

Die Polarisation von Licht ist für viele Anwendungen neben ihrer prinzipiellen Bedeutung als Hinweis auf die Transversalwellennatur des Lichtes von Interesse. Eines dieser Anwendungsgebiete ist die Spannungsoptik. Dabei werden Spannungsverteilungen in mechanisch belasteten Körpern mit linear polarisiertem und mit zirkular polarisiertem Licht untersucht.

In diesem Versuch sollen Sie sich mit der Erzeugung und mit wichtigen Eigenschaften von polarisiertem Licht vertraut machen.

1. Theoretische Grundlagen

1.1 Verschiedene Arten der Polarisation

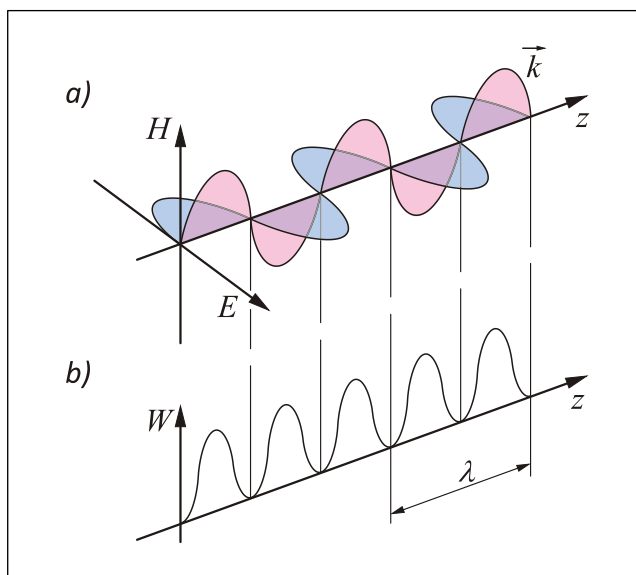


Bild 1: Momentaufnahme einer elektromagnetischen Welle

- a) Feldverteilung
- b) Energiedichte

Wellen mit gleicher Wellenlänge und gleicher Ausbreitungsrichtung erhält man wiederum eine polarisierte Welle. Die Verhältnisse macht man sich am einfachsten klar, indem man die Projektion zweier zueinander senkrecht schwingender $\vec{E}$ -Vektoren in einer ortsfesten Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung betrachtet (**Bild 2**). Die zweidimensionale Überlagerung der beiden Wellen erzeugt dann in der Projektion eine Lissajous-Figur.

Sind beide Wellen phasengleich, so ist die Lissajous-Figur eine Gerade, die Überlagerungswelle also wieder linear polarisiert. Die Lage der Polarisations-ebene hängt in diesem Fall vom Verhältnis der beiden Amplituden ab.

Licht kann beschrieben werden als eine elektromagnetische Transversalwelle (**Bild 1**). Die beiden Vektoren der elektrischen und magnetischen Feldstärke $\vec{E}(\vec{x}, t)$ und $\vec{H}(\vec{x}, t)$ sowie die Ausbreitungsrichtung $\vec{k}$ stehen dabei paarweise senkrecht zueinander. Die Ebene, die durch den $\vec{E}$ - und $\vec{k}$ -Vektor festgelegt wird, heißt **Schwingungsebene** des Lichtes. Die dazu senkrechte, durch $\vec{H}$ und $\vec{k}$ definierte Ebene heißt **Polarisationsebene**.

Natürliches Licht besteht aus kurzen Wellenzügen, deren Schwingungsebene sich statistisch verändert. Im zeitlichen Mittel kommen alle möglichen Schwingungsebenen gleich oft vor.

Solches Licht wird als **unpolarisiert** bezeichnet. Ist die Schwingungsebene zeitlich und räumlich konstant, so spricht man von **linear polarisiertem** Licht. Bei der Überlagerung zweier linear polarisierter

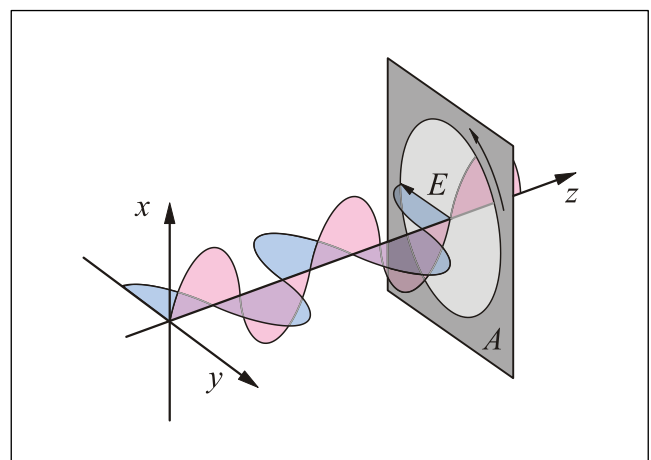


Bild 2: Zirkular polarisiertes Licht

Bei beliebiger Phasendifferenz ist die Überlagerungswelle **elliptisch polarisiert**, d.h. der $\vec{E}$ -Vektor umläuft die Achse der Ausbreitungsrichtung auf einer Ellipse. Bei dem Sonderfall, dass beide Amplituden gleich groß sind und die Phasendifferenz genau $\frac{1}{2}\pi$ ist, wird die Ellipse zum Kreis. Man spricht dann von **zirkular polarisiertem** Licht (**Bild 2**).

