

Polarisation von Licht

Thomas Karl Gaßner

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Was ist Licht?	1
1.2	Was ist Polarisation?	2
2	Drei Arten von Polarisation	3
2.1	Lineare Polarisation	3
2.2	Zirkulare Polarisation	3
2.3	Elliptische Polarisation	3
3	Erzeugung von Polarisation	4
3.1	Streuung	4
3.2	Reflexion	6
3.3	Doppelbrechung	7
3.4	Dichroismus	9
4	Drehung der Polarisationsebene	10
4.1	Drehung der Polarisationsebene in einem Festkörper	10
4.2	Drehung der Polarisationsebene in einer Lösung	11
5	Spannungsoptik	12
5.1	Linearpolariskop, Dunkelfeldanordnung, monochromatisches Licht	13
5.2	Linearpolariskop, Dunkelfeldanordnung, polychromatisches Licht	15
5.3	Zirkularpolariskop, Dunkelfeldanordnung, polychromatisches Licht	15
5.4	Dreidimensionale Spannungsanalyse	16
6	Weitere Anwendungen	17
6.1	Saccharimetrie	17
6.2	Fotografie	18
6.3	3D-Kino	18
6.4	LCD - Liquid Crystal Devices	19
6.5	Warum ist der Himmel blau?	20

1 Einleitung

1.1 Was ist Licht?

Die ersten Theorien zur Beschreibung des Lichts und seiner Ausbreitung gehen auf Sir Isaac Newton (1629-1695) und Christian Huygens (1643-1727) zurück. Während Newton in seiner Korpuskeltheorie (auch Emissionstheorie) die Ausbreitung des Lichts durch die Bewegung kleiner Teilchen (Korpuskeln) zu erklären versuchte, ging Huygens von einer Ausbreitung als Welle aus. Durch das Doppelspaltexperiment von Thomas Young (1773-1829) und durch die Erkenntnis von James Clark Maxwell (1831-1879), dass Licht eine elektromagnetische Welle ist, sowie durch den experimentellen Nachweis von Heinrich Hertz (1857-1864), wurde die Wellentheorie untermauert.

Jedoch blieben noch einige Probleme ungelöst, wie jenes des photoelektrischen Effekts, welches nicht mit der Wellentheorie zu lösen war.

So entstand eine neue Sichtweise, die durch die Quantenhypothese von Max Planck (1858-1947) und Albert Einstein (1879-1955) begründet wurde. Kernpunkt dieser Hypothese ist der Welle-Teilchen-Dualismus, der das Licht nicht mehr ausschließlich als Welle oder ausschließlich als Teilchen beschreibt, sondern als Quantenobjekt. Vereinfacht heißt das, dass das Licht aus Teilchen (Photonen) besteht, deren Aufenthaltswahrscheinlichkeit durch eine Wellenfunktion angegeben wird. Somit können Effekte, die eine Teilchennatur beziehungsweise jene die eine Wellennatur des Lichts voraussetzen, erklärt werden.

1.2 Was ist Polarisation?

Licht ist eine elektromagnetische Welle, somit transversal und daher polarisierbar. Als elektromagnetische Welle bezeichnet man eine Welle aus gekoppelten elektrischen und magnetischen Feldern, die jeweils immer in Phase und senkrecht zueinander schwingen. Die aufgespannte Ebene des elektrischen Feldvektors \vec{E} gibt die Schwingungsebene, die des magnetischen Feldvektors \vec{B} die Polarisationssebene¹, jeweils in Ausbreitungsrichtung \vec{k} an. Eine Transversalwelle schwingt normal zur Ausbreitungsrichtung.

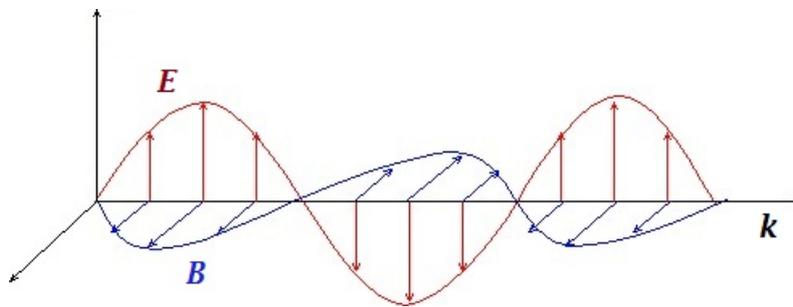


Abbildung 1: schematische Darstellung von polarisiertem Licht

Die Polarisation einer Transversalwelle beschreibt die Richtung ihrer Schwingung, d.h. sie hat eine klar definierte Schwingungsebene. Ändert sich diese Richtung schnell und ungeordnet ist die Welle unpolarisiert.

Longitudinalwellen, Wellen die in Ausbreitungsrichtung schwingen, sind nicht polarisierbar.

¹Eine eindeutige Begriffstrennung ist aber nicht gegeben, da die beiden Ebenen ohnehin immer senkrecht zueinander stehen. Im Weiteren werden wir uns nur auf \vec{E} beziehen.

2 Drei Arten von Polarisation

2.1 Lineare Polarisation

Von linear-polarisiertem Licht spricht man, wenn der elektrische Feldvektor in einer festen Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingt. Man kann jede elektromagnetische Strahlung als Überlagerung von unterschiedlichen linear-polarisierten Wellen auffassen.

