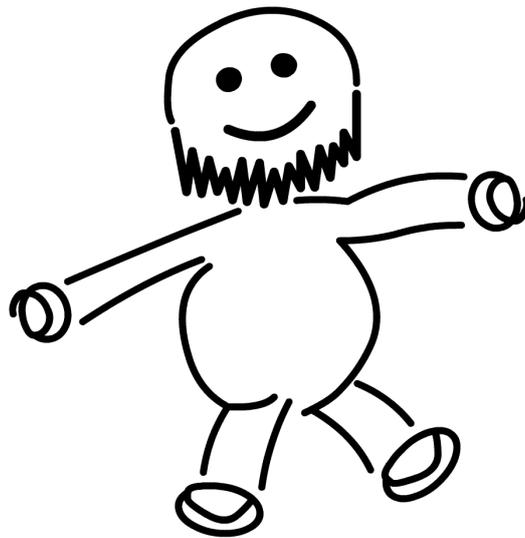


Demonstrationspraktikum für Lehramtskandidaten

Versuch O3

Polarisiertes Licht

Sommersemester 2006



Name:	Daniel Scholz
Mitarbeiter:	Steffen Ravekes
E-Mail:	daniel@mehr-davon.de
Gruppe:	4
Durchgeführt am:	20. Juni 2006
Protokoll abgeben:	4. Juli 2006
Protokoll verbessert:	–

Testiert: _____

1 Einleitung

In diesem Versuch werden wir den Wellencharakter von elektromagnetischen Wellen anhand von polarisiertem Licht untersuchen.

Zum einen werden wir Licht auf unterschiedliche Weisen polarisieren und diese Polarisation auch nachweisen und zum anderen werden wir Lichtstreuung beobachten.

2 Theorie

2.1 Polarisation elektromagnetischer Wellen

Eine elektromagnetische Welle wie zum Beispiel Lichtwellen wird durch einen elektrischen Vektor \vec{E} , einen magnetischen Vektor \vec{B} und die Ausbreitungsrichtung \vec{k} beschrieben. Stets gilt

$$\vec{E} \perp \vec{B}, \quad \vec{B} \perp \vec{k} \quad \text{und} \quad \vec{E} \perp \vec{k}.$$

Polarisation wird über die Richtung des elektrischen Vektors \vec{E} definiert.

Linear polarisierte Wellen

Zeigt der Vektor \vec{E}_0 einer Welle

$$\vec{E}(t, z) = \vec{E}_0 \cdot \cos(\omega t - kz)$$

immer in gleiche Richtung senkrecht zur z -Achse, so heißt die Welle **linear polarisiert**. Hierbei ist ω die Kreisfrequenz, t die Zeit und $k = 2\pi/\lambda$ die Wellenzahl.

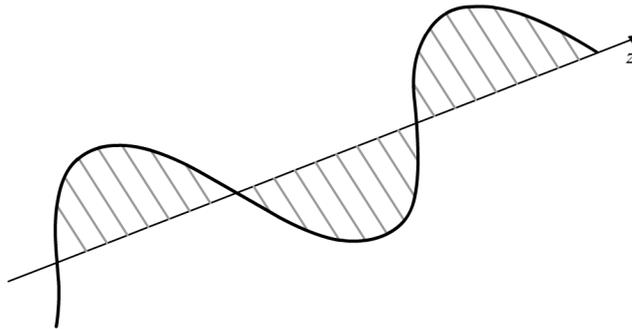


Abbildung 1: Linear polarisierte Welle.

Zirkular polarisierte Wellen

Breitet sich eine Welle entlang der z -Achse aus, also $\vec{k} = k\vec{e}_z$, und sind die Beträge von \vec{E}_{0x} und \vec{E}_{0y} gleich, aber ihre Phasen um $\pi/2$ phasenverschoben,

so sprechen wir von **zirkular polarisierten** Wellen. Der \vec{E} -Vektor beschreibt eine Spirale und es gilt

$$\vec{E}_x(t, z) = \vec{E}_{0x} \cdot \cos(\omega t - kz) \quad \text{und} \quad \vec{E}_y(t, z) = \vec{E}_{0y} \cdot \cos(\omega t - kz - \pi/2).$$

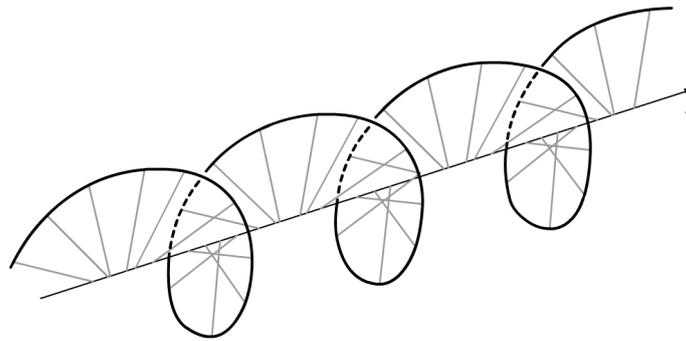


Abbildung 2: Zirkular polarisierte Welle.