1.2 Erzeugung von polarisiertem Licht

Es gibt vier Effekte, mit deren Hilfe man aus unpolarisiertem Licht polarisiertes erzeugen kann: Absorption, Streuung, Reflexion und Doppelbrechung. Im vorliegenden Versuch wird die Polarisation durch Absorption und durch Doppelbrechung untersucht.

1.2.1 Polarisation durch Absorption

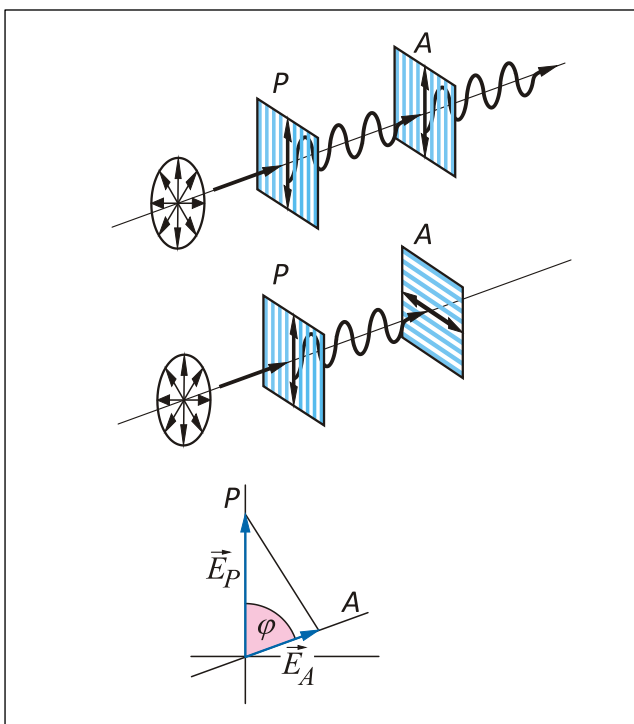


Bild 3: Polarisationsapparat

Verschiedene natürlich vorkommende Kristalle haben eine besondere Eigenschaft: bricht man diese Kristalle in geeigneter Weise auseinander, so lassen die Bruchstücke das Licht entweder durch oder sie absorbieren es. Was jeweils geschieht, hängt von der Polarisation des Lichts ab. Mit Hilfe dieser sogenannten dichromatischen oder dichroitischen Kristalle kann man linear polarisiertes Licht herstellen. Denselben Effekt erzielt man durch eine polarisierende Folie, die aus langkettigen, ausgerichteten Kohlenwasserstoffmolekülen besteht. Fällt auf die Molekülketten Licht, dessen Vektor des elektrischen Feldes $\vec{E}$ parallel zu den Ketten schwingt, dann werden elektrische Ströme entlang der Ketten induziert, und die Lichtenergie wird absorbiert. Schwingt $\vec{E}$ aber senkrecht zu den Ketten, so wird das Licht durchgelassen. Die Richtung senkrecht zu den Ketten wird daher Transmissionsachse genannt.

Zwei hintereinander in einem Strahlengang aufgebaute Polarisatoren bilden einen Polarisationsapparat. Den zweiten Polarisator nennt man auch Analysator (**Bild 3**). Stehen Polarisator und Analysator unter einem Winkel φ zueinander, wird nur die Komponente $\vec{E}_A$ des elektrischen Lichtvektors $\vec{E}_P$ vom Analysator durchgelassen:

$$E_A = E_P \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

Durch Quadrieren erhält man aus den Amplituden eine Beziehung zwischen den Intensitäten, das **Gesetz von Malus**

$$I_A(\varphi) = I_P \cdot \cos^2 \varphi \quad (2)$$

1.2.2 Polarisation durch Doppelbrechung

Ein weiteres Phänomen ist die sogenannte Doppelbrechung. Sie tritt im Kalkspat (CaCO_3) und anderen nichtkubischen Kristallen auf, ebenso in manchen Kunststoffen wie Zellophan, wenn sie unter mechanischer Spannung stehen.