2.2 Zirkulare Polarisation

Zirkular-polarisiertes Licht kann man als zwei, sich überlagernde Wellenzüge gleicher Amplitude, deren Polarisierungsebenen aufeinander senkrecht stehen und die gegeneinander eine Phasenverschiebung von $\pi/2$ aufweisen, betrachten. Sie pflanzen sich als eine Welle fort, wobei die Spitze des elektrischen Feldvektors eine Kreisbahn beschreibt. Die Richtung des elektrischen Feldvektors rotiert um die Ausbreitungsrichtung. Es gibt also keine bevorzugte "ruhende" Ebene. Zusätzlich wird jeweils zwischen links- und rechts-zirkular-polarisiert unterschieden, d.h die Richtung, in welche sich die Spitze des elektrischen Feldvektors bewegt, wird angegeben. Die Welle bewegt sich auf den Beobachter zu.

2.3 Elliptische Polarisation

Der allgemeinste Fall ist jener des elliptisch-polarisierten Lichts. Sowohl linear als auch zirkular polarisiertes Licht sind Spezialfälle des elliptisch polarisierten Lichtes. Elliptisch polarisiertes Licht erhält man allgemein durch Überlagerung zweier senkrecht zueinander linear-polarisierter Wellen mit unterschiedlichen Amplituden, die gegeneinander zwischen 0 und $\pi/2$ phasenverschoben sind. Der elektrische Feldvektor ändert sowohl den Betrag als auch die Richtung periodisch mit der Frequenz. Die Spitze des elektrischen Feldvektors rotiert dabei um die Ausbreitungsrichtung und beschreibt eine Ellipse. Auch hier kann wieder von links- und rechts-elliptisch-polarisiert unterschieden werden.

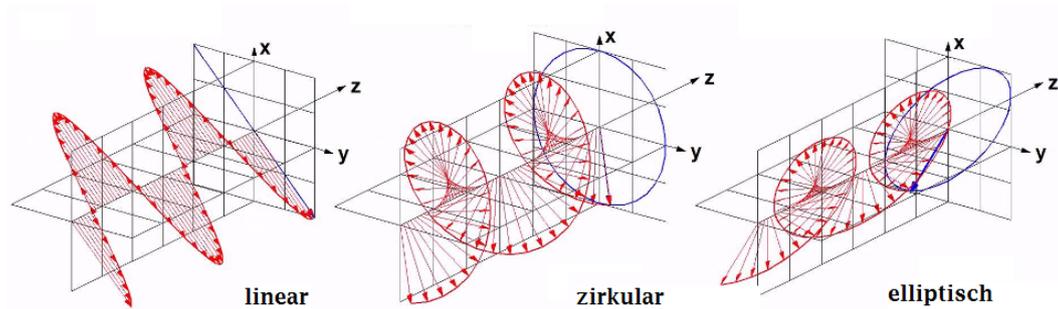


Abbildung 2: Polarisationszustände

3 Erzeugung von Polarisation

3.1 Streuung

Natürliches Licht wird gestreut, wenn es auf Moleküle oder auf dielektrische Teilchen² trifft, deren Durchmesser klein gegenüber der Wellenlänge ist. Bei dem Streuprozess werden die Teilchen (Elektronen) zu Dipolschwingungen angeregt. Dadurch strahlen diese Teilchen wiederum Licht derselben Frequenz ab. Weil es sich hierbei um einen stimulierten Prozess handelt, entspricht die Schwingungsachse der Dipole der Feldrichtung des einfallenden Lichtes. Bei natürlichem Licht ist die Feldrichtung willkürlich, so dass wir Dipolschwingungen mit beliebiger Richtung senkrecht zur Einfallsrichtung des Lichtes vorfinden. So erhält man auf Grund der Streuung immer linear polarisiertes Licht mit einer Polarisationsrichtung senkrecht auf die Einfallsrichtung.

²Als Dielektrikum wird jede elektrisch schwach- oder nichtleitende, nichtmetallische Substanz bezeichnet, deren Ladungsträger im Allgemeinen nicht frei beweglich sind.

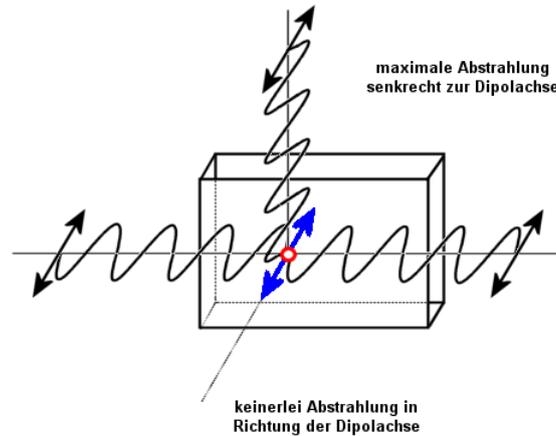


Abbildung 3: schematische Darstellung der Streuung

Das abgestrahlte Licht ist (teilweise-)linear polarisiert, jenes, senkrecht zur Einfallrichtung von unpolarisiertem Licht abgestrahlte Streulicht, ist zu 100 % linear polarisiert.

Dipole strahlen entlang der Schwingungsachse nicht ab während das Maximum der Abstrahlung senkrecht zur Dipolachse erreicht wird.

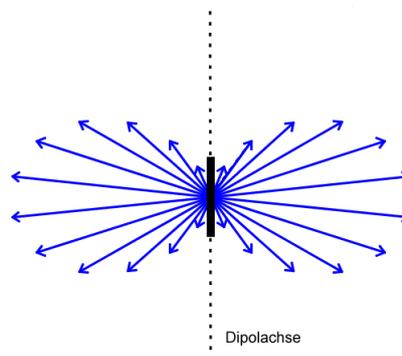


Abbildung 4: strahlender Dipol

Wie stark der Streuprozess eines Teilchens ist, hängt stark von der Frequenz ab.

