .                       | 17 |
| 7 | Laborheftseite 2 . . . . .                       | 18 |
| 8 | Laborheftseite 3 . . . . .                       | 19 |

## Tabellenverzeichnis

|   |                                                                                                                                                                |    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Messwerte Teil 1 . . . . .                                                                                                                                     | 8  |
| 2 | Gemessene Winkel für die Farbfilter rot, grün und blau, bei denen die Helligkeit der beiden Gesichtsfelder des Halbschattenpolarimeters übereinstimmt. . . . . | 9  |
| 3 | Gemessene Winkel für die Farbfilter rot, grün und blau, bei denen die Helligkeit der beiden Gesichtsfelder des Halbschattenpolarimeters übereinstimmt. . . . . | 9  |
| 4 | Spannungsverhältnisse beziehungsweise Intensitätsverhältnisse $\frac{U}{U_{\max}} = \frac{I'}{I}$ für weißes Licht, rotes Licht und blaues Licht . . . . .     | 10 |
| 5 | Spezifische Drehwinkel von Quarz . . . . .                                                                                                                     | 13 |
| 6 | Spezifische Drehwinkel von Zuckerlösung . . . . .                                                                                                              | 13 |
| 7 | Berechnete spezifische Drehwinkel von Quarz . . . . .                                                                                                          | 14 |

## 1 Ziel des Versuchs

Ziel des Versuchs ist es zunächst, die Polarisation von Licht mithilfe eines Analysators nachzuweisen. Hierbei wird außerdem noch die Abhängigkeit von der Wellenlänge überprüft.

Zusätzlich soll das spezifische Drehvermögen von optisch aktiven Substanzen in Abhängigkeit von der Wellenlänge bestimmt werden und daraus die Konzentration einer Zuckerlösung ermittelt werden.

## 2 Benutzte Gleichungen

Die Intensität  $I'$  von linear polarisiertem Licht, welches in einem Winkel  $\alpha$  zum Analysator steht und am Anfang die Intensität  $I$  hat, berechnet sich folgendermaßen:

$$I' = I \cos^2 \alpha \quad (1)$$

Das spezifische Drehvermögen, für feste Substanzen ist:

$$\alpha = [\alpha]_{\text{fest}} \cdot d \quad (2)$$

Hierbei bezeichnet  $[\alpha]_{\text{fest}}$  das Drehvermögen pro Längeneinheit und  $d$  die Dicke der verwendeten Substanz.

Das spezifische Drehvermögen, für flüssige Substanzen ist gegeben durch:

$$\alpha = [\alpha]_{\text{Lösung}} \cdot c \cdot d \quad (3)$$

Hierbei bezeichnet  $[\alpha]_{\text{Lösung}}$  das Drehvermögen pro Länge  $d$  und Massegehalt der Lösungen.  $c$  ist hierbei die Konzentration.

### Fehlerrechnung

Die Fehlerfortpflanzung für einen Wert  $z = f(x, y, \dots)$  berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$s_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} s_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} s_y\right)^2 + \dots} \quad (4)$$

Vergleich von 2 Ergebnissen:

$$t = \frac{|x_0 - y_0|}{\sqrt{s_x^2 + s_y^2}} \quad (5)$$

### 3 Aufbau und Durchführung

#### 3.1 Aufbau

##### Teil 1

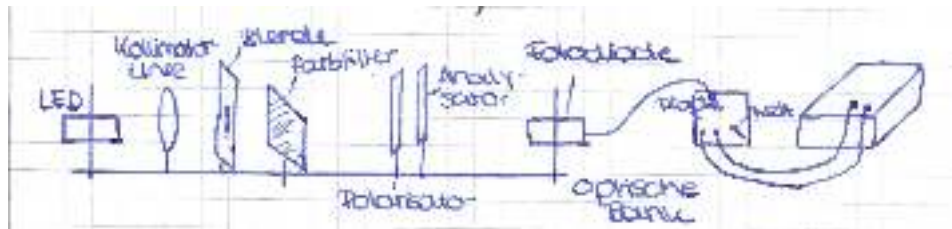


Abbildung 1: Versuchsaufbau Teil 1

Der Versuchsaufbau (vgl. [Abbildung 1](#)) besteht aus einer optischen Bank, auf der eine LED angebracht ist, deren Licht durch eine Kollimatorlinse parallelisiert wird. Anschließend fällt das Licht durch eine Blende und den direkt hinter der Blende angebrachten Farbfilter. Dahinter befinden sich ein Polarisator und ein Analysator, deren Polarisationswinkel sich durch angebrachte Rädchen einstellen lassen. Anschließend fällt das Licht auf eine Fotodiode, welche die Spannung misst, die aus dem Licht resultiert, das den optischen Aufbau passiert.

##### Teil 2



Abbildung 2: Versuchsaufbau Teil 2

Der Versuchsaufbau (vgl. [Abbildung 2](#)) ist bis zu dem Farbfilter analog dem aus Teil 1. Anschließend werden Polarisator und Analysator durch ein Halbschattenpolarimeter ausgetauscht. Dies besteht aus einem Polarisator, welches das Licht zunächst linear polarisiert. Anschließend ist ein  $\lambda/2$ -Plättchen so eingebaut, dass nur die Hälfte des Lichtstrahls auf es fällt. Durch das  $\lambda/2$ -Plättchen wird die Polarisationsrichtung dieser Lichthälfte gedreht. Hinter dem  $\lambda/2$ -Plättchen wird das optisch aktive Material eingebaut, welches die Polarisationsrichtung der beiden Lichtstrahlen um den spezifischen Drehwinkel dreht. Durch einen drehbaren Analysator und ein daran angebrachtes Fernrohr lassen sich nun die beiden Gesichtshälften betrachten und der Analysator lässt sich genau so einstellen, dass die Intensität der beiden Gesichtshälften die selbe ist.

