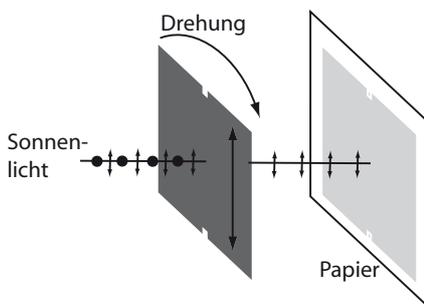


### Versuche und Aufgaben zur Polarisation: mögliche Lösungen

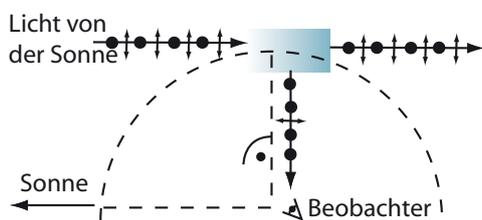
#### Versuch 1

- a) Licht zeigt Eigenschaften einer Transversalwelle, weil Polarisation festzustellen ist. Beobachtet man Licht durch einen Linearpolarisator, der gedreht wird, stellt man eine Helligkeitsveränderung fest. Dies zeigt an, dass es zumindest teilweise polarisiert ist. Dazu gehört das Licht der spiegelnden Fensterscheibe, des LCD-Bildschirms, des blauen Himmels in bestimmten Richtungen. Beim Licht von LED, Glühbirne und das von der Wand gestreute Licht, sowie beim direkten Sonnenlicht ist keine Vorzugsrichtung der Polarisation festzustellen.
- b) Sehr helles Licht, wie das direkte Licht der Sonne, kann durch einen Polfilter hindurch auf ein Blatt Papier dringen (s. **Abb. 3**). Da beim Drehen keine Helligkeitsveränderung auf dem Blatt zu sehen ist, existiert keine Vorzugsrichtung der Polarisation.



**3** | Beobachtung der Sonne: Doppelpfeile zeigen die Polarisation an. Die Punkte zeigen eine Polarisation senkrecht zur Ebene des Zeichenblattes an.

- c) Das reflektierte Licht an der Fensterscheibe ist zumindest teilweise quer zur Ausfallsebene des Lichtes polarisiert. Bei LCD-Bildschirmen ist die Polarisationsrichtung häufig diagonal. Das blaue Himmelslicht ist in dem Bereich, der im rechten Winkel zur Sonne steht, teilweise wie in **Abbildung 4** dargestellt polarisiert.



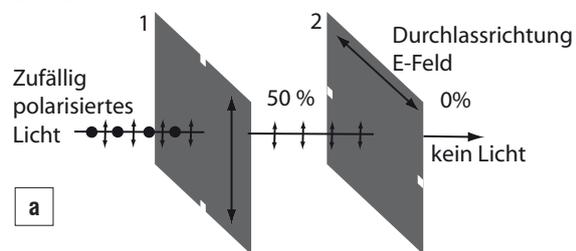
**4** | Polarisationsrichtung des blauen Himmels

#### Versuch 2

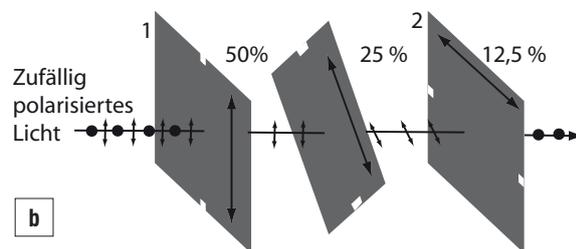
- a) Das von der Wand reflektierte Licht, das keine Vorzugsrichtung bei der Polarisation hat, kann mit einem Polfilter linear polarisiert werden. Die Intensität hinter dem ersten

Polfilter ist geringer als davor (Theoretisch würde man die halbe Intensität erwarten, eine Messung ergäbe aber etwas weniger. Dies liegt daran, dass auch ein gewisser Anteil in Durchlassrichtung absorbiert wird.) Ein zweiter Polfilter dahinter „siebt“ nun das linear polarisierte Licht erneut und lässt nur „die Komponenten in Durchlassrichtung hindurch. Ob Sie den vorderen oder den Polfilter dahinter drehen, spielt letztlich keine Rolle.

- b) Bei um  $90^\circ$  gekreuzten Polfiltern dringt kein Licht hindurch (s. **Abb. 5a**). Je kleiner der Winkel der beiden Durchlassrichtungen der Plättchen nun zueinander wird, desto mehr Licht dringt hindurch. (Dies lässt sich mit dem Malus'schen Gesetz auch mathematisch fassen: Das Verhältnis der Intensitäten von durchgelassenem zu eingestrahlem Licht ist gleich dem Kosinusquadrat des eingeschlossenen Winkels.)
- c) Wird ein dritter Polfilter zwischen die beiden gestellt, so dreht dieser die Polarisationsrichtung des ersten und lässt eine gewisse Menge hindurch (s. **Abb. 5b**). Der dahinter stehende Polfilter lässt wieder eine gewisse Menge hindurch, sodass Licht durch die Gesamtanordnung dringen kann. (Stehen alle drei Filter im Winkel von  $45^\circ$  zueinander, so beträgt die Intensität rechnerisch nach Malus noch ein Achtel der Ursprünglichen. Würde man messen, wäre sie aber aus den oben genannten Gründen wieder etwas geringer.)