Elliptisch polarisiertes Wellen

Breitet sich eine Wellen entlang der z -Achse aus, sind aber die Beträge von \vec{E}_{0x} und \vec{E}_{0y} nicht gleich oder ist die Phasenverschiebung zwischen \vec{E}_{0x} und \vec{E}_{0y} ungleich $\pi/2$, so sprechen wir von **elliptisch polarisierten** Wellen. Der \vec{E} -Vektor beschreibt also eine elliptische Spirale.

Unpolarisiertes Wellen

Besitzt der \vec{E}_0 -Vektor der Welle keine zeitlich konstante Richtung in der xy -Ebene und durchläuft gleichzeitig keine Ellipse, sondern eine statische Bahn, welche sich im Lauf der Zeit verändert, so sprechen wir von **unpolarisiertem** Licht. Dieses ist für Licht die häufigste Vorkommensweise, da es als Überlagerung von vielen Anteilen der statisch verteilt schwingenden Dipolen gesehen werden kann.

2.2 Erzeugung von polarisiertem Licht

Wir wollen nun ohne tiefere Hintergründe einige Erzeugungsmöglichkeiten für polarisiertes Licht vorstellen. Diese Polarisatoren können natürlich auch als Analysatoren benutzt werden.

Polarisationsfilter

Eine Möglichkeit zur Erzeugung von polarisiertem Licht ist der **Polarisationsfilter**. Hierbei wird aus dem Licht durch eine Folie polarisierter Moleküle nur eine Polarisationsrichtung der Lichtwellen durchgelassen.

Drehen wir nun einen Polarisationsfilter, so können wir auch zirkular polarisiertes Licht erzeugen.

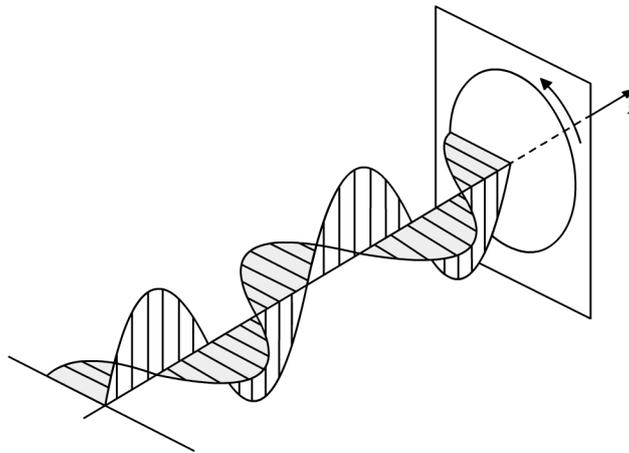


Abbildung 3: Zirkular polarisiertes Licht durch Drehung eines Polarisationsfilters.

Polarisation durch Doppelbrechung

Trifft ein Lichtstrahl in ein anisotropes Material ein, findet eine Doppelbrechung statt. Der Lichtstrahl wird in zwei Strahlen aufgespalten: In einen ordentlichen Strahl und in einen außerordentlichen Strahl. Diese beiden Strahlen breiten sich im Allgemeinen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aus. Aufgrund der unterschiedlichen Brechungsindizes für verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten werden ordentlicher und außerordentlicher Strahl somit auch verschieden stark gebrochen. In einem doppelbrechendem Material gibt es eine ausgezeichnete Richtung, in der die beiden Strahlen dieselbe Ausbreitungsgeschwindigkeit haben. Der ordentliche Strahl wird im doppelbrechendem Material senkrecht zur optischen Achse polarisiert und breitet sich wie in einem nicht doppelbrechendem Material aus. Die Polarisationsrichtungen von ordentlichem und außerordentlichem Strahl stehen immer senkrecht zueinander. Angewendet wird dieses Verfahren mit einem *Nicolschen Prisma* aus Kalkspat.