### 3.2 Durchführung

#### Teil 1

In Teil 1 des Versuches wird die transmittierte Intensität in Abhängigkeit vom Winkel des Analysators gemessen. Dazu wird der Polarisator auf  $0^\circ$  gestellt und der Analysator wird in  $4^\circ$  Schritten von  $-90^\circ$  bis  $90^\circ$  bewegt und für jeden Wert wird die Spannung an der Fotodiode gemessen. Außerdem wird die Spannung gemessen, die bei der Fotodiode ankommt, wenn der Analysator auch auf  $0^\circ$  steht. Dies wird für weißes, blaues und rotes Licht durchgeführt.

#### Teil 2

Bei Teil 2 der Messung werde vier verschiedene optisch aktive Substanzen (zwei Quarzkristalle mit unterschiedlicher Drehrichtung und zwei Zuckerlösungen mit unterschiedlicher Konzentration und Dicke) in das Halbschattenpolarimeter eingesetzt und es wird für die drei Farbfilter blau, grün und rot der Winkel ermittelt unter dem die beiden Gesichtshälften die selbe Helligkeit haben.

## 4 Messung

#### Teil 1

Es wurden folgende Unsicherheiten angenommen:

$$s_{\alpha_1} = 1^\circ \quad (6)$$

$$s_U = 0,1 \text{ mV} \quad (7)$$

Die Maximalwerte der Spannung bei Einstellung des Analysators auf  $\alpha = 0^\circ$  lagen bei:

$$U_{\text{max}_{\text{weiß}}} = 16,2 \text{ mV} \quad (8)$$

$$U_{\text{max}_{\text{blau}}} = 116,1 \text{ mV} \quad (9)$$

$$U_{\text{max}_{\text{rot}}} = 81,7 \text{ mV} \quad (10)$$

Die Spannungswerte für die anderen Winkel  $\alpha$  des Analysators sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

| Winkel[°] | Spannung[mV] |       |      |
|-----------|--------------|-------|------|
|           | weiß         | blau  | rot  |
| -90       | 0,2          | 0,1   | 0,1  |
| -86       | 0,8          | 0,5   | 0,5  |
| -82       | 3,3          | 2,3   | 1,6  |
| -78       | 7,3          | 5,1   | 3,5  |
| -74       | 12,3         | 8,7   | 6,2  |
| -70       | 19,3         | 13,3  | 9,5  |
| -66       | 27,3         | 19,4  | 13,5 |
| -62       | 36,1         | 25,7  | 18,0 |
| -58       | 44,9         | 32,3  | 23,3 |
| -54       | 54,8         | 39,9  | 27,8 |
| -50       | 67,1         | 47,8  | 33,5 |
| -46       | 78,5         | 55,7  | 39,1 |
| -42       | 90,4         | 64,1  | 44,5 |
| -38       | 101,0        | 72,0  | 50,7 |
| -34       | 111,8        | 79,4  | 56,1 |
| -30       | 121,7        | 86,9  | 60,7 |
| -26       | 130,8        | 93,9  | 65,7 |
| -22       | 139,1        | 99,8  | 70,4 |
| -18       | 146,7        | 104,7 | 73,8 |
| -14       | 152,3        | 108,9 | 76,8 |
| -10       | 157,1        | 112,4 | 79,0 |
| -6        | 160,1        | 114,5 | 80,5 |
| -2        | 161,8        | 115,7 | 81,3 |
| 0         | 162,2        | 116,1 | 81,7 |
| 2         | 161,7        | 115,7 | 81,2 |
| 6         | 160,1        | 114,5 | 80,4 |
| 10        | 157,1        | 112,1 | 78,8 |
| 14        | 152,4        | 109,0 | 76,5 |
| 18        | 146,2        | 104,1 | 73,5 |
| 22        | 138,7        | 99,2  | 69,8 |
| 26        | 130,9        | 93,4  | 65,6 |
| 30        | 121,7        | 87,0  | 61,0 |
| 34        | 111,8        | 79,9  | 55,7 |
| 38        | 100,2        | 71,8  | 50,3 |
| 42        | 89,5         | 63,8  | 45,1 |
| 46        | 78,3         | 55,9  | 39,1 |
| 50        | 66,7         | 47,5  | 33,5 |
| 54        | 55,7         | 39,6  | 28,0 |
| 58        | 45,5         | 32,2  | 23,0 |
| 62        | 36,1         | 25,5  | 17,9 |
| 66        | 27,9         | 19,4  | 13,6 |
| 70        | 19,4         | 13,5  | 9,7  |
| 74        | 13,0         | 9,0   | 6,4  |
| 78        | 7,3          | 5,1   | 3,6  |
| 82        | 3,5          | 2,3   | 1,6  |
| 86        | 1,1          | 0,7   | 0,5  |
| 90        | 0,2          | 0,1   | 0,1  |

Tabelle 1: Messwerte Teil 1

### Teil 2

In diesem Versuchsteil wurde für den gemessenen Winkel folgende Unsicherheit angenommen:

$$s_{\alpha_2} = 0,3^\circ \quad (11)$$

Es wurden keine Messungen mit weißem Licht durchgeführt, weil bei der Drehung auf den beiden Hälften des Halbschattenpolarimeters verschiedene Farben zu sehen waren und ein Vergleich der Helligkeit sehr schwierig und subjektiv gewesen wäre. Der Winkel bei dem beide Hälften gleich halbdunkel waren lag ohne optisch aktives Material bei  $\alpha = 0^\circ$ .