**a**

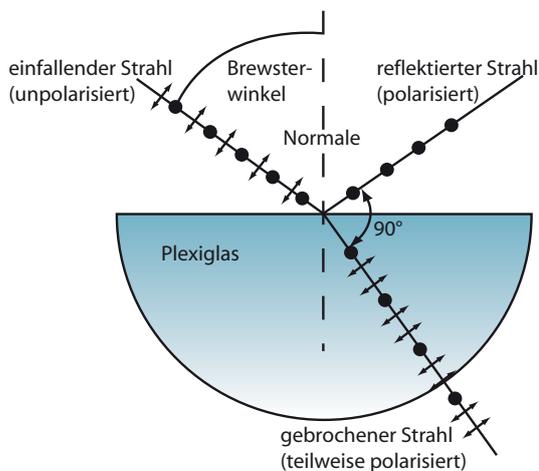


**b**

**5** | Skizze mit zwei bzw. drei Polfiltern, die a) um  $90^\circ$  bzw. b) um jeweils  $45^\circ$  gegeneinander verdreht sind

#### Versuch 3

- a) Der an transparenten Medien reflektierte Strahl ist unter dem Brewsterwinkel vollständig senkrecht zur Ausfallsebene polarisiert (s. **Abb. 6**). Dieser Winkel beträgt bei Plexiglas circa  $56^\circ$ , gemessen zur Normalen.

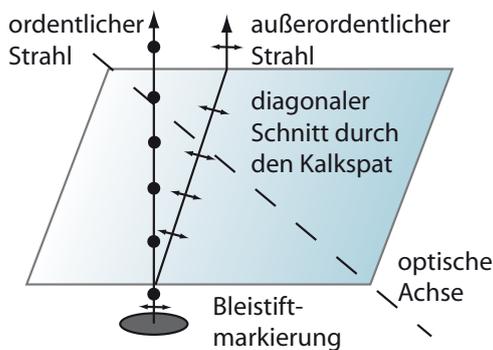


6 | Skizze zur Reflexion unter dem Brewsterwinkel

- b) Das reflektierte Licht ist quer zur Einfallsebene polarisiert. Das transmittierte Licht ist teilweise parallel zur Einfallsebene polarisiert. Zwischen gebrochenem und transmittiertem Strahl ist ein rechter Winkel.

#### Versuch 4

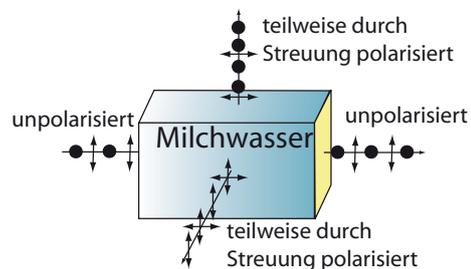
- a) Es werden zwei Kreisscheiben im gleichen Grau sichtbar. Dort, wo sie sich überschneiden, erscheint annähernd die ursprüngliche Farbe der Kreisscheiben. (Die Intensität beider Lichtbündel ist also gerade halbiert.) Eine Kreisscheibe erscheint fest, die andere Kreisscheibe scheint sich um die erste zu drehen. Dabei ist die drehende Kreisscheibe in Richtung der „spitzen“ Ecke des Kalkspates orientiert.
- b) Bei aufgelegtem Polfilter verschwinden die Kreisscheiben abwechselnd bei einer Drehung um  $90^\circ$ . Sie sind also gerade senkrecht zueinander polarisiert. Das von der Kreisscheibe ausgehende Licht wird beim Durchgang durch den Kalkspat in zwei Strahlenbündel aufgespalten (s. **Abb. 7**). Eines verläuft gerade (ordentlicher Strahl) und zeigt das Bild einer festen Kreisscheibe. Das zweite (außerordentlicher Strahl) rotiert beim Drehen des Kalkspates.



7 | Kalkspat in einem Schnitt parallel zur „optischen Achse“

#### Versuch 5

- a) Vorwiegend der blaue Anteil des Mischlichts wird senkrecht zur Ausbreitungsrichtung herausgestreut, deshalb erscheint es quer zur Ausbreitungsrichtung bläulich. Das durchgelassene Licht erscheint in der Komplementärfarbe gelblich.
- b) Das durchgelassene Licht ist nicht in einer Vorzugsrichtung polarisiert. Das quer zur Ausbreitungsrichtung gestreute blaue Licht ist teilweise polarisiert, wobei die Richtung quer zur ursprünglichen Ausbreitungsrichtung ist (s. **Abb. 8**). Allerdings ist die Polarisation nicht vollständig. Das erkennt man daran, dass immer Restlicht durch den Polfilter dringt.