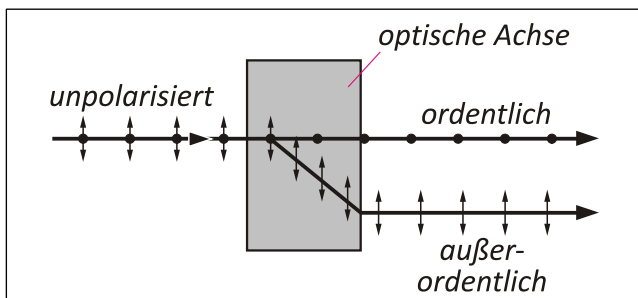


Bild 4: Prinzip der Doppelbrechung

den **ordentlichen Strahl** und den **außerordentlichen Strahl**, die in aufeinander senkrecht stehenden Ebenen polarisiert sind. Ihre Ausbreitungsrichtungen hängen von der relativen Orientierung des Materials zum einfallenden Licht ab.

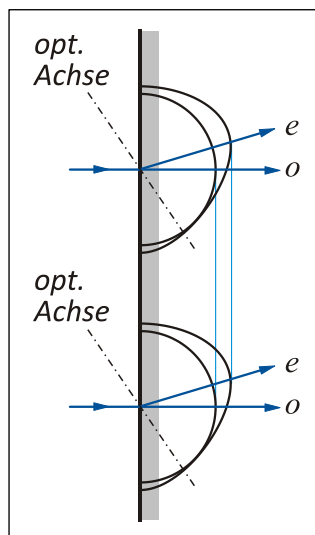


Bild 5: Aufspaltung von Strahlen, die schräg zur optischen Achse auf einen Kalkspat fallen

In einem doppelbrechenden Material gibt es eine bestimmte Einfallsrichtung, für die sich beide Strahlen mit der gleichen Geschwindigkeit im Kristall ausbreiten. Diese Richtung ist die **optische Achse** des Materials. Tritt das Licht entlang der optischen Achse in einen solchen Kristall ein, so geschieht nichts Ungewöhnliches. Tritt es jedoch unter einem von Null verschiedenen Winkel zur optischen Achse ein (**Bild 4**), dann laufen die Strahlen in verschiedene Richtungen und treten getrennt aus. Dabei ist der ordentliche Strahl senkrecht zur optischen Achse polarisiert. Wenn der Kristall um den ordentlichen Strahl gedreht wird, rotiert der außerordentliche Strahl ebenfalls um diesen.

Bild 5 zeigt das Zustandekommen der verschiedenen Laufrichtungen im Kristall. An den Auftreffstellen der einfallenden Strahlen werden Huygenssche Elementarwellen ausgesandt. Als Einhüllende der Kugeln bzw. Ellipsoide ergeben sich zwei verschiedene Wellenfronten und damit ein Auseinanderlaufen der ordentlichen und außerordentlichen Strahlen.

Wenn Licht **senkrecht auf die Oberfläche** eines doppelbrechenden Kristalls und dabei **senkrecht zur optischen Achse** auftrifft, dann breiten sich die beiden Strahlen in der gleichen Richtung aus, aber ihre Geschwindigkeiten sind unterschiedlich. Daher verlassen sie den Kristall mit einer Phasendifferenz, die von dessen Plattendicke und von der Wellenlänge des einfallenden Lichts abhängt (**Bild 6**). Bei einem sogenannten **$\lambda/4$ -Plättchen** ist die Dicke gerade so gewählt, dass die beiden Strahlen nach dem Durchgang eine Phasendifferenz von 90° aufweisen, bei einem **$\lambda/2$ -Plättchen** haben sie eine Phasendifferenz von 180° .

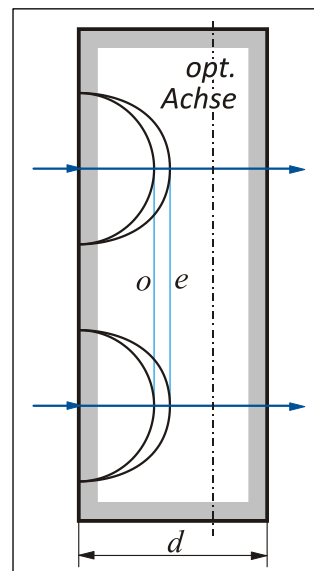


Bild 6: Senkrechter Lichteinfall auf einen Kalkspat, der parallel zur optischen Achse geschnitten ist

Wir betrachten nun den Fall, dass das einfallende Licht zusätzlich linear polarisiert ist und sein Vektor des elektrischen Feldes mit der optischen Achse eines $\lambda/4$ -Plättchens einen Winkel von 45° bildet. Der ordentliche und der außerordentliche Strahl sind unmittelbar nach Eintritt miteinander in Phase und haben gleiche Amplituden E_0 . Nach dem Durchgang durch das $\lambda/4$ -Plättchen sind sie um 90° gegeneinander phasenverschoben. Legen wir die z -Achse unseres Koordinatensystems in die Ausbreitungsrichtung, die x -Achse in eine der Richtungen der optischen Achse und die y -Achse senkrecht dazu, lauten die Komponenten des elektrischen Feldes

$$\begin{aligned} E_x &= E_0 \cdot \sin \omega \cdot t \\ E_y &= E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + 90^\circ) = E_0 \cdot \cos \omega \cdot t \\ E_z &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Der Vektor des elektrischen Feldes rotiert auf einem Kreis in der x - y -Ebene, d. h., die Welle ist **zirkular polarisiert** (**Bild 2**).

