

Optik-Grundversuch (OPT)

Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München – Grundpraktikum für Zahnmediziner
(20. OKTOBER 2021)

MOTIVATION UND VERSUCHSZIELE

Die optischen Analysemethoden stellen einen wichtigen Bereich der instrumentellen Analytik dar. Dabei bestrahlt man eine zu untersuchende Substanz mit (nicht unbedingt sichtbarem) Licht. Die Beobachtung der daraus resultierenden Wirkung erlaubt dann Rückschlüsse auf in der Substanz enthaltene Bestandteile. Man benutzt dazu meist Licht einer einzigen Farbe (genauer: Frequenz). Man spricht von monochromatischem Licht.

Im vorliegenden Versuch lernen Sie grundlegende Begriffe der optischen Analyse kennen.

Contents

| | |
|---|----|
| I. Teilversuche | 2 |
| II. Physikalische Grundlagen | 2 |
| II.1. Elektromagnetische Wellen | 2 |
| II.2. Reflexion und Brechung | 2 |
| Totalreflexion | 4 |
| II.3. Polarisierung | 5 |
| Optische Aktivität, Rotationsdispersion | 7 |
| II.4. Beugung | 7 |
| III. Technische Grundlagen | 8 |
| III.1. Zubehör | 8 |
| III.2. Versuchsaufbau | 8 |
| III.3. Winkelmessung | 9 |
| III.4. Polarimeter | 9 |
| IV. Versuchsdurchführung | 10 |
| IV.1. Überprüfung des Snelliusschen Brechungsgesetzes | 10 |
| IV.2. Bestimmung des Brewsterwinkels für Luft/Glas | 10 |
| IV.3. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion bei Glas/Luft | 10 |
| IV.4. Wiederholung der Versuche 1-3 an der Grenzfläche Flüssigkeit/Glas | 11 |
| 1. Vorbereitung | 11 |
| 2. Bestimmung des Brechungsindex einer Flüssigkeit | 11 |
| 3. Bestimmung des Brewsterwinkels für Flüssigkeit/Glas | 11 |
| 4. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion für Glas/Flüssigkeit | 11 |
| IV.5. Bestimmung der Wellenlänge des Lasers mittels des Beugungsgitters | 11 |
| IV.6. Polarimetrie | 11 |
| 1. Justierung des Polarimeters | 11 |
| 2. Bestimmung von Konzentration und Drehsinn einer Zuckerlösung | 12 |
| 3. Bestimmung der Dicke und des Drehsinns einer Quarzscheibe | 12 |
| V. Auswertung | 12 |
| V.1. Überprüfung des Snelliusschen Brechungsgesetzes | 12 |
| V.2. Bestimmung des Brewsterwinkels für Luft/Glas | 12 |
| V.3. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion bei Glas/Luft | 12 |
| V.4. Wiederholung der Versuche 1-3 an der Grenzfläche Flüssigkeit/Glas | 13 |
| 1. Bestimmung des Brechungsindex einer Flüssigkeit | 13 |
| 2. Bestimmung des Brewsterwinkels für Flüssigkeit/Glas | 13 |
| 3. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion für Glas/Flüssigkeit | 13 |
| V.5. Bestimmung der Wellenlänge des Lasers mittels des Beugungsgitters | 13 |
| V.6. Polarimetrie | 13 |
| 1. Bestimmung von Konzentration und Drehsinn einer Zuckerlösung | 13 |
| 2. Bestimmung der Dicke und des Drehsinns einer Quarzscheibe | 13 |

I. TEILVERSUCHE

1. Überprüfung des Snelliusschen Brechungsgesetzes
2. Bestimmung des Brewsterwinkels für Luft/Glas
3. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion bei Glas/Luft
4. Wiederholung der Versuche 1-3 an der Grenzfläche Flüssigkeit/Glas
5. Bestimmung der Wellenlänge des Lasers mittels der Beugungsgitters
6. Polarimetrie: Bestimmung von Konzentration und Drehsinn einer Zuckerlösung sowie der Dicke und des Drehsinns einer Quarzscheibe

II. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

II.1. Elektromagnetische Wellen

Licht ist eine *elektromagnetische Welle*. Eine solche Welle besteht aus einem elektrischen (\vec{E}) und einem magnetischen (\vec{B}) Wechselfeld gleicher Frequenz, die immer senkrecht aufeinander in Phase schwingen. Elektromagnetische Wellen sind transversal, d.h. die Felder stehen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle. Ein Spezialfall einer solchen Welle ist in Abb. 1 dargestellt. Bei einer elektromagnetischen Welle schwingt keine Materie wie bei Wasser- oder Schallwellen, weshalb elektromagnetische Wellen kein Medium zur Ausbreitung benötigen. Licht von den Sternen gelangt auch durch das Vakuum des Weltraums ungehindert zur Erde. Allgemein gilt für jede Art von Wellen:

$$v = \lambda \cdot f \tag{1}$$

v = Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, λ = Wellenlänge, f = Frequenz (vgl. auch Versuche SIG und SON). Speziell für eine elektromagnetische Welle ist f eine charakteristische Konstante, welche die Energie – die „Farbe“ des Lichtes – angibt. Sie ist unabhängig vom Medium, in dem sich das Licht bewegt. Für ein bestimmtes

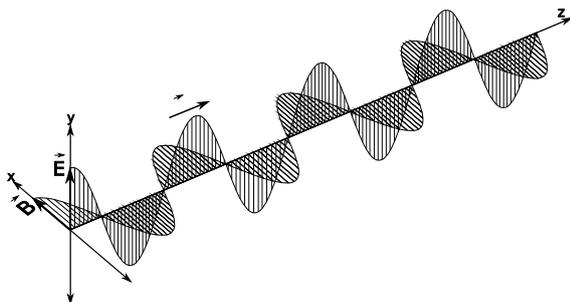


Abb. 1: Spezialfall einer transversalen elektromagnetischen Welle. Der Pfeil zeigt in die Ausbreitungsrichtung der Welle.

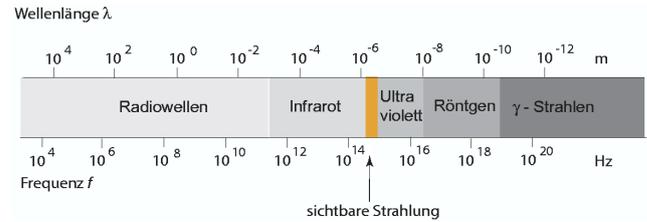


Abb. 2: Das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung. Die Wellenlängen sind für die Ausbreitung der Strahlung im Vakuum angegeben.

Wellenpaket, nämlich für ein Photon, ist die Energie

$$E = h \cdot f, \tag{2}$$

wobei $h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ das Plancksche Wirkungsquantum ist.

Im Vakuum bewegt sich eine elektromagnetische Welle unabhängig von ihrer Wellenlänge λ mit der Lichtgeschwindigkeit $c_0 = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Bewegt sich die Welle in einem Medium fort, sind ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit und ihre Wellenlänge jedoch abhängig vom Medium. Beschreibt man eine elektromagnetische Welle durch ihre Wellenlänge λ , so geht man vom Ausbreitungsmedium Vakuum oder Luft ($c_0 \approx v_{\text{Luft}}$) aus, sofern nichts anderes angegeben ist. Der sichtbare Wellenlängenbereich reicht etwa von 400 nm bis 800 nm (vgl. Abb. 2). Auch die angrenzenden Wellenlängen, nämlich Infrarot- und die Ultraviolettstrahlung, werden üblicherweise als Licht bezeichnet.

Rechenaufgabe 1: Berechnen Sie die Frequenz einer elektromagnetischen Welle mit $\lambda = 400 \text{ nm}$. Wie groß ist dabei die Energie eines Photons dieser Welle? $c_0 = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ und $h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

II.2. Reflexion und Brechung

In der geometrischen Optik wird die Ausbreitung von Licht als Strahlen behandelt (Strahlenoptik). Unter einem Lichtstrahl versteht man ein Lichtbündel mit verschwindender Querausdehnung. Ein Lichtstrahl kann durch Ausblenden aus einem ausgedehnten Lichtbündel erzeugt werden. Ein Beispiel für einen Lichtstrahl ist das Licht aus einem Laserpointer („Laserstrahl“). Dies ist eine Idealisierung: Der Laserstrahl hat real einige mm Durchmesser.