Die Dicke der beiden Quarzfenster ist mit  $d = 1,5 \text{ mm}$  angegeben. Die Ergebnisse der Messungen mit den beiden Quarzfenstern sind in den folgenden Tabellen aufgeführt:

| Farbe              | Winkel [°] | Farbe              | Winkel [°] |
|--------------------|------------|--------------------|------------|
| rot                | 29,1       | rot                | 27,0       |
| grün               | 41,5       | grün               | 39,3       |
| blau               | 60,0       | blau               | 56,2       |
| (a) Quarzfenster A |            | (b) Quarzfenster B |            |

Tabelle 2: Gemessene Winkel für die Farbfilter rot, grün und blau, bei denen die Helligkeit der beiden Gesichtsfelder des Halbschattenpolarimeters übereinstimmt.

Bei der Messung mit den mit Zuckerlösungen gefüllten Küvetten, mit angegebenen Längen  $d_1 = 19,009 \text{ cm}$  und  $d_2 = 9,47 \text{ cm}$ , wurden folgende Winkel gemessen:

| Farbe                               | Winkel [°] | Farbe                                 | Winkel [°] |
|-------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|
| rot                                 | 28,9       | rot                                   | 14,4       |
| grün                                | 11,2       | grün                                  | 20,9       |
| blau                                | 17,1       | blau                                  | 30,5       |
| (a) Rohr mit bekannter Zuckerlösung |            | (b) Rohr mit unbekannter Zuckerlösung |            |

Tabelle 3: Gemessene Winkel für die Farbfilter rot, grün und blau, bei denen die Helligkeit der beiden Gesichtsfelder des Halbschattenpolarimeters übereinstimmt.

## 5 Auswertung

### Teil 1

In den untenstehenden Grafiken ist das Verhältnis der Intensitäten  $I'/I$  gegen den Winkel  $\alpha$  dargestellt. Dafür wurden die Messwerte aus [Tabelle 1](#) durch die jeweilige Maximalspannung geteilt. Die sich daraus ergebenden Spannungs- beziehungsweise Intensitätsverhältnisse sind in folgender Tabelle aufgeführt:

| Winkel [°] | Spannungsverhältnis $\frac{U}{U_{\max}} = \frac{I'}{I}$ |               |               |
|------------|---------------------------------------------------------|---------------|---------------|
|            | weiß                                                    | blau          | rot           |
| -90        | 0,0012±0,0006                                           | 0,0009±0,0009 | 0,0012±0,0012 |
| -86        | 0,0049±0,0006                                           | 0,0043±0,0009 | 0,0061±0,0012 |
| -82        | 0,0203±0,0006                                           | 0,0198±0,0009 | 0,0196±0,0012 |
| -78        | 0,0450±0,0006                                           | 0,0439±0,0009 | 0,0428±0,0012 |
| -74        | 0,0758±0,0006                                           | 0,0749±0,0009 | 0,0759±0,0012 |
| -70        | 0,1190±0,0006                                           | 0,1146±0,0009 | 0,1163±0,0012 |
| -66        | 0,1683±0,0006                                           | 0,1671±0,0009 | 0,1652±0,0012 |
| -62        | 0,2226±0,0006                                           | 0,2214±0,0009 | 0,2203±0,0013 |
| -58        | 0,2768±0,0006                                           | 0,2782±0,0009 | 0,2852±0,0013 |
| -54        | 0,3379±0,0007                                           | 0,3437±0,0009 | 0,3403±0,0013 |
| -50        | 0,4137±0,0007                                           | 0,4117±0,0009 | 0,4100±0,0013 |
| -46        | 0,4840±0,0007                                           | 0,4798±0,0010 | 0,4786±0,0014 |
| -42        | 0,5573±0,0007                                           | 0,5521±0,0010 | 0,5447±0,0014 |
| -38        | 0,6227±0,0007                                           | 0,6202±0,0010 | 0,6206±0,0014 |
| -34        | 0,6893±0,0007                                           | 0,6839±0,0010 | 0,6867±0,0015 |
| -30        | 0,7503±0,0008                                           | 0,7485±0,0011 | 0,7430±0,0015 |
| -26        | 0,8064±0,0008                                           | 0,8088±0,0011 | 0,8042±0,0016 |
| -22        | 0,8576±0,0008                                           | 0,8596±0,0011 | 0,8617±0,0016 |
| -18        | 0,9044±0,0008                                           | 0,9018±0,0012 | 0,9033±0,0016 |
| -14        | 0,9390±0,0008                                           | 0,9380±0,0012 | 0,9400±0,0017 |
| -10        | 0,9686±0,0009                                           | 0,9681±0,0012 | 0,9670±0,0017 |
| -6         | 0,9871±0,0009                                           | 0,9862±0,0012 | 0,9853±0,0017 |
| -2         | 0,9975±0,0009                                           | 0,9966±0,0012 | 0,9951±0,0017 |
| 2          | 0,9969±0,0009                                           | 0,9966±0,0012 | 0,9939±0,0017 |
| 6          | 0,9871±0,0009                                           | 0,9862±0,0012 | 0,9841±0,0017 |
| 10         | 0,9686±0,0009                                           | 0,9655±0,0012 | 0,9645±0,0017 |
| 14         | 0,9396±0,0008                                           | 0,9388±0,0012 | 0,9364±0,0017 |
| 18         | 0,9014±0,0008                                           | 0,8966±0,0012 | 0,8996±0,0016 |
| 22         | 0,8551±0,0008                                           | 0,8544±0,0011 | 0,8543±0,0016 |
| 26         | 0,8070±0,0008                                           | 0,8045±0,0011 | 0,8029±0,0016 |
| 30         | 0,7503±0,0008                                           | 0,7494±0,0011 | 0,7466±0,0015 |
| 34         | 0,6893±0,0007                                           | 0,6882±0,0010 | 0,6818±0,0015 |
| 38         | 0,6178±0,0007                                           | 0,6184±0,0010 | 0,6157±0,0014 |
| 42         | 0,5518±0,0007                                           | 0,5495±0,0010 | 0,5520±0,0014 |
| 46         | 0,4827±0,0007                                           | 0,481±0,0010  | 0,4786±0,0014 |
| 50         | 0,4112±0,0007                                           | 0,4091±0,0009 | 0,4100±0,0013 |
| 54         | 0,3434±0,0007                                           | 0,3411±0,0009 | 0,3427±0,0013 |
| 58         | 0,2805±0,0006                                           | 0,2773±0,0009 | 0,2815±0,0013 |
| 62         | 0,2226±0,0006                                           | 0,2196±0,0009 | 0,2191±0,0013 |
| 66         | 0,1720±0,0006                                           | 0,1671±0,0009 | 0,1665±0,0012 |
| 70         | 0,1196±0,0006                                           | 0,1163±0,0009 | 0,1187±0,0012 |
| 74         | 0,0801±0,0006                                           | 0,0775±0,0009 | 0,0783±0,0012 |
| 78         | 0,0450±0,0006                                           | 0,0439±0,0009 | 0,0441±0,0012 |
| 82         | 0,0216±0,0006                                           | 0,0198±0,0009 | 0,0196±0,0012 |
| 86         | 0,0068±0,0006                                           | 0,0060±0,0009 | 0,0061±0,0012 |
| 90         | 0,0012±0,0006                                           | 0,0009±0,0009 | 0,0012±0,0012 |