1.3 Grundlagen der Spannungsoptik

In der Spannungsoptik werden Größe und Richtung mechanischer Spannungen in Kunststoffmodellen bestimmt, um Aussagen über die Belastbarkeit komplizierter Bauteile zu gewinnen. Man verwendet transparente Kunststoffe, die unter mechanischer Belastung optisch doppelbrechend werden. Die optische Achse der Doppelbrechung liegt aus Symmetriegründen jeweils in Richtung der Dehnung oder der Stauchung, daher kann man die Spannungen im Modell mit polarisationsoptischen Methoden sichtbar machen.

Die Doppelbrechung, genauer gesagt die Differenz der Brechzahlen für den ordentlichen und den außerordentlichen Strahl beträgt

$$n_2 - n_1 = K \cdot (\sigma_2 - \sigma_1). \quad (4)$$

Dabei ist K die spannungsoptische Konstante des Kunststoffes und σ_1 und σ_2 die durch die Belastung hervorgerufenen Hauptspannungen. Die Spannungsdoppelbrechung ist nicht sehr groß, sie erreicht je nach Material Werte bis zu $n_2 - n_1 = 0,002$.

1.3.1 Beleuchtung mit linear polarisiertem Licht

Man beleuchtet das Kunststoffmodell z.B. in einer Anordnung aus gekreuztem Polarisator und Analysator. Solange es nicht belastet wird, bleibt das Gesichtsfeld hinter dem Analysator dunkel, da der spannungsfreie Kunststoff die Polarisation des Lichts unverändert lässt (**Bild 7a**). Die Situation ändert sich bei mechanischer Beanspruchung des Kunststoffes. Durch die Doppelbrechung wird das Licht beim Durchgang durch den Kunststoff im Allgemeinen elliptisch polarisiert, d. h. es erhält eine Komponente in Richtung des Analysators. Die belasteten Stellen des Kunststoffmodells sind daher als Aufhellung im Gesichtsfeld bemerkbar.

Zwischen den Aufhellungen bleiben dunkle Streifen (*Isoklinien*) an den Stellen, wo die lokal entstandene optische Achse des Kunststoffmodells zufällig parallel oder senkrecht zum Polarisator steht.

Die Isoklinen wandern, wenn Polarisator und Analysator gemeinsam in gekreuzter Stellung gedreht werden. Man zeichnet ihre Lage für verschiedene Polarisatorstellungen auf und konstruiert daraus die Richtungen der Hauptspannungen.

Die Aufhellungen zeigen farbige Strukturen (*Isochromaten*), da das Licht nicht für alle Wellenlängen eine Komponente in Analysatorrichtung erhält. Die Anteile mit der Wellenlänge

$$\lambda = d \cdot \frac{(n_1 - n_2)}{m} \quad \text{mit } m = 1, 2, 3 \dots \quad (5)$$

bleiben nämlich parallel zum Polarisator polarisiert und werden im Analysator ausgelöscht. Man verwendet einen Werkstoff mit möglichst kleiner spannungsoptischer Konstante und bestrahlt mit monochromatischem Licht, wenn der Einfluss der Isochromaten möglichst vermieden werden soll.

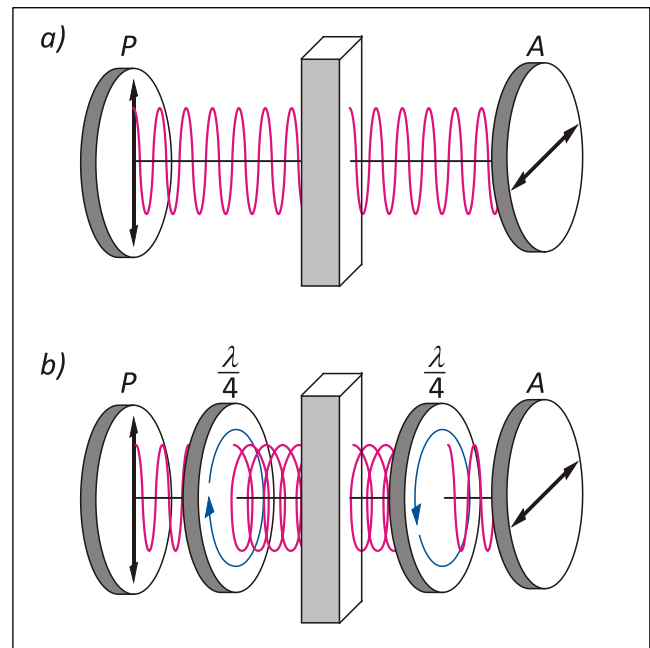


Bild 7: Schematische Darstellung der polarisationsoptischen Untersuchungen eines Modells mit
a) linear polarisiertem Licht und
b) zirkular polarisiertem Licht.