In der Refraktometrie misst man den *Brechungsindex* n (*Brechzahl*) und wertet ihn analytisch aus. Trifft ein Lichtstrahl auf eine ebene Grenzfläche zwischen zwei transparenten Medien, so wird er in der Regel teilweise gebrochen und teilweise reflektiert (vgl. Abb. 3).

Das *Reflexionsgesetz* lautet:

$$\text{Einfallswinkel} = \text{Reflexionswinkel}$$

Dabei werden die Winkel relativ zur Flächennormalen und nicht zur Fläche selbst gemessen, weil das Reflexionsgesetz damit auch für gekrümmte Flächen (z.B. Lin-

sen oder kosmetische Spiegel) sinnvoll formuliert ist. Es gilt das von Snellius (1580-1626) empirisch gefundene *Brechungsgesetz*:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta . \quad (3)$$

Snellius stellte fest, dass das Verhältnis der Sinuswerte von Einfallswinkel und Brechungswinkel an einer gegebenen Grenzfläche stets dieselbe Zahl liefert:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{const} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Rechenaufgabe 2: Eine von Luft ($n_L = 1$) umgebene Glasplatte wird mit Licht bestrahlt. Skizzieren Sie sämtliche Strahlengänge bis einschließlich zum Auftreffen auf die zweite Grenzfläche. Zeichnen Sie alle relevanten Winkel ein. Erklären Sie die Zusammenhänge zwischen den obengenannten Winkeln.

Im Wellenbild des Lichts nach Huygens (1629-1695) ist der Brechungsindex n eines Mediums definitionsgemäß das Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeiten:

$$n = \frac{\text{Ausbreitungsgeschw. im Vakuum}}{\text{Ausbreitungsgeschw. im Medium}} = \frac{c_0}{v} . \quad (5)$$

Brechungsindizes optischer Medien sind wellenlängenabhängig – für blaues Licht im Normalfall einige Prozent größer als für rotes. Man nennt dies Dispersion¹. Gilt $n_2 > n_1$, so nennt man Medium 2 optisch dichter

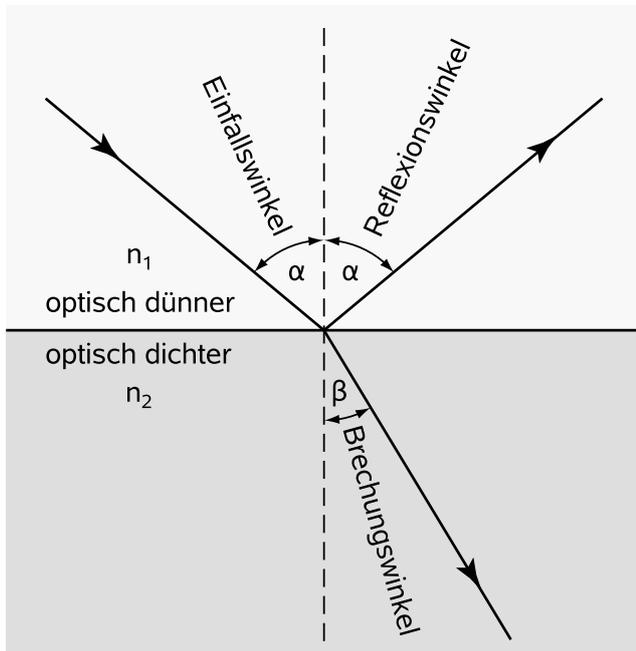


Abb. 3: Reflexions- und Brechungsgesetz.

¹ Meist verwendet man die D-Linie von Natrium mit der Wellenlänge $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ und macht dies durch den Zusatz D deutlich. Die Brechzahl ist auch von der Temperatur abhängig. Meist gibt man den Wert für 20° C an und schreibt n_D^{20} .

ter als Medium 1. Glas ist optisch dichter als Wasser und Wasser optisch dichter als Luft. Der Brechungsindex für Luft weicht (unter normalen Bedingungen) nur sehr wenig von dem des Vakuums ab und wird oft diesem näherungsweise gleichgesetzt:

$$n_{\text{Luft}} = 1,0003 \approx 1 .$$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen in optisch dichteren Medien ist stets kleiner als in optisch dünneren (vgl. Gleichung (5)).

Nimmt man die Wellenvorstellung zu Hilfe, so lässt sich zunächst das Reflexionsgesetz gemäß Abb. 4 folgendermaßen erklären: Man betrachtet ein einfallendes Bündel ebener Wellen geeigneter Breite, auch Strahl genannt (vgl. Abb. 4). Die Pfeile in Abb. 4 zeigen in die Fortpflanzungsrichtung der Welle. Die Linien senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle, die im Abstand λ_1 voneinander entfernt sind, nennt man Wellenfronten. Die Wellenfronten verbinden Stellen mit gleicher Schwingungsphase (z.B. Maxima). Während in Abb. 4 die letzte Wellenfront gerade noch die Strecke λ_1 bis zur Grenzfläche zurücklegt, breitet sich die reflektierte Welle im gleichen Medium mit gleicher Geschwindigkeit aus. D.h. die Wellenlänge ändert sich bei der Reflexion nicht, da die Strahlung im selben Medium bleibt. Die kurzen Katheten der beiden rechtwinkligen Dreiecke an der Grenzfläche sind gleich lang und zwar gleich der Wellenlänge λ_1 im Medium 1. Die Dreiecke stimmen in allen drei Seiten paarweise überein und sind somit kongruent. Damit wird aber auch $\alpha = \alpha'$. Ferner sind α und α' in den Dreiecken auch gleich dem Einfallswinkel bzw. Reflexionswinkel gemäß Abb. 3.

Analog kann man mit Hilfe des Wellenmodells auch die Lichtbrechung gemäß Abb. 5 erklären. Während dort die letzte Wellenfront im optisch dünneren, oberen Medium gerade noch die Strecke λ_1 bis zur Grenzfläche zurücklegt, breitet sich die Welle im optisch dichteren, unteren Medium schon mit kleinerer Geschwindigkeit aus. Die Wellenlänge wird folglich verkürzt auf λ_2 . Für die beiden rechtwinkligen Dreiecke an der Grenzfläche

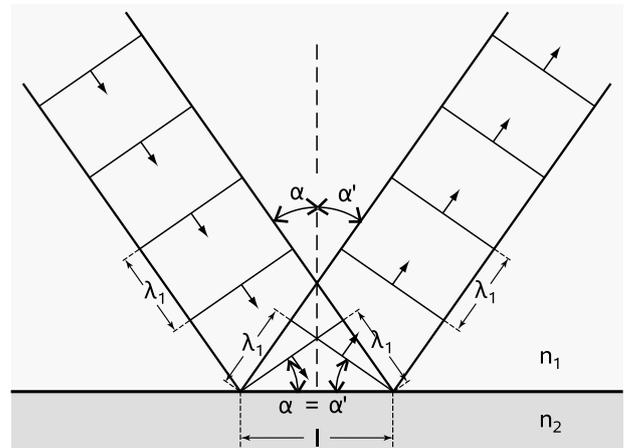


Abb. 4: Reflexion im Wellenbild.

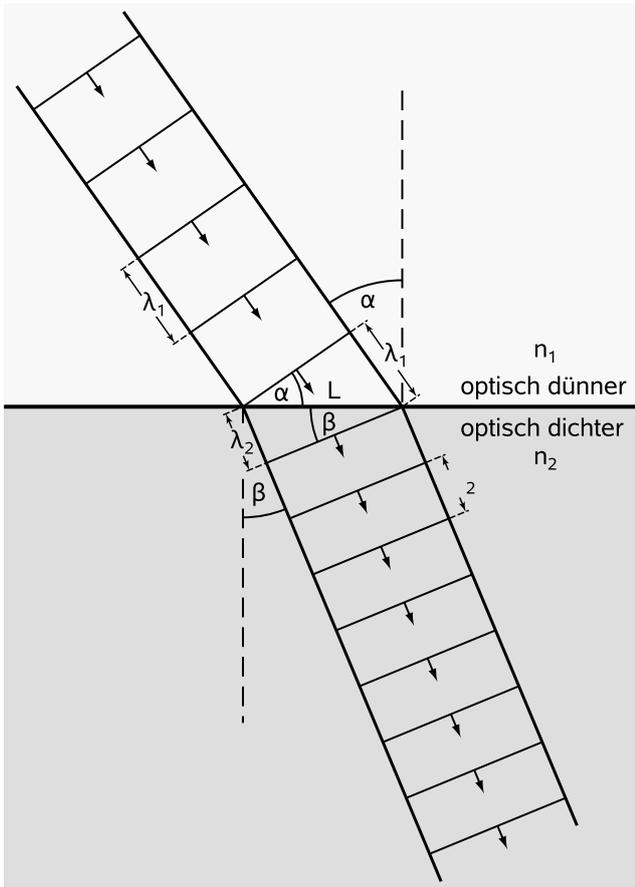


Abb. 5: Lichtbrechung im Wellenbild.

gilt in diesem Fall gemäß der Sinus-Definition:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda_1}{L} \quad \text{und} \quad \sin \beta = \frac{\lambda_2}{L}$$

Dividiert man diese Gleichungen durcheinander, so erhält man:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (6)$$

Wegen des bei Wellen allgemein gültigen Zusammenhangs $v = \lambda \cdot f$ folgt unmittelbar das Brechungsgesetz gemäß Gl. (4):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1/f}{v_2/f} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1 c_0}{v_2 c_0} = \frac{c_0/v_2}{c_0/v_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Dass sich die Frequenz bei Lichtbrechung nicht ändert, ist eine Folge des Energieerhaltungssatzes; eine Frequenzänderung wäre gleichbedeutend mit einer Energieänderung.