Tabelle 4: Spannungsverhältnisse beziehungsweise Intensitätsverhältnisse  $\frac{U}{U_{\max}} = \frac{I'}{I}$  für weißes Licht, rotes Licht und blaues Licht

Die in der obigen Tabelle eingetragenen Fehler der Intensitätsverhältnisse berechnen sich nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung wie folgt:

$$s_{IV} = \sqrt{\left(\frac{s_U}{U_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{U \cdot s_{U_{\max}}}{U_{\max}^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,1 \text{ mV}}{U_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{U \cdot 0,1 \text{ mV}}{U_{\max}^2}\right)^2} \quad (12)$$

Zusätzlich ist in den Schaubildern jeweils die Funktion  $\cos \alpha^2$ , die nach [Gleichung 1](#) dem erwarteten Verlauf entspricht und die Fehlerbalken für das Intensitätsverhältnis eingezeichnet (die Fehlerbalken für die Winkel wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet).

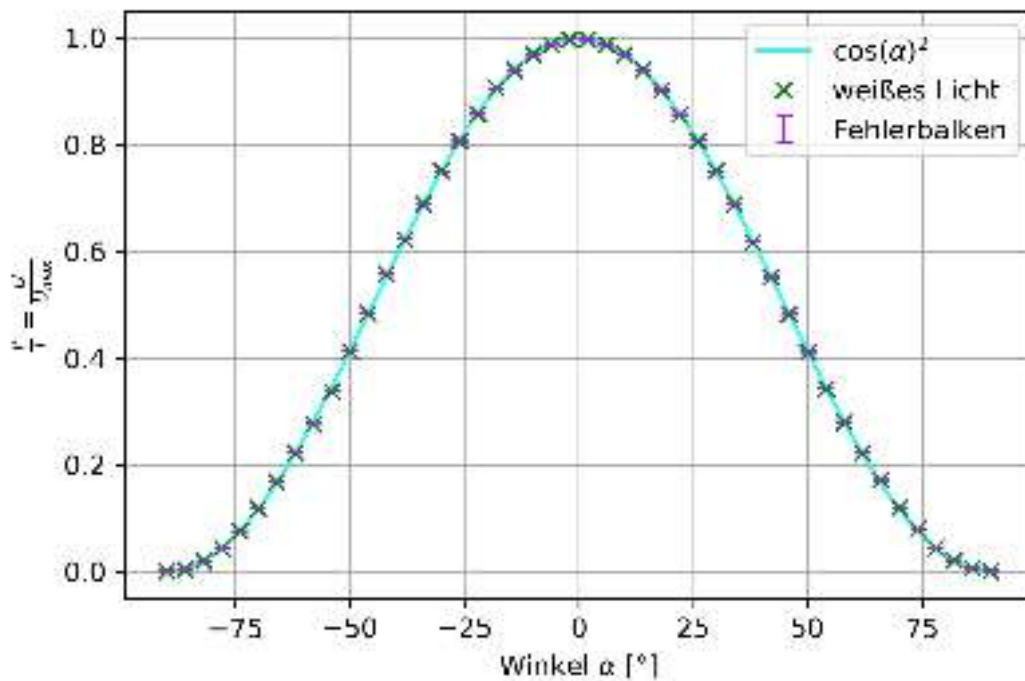


Abbildung 3: Intensitätsverhältnis für weißes Licht

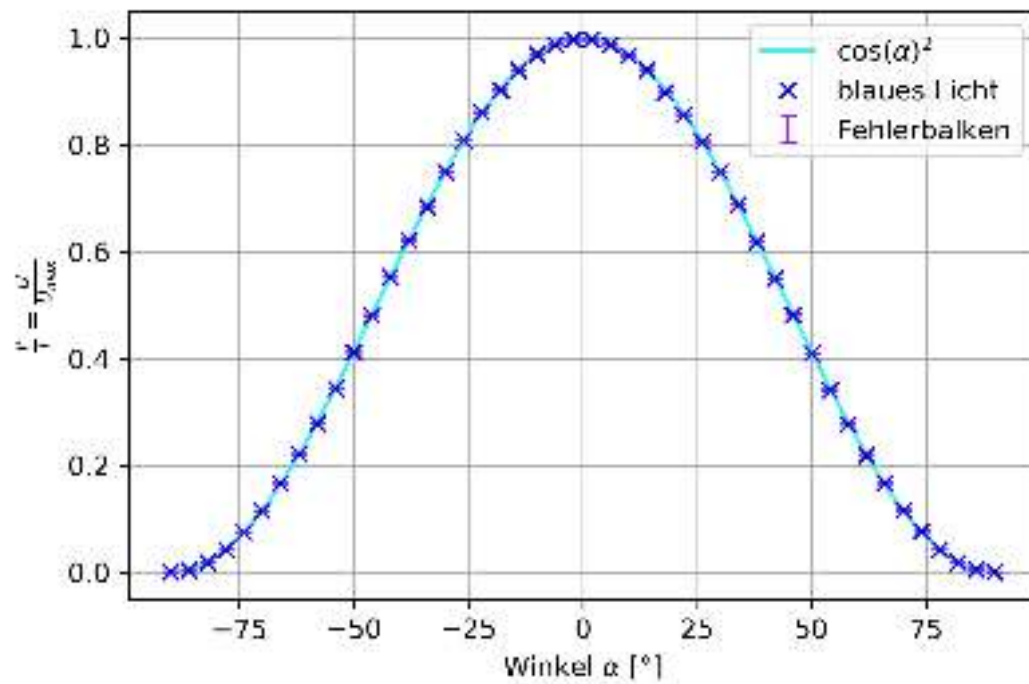


Abbildung 4: Intensitätsverhältnis für blaues Licht

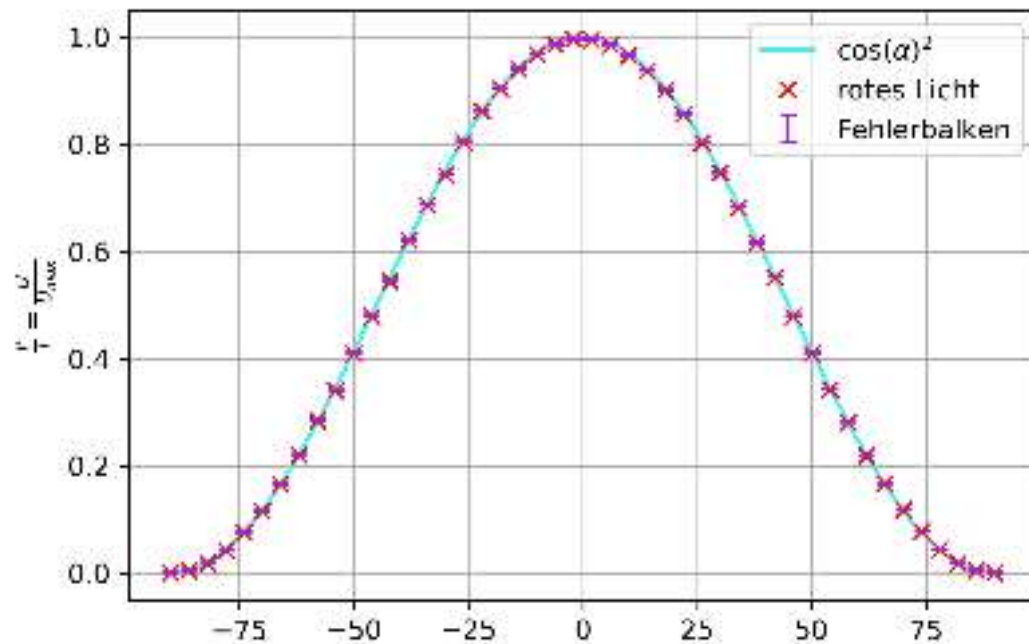


Abbildung 5: Intensitätsverhältnis für rotes Licht

## Teil 2

Aus den Messergebnissen aus [Tabelle 2](#), lässt sich mit [Gleichung 2](#) der spezifische Drehwinkel von Quarz berechnen. Die Fehler werden dabei mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung wie folgt berechnet:

$$s_{[\alpha]_{\text{fest}}} = \frac{s_{\alpha}}{d} = 2^{\circ} \quad (13)$$

Die Ergebnisse für den spezifischen Drehwinkel sind in folgender Tabelle aufgeführt:

| spezifischer Drehwinkel $[\alpha]_{\text{fest}} \left[ \frac{^{\circ}}{\text{cm}^3} \right]$ |             |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|
|                                                                                              | Quarz A     | Quarz B      |
| rot                                                                                          | $194 \pm 2$ | $-180 \pm 2$ |
| grün                                                                                         | $277 \pm 2$ | $-262 \pm 2$ |
| blau                                                                                         | $400 \pm 2$ | $-375 \pm 2$ |