1.3.2 Beleuchtung mit zirkular polarisiertem Licht

In einem anderen Aufbau wird das Kunststoffmodell mit zirkular polarisiertem Licht beleuchtet, das man mit einer Kombination aus einem Polarisator und einem $\lambda/4$ -Plättchen erzeugt. Hinter dem Modell wird ein zweites $\lambda/4$ -Plättchen in gekreuzter Stellung zum ersten $\lambda/4$ -Plättchen und der Analysator angeordnet. Auch hier bleibt das Gesichtsfeld dunkel, solange das Modell nicht belastet wird. (**Bild 7b**), und belastete Stellen sind an der Aufhellung des Gesichtsfeldes erkennbar.

Isoklinen werden in dieser Anordnung vermieden, da keine Richtung linearer Polarisation ausgezeichnet ist. Die Isochromaten sind jetzt darauf zurückzuführen, dass die Lichtanteile mit Wellenlänge λ , die Gleichung (5) erfüllen, ihre zirkulare Polarisation behalten und vom zweiten $\lambda/4$ -Plättchen samt Analysator ausgelöscht werden. Durch einen Vergleich mit der Gleichung (4) identifiziert man die Isochromaten als Stellen gleicher Hauptspannungsdifferenz

$$\sigma_2 - \sigma_1 = m \cdot \frac{\lambda}{K \cdot d} \quad \text{mit } m = 0, 1, 2 \dots \quad (6)$$

Mit zunehmender Hauptspannungsdifferenz treten die Isochromaten in immer dichter Folge auf. Durch Abzählen der Isochromaten vom spannungsfreien Zustand ($m = 0$), kann man auf die Höhe der Spannung schließen. Die Genauigkeit wird dabei durch den Einsatz von Werkstoffen mit einer großen spannungsoptischen Konstante verbessert.

Im Versuch werden Modelle aus **ungesättigten Polyester-Kunstharzen** verwendet, deren spannungsoptische Empfindlichkeit groß ist. Sie sind durch thermische Behandlung von inneren Spannungen weitgehend befreit und erhalten diesen Zustand über lange Zeiträume.

2. Versuch

2.1 Vorbetrachtung

Aufgabe 1: Was passiert mit dem Licht bei einer linearen Polarisation?

Aufgabe 2: Was besagt das Gesetz von Malus?

2.2 Versuchsdurchführung

2.2.1 Verwendete Geräte

Optische Bank, Halogenleuchte mit Transformator, Irisblende, 2 Polarisationsfilter, Linsen, Fotoelement, Spannungsverstärker mit Vielfachinstrument zur Anzeige, 2 $\lambda/4$ -Plättchen, Satz Modelle zur Spannungsoptik

2.2.2 Versuchshinweise

Bei der Durchführung der **Aufgaben 1** und **2** wird die Lichtintensität mit einem Silizium-Photoelement gemessen. Der erzeugte Photostrom ist zur einfallenden Lichtintensität proportional. Dieser Strom wird über den Spannungsabfall an einem kleinen Widerstand (10Ω) gemessen.

Aufgabe 1: Messung der Intensität des linear polarisierten Lichtes in Abhängigkeit von der Analysatorstellung unter Verwendung eines Polarisationsapparates nach **Bild 3**.

- Überprüfen Sie, ob sich auf der Optischen Bank die Komponenten in folgender Reihenfolge befinden (*von links nach rechts*):

Halogenleuchte mit Bildschieber und Wärmeschutzfilter

(a) Irisblende

(b) Linse $f = 100\text{mm}$

(c) Polarisationsfilter („Polarisator“)

(g) Polarisationsfilter („Analysator“)

(h) Halter mit Fotoelement

- Schalten Sie die Lampe ein (**ca. 5-10 min bis zum Erreichen der vollen Leuchtstärke**).
- Schalten Sie den Verstärker (**Verstärkungsfaktor 10^3**) und das Spannungsmessgerät (**Messbereich DC**) ein.
- Stellen Sie mit Hilfe des Justierhebels die Glühwendel der Lampe so ein, dass sie sich in der Mitte der Linse abbildet (*evtl. ein Blatt Papier vor die Linse halten*).
- Stellen Sie beide Polarisationsfilter auf $\varphi = 0^\circ$ ein.
- Verschieben Sie die Linse so, dass sich die Öffnung der Irisblende auf dem Fotoelement scharf abbildet.
- Kompensieren Sie den Offset am Verstärker bei **abgedecktem Fotoelement** durch Drehen des Offset-Knopfes (*grüne LED leuchtet, am Vielfachmessgerät $U = 0 \pm 10\text{ mV}$*).
- Entfernen Sie die Abdeckung am Fotoelement.
- Verstellen Sie die Irisblende bis am Spannungsmessgerät **etwa $U = 2\text{ V}$** angezeigt werden.
- Messen Sie die Spannung U in Abhängigkeit von der Analysatorstellung **von -90° bis $+90^\circ$ in 10° -Schritten**.