Rechenaufgabe 3: Ein Lichtstrahl fällt unter 45° zum Lot aus der Luft kommend auf eine ebene Wasseroberfläche. Im Wasser bildet er einen Winkel von 33° mit dem Lot. Skizzieren Sie den Vorgang und bestimmen Sie, wie groß die Lichtgeschwindigkeit im Wasser ist. ($c = 2,9971 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Totalreflexion

In Abb. 3 und Abb. 5 ist der Brechungswinkel β stets kleiner als der Einfallswinkel α : der Lichtstrahl wird beim Eintritt in das optisch dichtere Medium zum Lot hin gebrochen. Umgekehrt liegen die Verhältnisse, wenn der Strahl vom optisch dichteren Medium 2 kommend ins optisch dünnere Medium 1 gebrochen wird. Dann ist der Brechungswinkel größer als der Einfallswinkel (Abb. 6).

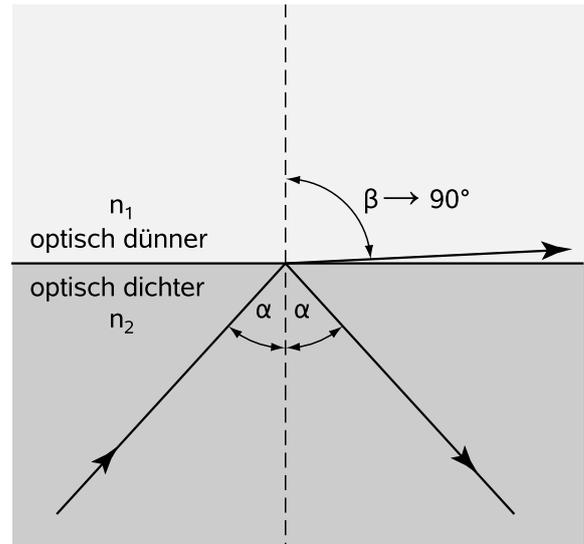


Abb. 6: Zur Totalreflexion.

Größer als 90° kann der Brechungswinkel nicht werden. Denjenigen Einfallswinkel α_T im dichteren Medium, bei dem $\beta = 90^\circ$ wird, bezeichnet man als Grenzwinkel der Totalreflexion. Für $\alpha > \alpha_T$ gibt es keinen gebrochenen Strahl mehr. Der Lichtstrahl wird dann komplett reflektiert. Beim Grenzwinkel der Totalreflexion gilt $\sin \beta = 1$. Aus Gleichung (4) folgt:

$$\sin \alpha_T = \frac{n_1}{n_2} \quad (7)$$

Mit $n_1 = 1$ für Luft reduziert sich Gleichung (7) auf

$$\sin \alpha_T = \frac{1}{n_2}$$

Totalreflexion tritt also nur beim Übergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium auf, etwa an den (deshalb) silbern spiegelnden Luftblasen in Wasser. Lichtleiter und Endoskop sind entsprechende Anwendungsbereiche dieses Phänomens.

Ein Lichtleiter aus Glas bewirkt, dass Licht auch „krumme“ Wege gehen kann, vgl. Abb. 7a. Eine gebogene Glasfaser mit hohem Brechungsindex leitet Licht durch wiederholte Totalreflexion (mit geringem Intensitätsverlust) ans Faserende. Licht kann so praktisch jeden gewünschten Ort erreichen und z.B. das Innere des Magens beleuchten. Umgekehrt ist es in der Endoskopie möglich, die innere Magenoberfläche abzubilden. Dazu verwendet man sehr

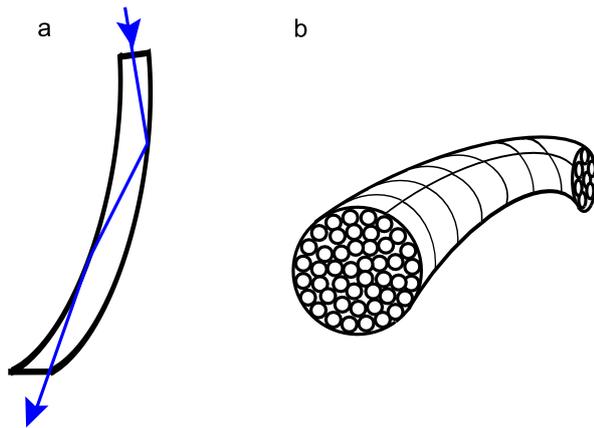


Abb. 7: a) Lichtleiter aus Glas; b) Optisches Kabel

feine Glasfasern. Man umgibt sie mit einem dünnen Mantel aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex (optische Isolation) und fasst möglichst viele zu einem ganzen Bündel zusammen. Ein solches biegsames Kabel (Abb. 7b) führt man z.B. in den Magen ein und zwar nahe an seine Schleimhaut. In jede einzelne Faser gelangt dann nur Licht von einer winzigen Stelle der Schleimhaut. Das Faserbündel liefert ein Raster von Bildpunkten, wodurch die entsprechende Magenoberfläche am anderen Kabelende sichtbar wird. Je feiner die Glasfasern sind, desto besser ist das Auflösungsvermögen und damit die Bildqualität.

Der Winkel der Totalreflexion und damit der Brechungsindex einer Substanz ist gut zu bestimmen; dies wird beim Abbe-Refraktometer ausgenutzt. Stoffgemische wie ätherische Öle und Fette lassen sich damit charakterisieren. Beimengungen, Verfälschungen und Verdorbenheit können zu einer Veränderung der Brechzahl führen. Bei Glycerol ist aufgrund des Brechungsindex eine schnelle quantitative Bestimmung des Wassergehalts möglich, weil n_D mit zunehmendem Wassergehalt abnimmt.²

Rechenaufgabe 4: Reiner Äthylalkohol besitzt im blaugrünen Bereich eine Brechzahl, die einen um 12,2% kleineren Wert als einkristallines NaCl hat. Wie groß ist der Grenzwinkel der Totalreflexion für ein NaCl-Prisma, das man in diesen Alkohol getaucht hat?

II.3. Polarisation

Licht ist eine transversale Welle, weil die Feldvektoren immer senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehen. Als *Polarisationsrichtung* einer elektromagnetischen Welle bezeichnet man definitionsgemäß die Schwingungsrichtung des elektrischen Feldstärkevektors \vec{E} . Licht heißt *linear polarisiert*, wenn das elektrische und damit auch das magnetische Feld jeweils nur in einer bestimmten

Richtung schwingt (Abb. 1). Ausbreitung und Schwingung erfolgen damit in einer Ebene – der Schwingungsebene. Im natürlichen Licht ist keine Schwingungsebene bevorzugt: kurze Wellenzüge mit den verschiedensten Polarisationen treten statistisch gemischt auf. Bei der Reflexion an einer (ebenen) Grenzfläche zweier optischer Medien zeigt es sich jedoch, dass bevorzugt solche Strahlen reflektiert werden, bei der die Schwingungsebene senkrecht zur Einfallsebene (= Zeichenebene) steht (Abb. 8). Vollständig ist die Polarisation des reflektierten Lichts allerdings nur bei jenem Einfallswinkel α_B , bei dem reflektierter und gebrochener Strahl senkrecht aufeinander stehen, wie in Abb. 8. Man nennt α_B Brewsterwinkel.