Tabelle 5: Spezifische Drehwinkel von Quarz

Mit den Ergebnissen aus [Tabelle 3](#) (a) lässt sich mit [Gleichung 3](#) der spezifische Drehwinkel von Zucker für die verschiedenen Wellenlängen berechnen:

| spezifischer Drehwinkel $[\alpha]_{\text{Lösung}} \left[ \frac{^{\circ} \cdot \text{cm}^3}{\text{g} \cdot \text{dm}} \right]$ |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| rot                                                                                                                           | $22.0 \pm 0.9$ |
| grün                                                                                                                          | $27.7 \pm 1.0$ |
| blau                                                                                                                          | $42.2 \pm 1.2$ |

Tabelle 6: Spezifische Drehwinkel von Zuckerlösung

Die Fehler wurden dabei mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung folgendermaßen berechnet:

$$s_{[\alpha]_{\text{Lösung}}} = \sqrt{\left( \frac{1}{d_1 c} s_{\alpha} \right)^2 + \left( \frac{-\alpha}{d_1 c^2} s_c \right)^2} \quad (14)$$

Aus den obigen Werten lässt sich nun mit [Gleichung 3](#) die unbekannte Konzentration der zweiten Zucker Lösung berechnen:

$$\begin{aligned} c_1 &= (69 \pm 3) \frac{\text{g}}{100 \text{cm}^3} \\ c_2 &= (80 \pm 3) \frac{\text{g}}{100 \text{cm}^3} \\ c_3 &= (76 \pm 2) \frac{\text{g}}{100 \text{cm}^3} \end{aligned} \quad (15)$$

Wobei die Unsicherheiten mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet wurden:

$$s_{ci} = \sqrt{\left(\frac{1}{[\alpha]_{\text{Lösung}} d_2} s_\alpha\right)^2 + \left(\frac{-\alpha_{\text{Zucker}}}{[\alpha]_{\text{Lösung}}^2 d_2} s_{[\alpha]_{\text{Lösung}}}\right)^2} \quad (16)$$

Gemittelt ergibt sich daraus für die zweite Zuckerlösung eine Konzentration von:

$$c_{\text{Zucker}} = (75 \pm 5) \frac{\text{g}}{100\text{cm}^3} \quad (17)$$

Wobei die Unsicherheit wie folgt berechnet wurde:

$$s_c = \sqrt{s_{c1}^2 + s_{c2}^2 + s_{c3}^2} \quad (18)$$

## 6 Diskussion

### Teil 1

In Versuchsteil 1 ist, wie in [Abbildung 3](#), [Abbildung 4](#) und [Abbildung 5](#) schnell zu erkennen ist, ein  $\cos^2$ -Zusammenhang zu erkennen. Dieser bestätigt den nach [Gleichung 1](#) vermuteten Zusammenhang. Damit ist auch gezeigt, dass der Verlauf für verschiedene Wellenlängen gleich und das Intensitätsverhältnis somit unabhängig von der Wellenlänge ist.

Die aus den abgeschätzten Unsicherheiten berechneten Fehlerbalken sind sehr klein, eine Wahl größerer Unsicherheiten könnte demnach für diesen Versuchsteil in Betracht gezogen werden. Die große Übereinstimmung der Messwerte mit dem erwarteten Verlauf rechtfertigt dennoch die Wahl der kleinen Unsicherheiten und lässt auf eine hohe Präzision der Messgeräte schließen.

Der Einfluss von anderen Lichtquellen auf die Messung wurde von uns als vernachlässigbar eingeschätzt. Dies spiegelt sich dadurch wieder, dass keine Schwankungen in den Messergebnissen sichtbar sind, obwohl sich die Lichtverhältnisse im Versuchsraum unregelmäßig geändert haben.

### Teil 2

Folgende Werte wurden für den spezifischen Drehwinkel von Quarz berechnet:

|      | spezifischer Drehwinkel $[\alpha]_{\text{fest}} \left[\frac{^\circ}{\text{cm}^3}\right]$ |              |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|      | Quarz A                                                                                  | Quarz B      |
| rot  | $194 \pm 2$                                                                              | $-180 \pm 2$ |
| grün | $277 \pm 2$                                                                              | $-262 \pm 2$ |
| blau | $400 \pm 2$                                                                              | $-375 \pm 2$ |

Tabelle 7: Berechnete spezifische Drehwinkel von Quarz

Vergleicht man die beiden für Quarz berechneten Drehwinkel (Tabelle 7), so stellt man schnell fest, dass die Vorzeichen, also die Richtung in die der Quarzkristall die Polarisationsrichtung des Lichts gedreht hat unterschiedlich sind. Dies bestätigt, dass es sich hierbei einmal um eine links und einmal um eine rechts drehende Substanz handelt.

Vergleicht man den Betrag der jeweils zwei gemessenen Werte in Einheiten der Standardunsicherheit, so stellt man fest, dass diese nicht miteinander verträglich sind:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{|[\alpha]_{\text{festA}_1} - [\alpha]_{\text{festB}_1}|}{s[\alpha]_{\text{fest}}} = 7 \\ t_2 &= \frac{|[\alpha]_{\text{festA}_2} - [\alpha]_{\text{festB}_2}|}{s[\alpha]_{\text{fest}}} = 7 \\ t_3 &= \frac{|[\alpha]_{\text{festA}_3} - [\alpha]_{\text{festB}_3}|}{s[\alpha]_{\text{fest}}} = 13 \end{aligned} \quad (19)$$

Dies scheint ein systematischer Fehler zu sein, da alle Winkel von Quarzfenster B kleiner sind, als die von Quarzfenster A. Hier könnte es zum Beispiel sein, dass die Nullstellung nicht richtig bestimmt wurde oder dass die Länge der Quarzfenster nicht genau gleich war.