Aufgabe 2: Untersuchung der Intensität des linear polarisierten Lichtes in Abhängigkeit von der Analysatorstellung und von der Winkelstellung der optischen Achse eines $\lambda/4$ -Plättchens

- Behalten Sie den Aufbau aus **Aufgabe 1** bei und überprüfen Sie den Strahlengang.
- Positionieren Sie das $\lambda/4$ -Plättchen zwischen Polarisator und Analysator und stellen diesen auf 0° ein.
- Messen Sie für die Winkel 0° , 30° , 45° , 60° und 90° (einstellbar nur in einer Richtung) der optischen Achse des $\lambda/4$ -Plättchens die Lichtintensität als Funktion der Analysatorstellung φ in einem Drehwinkelbereich von -90° bis $+90^\circ$ in 10° -Schritten. Gehen Sie dabei analog zur **Aufgabe 1** vor.

Aufgabe 3: Spannungsoptik

- Untersuchen Sie die vorgegebenen Kunststoffmodelle auf ihr spannungsoptisches Verhalten
a) bei Beleuchtung mit linear polarisiertem Licht und
b) bei Beleuchtung mit zirkular polarisiertem Licht.

Der Versuchsaufbau ist in **Bild 8** dargestellt:

- Überprüfen Sie die Montage der Halogenleuchte und korrigieren Sie diese bei Bedarf.
- Positionieren Sie die Irisblende (**a**) bei **ca. 10 cm** vor der Halogenlampe und begrenzen Sie den Öffnungsdurchmesser auf **ca. $d=4$ mm**.
- Stellen Sie mit dem Justierhebel der Halogenleuchte die Glühwendel senkrecht in den Strahl.
- Ordnen Sie die Linsen (**f=150 mm**) im Strahlengang nach **Bild 8** an. Verschieben Sie gegebenenfalls die Linse (**d**), bis das Licht parallel verläuft und die Linse (**f**) möglichst genau ausleuchtet.
- Montieren Sie den Prismenstisch (**e**) und verschieben Sie die Linse (**f**), bis die Tischoberfläche in der gewünschten Entfernung auf der Projektionsfläche scharf abgebildet wird.
- Positionieren Sie nun die Polarisationsfilter (**b**) und (**h**) sowie die $\lambda/4$ -Plättchen (**c**) und (**g**).