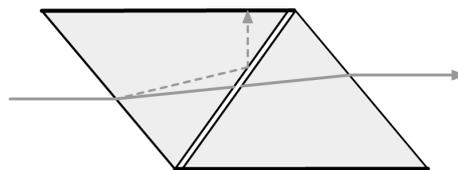


Abbildung 4: Polarisation durch Doppelbrechung am Nicolschen Prisma.

Polarisation durch Reflexion

Eine letzte Vorgehensweise ist die Reflexion unter dem Brewsterwinkel, wobei die Fresnelschen Formeln die Theorie für diesen Effekt liefern. Hierbei hat der reflektierte Strahl keine parallel zur Einfallsebene polarisierte Komponente.

Polarisation mit $\lambda/4$ -Plättchen

Ein $\lambda/4$ -Plättchen ist eine spezielle Wellenplatte, die das Licht in einer Richtung um eine viertel Wellenlänge, bzw. $\pi/2$ gegen die dazu senkrechte Richtung verzögert. Es kann aus linear polarisiertem Licht zirkular oder elliptisch polarisiertes Licht machen und aus zirkular polarisiertem Licht wieder linear polarisiertes.

2.3 Gesetz von Malus

Das *Gesetz von Malus* beschreibt die Intensität I eines polarisierten Lichtstrahls nach dem Durchgang durch einen um den Winkel α gedrehten Polarisationsfilter:

$$I(\alpha) = I_0 \cdot \cos^2(\alpha).$$

Der \cos^2 -Term ist dadurch zu erklären, da wir uns hier gerade mit der Intensität beschäftigen.

2.4 Streuung

Allgemein versteht man unter *Streuung* das Aufeinandertreffen von zwei Teilchen oder Lichtwellen und die daraus resultierenden Wechselwirkungen. In unserem Fall der Lichtstreuung betrachten wir die Wechselwirkung der Photonen an Staubpartikeln oder wie im Versuch an Molekülen innerhalb einer Flüssigkeit. Dabei muss die Wellenlänge in der Größenordnung der Staubpartikel liegen. Quantitativ gilt, dass der Streuungsquerschnitt proportional zu ω^4 ist, wenn ω die Kreisfrequenz ist. Dies beschreibt die *Rayleigh Streuung*.

3 Versuchsdurchführung und Auswertung

Da wir in diesem Versuch vieles nur qualitativ beobachten und nur wenig quantitativ für eine Auswertung messen konnten, stellen wir die Versuchsdurchführung und die Auswertung gemeinsam vor.

3.1 Polarisation und Gesetz von Malus

Der erste Versuchsteil dient zur Verifikation des Gesetzes von Malus. Hierzu haben wir zwei Polarisationsfilter um den Winkel α zueinander gedreht und die Intensität des Lichtes hinter dem zweiten Filter mit einer Photozelle gemessen.

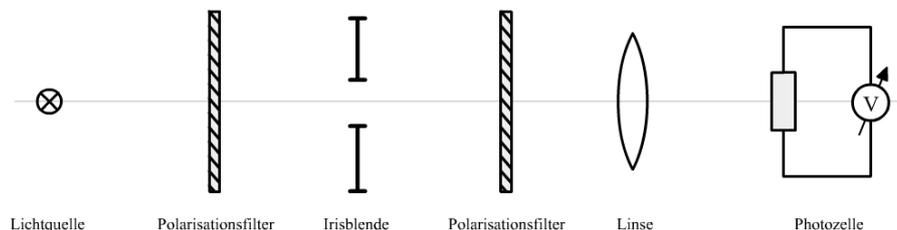


Abbildung 5: Versuchsaufbau zum Gesetz von Malus.

Wir erwarten bei $\alpha = 0^\circ$ die größte Intensität und bei $\alpha = 90^\circ$ im optimalen Falle gar keine Lichtstrahlen. Unsere Ergebnisse sind in Tabelle 1 zu finden.

α in $^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
U in V	3.2	3.1	2.7	2.4	1.6	1.0	0.7	0.3	0.2	0.0

Tabelle 1: Winkel α zwischen den Polarisationsfiltern und die dazu gemessene Intensität an der Photozelle.

Trägt man nun $\cos^2(\alpha)$ gegen die gemessene Spannung U an der Photozelle auf, so erwarten wir nach dem Gesetz von Malus

$$I(\alpha) = I_0 \cdot \cos^2(\alpha).$$

einen linearen Zusammenhang. In Abbildung 6 ist unser Ergebnis veranschaulicht.