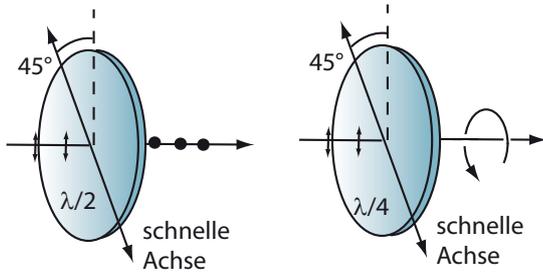
8 | Streuung an durch Milch getriebenem Wasser

- c) Dieser Versuch ist analog zur Beobachtung des Himmelslichts. Auch dort erscheint der wolkenlose Himmel, insbesondere im Bereich senkrecht zur Sonne, in der gleichen Richtung wie im Versuch polarisiert. (Wenn Sie statt der Glaswanne eine Plexiglaswanne verwendet hätten, dann würden Sie in der Regel bei der Betrachtung mittels Polfilter noch Farben durch Spannungsoptik wahrnehmen können (siehe **Versuch 7**).

#### Versuch 6

- a) Eine  $\lambda/2$ -Folie dreht die Polarisationsrichtung des linear polarisierten Lichtes um den doppelten Winkel, den die „schnelle Achse“ der  $\lambda/2$ -Folie mit der Polarisationsrichtung des linear polarisierten Lichtes einnimmt. Liegt die „schnelle Achse“ der  $\lambda/2$ -Folie im  $45^\circ$  Winkel zur Durchlassrichtung, ist die Polarisationsrichtung um  $90^\circ$  gegen die ursprüngliche gedreht. Allerdings ist das transmittierte Licht etwas gefärbt. (Bei gekreuzten Polfiltern mit der Farbe, für welche die Verschiebung gerade eine halbe Wellenlänge ist und bei ziemlich geringer Intensität mit der Komplementärfarbe dazu bei parallelen Polfiltern. Eine vollständige Auslöschung wird nur bei monochromatischem Licht der „richtigen“ Wellenlänge erreicht.)
- b) Die „schnelle Achse“ der  $\lambda/4$ -Folie muss  $45^\circ$  gegen die Polarisationsrichtung des einfallenden linear polarisierten Lichtes verdreht sein (s. **Abb. 9**). Es entsteht zirkular polarisiertes Licht. Dies kann man überprüfen, indem ein

nachgeschalteter linearer Polfilter bei Drehung keine Helligkeitsveränderung bewirkt. (Alle anderen Winkel ergeben elliptisch polarisiertes Licht. Wird danach ein linearer Polfilter geschaltet, so ist die Intensität des durchgelassenen Lichts am größten, wenn dieser in Richtung der großen Halbachse des elliptisch polarisierten Lichts ausgerichtet ist. Senkrecht dazu ist sie am kleinsten.)

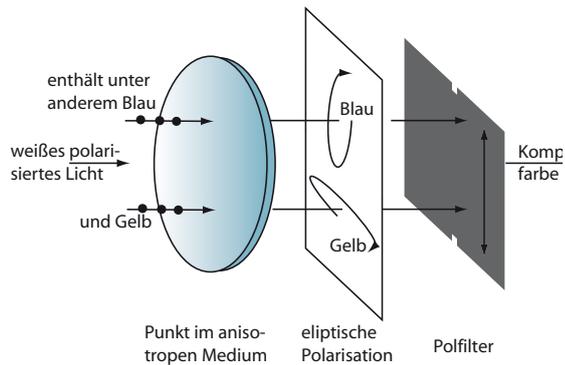


9 | Phasenschieberfolien jeweils mit der schnellen Achse um 45° gegen die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts verdreht

**Versuch 7**

An jedem Ort des durchdrungenen Materials erfährt jede Wellenlänge des linear polarisierten Lichts eine etwas andere Phasenverschiebung der Komponenten gegeneinander. Es entsteht in der Regel elliptisch polarisiertes Licht (s. **Abb. 10**), wobei die Ellipsen jeweils unterschiedliche Orientierungen haben und diese unterschiedlich gestaucht sind. Vereinfacht gesagt, wird die Polarisationsrichtung abhängig von Ort und

Wellenlänge gedreht. Der zweite lineare Polfilter ist nun für Licht bestimmter Wellenlängen besonders durchlässig, wenn dessen große Halbachse parallel zu der Durchlassrichtung des Polfilters steht, und besonders undurchlässig, wenn die kleine Halbachse parallel zu seiner Durchlassrichtung ist. Dementsprechend werden an jedem Ort bestimmte Farben mehr oder weniger ausgefiltert. Übrig bleiben an dieser Stelle die Komplementärfarben der am stärksten gefilterten Farben. Da an jedem Ort die Phasenverschiebungen andere Werte annehmen, bildet sich ein mehrfarbiges Muster, abhängig von der jeweiligen Situation am Ort.



10 | Prinzip der Farbentstehung in einem Punkt

**Versuch 8**

Siehe Artikel auf S. 38–40.