3.2 Reflexion

Ein Lichtstrahl der auf ein durchsichtiges, dielektrisches Medium trifft, wird zum Teil in dieses hineingebrochen, zum anderen Teil reflektiert. Stehen reflektierter und gebrochener Strahl von unpolarisiertem Licht senkrecht aufeinander, so ist der reflektierte Strahl vollständig und senkrecht zur Einfallsebene polarisiert. Dies ergibt sich bei einem bestimmten Einfallswinkel, dem Brewster-Winkel α_B , welcher von den Brechungsindizes der beiden Materialien, an deren Grenzfläche die Brechung beziehungsweise Reflexion stattfindet, abhängt.

Definiert wird der Brewster-Winkel im Brewster'schen Gesetz:

$$\begin{aligned}\beta &= 90^\circ - \alpha \\ \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} &= \frac{n_2}{n_1} \\ \frac{\sin \alpha}{\sin (90^\circ - \alpha)} &= \frac{n_2}{n_1} \\ \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} &= \frac{n_2}{n_1} \\ \tan \alpha &= \frac{n_2}{n_1}\end{aligned}$$

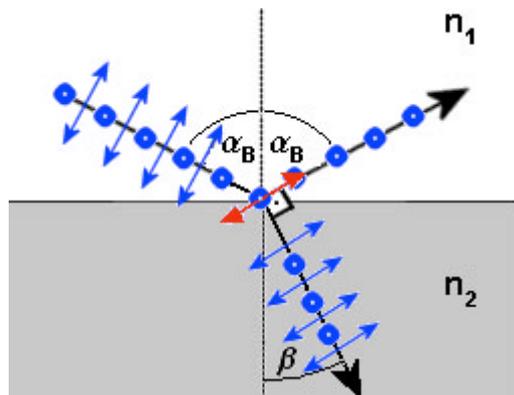


Abbildung 5: einfallendes, unpolarisiertes Licht im Brewster-Winkel

Der reflektierte Strahl von unpolarisiertem Licht, welches nicht im Brewster-Winkel einfällt, ist dabei nur teilweise linear polarisiert während der gebrochene immer teilweise polarisiert ist.

Fällt parallel zur Einfallsebene linear polarisiertes Licht unter α_B ein, wird kein Licht reflektiert. Der eintreffende, parallel zur Einfallsebene polarisierte Lichtstrahl regt die Atome des Materials zum Schwingen an. Es entsteht dadurch eine Ansammlung von atomaren Dipolen, die in Polarisationsrichtung schwingen. Nach dem optischen Reflexionsgesetz wird der Strahl unter dem Einfallswinkel reflektiert (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).

Wenn der gebrochene Strahl auf dem reflektierten senkrecht steht, findet keine Reflexion statt, da Dipole keine Strahlung parallel zu ihrer Schwingungsachse aussenden.

3.3 Doppelbrechung

Es gibt optisch isotrope³ und anisotrope⁴ Medien. Das Brechungsgesetz von Snellius beispielsweise gilt nur für isotrope Medien, in denen die Lichtgeschwindigkeit in allen Richtungen gleich ist.⁵

Die meisten Kristalle (z.Bsp.: Kalkspat) sind anisotrop aufgrund ihrer Kristallstruktur.

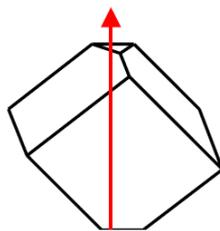


Abbildung 6: Optische Achse

³isotrop = Eigenschaft von der Richtung unabhängig

⁴anisotrop = Eigenschaft von der Richtung abhängig

⁵z.B. in Gasen, den meisten homogenen Flüssigkeiten oder festen Körpern, die amorph sind.

Man erkennt, dass um die eingezeichnete Achse eine hohe Symmetrie herrscht. Diese Achse hoher Symmetrie ist somit als optische Achse zu betrachten, wobei es aber mehrere solcher Achsen geben kann. Zu beachten ist, dass diese Achsen bei Kristallen durch die Anordnung der Atome im Kristallgitter vorgegeben und nicht physisch durch die Ecken gegeben sind.

Breiten sich Lichtwellen entlang der optischen Achse aus, ist der Brechungsindex aufgrund der Symmetrie nicht von ihrer Polarisationsrichtung abhängig. Bei Lichteinfall parallel zur optischen Achse des Kristalls tritt also keine Doppelbrechung auf.

In allen Ausbreitungsrichtungen, die nicht mit dieser optischen Achse zusammenfallen, ist die Lichtgeschwindigkeit von der Polarisationsrichtung des Lichtes abhängig. Einfallendes Licht wird in diesem Fall in zwei vollständig linear polarisierte Wellen aufgespalten, deren Schwingungsebenen senkrecht aufeinander stehen.