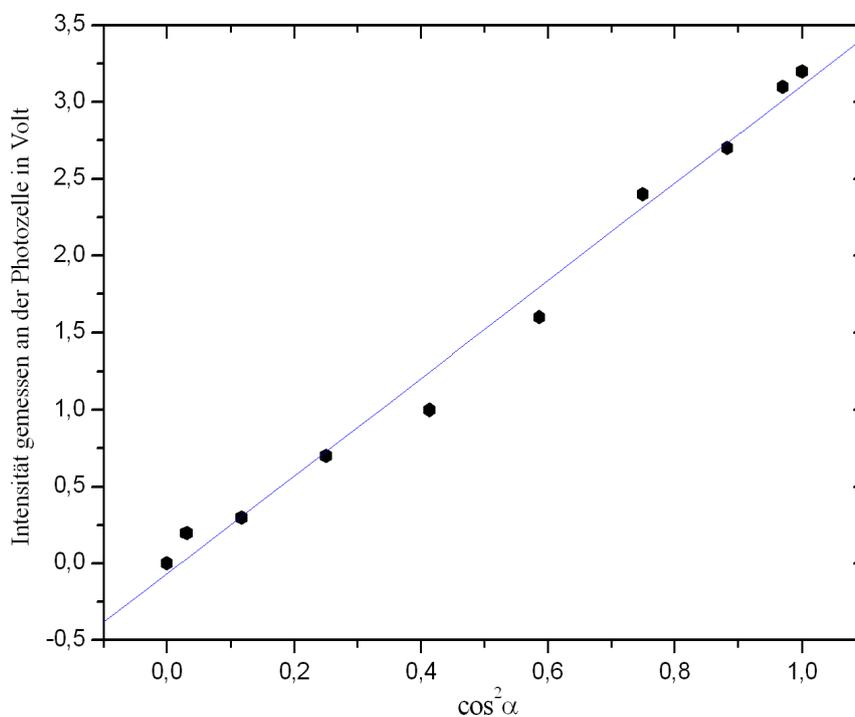


Abbildung 6: Zur Verifikation des linearen Zusammenhangs.

Wir erkennen also näherungsweise einen linearen Zusammenhang.

3.2 Polarisation durch Brechung

In diesem Versuchsteil haben wir zwischen die beiden Polarisationsfilter einen Plastikzacken eingeführt.

Durch Drücken an den Ecken der Plastikzacken konnten wir leichte Verformungen hervorrufen. Dadurch erzielten wir unterschiedliche Dichteverteilungen und konnten dies auf dem Schirm hinter dem zweiten Polarisationsfilter beobachten.

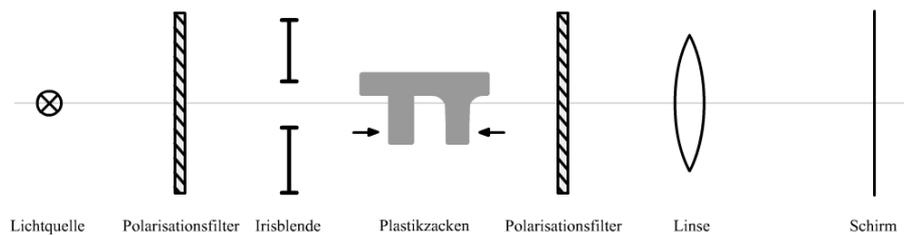


Abbildung 7: Versuchsaufbau zur Polarisation durch Brechung.

Es waren deutlich unterschiedliche Farbverteilungen zu erkennen, die gerade den Dichteunterschied in den Plastikzacken wiedergaben.

3.3 Polarisation mit einem $\lambda/4$ -Plättchen

Im dritten Versuchsteil haben wir zwischen die beiden Polarisationsfilter ein $\lambda/4$ -Plättchen eingeführt.

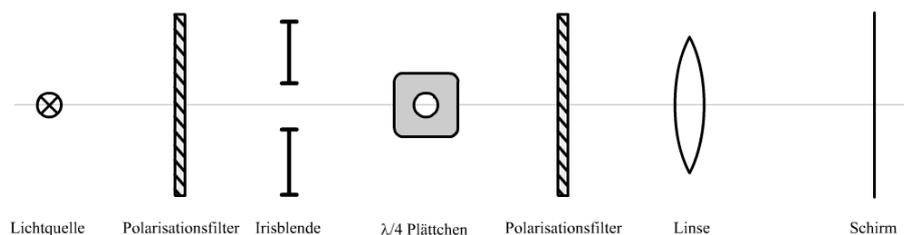


Abbildung 8: Versuchsaufbau zum $\lambda/4$ -Plättchen.