Die für die Konzentration der zweiten Zuckerlösung erhaltenen Werte :

$$\begin{aligned} c_1 &= (69 \pm 3) \frac{\text{g}}{100\text{cm}^3} \\ c_2 &= (80 \pm 3) \frac{\text{g}}{100\text{cm}^3} \\ c_3 &= (76 \pm 2) \frac{\text{g}}{100\text{cm}^3} \end{aligned} \quad (20)$$

liegen alle in der selben Größenordnung, was die Mittlung rechtfertigt. Über die Richtigkeit des gemittelten Wertes:

$$c_{\text{Zucker}} = (75 \pm 5) \frac{\text{g}}{100\text{cm}^3} \quad (21)$$

können wir keine Aussage treffen, da wir keine Angabe zu einem Vergleichswert haben. Dennoch erscheint uns die Größenordnung realistisch.

Im zweiten Versuchsteil treten für die berechneten Werte große Unsicherheiten und Abweichungen auf. Dies ist auf die relativ große Unsicherheit bei der Bestimmung des Winkels zurückzuführen. Die Erhöhung der angegebenen Messunsicherheit erschien uns jedoch als sinnvoll, da die Bestimmung des genauen Punktes, an dem beide Gesichtshälften gleich belichtet waren, subjektiv und nicht eindeutig war.