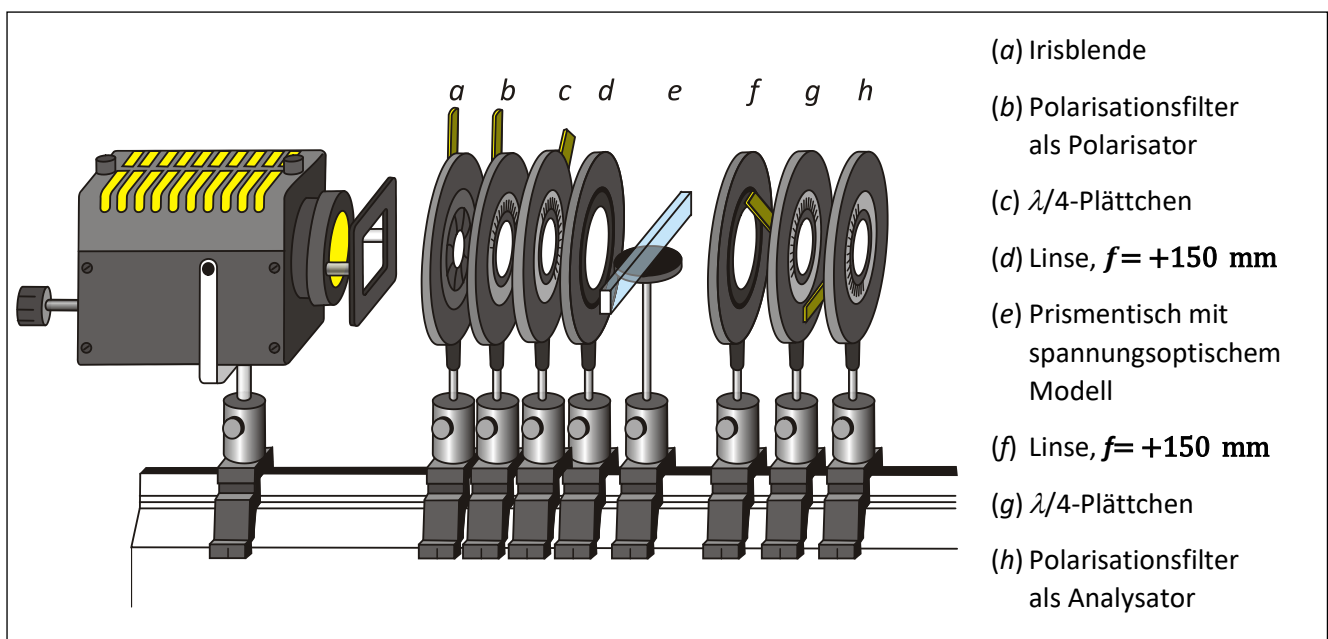


Bild 8: Versuchsaufbau auf der optischen Bank

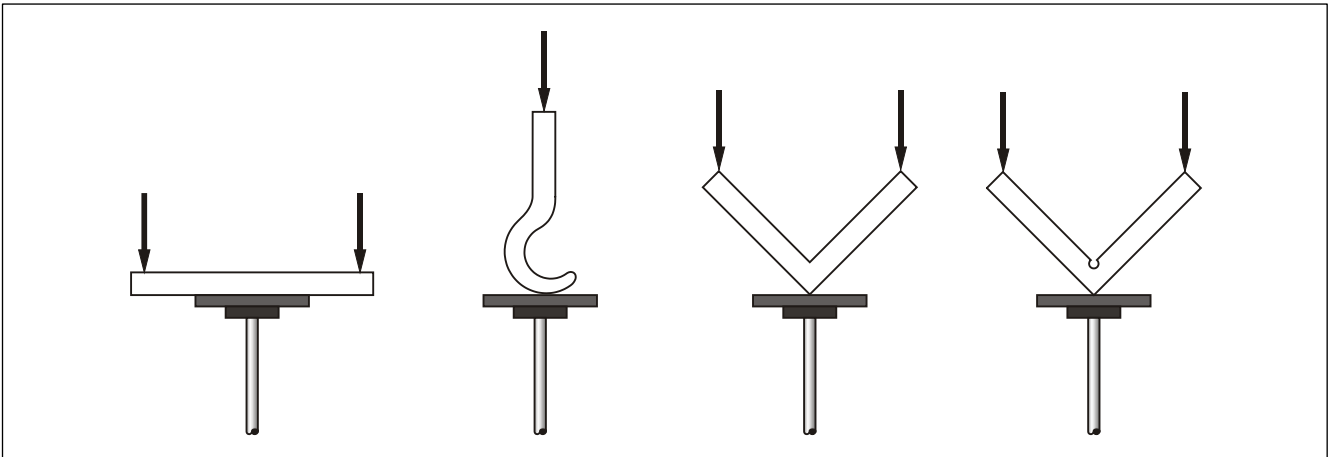


Bild 9: Hinweis zur mechanischen Beanspruchung der Kunststoffmodelle

Beleuchtung mit linear polarisiertem Licht:

- Nehmen Sie die $\lambda/4$ -Plättchen **(c)** und **(g)** wieder heraus. Stellen Sie den Polarisator **(b)** mit der Polarisationsrichtung $\varphi_P = +45^\circ$ und den Analysator **(h)** mit Polarisationsrichtung $\varphi_A = -45^\circ$ in einem Abstand von **ca. 12 cm** von den Linsen entfernt in den Strahlengang ($\Delta\varphi = 90^\circ$).
- Verbiegen Sie von Hand die spannungsoptischen Modelle nacheinander auf dem Prismenteller und beobachten Sie das Schirmbild (**Bild 9** enthält Hinweise zur Anordnung der Modelle).
- Stellen Sie die Polarisationsrichtungen von Polarisator und Analysator um den gleichen Winkel beginnend bei $\Delta\varphi = 90^\circ, 60^\circ, 30^\circ$ und 15° .
- Dokumentieren Sie sich Ihre Beobachtungen.

Beleuchtung mit zirkular polarisiertem Licht:

- Drehen Sie die Polarisationsrichtung, in dem Sie den Polarisator auf $\varphi_P = 0^\circ$ und den Analysator auf $\varphi_A = -90^\circ$ stellen.
- Bringen Sie je ein $\lambda/4$ -Plättchen **(c)**, **(g)** zwischen Linse und Polarisationsfilter in den Strahlengang.
- Drehen Sie die Ausrichtung des $\lambda/4$ -Plättchens **(c)** auf $\varphi_{\lambda 1} = 45^\circ$ und die des $\lambda/4$ -Plättchens **(g)** auf $\varphi_{\lambda 2} = -45^\circ$ ($\Delta\varphi_\lambda = 90^\circ$).
- Verbiegen Sie von Hand die spannungsoptischen Modelle nacheinander auf dem Prismenteller und beobachten Sie das Schirmbild (**Bild 9** enthält Hinweise zur Anordnung der Modelle).
- Stellen Sie die $\lambda/4$ -Plättchen um den gleichen Winkel beginnend bei $\Delta\varphi = 90^\circ, 60^\circ, 30^\circ$ und 15° .
- Dokumentieren Sie sich Ihre Beobachtungen.