Dadurch traf linear polarisiertes Licht auf das $\lambda/4$ -Plättchen und wir erzeugten elliptisch polarisiertes Licht. Durch den zweiten Polarisationsfilter filterten wir somit nur eine Wellenlänge heraus und erkannten auf dem Schirm eine Farbe. Wird der zweite Filter nun gedreht, so werden andere Wellenlängen bzw. andere Farben sichtbar, bis wir um 180° gedreht haben und wieder bei der *Ausgangsfarbe* angekommen sind.

3.4 Rayleigh Streuung mit Myrretinktur

Im abschließenden Versuchsteil haben wir zunächst die Lichtstrahlen durch reines Leitungswasser laufen lassen und haben den weißen Lichtfleck auf dem Schirm abgebildet.

Im Anschluss fügten wir Myrretinktur zum Wasser hinzu und beobachteten eine Verfärbung des Lichtflecks auf dem Schirm in einem gelb-rötlichen Bereich. Der Strahlengang selbst innerhalb des Wassers erschien an der Seite des einfallenden Lichtes bläulich und an der Seite des ausfallenden Lichtes eher rötlich. Dieser Effekt lässt sich mit der Rayleigh-Streuung erklären. Betrachtet man den Strahlengang innerhalb des Wassers durch einen Polarisationsfilter, so erkennt man durch Drehung des Polarisationsfilters, dass das blau gestreute Licht pola-

risiert ist. Die Ursache dafür sind die Myrreteilchen, die ungefähr die Größe der Wellenlänge des einfallenden Lichtes haben.

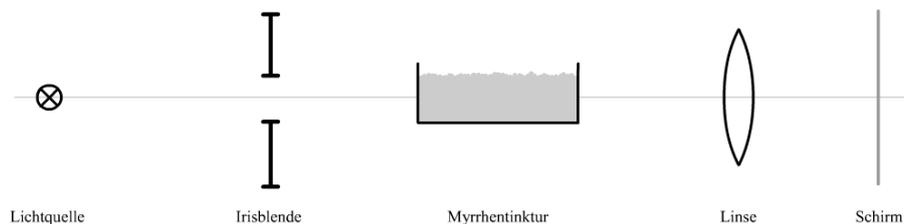


Abbildung 9: Versuchsaufbau zur Rayleigh Streuung.

Der starke Farbunterschied von bläulich zu rötlich in der Wanne ist dadurch zu erklären, dass die Abhängigkeit der Streuung mit λ^4 einght. Halten wir einen Rotfilter vor die Wanne, so erkennen wir einen roten Lichtfleck auf dem Schirm. Halten wir hingegen einen Blaufilter vor die Wanne, so ist kein Licht auf dem Schirm zu erkennen, das blaue Licht wird nahezu vollständig gestreut.

4 Diskussion und didaktische Einordnung

4.1 Diskussion

Eine besondere Fehlerquelle gerade im ersten Versuchsteil zum Gesetz von Malus sind natürlich andere Lichtquellen. Daher ist dieser Versuch eher als Lehrerversuch vorzuführen, da sonst keine ausreichende Dunkelheit gegeben werden kann. Alle anderen Versuche waren – im Gegensatz zu anderen Optikversuchen – recht einfach aufgebaut und es waren schöne Ergebnisse zu beobachten.

4.2 Didaktische Einordnung

Bereits in der 7. oder 8. Klasse untersuchen die Schüler das Spektrum des weißen Lichtes und die additive Farbmischung. Die Begriffe und Phänomene Polarisation und Streuung werden allerdings erst in der Oberstufe diskutiert. Viele der vorgestellten Versuche sind jedoch durch qualitative Beobachtungen auch ohne besonders viel Theorie zu verstehen, einiges sollte auch intuitiv zu verstehen sein.

Der letzte Versuchsteil liefert eine besondere Motivation für Schülerchen: Warum ist der Himmel blau? Warum sieht die Sonne beim Sonnenuntergang rot aus? Die Antworten hierfür liegen in der Rayleigh Streuung. In der Atmosphäre befinden sich Teilchen, die ungefähr so groß sind wie die Wellenlänge des einfallenden Sonnenlichtes. Dies haben wir im Versuch eigentlich nur simuliert: Am Schirm war die *Sonne* zu beobachten. Je mehr Myrrhentinktur wir in das Wasser gaben, desto näher kamen wir dem Sonnenuntergang und das Licht auf dem Schirm wurde immer rötlicher. Schön.