## 7 Anhang

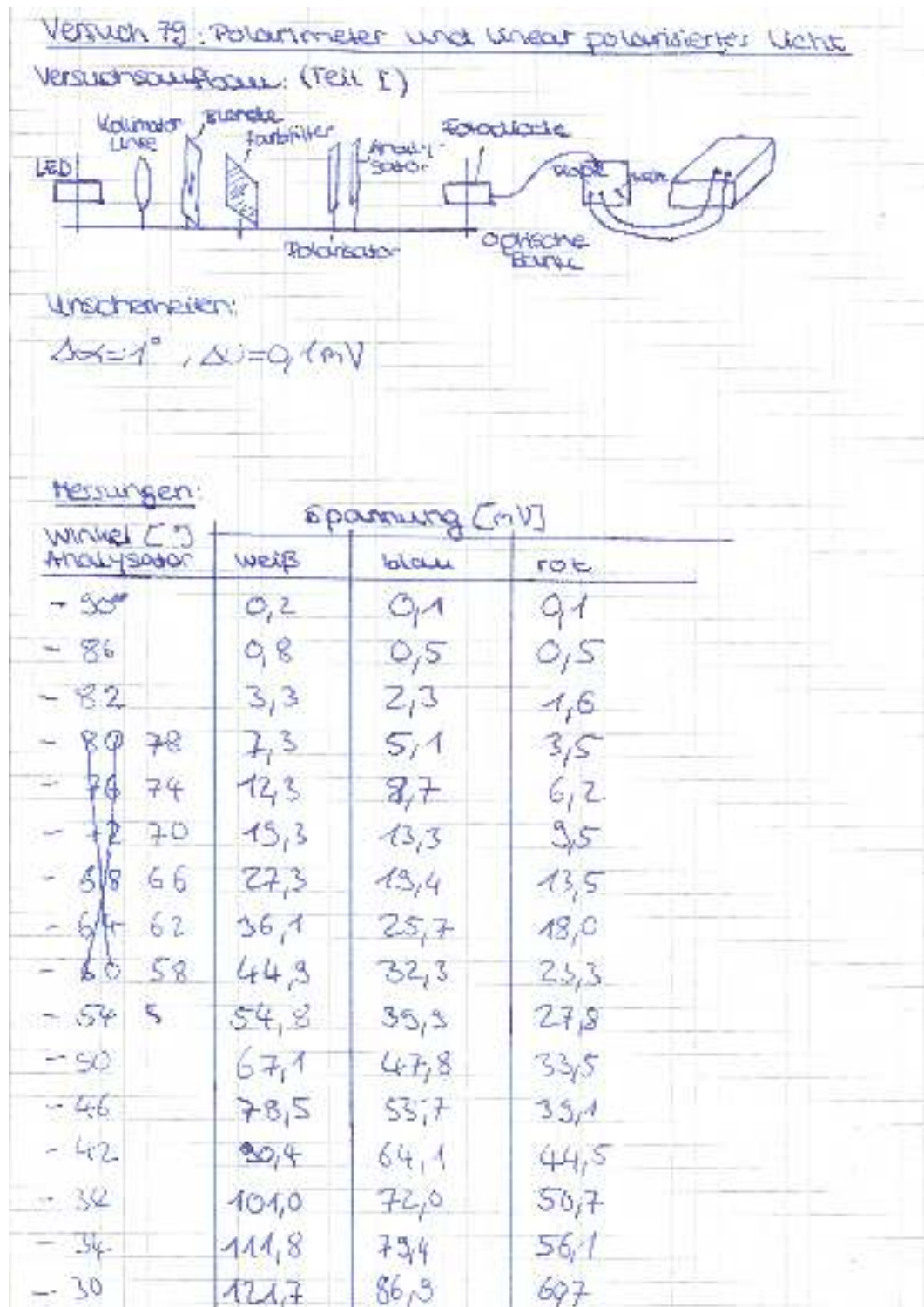


Abbildung 6: Laborheftseite 1

| Winkel [°] | Spannung [mV] |       |      |
|------------|---------------|-------|------|
| -26        | 130,8         | 93,9  | 65,7 |
| -22        | 139,1         | 99,8  | 70,4 |
| -18        | 146,7         | 104,7 | 73,8 |
| -14        | 152,3         | 108,5 | 76,8 |
| -10        | 157,1         | 112,4 | 79,0 |
| -6         | 160,1         | 114,5 | 80,5 |
| -2         | 164,8         | 115,7 | 81,3 |
| 2          | 161,7         | 115,7 | 81,2 |
| 6          | 160,1         | 114,5 | 80,4 |
| 10         | 157,1         | 112,1 | 78,8 |
| 14         | 152,4         | 105,0 | 76,5 |
| 18         | 146,2         | 104,1 | 73,5 |
| 22         | 138,7         | 99,2  | 69,8 |
| 26         | 130,9         | 93,4  | 65,6 |