Dies folgt aus der Tatsache, dass ein Hertzscher Dipol keine Energie in seiner Schwingungsrichtung, sondern nur senkrecht dazu abstrahlt: Die einfallende Welle induziert im Medium kleine, parallel zum jeweiligen \vec{E} -Vektor schwingende, molekulare Dipole. Ist nun die einfallende Welle wie in Abb. 9 in der Einfallsebene polarisiert und verläuft die Reflexionsrichtung senkrecht zum gebrochenen Strahl, so weisen die molekularen Dipole auch in diese Reflexionsrichtung – eine Richtung in der sie aber keine Energie abstrahlen können. Reflektiert wird nur der Anteil des Lichts, der senkrecht zur Einfallsebene wie in Abb. 8 polarisiert ist. Der gebrochene Strahl existiert in beiden Fällen.

Nach Abb. 8 lautet die oben in Worten formulierte Bedingung für den Brewsterwinkel

$$\alpha_B + 90^\circ + \beta = 180^\circ \Rightarrow \alpha_B + \beta = 90^\circ \quad (8)$$

Auflösen von Gleichung (8) nach β und Einsetzen in Gleichung (4) ergibt

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin (90^\circ - \alpha_B)} = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \tan \alpha_B \quad (9)$$

Die Gleichung $\tan \alpha_B = n_2/n_1$ nennt man Brewster-

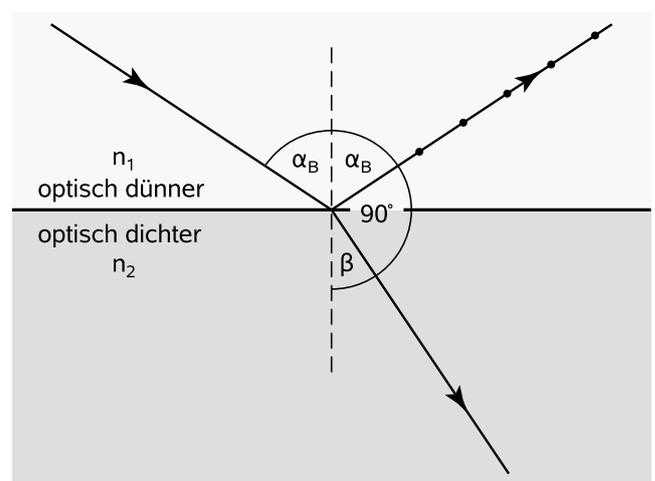


Abb. 8: Polarisation senkrecht zur Zeichenebene (= Einfallsebene).

² Hilfsvideo zur Theorie:
<https://www.youtube.com/watch?v=9xTOxfxn6I>

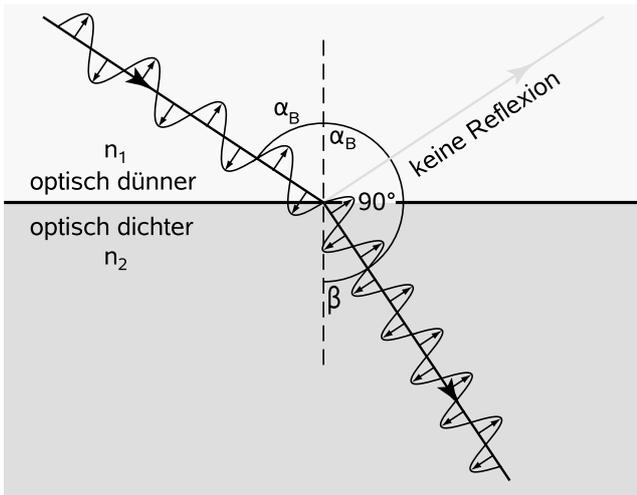


Abb. 9: Polarisation in der Zeichenebene.

ches Gesetz. Für Luft mit $n_1 = 1$ reduziert es sich auf

$$\tan \alpha_B = n_2 . \tag{10}$$

Man kann also durch Reflexion unter dem Brewsterwinkel polarisiertes Licht erzeugen und damit auch die Brechzahl bestimmen (vgl. Teilversuch 2).

Rechenaufgabe 5: Ein monochromatischer Lichtstrahl wird durch Reflexion unter dem Brewsterwinkel $56,8^\circ$ an einer Glasplatte polarisiert. Wie groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit (= Phasengeschwindigkeit) des Lichts in der Platte?

Die häufigste Methode zur Erzeugung von polarisiertem Licht ist jedoch die Verwendung von Polarisationsfolien. Dabei macht man sich zunutze, dass manche Kristalle doppelbrechend und dichroitisch sind:

- *Doppelbrechende* Kristalle weisen abhängig von der Richtung und der Polarisation des Lichtstrahls zwei Brechungsindizes auf. Trifft also ein Lichtstrahl auf eine Fläche eines doppelbrechenden Kristalls, so besteht das gebrochene Licht aus zwei Strahlen, dem ordentlichen und dem außerordentlichen Strahl. Beide sind linear polarisiert, und ihre Schwingungsebenen stehen senkrecht aufeinander.
- Manche doppelbrechenden Kristalle sind zusätzlich *dichroitisch*, d.h. sie absorbieren einen der beiden gebrochenen Strahlen viel stärker als den anderen. Aus einer hinreichend dicken Kristallschicht kann dann nur ein Strahl linear polarisierten Lichts wieder austreten, wenn man natürliches Licht einstrahlt. Solche Kristalle wirken als Polarisationsfilter. Eine aus einem natürlichen Turmalinkristall geschnittene Platte von wenig mehr als 1 mm Dicke verhält sich so. Solche Kristalle sind jedoch meist klein und teuer.

Bei der Herstellung von Polarisationsfolien mit größeren Flächen schwimmt man dichroitische Kristallite in Gelatine auf und lässt die Matrix unter mechanischem

Zug erstarren. Die Kristallite richten sich dabei in Zugrichtung aus und die Wirkung der erstarrten Folie ist dieselbe wie die einer zusammenhängenden Kristallplatte, vgl. Abb. 10.

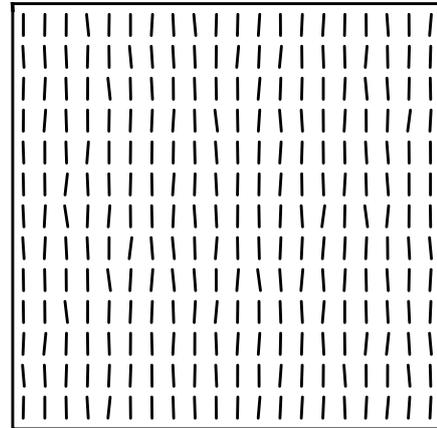


Abb. 10: Struktur einer Polarisationsfolie.

Trifft bereits polarisiertes Licht auf einen derartigen *Polarisator*, so wird je nach Winkel Φ zwischen seiner Durchlassrichtung und der Schwingungsebene des einfallenden Lichts ein gewisser Anteil der Energie absorbiert und der Rest hindurch gelassen. Die Anteile ergeben sich durch Zerlegung des elektrischen Feldvektors des einfallenden Lichts in zwei Komponenten: eine Komponente parallel und eine senkrecht zur Durchlassrichtung, siehe Abb. 11. Da die Intensität zum Qua-

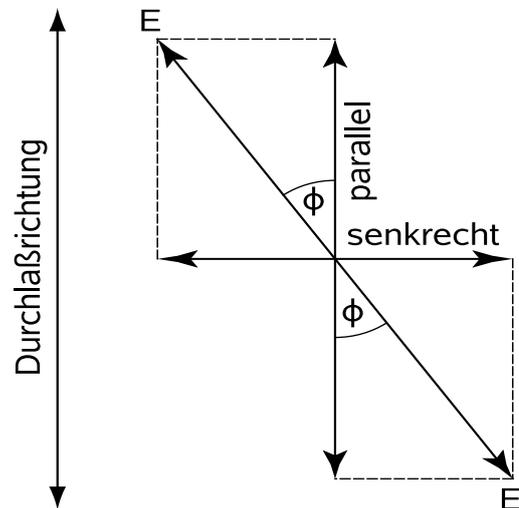


Abb. 11: Definition des Winkels Φ und Zerlegung des elektrischen Feldvektors \vec{E} in zwei zueinander senkrechte Komponenten.

drat des Feldvektors proportional ist, erhält man für die durchgelassene Intensität:

$$I = I_0 \cdot (\cos \Phi)^2 , \tag{11}$$

I_0 ist dabei die Intensität des einfallenden Lichts. Benutzt man – wie im Versuch – eine zweite Polari-

sationsfolie als *Analysator* in einem Polarimeter (vgl. III III.4), so wird $I = 0$ für $\Phi = 90^\circ$. Will man Licht hoher Intensität mit Hilfe von Folien polarisieren, so wird der absorbierte Anteil häufig derart groß, dass die Folien zerstört (geschmolzen bzw. durchgebrannt) werden.