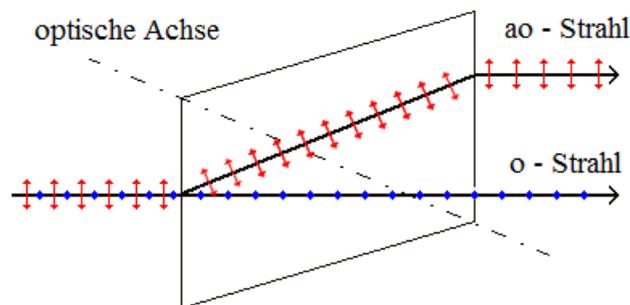


Abbildung 7: Polarisation bei Doppelbrechung

Es ist notwendig, sich das einfallende Licht aus zwei senkrecht zueinander stehenden, linear polarisierten Komponenten zusammengesetzt zu denken. Die eine Komponente schwingt im so genannten Hauptschnitt, der durch die optische Achse und die Ausbreitungsrichtung des einfallenden Strahls aufgespannte Ebene definiert wird. Die andere Komponente schwingt senkrecht dazu. Letztere geht bei Einfall im rechten Winkel zur Kristalloberfläche senkrecht durch den Kristall hindurch und wird als ordentlicher Strahl bezeichnet. Erstere hingegen ändert ihre Richtung. Man kann sich diese Komponente an

der Eintrittsstelle in den Kristall als sich in alle Richtungen im Kristall ausbreitende Welle, als Elementarwelle, vorstellen. Da der Brechungsindex des Kristalls je nach Ausbreitungsrichtung der Welle variiert, hat die Summe der Elementarwellen die Ausbreitungsform eines Rotationsellipsoids, dessen eine Achse die optische Achse ist. Die zweite Komponente wird also in Richtung der optischen Achse abgelenkt. Sie wird als außerordentlicher Strahl bezeichnet.

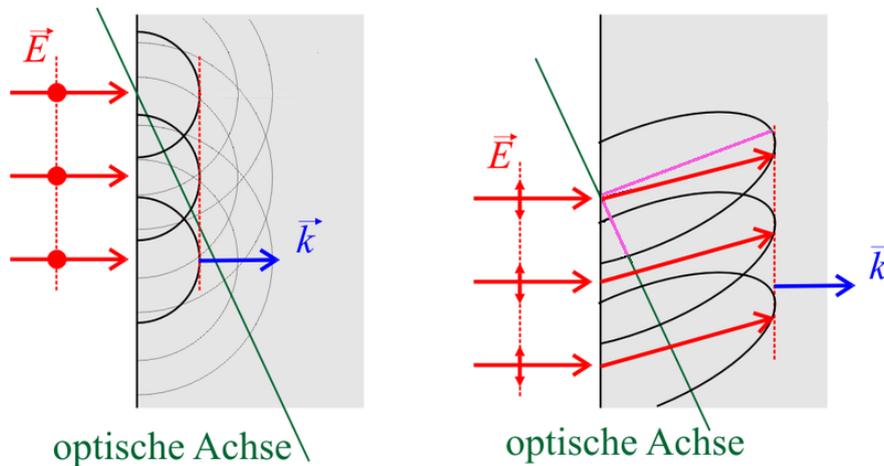


Abbildung 8: Schematische Ausbreitung der Komponenten

3.4 Dichroismus

Als Dichroismus wird die Eigenschaft bezeichnet, Licht in Abhängigkeit von der Polarisation unterschiedlich stark zu absorbieren. Dichroistische Polarisation erfolgt also durch Absorption von Wellen bestimmter Polarisationsrichtung.

Sie kann durch drei Arten absorbierender Materialien hervorgerufen werden. Die natürlichste Methode stellt die Polarisation durch dichroistische Kristalle wie beispielsweise Turmalin dar. Aufgrund des Aufbaus des Kristalls werden beim Eintreffen einer Welle Elektronen in Bewegung versetzt. Dies geschieht durch eine der beiden linear polarisierten Komponenten der Welle. Hierbei geht die Energie jener bestimmten Komponente durch Reibungsverluste verloren. Die Energie der anderen Komponente wird nur schwach absorbiert,

sodass eine linear polarisierte Welle aus dem Kristall austritt.

Weiters ist es möglich ein Metallgitter mit einer Gitterdichte in der Größenordnung der Wellenlänge einzusetzen. Wie im dichroitischen Kristall können die Elektronen darin nur in eine Richtung Schwingen.

Eine weitere Möglichkeit bietet der Einsatz von Polarisationsfolien. Zu ihrer Herstellung werden einerseits Polymere mechanisch gedehnt und dadurch ausgerichtet. Auf chemischem Wege werden andererseits dichroitische Kristalle oder Farbmoleküle erzeugt, die dann im Polymer ausgerichtet werden. Die eingelagerten Kristalle lagern sich an den Polymerketten an und stellen Ladungsträger zur Verfügung, die in Richtung der Kettenmoleküle beweglich sind, was zur Absorption der dazu parallelen elektrischen Feldkomponente führt.

4 Drehung der Polarisationssebene

Optisch natürlich-aktive Stoffe (z.B. Quarz, Zinnober, Zuckerlösungen, Weinsäure, etc.) haben die Eigenschaft, dass sie die Polarisationssebene drehen. Dieses Drehvermögen wird mit einem Polarimeter gemessen.

4.1 Drehung der Polarisationssebene in einem Festkörper

Bringt man eine Quarzplatte, die senkrecht zu ihrer optischen Achse geschnitten ist, in den Strahlengang zwischen zwei gekreuzte Polarisatoren, so hellt sich das Gesichtsfeld auf. Erneute Dunkelheit wird erreicht, wenn man den Analysator um einen bestimmten Winkel α dreht. Die Quarzplatte hat also die Polarisationssebene des Lichts um den Winkel α gedreht. Die Ursache für das Drehvermögen des Quarzkristalls liegt in seiner schraubenförmigen Kristallstruktur. Sie bewirkt, dass sich rechts und links zirkular polarisiertes Licht im Kristall mit unterschiedlichen Phasengeschwindigkeiten ausbreiten. Linear polarisiertes Licht, das in den Kristall eintritt, lässt sich in eine rechts

und eine links zirkular polarisierte Komponente zerlegt denken. Beide Komponenten breiten sich mit unterschiedlichen Phasengeschwindigkeiten aus. Die Überlagerung der beiden Teilwellen beim Austritt aus dem Kristall ergibt eine linear polarisierte Welle, deren Polarisationsrichtung gegenüber der Ausgangswelle gedreht ist. Der Drehwinkel α ist proportional zur Durchlaufstrecke, zur Kristalldicke d .

$$\alpha = \alpha_s \cdot d$$

α_s wird dabei als spezifisches Drehvermögen bezeichnet. Es ist abhängig von der Temperatur T und der die Wellenlänge λ des Lichts⁶.