Zusatz

Was passiert bei Folgenden Einstellungen:

Polarisator φ_P	Analysator φ_A	$\lambda/4$ -Plättchen $\varphi_{\lambda 1}$	$\lambda/4$ -Plättchen $\varphi_{\lambda 2}$
90°	0°	45°	-45°
90°	-90°	45°	-45°
0°	0°	45°	-45°
0°	0°	45°	-30°
0°	0°	45°	0°
0°	0°	45°	30°

2.3 Versuchsauswertung

Aufgabe 1: Messung der Lichtintensität des linear polarisierten Lichtes in Abhängigkeit von der Analysatorstellung unter Verwendung eines Polarisationsapparates nach **Bild 3**.

- Die angezeigte Spannung ist direkt proportional der durch den Analysator hindurchgehenden Lichtintensität. Auf Grund dieser Tatsachen stellen Sie in einem Diagramm die Funktion

$$\frac{U(\varphi)}{U_{\max}} = f(\varphi)$$

$U(\varphi)$: Spannung beim Winkel φ

$U_{\max}$: Spannung beim Winkel $\varphi=0^\circ$

graphisch dar.

- Weisen Sie das Gesetz von Malus nach Gleichung (2) mittels einer graphischen Darstellung der Funktion

$$\frac{U(\varphi) - U(\varphi = 90^\circ)}{U_{\max}} = f(\cos^2 \varphi)$$

$U(\varphi = 90^\circ)$: Spannung bei $\varphi=90^\circ$ (bzw. -90°), verursacht durch eine unvollständige Polarisation.

nach.

- Zeichnen Sie die Regressionsgeraden ein und bestimmen Sie die Anstiege.
- Tragen Sie die Fehlerbalken ein und schließen Sie aus der linearen Darstellung auf die Messunsicherheit.
- Diskutieren Sie die Ergebnisse.

Aufgabe 2: Untersuchung der Polarisation in Abhängigkeit von den Parametern der Winkeleinstellung eines $\lambda/4$ -Plättchens

- Stellen Sie die Messwerte in einem Diagramm der Funktion

$$\frac{U(\varphi)}{U_{\max}} = f(\varphi)$$

mit der Winkelstellung des $\lambda/4$ -Plättchens als dem Parameter graphisch dar.

- Zu welcher Schlussfolgerung kommen Sie? Diskutieren Sie das Ergebnis.

3. Ergänzung

3.1 Technische Anwendungen der Doppelbrechung

Substanzen, die von Natur aus nicht doppelbrechend sind, können unter der Wirkung äußerer Felder (*mechanische Spannungen, elektrische und magnetische Felder*) Doppelbrechung zeigen.

3.1.1 Spannungsdoppelbrechung

Gläser und Kunststoffe werden infolge mechanischer Spannungen doppelbrechend. So vergrößert sich z.B. in einem auf Zug beanspruchten Glasstab der Abstand der Atome in Längsrichtung, wodurch sich

der Brechungsindex vermindert. Quer zur Zugrichtung wird infolge der Querkontraktion der Atomabstand reduziert und dementsprechend der Brechungsindex vergrößert. Der Stab wird also doppelbrechend wie ein positiv einachsiger Kristall mit der optischen Achse in der Beanspruchungsrichtung.

Zur experimentellen Untersuchung des ebenen Spannungszustandes in mechanisch belasteten Bauteilen stellt man ein Modell des Bauteils aus Kunststoff her. Bringt man dieses Modell zwischen gekreuzte Polarisationsfolien, dann wird das an sich schwarze Gesichtsfeld infolge der Spannungsdoppelbrechung aufgehellte (*Das Licht wird elliptisch polarisiert*). Dabei schwingen ordentlicher und außerordentlicher Strahl in den Hauptspannungsrichtungen. Nach Durchlaufen des Modells besteht ein Gangunterschied zwischen den Teilstrahlen, der proportional ist zur Differenz der Hauptspannungen.

Alle Orte, bei denen die Hauptspannungsrichtungen mit den Schwingungsrichtungen von Polarisator und Analysator übereinstimmen, erscheinen schwarz, da hier kein elliptisches Licht entsteht. Auf diese Weise entstehen im Bild dunkle Linien, die Isoklinen, die Punkte gleicher Hauptspannungsrichtung verbinden. Bei Verwendung von weißem Licht entstehen als Isochromaten bezeichnete farbige Linien. Sie kennzeichnen Orte mit gleicher Hauptspannungsdifferenz oder Hauptschubspannung.