Optische Aktivität, Rotationsdispersion

Als *optische Aktivität* bezeichnet man die Eigenschaft eines Stoffes, die Polarisationsrichtung zu drehen. Man findet diese Eigenschaft bei vielen organischen Flüssigkeiten, wenn darin Moleküle enthalten sind, die ein optisch aktives Kohlenstoffatom aufweisen. Auch manche Kristalle, wie z.B. Quarz sind optisch aktiv. Dabei gibt es rechts- und linksdrehende Typen. Als rechtsdrehend bezeichnet man eine Substanz, bei der die Polarisationsrichtung für den in Richtung der Lichtquelle schauenden Beobachter im Uhrzeigersinn gedreht wird.

Für feste Substanzen ist der Drehwinkel abhängig von der Länge l des Weges, den das Licht z.B. im Kristall zurücklegt:

$$\alpha = \alpha^* \cdot l, \quad (12)$$

wobei α^* eine stoffabhängige Konstante, das spezifische Drehungsvermögen [in $^\circ/\text{cm}$], ist.

Eine wässrige Lösung von Rohrzucker ist auch eine optisch aktive Substanz. Hier hängt der Drehwinkel zusätzlich von der Zuckerkonzentration ab, so dass man durch Ermittlung des Drehwinkels umgekehrt die Zuckerkonzentration c [in g/cm^3] bestimmen kann (Saccharimetrie). Der Drehwinkel ergibt sich zu

$$\alpha = \alpha_0 \cdot c \cdot l \quad (13)$$

mit der optischen Drehung α_0 [in $^\circ \cdot \text{cm}^2/\text{g}$].

Im menschlichen Stoffwechsel ist das wichtigste Kohlehydrat, Glukose, stets rechtsdrehend. Die Proteine sind dagegen aus linksdrehenden Bausteinen (Aminosäuren) zusammengesetzt. Offenbar können Lebewesen zwischen optischen Isomeren unterscheiden.

Ähnlich wie die Brechung ist auch die Drehung der Polarisationsrichtung innerhalb einer optisch aktiven Substanz von der Farbe, d.h. von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes abhängig. Man spricht von „normaler“ *Rotationsdispersion*, wenn die Drehung stärker ist, je kurzwelliger das Licht ist. Die Bestimmung des Drehwinkels der Polarisationsrichtung erfolgt mit dem Polarimeter (vgl. III III.4).

II.4. Beugung

Beugung von Licht tritt immer dann auf, wenn Hindernisse die ungestörte Ausbreitung des Lichts beeinträchtigen – also an kleinen Objekten oder kleinen Öffnungen wie Spalten und Blenden. Alle beobachteten

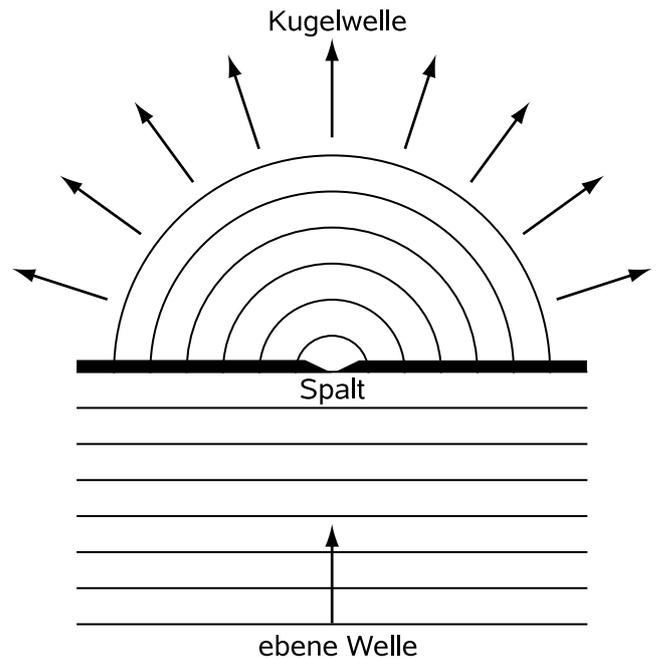


Abb. 12: Zum Huygensschen Prinzip: eine ebene Welle trifft auf einen kleinen Spalt.

Beugungsphänomene lassen sich mit Hilfe des *Huygensschen Prinzips* erklären:

Jeder von einer Welle getroffene Punkt im Raum kann als Quelle einer kugelförmigen Elementarwelle gleicher Wellenlänge betrachtet werden.

Abb. 12 illustriert, wie eine ebene Welle von unten kommend auf eine kleine Öffnung trifft. Der Spalt greift dort gewissermaßen „einen Punkt“ der einfallenden Wellenfront heraus, so dass sich hinter der Öffnung die Welle konzentrisch ausbreitet.

Lässt man die Welle auf einen Doppelspalt mit zwei kleinen Öffnungen im Abstand d fallen, so überlagern sich die beiden kugelförmigen Elementarwellen hinter den Öffnungen. Allgemein bezeichnet man eine solche Überlagerung von beliebig vielen Elementarwellen als *Interferenz*. Die Interferenz am Doppelspalt wird in Abb. 13 veranschaulicht.

Es treten bestimmte Richtungen auf, in denen sich die Elementarwellen zu großer Helligkeit verstärken, sog. Beugungsmaxima, und solche in denen sie sich gegenseitig auslöschen (dunkel, Beugungsminima). Abb. 13 zeigt das Entstehen der nullten, ersten, und zweiten Beugungsordnungen.

Wie diese zustandekommen, überlegen wir uns im Folgenden.

Die beiden Elementarwellen aus den beiden Spalten verstärken sich, wenn sie mit demselben Schwingungszustand (Phase) aufeinandertreffen. Dies ist notwendig für Beugungsmaxima. Der *Gangunterschied* für eine vorgegebene Ausbreitungsrichtung ist die Strecke, die eine Elementarwelle mehr zurücklegen muss als die andere, mit der sie interferiert. Bei Beugungsmaxima muss also der Gangunterschied beider Elementarwellen $0, 1 \cdot \lambda, 2 \cdot \lambda \dots$ sein. In Abb. 14 ist dies für $1 \cdot \lambda$ darge-

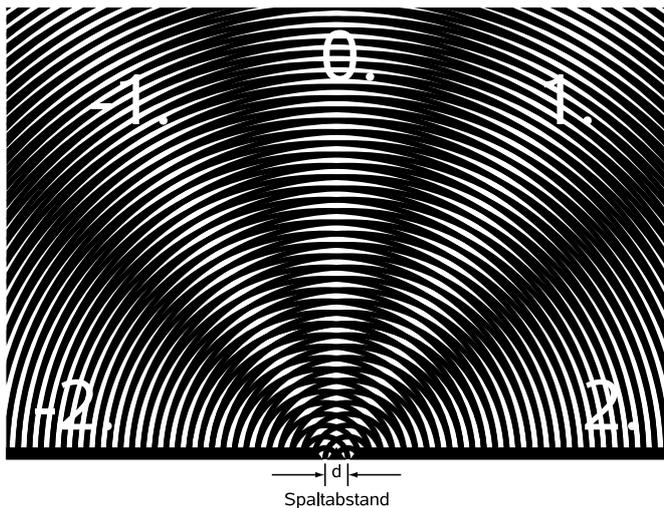


Abb. 13: Veranschaulichung der Beugung am Doppelspalt (Moire-Muster): die ebene Welle kommt von unten.

stellt. Hierzu wurden an die entsprechenden Wellenfronten der Elementarwellen gemeinsame Tangenten gelegt. Sie beschreiben die Wellenfronten der Interferenzwelle und stehen damit senkrecht auf ihrer Ausbreitungsrichtung. Sie weisen paarweise einen Gangunterschied von einer Wellenlänge λ auf. In Richtung des Winkels ϕ_1 hat man also das 1. Beugungsmaximum. Betrachtet man das rechtwinklige Dreieck mit der Hypotenuse d und der Gegenkathete λ , so erhält man als Bedingung für das 1. Beugungsmaximum:

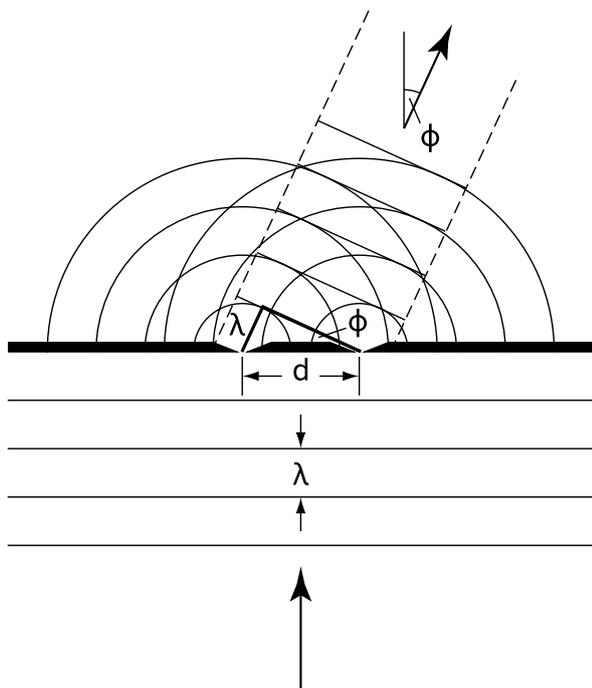


Abb. 14: Ausbreitungsrichtung der 1. Beugungsordnung konstruiert mit Hilfe der Wellenfronten als Tangenten an die Elementarwellen.

$$\sin \phi_1 = \frac{1 \cdot \lambda}{d} \tag{14}$$

Die Tangenten sind dabei an Elementarwellen gezeichnet, die paarweise einen Gangunterschied von genau einer Wellenlänge λ aufweisen. Für den Gangunterschied 2λ gilt

$$\sin \phi_2 = \frac{2 \cdot \lambda}{d} \tag{15}$$

was der Ausbreitungsrichtung für das zweite Beugungsmaximum entspricht. Allgemein folgt für die Ausbreitungsrichtung des k -ten Maximums:

$$\sin \phi_k = \frac{k \cdot \lambda}{d} \quad \text{mit } k = 0,1,2,3 \dots \tag{16}$$

Man kann den Doppelspalt mit Öffnungen, die klein gegenüber der Wellenlänge des Lichts sind, als Grenzfall eines *optischen Gitters* betrachten. Bei letzterem ist eine große Zahl von parallelen Spalten, jeweils im Abstand d (= *Gitterkonstante*) angeordnet. Die Helligkeitsmaxima werden umso schärfer je größer die Anzahl der Spalte eines Gitters ist. Da man die Gitterkonstante herkömmlicher optischer Gitter z.B. mit einem Okularmikrometer ausmessen kann, lassen sich Lichtwellenlängen durch Beugungsversuche am Gitter direkt bestimmen.

Rechenaufgabe 6: Ein Beugungsgitter der Gitterkonstanten $d = 0,01 \text{ mm}$ wird mit einem Laser der Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$ bestrahlt. Die Angaben sind als genau (ohne Messfehler) zu betrachten. Wieviele Lichtpunkte kann man auf einem halbkreisförmigen, konzentrisch hinter dem Gitter angebrachten Schirm beobachten?

III. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

III.1. Zubehör

Apparatur zur Messung von Lichtreflexion, -brechung -beugung und -polarisation mit abnehmbarer Messküvette und abnehmbarem Polarisationsfilterring. Polarisimeter mit Polarisator und Analysator, Küvettenhalter; Küvette mit Traubenzuckerlösung, Quarzscheibe in Fassung; Quecksilberdampfampe mit Farbfiltern.

III.2. Versuchsaufbau

Der verwendete Laser liefert unpolarisiertes Licht. Der Versuchsaufbau (vgl. Abb. 15) enthält eine runde Glas- küvette mit 5 cm Durchmesser. In ihrer Mitte ist eine Halbzylinderlinse fixiert. An sämtlichen Zylinderflächen wird der (schwach fokussierte) Laserstrahl in keiner Stellung der Küvette abgelenkt – abgesehen von kleinen Fehlern z.B. bei der Justierung. Die zu untersuchenden Reflexionen und Brechungen finden alle an der ebenen Glasfläche in der Mitte der Küvette statt. Der

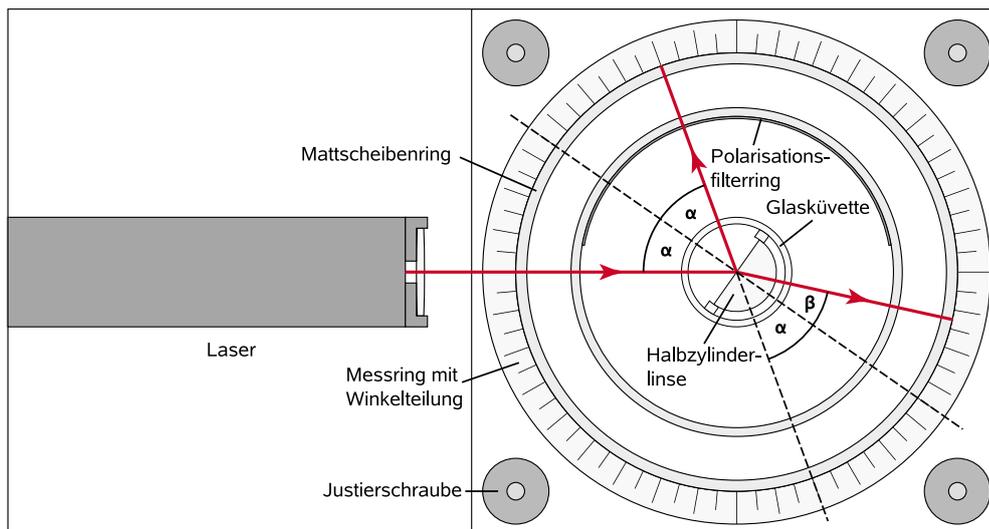


Abb. 15: Versuchsaufbau zur Messung von Reflexion, Brechung und Polarisation.

Laser hinterlässt am äußeren ebenfalls zylinderförmigen Mattscheibenring (20 cm Durchmesser) Lichtpunkte, von denen man auch die schwächeren problemlos lokalisieren kann, wenn man von außen senkrecht auf den Mattscheibenring schaut.

Der 360°-Messring aus Plexiglas ist drehbar und enthält vier rote Hauptmarkierungen in 90°-Abständen. Weitere Unterteilungen sind im 10° und 5°-Rhythmus zu finden. Der Ring enthält keine Zahlenangaben – alle Winkel müssen durch Abzählen ermittelt werden.

III.3. Winkelmessung

In Abb. 15 ist eine typische Messsituation dargestellt, in der man die Richtung des einfallenden Lasers (von links) und die des reflektierten und gebrochenen Strahls erkennen kann, sowie jene der Messung direkt zugänglichen Winkel, die α und β liefern: Einfallender und reflektierter Strahl bilden den Winkel 2α . Rückwärtige Verlängerung des reflektierten Strahls und gebrochener Strahl schließen andererseits den Winkel $\alpha + \beta$ ein, was bei Kenntnis von α dann β ergibt. 2α liest man ab, indem man zwei (rote) Hauptmarkierungen des Messkreises in Richtung des Laserstrahls stellt und dann die Position des reflektierten Laserpunktes bestimmt. $\alpha + \beta$ erhält man danach, indem man eine (rote) Hauptmarkierung des Messkreises in Richtung des reflektierten Laserstrahls dreht und den Winkel von der gegenüberliegenden Hauptmarkierung bis zum Punkt des gebrochenen Strahls ermittelt.

Lesen Sie alle Winkel nur auf ganze Grad-Werte ab!