4.2 Drehung der Polarisationssebene in einer Lösung

Hier bewirkt die Molekülstruktur des gelösten Stoffes, dass sich rechts und links zirkular polarisiertes Licht in der Lösung mit unterschiedlichen Phasengeschwindigkeiten ausbreitet. Linear polarisiertes Licht, das in die Lösung eintritt, lässt sich wieder in eine rechts und eine links zirkular polarisierte Komponente zerlegt denken. Analog zur optischen Aktivität in Festkörpern sind die Phasengeschwindigkeiten der gedachten Komponenten unterschiedlich groß, was zu einer Drehung der Polarisationssebene zur Folge hat.

Der Drehwinkel α hängt von der Konzentration C des gelösten Stoffes, von der Durchlaufstrecke d des Lichts und vom spezifischen Drehvermögen bzw. von der Molekülstruktur ab.

$$\alpha = \alpha_s \cdot \frac{C}{100} \cdot d$$

Die Molekülstruktur gibt die "Richtung" des Drehwinkels an. Er wird als positiver Wert angegeben, wenn die Polarisationssebene des auf den Betrachter gerichteten Lichts im Uhrzeigersinn gedreht wird (Rechtsdrehung). Eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn, eine Linksdrehung erhält ein negatives Vorzeichen.

⁶deshalb wird bei diesen Methoden monochromatisches Licht verwendet, um möglichst eine genaue Wellenlänge verwenden zu können

Grundsätzlich ist jede optisch aktive Substanz sowohl in einer rechtsdrehenden wie in einer linksdrehenden Modifikation möglich. Gemische aus beiden Modifikationen verringern den Drehwinkel. Ein Gemisch, in dem beide Modifikationen zu gleichen Teilen vorkommen bezeichnet man als *Razemat*⁷ und ist optisch inaktiv.

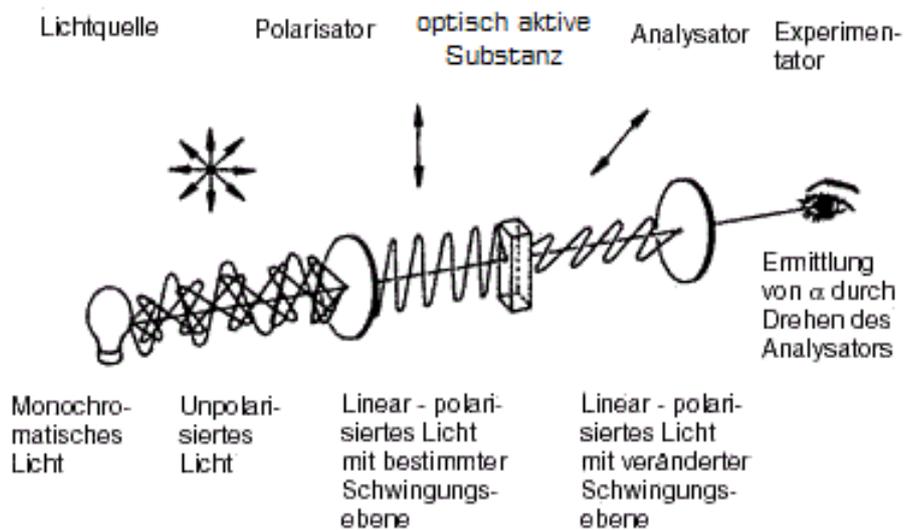


Abbildung 9: schematische Darstellung eines Polarimeters

Optische Aktivität kann aber auch durch anbringen eines Magnetfeldes, eines elektrischen Feldes oder durch mechanische Belastung bei Substanzen hervorgerufen werden, die über keine natürliche optische Aktivität verfügen.

5 Spannungsoptik

Manche Werkstoffe wie z.B. Araldit (Epoxydharz), Plexiglas (PMMA) oder Makrolan zeigen den Effekt der Spannungsdoppelbrechung. Im unbelasteten Zustand sind sie optisch isotrop, bei Beanspruchung jedoch werden sie

⁷Mischung beider Enantiomere einer chiralen Verbindung zu gleichen Teilen

optisch anisotrop. Lichtwellen mit einer Polarisationssebene in Richtung einer Zugspannung haben eine größere, in Richtung einer Druckspannung eine geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit als im unbelasteten Medium. Diesen Effekt nutzt man in der Spannungsoptik aus. Dabei sollte das zu untersuchende Objekt aus einer Platte konstanter Dicke gefertigt sein und einem ebenen Spannungszustand ausgesetzt werden damit die Ergebnisse leichter gedeutet werden können.