| 30         | 121,7         | 87,0  | 61,0 |
| 34         | 111,9         | 79,9  | 55,7 |
| 38         | 100,2         | 71,8  | 50,3 |
| 42         | 88,5          | 63,8  | 45,1 |
| 46         | 78,3          | 55,9  | 39,1 |
| 50         | 66,7          | 47,5  | 33,5 |
| 54         | 55,7          | 39,6  | 28,0 |
| 58         | 45,5          | 32,2  | 23,0 |
| 62         | 36,1          | 25,5  | 17,9 |
| 66         | 27,9          | 19,4  | 13,6 |
| 70         | 19,4          | 13,5  | 9,7  |
| 74         | 13,0          | 9,0   | 6,4  |
| 78         | 7,3           | 5,1   | 3,6  |

Abbildung 7: Laborheftseite 2

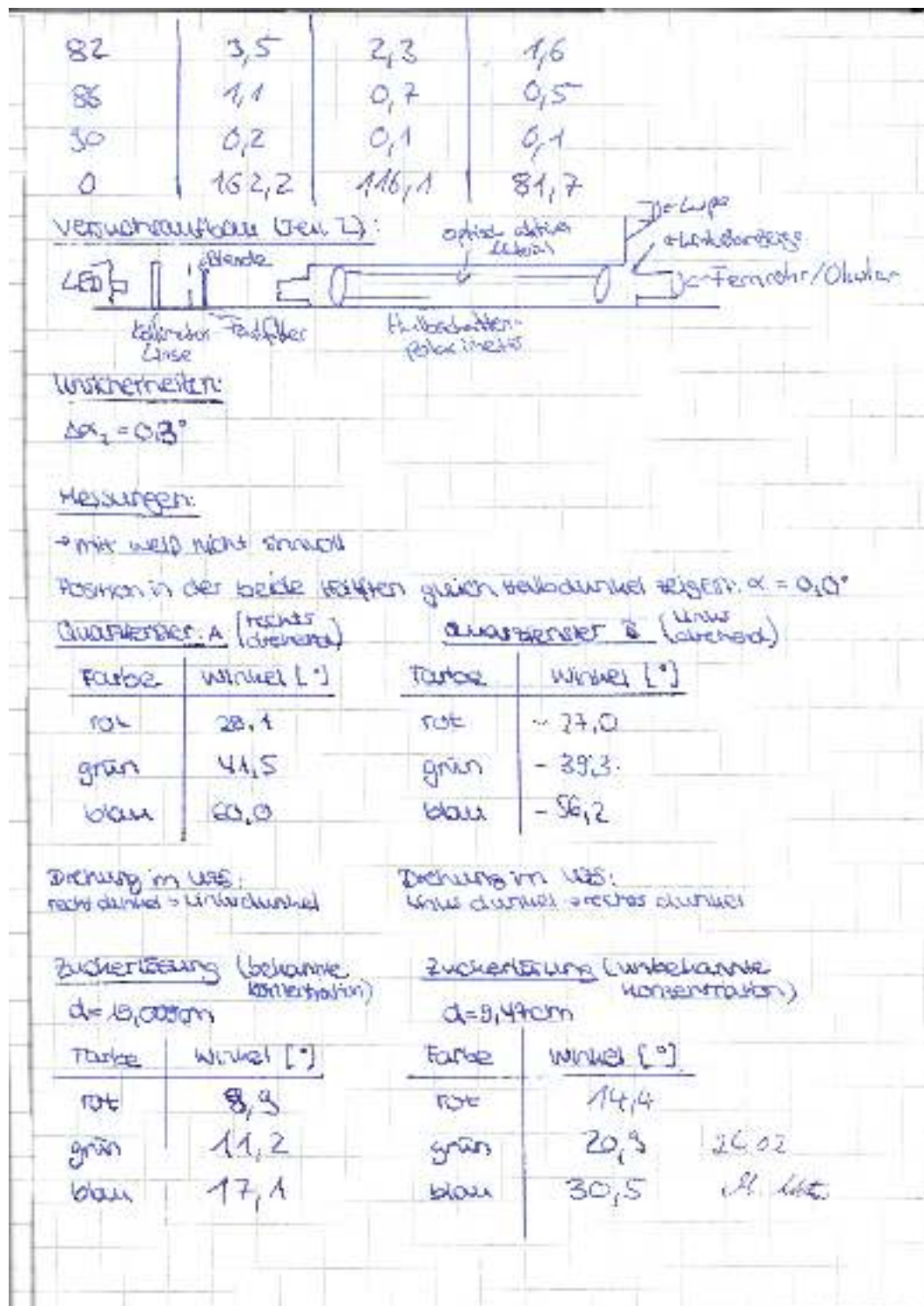


Abbildung 8: Laborheftseite 3

## 8 Literaturverzeichnis

[1] Versuchsanleitungen, Physik Labor für Anfänger Teil 2, Universität Freiburg