III.4. Polarimeter

Im einfachsten Fall besteht ein Polarimeter (Abb. 16) aus einer Lichtquelle, einem Polarisator, einer Küvette mit der zu untersuchenden Substanz und einem zwei-

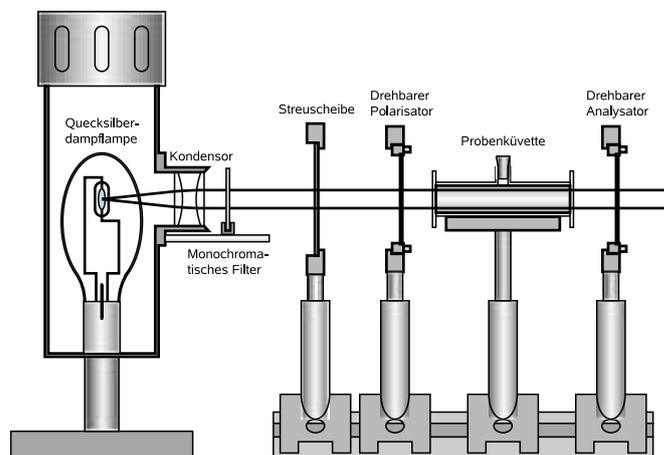


Abb. 16: Aufbau des Polarimeters.

ten Polarisator, den man als Analysator bezeichnet. Zunächst wird bei entfernter Küvette der Polarisator auf 0° gedreht. Der Analysator wird so eingestellt, dass die Intensität des durchgelassenen Lichtes minimal wird (Dunkelheit), d.h. seine Durchlassrichtung steht dann senkrecht zur Durchlassrichtung des Polarisators (vgl. Gl. 11). Bringt man nun die Küvette zwischen Polarisator und Analysator in den Strahlengang, so erscheint das Gesichtsfeld je nach Größe der Drehung mehr oder weniger aufgehellt. Durch Drehen des Analysators um einen Winkel α kann man den ursprünglichen Zustand (Dunkelheit) wieder herstellen. Dann ist α der Winkel, um den die Polarisationsrichtung des Lichtes durch das Medium gedreht wurde.



Abb. 17: Versuchsaufbau und Zubehör zum Teilversuch IV IV.1.

IV. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

IV.1. Überprüfung des Snelliusschen Brechungsgesetzes

- Entfernen Sie den Polarisationsfilterring sowie die Messküvette.
- Stellen Sie zwei Hauptmarkierungen des drehbaren Messkreises parallel zum Laserstrahl. Eine Hilfsmarkierung dazu befindet sich vorn an der Aluminiumplatte.
- Setzen Sie die Küvette gemäß Abb. 18 ein. Der Strahl trifft dabei auf die (ebene) Grenzfläche aus dem optisch dünneren Medium (Luft) kommend und wird ins optisch dichtere (Glas) gebrochen.
- Drehen Sie die Küvette langsam und beobachten Sie dabei am Mattscheibenring sowohl den Lichtpunkt des gebrochenen Strahls als auch den des reflektierten.

Bestimmen Sie danach mindestens sechs Brechungswinkel β , die Einfallswinkeln im Bereich $10^\circ < \alpha < 50^\circ$ entsprechen. Für Einfallswinkel größer als 70° steigt die Messungenauigkeit rapide. Beachten Sie, dass Sie nur 2α und $\alpha + \beta$ direkt am Messkreis ablesen können.

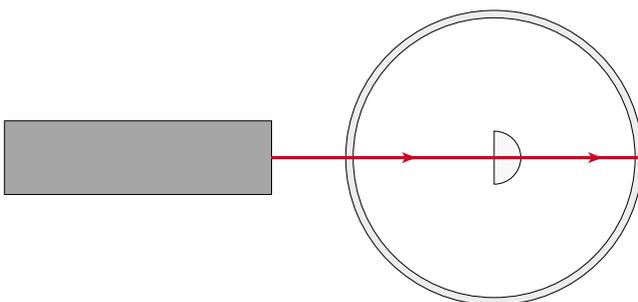


Abb. 18: Zur Bestimmung des Brewsterwinkels für Luft/Glas.

Legen Sie für die Auswertung eine Tabelle folgender Art an:

| 2α | α | $\alpha + \beta$ | β | $\sin \alpha$ | $\sin \beta$ |
|-----------|----------|------------------|---------|---------------|--------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

IV.2. Bestimmung des Brewsterwinkels für Luft/Glas

- Bringen Sie die Küvette wieder in die Ausgangsposition gemäß Abb. 18.
- Setzen Sie den Polarisationsfilterring so ein, dass der reflektierte Strahl den Filter passieren muss.
- Der elektrische Feldvektor des unter dem Brewsterwinkel reflektierten Strahls schwingt senkrecht zur Tischebene (Warum?). Die Durchlassrichtung des Polarisationsfilterrings verläuft also senkrecht zu dieser Schwingungsrichtung, d.h. waagrecht.
- Drehen Sie nun die Küvette in jene Position, bei der die Intensität des reflektierten Strahls nach Passieren des Polarisationsfilterrings am Mattscheibenring minimal wird. Der zugehörige Reflexionswinkel α_{B1} ist der gesuchte Brewsterwinkel: Das an der Glasplatte linear polarisierte reflektierte Licht kann den Analysator nicht passieren.
- Drehen Sie einige Male über das Intensitätsminimum hinweg, so dass Sie dieses möglichst genau lokalisieren können. Wenn man, wie oben beschrieben, von außen auf den Mattscheibenring blickt, geht das überraschend genau: $\pm 1^\circ$!
- Zum Ablesen von 2α sollten Sie den Polarisationsfilterring entfernen, ohne die Küvette zu bewegen. Notieren Sie α_{B1} .

IV.3. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion bei Glas/Luft

- Bringen Sie die Küvette in die Ausgangsposition gemäß Abb. 19. Der Strahl trifft jetzt aus dem optisch dichteren Medium (Glas) kommend auf die ebene Grenzfläche und wird ins dünnere Medium (Luft) gebrochen.
- Drehen Sie die Küvette langsam in eine Richtung und beobachten Sie wieder die jetzt andersartige Bewegung der Lichtpunkte des reflektierten und gebrochenen Strahls am Mattscheibenring.
- Wenn der gebrochene Strahl zunehmend streifend an der Glasplatte austritt ($\beta \rightarrow 90^\circ$), steigt die Helligkeit des reflektierten Strahls deutlich an. Für $\beta > 90^\circ$ in Luft verschwindet der Punkt des gebrochenen Strahls (fast) schlagartig und das

ganze Licht wird reflektiert. Versuchen Sie die entsprechende Position der Küvette möglichst genau zu finden. Notieren Sie α_{T1} . Das ist der Grenzwinkel der Totalreflexion in diesem Fall.

IV.4. Wiederholung der Versuche 1-3 an der Grenzfläche Flüssigkeit/Glas

1. Vorbereitung

- Füllen Sie die Küvette auf ca. 80% der Schalenhöhe mit der vorhandenen Flüssigkeit unbekannter Brechzahl. Es gibt etliche Flüssigkeiten mit höherer Brechzahl als Glas.
- Entscheiden Sie (ohne Rechnung) durch Drehen der Küvette und Beobachten des Wanderns der Laserpunkte am Mattscheibenring, ob die Flüssigkeit optisch dichter oder dünner als Glas ist. Der einfallende Strahl soll aus dem optisch dünneren Medium kommend auf die Grenzfläche treffen.

2. Bestimmung des Brechungsindex einer Flüssigkeit

Bringen Sie die Küvette in die entsprechende Ausgangsposition und tabellieren Sie wie im Teilversuch IV IV.1 wiederum mindestens sechs Brechungswinkel β für Einfallswinkel α aus dem Intervall $10^\circ < \alpha < 80^\circ$.

3. Bestimmung des Brewsterwinkels für Flüssigkeit/Glas

Führen Sie die Messung von α_{B2} analog zu Teilversuch IV IV.2 durch.

4. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion für Glas/Flüssigkeit

Führen Sie die Messung von α_{T2} analog zu Teilversuch IV IV.3 durch.

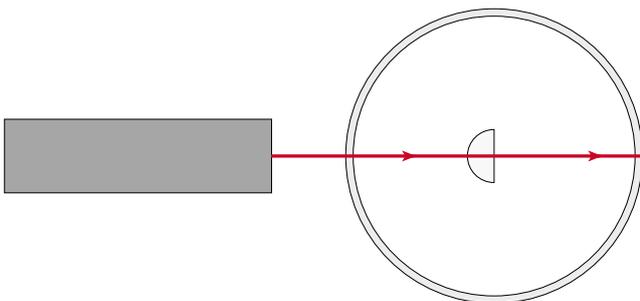


Abb. 19: Zur Bestimmung des Grenzwinkels der Totalreflexion bei Glas/Luft.

IV.5. Bestimmung der Wellenlänge des Lasers mittels des Beugungsgitters



Abb. 20: Versuchsaufbau zum Teilversuch IV IV.5.