5.1 Linearpolariskop, Dunkelfeldanordnung, monochromatisches Licht

Ein Modell aus einer ebenen Platte eines spannungs-doppelbrechenden Materials wird zwischen Polarisator und Analysator gebracht und mit einer Kraft belastet sodass ein ebener Spannungszustand. Die Polarisationsrichtungen von Polarisator und Analysator stehen senkrecht zueinander (Dunkelfeldanordnung). Der Aufbau wird mit monochromatischem Licht durchstrahlt. Auf das Modell trifft also linear polarisiertes Licht einer Wellenlänge. Die Amplitude A des Feldvektors kann nun in zwei senkrecht zueinander stehende Komponenten (A_1 und A_2) in Richtung der beiden Hauptspannungen σ_1 und σ_2 zerlegt werden. Durch die unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit treten die beiden Teilwellen mit einer Phasenverschiebung zueinander wieder aus dem Medium aus. Der Analysator lässt von diesen Teilwellen nur die Komponenten in Polarisationsrichtung (H_1 und H_2) durch. Es gilt nun dass diese beiden Komponenten stets gleich groß und entgegengesetzt sind ($H_1 = H_2$). Diese beiden Komponenten heben sich auf, wenn die Phasenverschiebung Null oder ein ganzzahliges Vielfaches ihrer Wellenlänge beträgt.

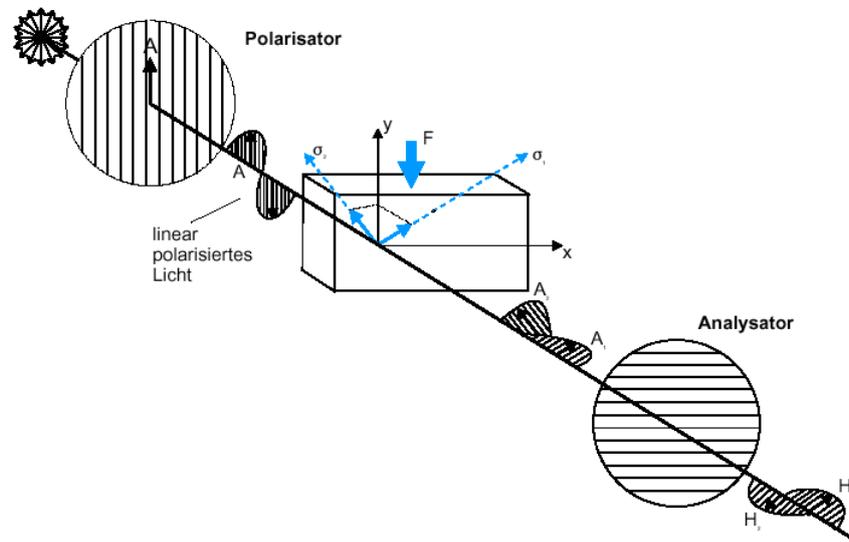


Abbildung 10: schematische Aufbau eines Linearpolariskops

Diese Stellen erscheinen auf der Probe als dunkle Linien, so genannten Isochromaten (Farbgleiche). Zusätzlich erscheinen auf der Probe all jene Stellen dunkel, die keine Spannungsdoppelbrechung erfahren. Das sind neben den Isochromaten nullter Ordnung⁸ all jene Stellen an denen die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts auf eine der Hauptspannungsrichtungen fällt. Diese Linien heißen Isoklinien (Richtungsgleiche). Anahnd der Isochromate kann man auf die absolute Hauptspannungsdifferenz schließen, die für das Versagen des Werkstoffes verantwortlich ist. Mit Hilfe der Isokline kann man auf die Hauptspannungsrichtungen in der Probe schließen. Isokline und Isochromate können bei dieser Methode aber nicht wirklich unterschieden werden.

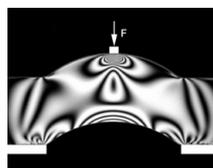


Abbildung 11: resultierende Abbildung eines Linearpolariskops mit monochromatischem Licht

⁸Die Isochromaten Ordnung m ergibt sich aus der spannungsoptischen Grundgleichung

5.2 Linearpolariskop, Dunkelfeldanordnung, polychromatisches Licht

Wird das oben beschriebene Linearpolariskop mit polychromatischem Licht betrieben, dann treten die Auslöschungseffekte für jede Wellenlänge an anderen Stellen der Probe auf. An der Stelle einer Auslöschung einer Farbe erscheint die Komplementärfarbe. Die Isoklinen erscheinen nun als Streifen einer Farbe. Die Isochromate nullter Ordnung und die Isoklinen erscheinen unverändert als dunkle Streifen.

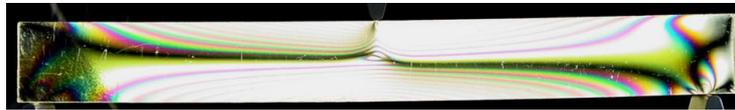


Abbildung 12: resultierende Abbildung eines Linearpolariskops mit polychromatischem Licht

5.3 Zirkularpolariskop, Dunkelfeldanordnung, polychromatisches Licht

Fügt man vor und nach dem Probemodell jeweils eine $\lambda/4$ -Platte ein, so erhält man ein Zirkularpolariskop. Die erste $\lambda/4$ -Platte wird mit ihrer Haupttrichtung um 45° gegenüber der Polarisationsrichtung des Polarisators gedreht angeordnet. So erhält man zirkular polarisiertes Licht. Das zirkular polarisierte Licht, das man sich immer auch als zwei zueinander senkrecht stehende linear polarisierte Komponenten gleicher Wellenlänge und Amplitude mit der Phasenverschiebung von $\lambda/4$ vorstellen kann, trifft auf die zweite $\lambda/4$ -Platte. Diese, um 90° gegenüber der ersten $\lambda/4$ -Platte gedreht, bewirkt, dass die Phasenverschiebung zwischen den Komponenten wieder aufgehoben wird.⁹ Wir erhalten linear polarisiertes Licht, das bei einer Dunkelfeldanordnung nicht durch den anschließenden Analysator treten kann.

⁹Streng genommen ist die $\lambda/4$ nur für eine bestimmte Wellenlänge ausgelegt, der Versuch müsste dann mit monochromatischem Licht betrieben werden. Die $\lambda/4$ -Platte arbeitet aber für den gesamten, letztlich doch kleinen sichtbaren Spektralbereich des Lichts mit brauchbarer Qualität, damit man weißes Licht verwenden kann.

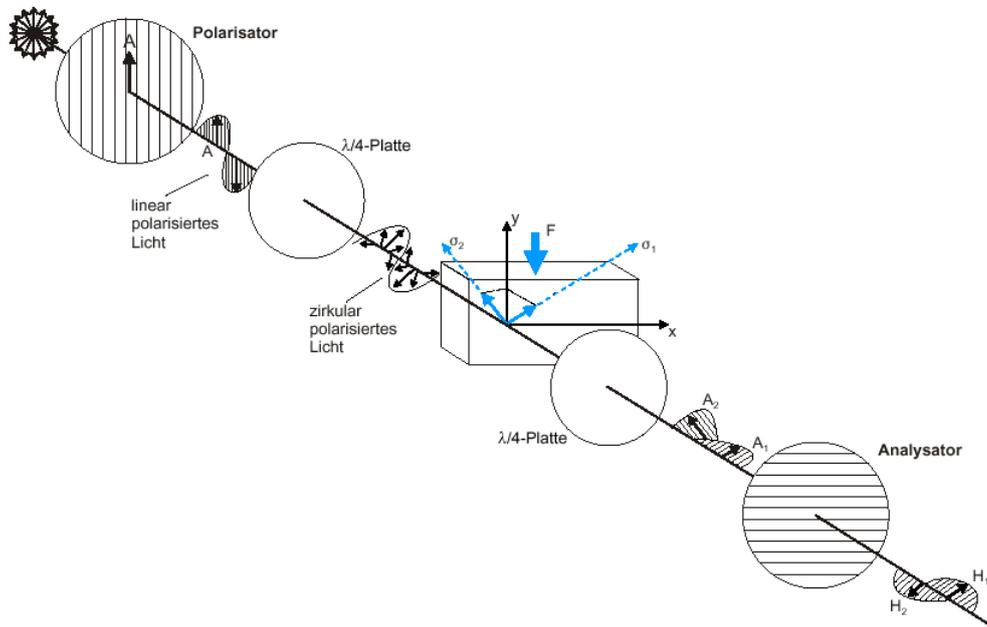


Abbildung 13: schematische Aufbau eines Zirkularpolariskop

Bringt man nun eine belastet spannungsoptische Probe zwischen die $\lambda/4$ -Platten so treten die gleichen Effekte wie im Linearpolariskop auf. Man beobachtet Isochromaten als farbige Streifen. Da jedoch das zirkular polarisierte Licht nicht mehr rein in die Richtung einer Hauptspannung fallen kann, treten keine Isoklinen auf. Ein solches Bild kann bezüglich der Isochromaten besser ausgewertet werden.

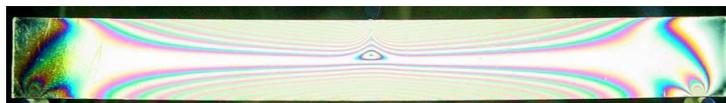


Abbildung 14: resultierende Abbildung eines Zirkularpolariskops mit polychromatischem Licht

5.4 Dreidimensionale Spannungsanalyse

Um räumliche Probleme zu beschreiben, gibt es zwei Verfahren. Bei dem ersten handelt es sich um das Einfrierverfahren. Das dreidimensiona-

le Bauteil wird aus Epoxydharz nachgebaut, entsprechend belastet und dabei langsam erwärmt. Das Epoxydharz wird "weich" und verformt sich entsprechend der Belastung. Danach erfolgt ebenso schrittweise eine Abkühlung, bei der sich das Modell verfestigt. Der Spannungszustand ist nun "eingefroren". Das Bauteil kann dann in ebene Scheiben zerschnitten werden, die dann analysiert werden können.

Ein zweites Verfahren stellt das Oberflächenschichtverfahren mit Reflexionspolariskopen dar. Das Bauteil wird erst mit einer reflektierenden, dann mit einer spannungs-optisch aktiven Schicht aus Kunststoff überzogen. Die Oberflächendehnung des Bauteils wird auf die spannungs-optische Schicht übertragen und erzeugt einen annähernd ebenen Spannungszustand in der reflektierenden Schicht.

6 Weitere Anwendungen

6.1 Saccharimetrie

Saccharimeter sind Messgeräte, die zur Bestimmung des Zuckergehaltes einer Zuckerlösung unbekannter Konzentration dienen. Meist erfolgt die Bestimmung mit Hilfe der optischen Aktivität, wie es z.B. beim Quarz der Fall ist. Es gibt aber auch Stoffe, die die Polarisationssebene auch im flüssigen oder gelösten Zustand drehen, weil ihre Asymmetrie schon im Molekül steckt. Besonders wichtig sind organische Verbindungen mit asymmetrischen C-Atomen. Der Drehwinkel einer Lösung solcher optisch aktiven Stoffe ist proportional zur Konzentration der Lösung. So kann man beispielsweise den Zuckergehalt von Getränken oder auch von Harn relativ schnell ermitteln, auch wenn andere Stoffe mitgelöst sind. Die einzelnen Zuckerarten lassen ebenfalls bestimmen, da sie die Polarisationssebene verschieden drehen. Traubenzucker (Glucose) beispielsweise ist rechtsdrehend, Fruchtzucker (Fructose) hingegen linksdrehend.