- Setzen Sie das Beugungsgitter (es ist in einer Aluminiumhalterung montiert) zentral in die Versuchsanordnung so ein, dass der am Glas reflektierte Laserstrahl in sich zurückgeworfen wird.
- Messen Sie den Winkel zwischen den ersten Beugungsmaxima in Transmission links und rechts. Warum ist dieses Verfahren genauer, als wenn man den Winkel direkt zwischen der nullten und ersten Ordnung misst?
- Bestimmen Sie genauso den Ablenkungswinkel für die zweite Beugungsordnung.
- Bestätigen Sie, dass die in Reflexion beobachteten Beugungsmaxima innerhalb der Messgenauigkeit dieselben Ablenkungswinkel liefern.
- Notieren Sie die reziproke Gitterkonstante $1/d$.

IV.6. Polarimetrie

1. Justierung des Polarimeters

- Schalten Sie die Quecksilberdampfampe ein; bitte schalten Sie sie niemals für kurze Zeit aus! Setzen Sie den Grünfilter ein und richten Sie das Polarimeter auf die Lichtquelle aus.
- Bringen Sie den Polarisator in die Zeigerstellung 0° . Dreht man den Analysator um insgesamt 360° , so stellt man fest, dass das Gesichtsfeld innerhalb dieses Drehwinkels zweimal hell und zweimal dunkel wird.
- Drehen Sie nun den Analysator eine Dunkelstellung. Lesen Sie den Drehwinkel bei allen Messungen stets dann ab, wenn durch Drehen des Analysators das Gesichtsfeld wieder möglichst dunkel geworden ist.



Abb. 21: Versuchsaufbau und Zubehör zum Teilversuch IV IV.6.

2. Bestimmung von Konzentration und Drehsinn einer Zuckerlösung

- Legen Sie die Küvette mit der Traubenzuckerlösung mit dem Probenhalter auf den Tisch des Polarimeters. Suchen Sie der größeren Messgenauigkeit wegen das Intensitätsminimum mindestens 3 Mal auf und verwenden Sie später bei der Auswertung den Mittelwert.
- Zur Ermittlung des Drehsinns wiederholen Sie die Messung unter Verwendung des blauen Filters. Beobachten Sie - zunächst ohne Messwerte zu notieren - den Effekt bei den verschiedenen Filtern qualitativ, um ein Gefühl für die Abhängigkeit des Drehwinkels von der Wellenlänge (Rotationsdispersion) zu bekommen. Durch die Filter werden primär folgende Wellenlängen aus dem Spektrum der Quecksilberdampfampe isoliert: blau 436 nm und grün 546 nm (und gelb 578 nm).
- Die Messung mit nur einem Filter verrät noch nicht, ob die Probe rechts- oder linksdrehend ist. Dazu ist mindestens die Messung mit einem weiteren Filter erforderlich. Bestimmen Sie den Drehsinn aus dem Unterschied der Drehwinkel für die beiden gewählten Wellenlängen unter der Voraussetzung, dass normale Rotationsdispersion vorliegt. Da die Drehwinkel der Probe im vorliegenden Fall kleiner als 180° sind, steht nach Bestimmung des Drehsinns auch der Drehwinkel eindeutig fest.
- Notieren Sie die Länge der Küvette.

3. Bestimmung der Dicke und des Drehsinns einer Quarzscheibe

- Ersetzen Sie die Küvette mit der Traubenzuckerlösung durch den in einem Metallring befestigten

Quarz.

- Ermitteln Sie die Drehung der Polarisationsrichtung für grünes Licht und den Drehsinn mit Hilfe des blauen Filters.

V. AUSWERTUNG

V.1. Überprüfung des Snelliusschen Brechungsgesetzes

- Tragen Sie in einem Diagramm die $\sin \beta$ -Werte (y-Achse) gegen die $\sin \alpha$ -Werte (x-Achse) gemäß Ihrer Tabelle auf. Beachten Sie, dass beide Koordinatenachsen nur Werte von 0 bis 1 abdecken müssen. Gl. (3) stellt in der Form

$$\sin \beta = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \alpha \quad (17)$$

eine Gerade durch den Ursprung dar. Mit $n_1 = 1$ für Luft ist die Steigung der Geraden:

$$m = \frac{1}{n_2}$$

- Bestimmen Sie mit Hilfe dieser Beziehung und eines möglichst großen Steigungsdreiecks den Brechungsindex n_2 von Glas mit Messgenauigkeit.

V.2. Bestimmung des Brewsterwinkels für Luft/Glas

Berechnen Sie mit Hilfe des von Ihnen ermittelten Brewsterwinkels und Gl. (10) nochmals den Brechungsindex n_2 von Glas. Diskutieren Sie die Abweichung vom Ergebnis in Teilversuch V V.1. Warum ist das Ergebnis von Teilversuch V V.1 zuverlässiger?

V.3. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion bei Glas/Luft

Beim Grenzwinkel der Totalreflexion α_{T1} ist $\beta = 90^\circ$ und damit $\sin \beta = 1$. Mit $n_1 = 1$ für Luft reduziert sich Gl. (3) deshalb gemäß Abb. 6 auf:

$$\sin \alpha_{T1} = \frac{1}{n_2}$$

Berechnen Sie auch hier n_2 , und diskutieren Sie die Abweichung vom Ergebnis in Teilversuch V V.1.

V.4. Wiederholung der Versuche 1-3 an der Grenzfläche Flüssigkeit/Glas

1. Bestimmung des Brechungsindex einer Flüssigkeit

- Tragen Sie in einem Diagramm – entsprechend dem in Teilversuch V V.1 – die berechneten $\sin \alpha$ -Werte gegen die $\sin \beta$ -Werte auf.
- Benutzen Sie den von Ihnen in Teilversuch V V.1 ermittelten n_2 -Wert für Glas, um mit Hilfe von Gl. (17) die Brechzahl n_1 der Flüssigkeit auf zwei Dezimalen genau zu bestimmen.

2. Bestimmung des Brewsterwinkels für Flüssigkeit/Glas

Benutzen Sie den von Ihnen ermittelten Wert des Brewsterwinkels α_{B2} und n_2 für Glas nach Teilversuch V V.1, um die Brechzahl n_1 der Flüssigkeit nochmals nach Gl. (9) zu berechnen. Diskutieren Sie die Abweichung von n_1 gemäß Teilversuch V V.41.

3. Ermittlung des Grenzwinkels der Totalreflexion für Glas/Flüssigkeit

Für den Grenzwinkel der Totalreflexion folgt im vorliegenden Fall aus dem Brechungsgesetz:

$$\sin \alpha_{T2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Berechnen Sie unter Verwendung von n_2 für Glas gemäß Teilversuch V V.1 und dem gemessenen α_{T2} -Wert ein weiteres Mal n_1 der Flüssigkeit. Diskutieren Sie die Abweichung vom Ergebnis in Teilversuch V V.41. Warum liefert dieser letzte Versuch den ungenauesten Wert?

V.5. Bestimmung der Wellenlänge des Lasers mittels des Beugungsgitters

- Berechnen Sie die Wellenlänge des Lasers mit Hilfe von Gl. (16) für die 1. und 2. Beugungsordnung.

- Geben Sie den Mittelwert mit Messabweichung als Ergebnis an. Diskutieren Sie eine eventuelle Abweichung vom Literaturwert $\lambda_{\text{Lit}} = 632,8 \text{ nm}$.

V.6. Polarimetrie

1. Bestimmung von Konzentration und Drehsinn einer Zuckerlösung

Aus den Mittelwerten der Einzelmessungen für die Drehwinkel bestimmen Sie mit Hilfe von Gl. (13) die Konzentration der Zuckerlösung. Für das verwendete grüne Licht der Wellenlänge $546,1 \text{ nm}$ gilt

$$\alpha_0 = 6,2^\circ \cdot \text{cm}^2/\text{g} .$$

2. Bestimmung der Dicke und des Drehsinns einer Quarzscheibe

- Auch hier soll unter der Voraussetzung normaler Rotationsdispersion der Drehsinn wie in Teilversuch V V.6.1 bestimmt werden. Es gibt rechts- und linksdrehende Quarz-Proben.
- Berechnen Sie die Dicke der Quarzscheibe mit Hilfe von Gl. (12). Für den Quarz beträgt das spezifische Drehungsvermögen für das grüne Licht

$$\alpha^* = 257^\circ/\text{cm} .$$