6.2 Fotografie

Polarisationsfilter (oft nur Polfilter), sind eine sehr nützliche Einrichtung in der Fotografie. Man verwendet Polfilter hauptsächlich zum Entfernen von Reflexionen. Diese können störend sein z.B. beim Fotografieren durch eine Fensterscheibe. Auch beim Fotografieren von Gegenständen ist der Polfilter nützlich. Wenn man die Reflexionen an einer Kunststoff- oder Lackoberfläche ausfiltert, dann kommt die eigentliche Farbe des Gegenstandes stärker zur Geltung. Mit dem Polfilter kann man die Farben des Motivs verstärken. In der Naturfotografie gibt es zwei Hauptanwendungen.

Auch auf Blättern von Bäumen und anderen Pflanzen sowie auf Wasseroberflächen gibt es Reflexionen. Da hier meistens der Himmel reflektiert wird, erscheinen diese Bilder oft unnatürlich blau. Ein Polfilter reduziert diese Reflexionen.

Die zweite Anwendung ist, den blauen Himmel dunkler erscheinen zu lassen. Das blaue Himmelslicht ist im Vergleich zu Wolken stark polarisiert. Mit dem Polfilter lässt sich dieser Bereich gut verdunkeln, und weiße Wolken zeichnen sich deutlicher ab.

6.3 3D-Kino

Man kann mit Hilfe von Polarisationsfiltern das dreidimensionale Sehen im Kino verwirklichen. Man projiziert mit zwei Filmprojektoren die beiden stereoskopisch aufgenommenen Filme auf die Leinwand. Vor jedem der Filmprojektoren ist eine Polarisationsfolie angebracht, und zwar so, dass die Schwingungsebenen der beiden linear polarisierten Lichtbündel senkrecht aufeinander stehen. Der Zuseher muss nun eine "Polarisationsbrille" tragen, deren Gläser zwei entsprechende Polarisationsfolien enthalten. Jedes Auge sieht dann nur eines von den beiden projizierten Bildern. Daraus entsteht im Gehirn der räumliche Eindruck.

6.4 LCD - Liquid Crystal Devices

Liquid Crystal Displays oder LCD-Bildschirme bestehen aus zwei gekreuzten Polarisationsfiltern, zwischen welchen sich ein Flüssigkristall befindet. Dieser ist zwischen zwei Glasplatten eingeschlossen, die so beschichtet sind, dass sich die Moleküle der Flüssigkristalle entlang einer bestimmten Vorzugsrichtung orientieren. Da diese Schichten normal aufeinander stehen, ergibt sich im Flüssigkristall eine spiralförmige Anordnung der Moleküle.

Schickt man Licht durch den ersten Polarisationsfilter, wird dessen Polarisationsrichtung in dieser Spirale um 90° gedreht, sodass es durch den zweiten Polarisationsfilter treten kann. Dahinter wird es gespiegelt und geht auf dem gleichen Weg durch die Helix zurück. Der Bildschirm erscheint hell.

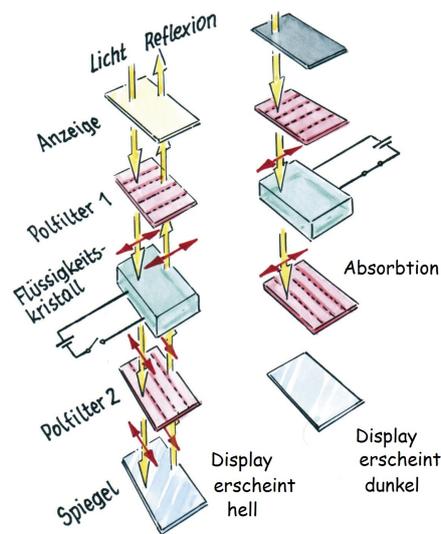


Abbildung 15: schematische Darstellung LCD

Legt man nun zwischen den beiden Platten ein elektrisches Feld an, so richten sich die Moleküle nach ihm aus. Sie orientieren sich also senkrecht zu den Glasplatten. In dieser Orientierung drehen sie die Polarisations Ebene des Lichts nicht. Somit tritt kein Licht durch den zweiten Polarisationsfilter durch. Statt reflektiert werden die Lichtwellen absorbiert. Der Bildschirm erscheint an einer bestimmten Stelle dunkel.

6.5 Warum ist der Himmel blau?

Blaues Licht hat eine höhere Frequenz als rotes und wird daher stärker gestreut. Dieser Effekt ist für das Himmelsblau am Tag sowie für die Morgenröte und Abendröte verantwortlich.

Am Tag, wenn die Sonne hoch am Himmel steht, legt das Licht nur eine kurze Strecke durch die Atmosphäre zurück. Dabei wird nur wenig blaues Licht in andere Richtungen gestreut. Deshalb erscheint die Sonne gelb. Von hochfliegenden Flugzeugen aus erscheint die Sonne „weißer“, weil weniger blaue Lichtanteile fehlen.

Die Summe allen Streulichtes lässt den Himmel aus allen anderen Richtungen blau erscheinen. Auf dem Mond, wo eine dichte Atmosphäre fehlt, erscheint der Himmel dagegen auch "tagsüber" schwarz.

Bei niedrigem Sonnenstand ist die Strecke des Sonnenlichts durch die Erdatmosphäre viel länger. Dadurch wird ein Großteil der hochfrequenten Lichtanteile (blau) seitlich weggestreut. Es bleibt überwiegend Licht mit langen Wellenlängen übrig und der Farbeindruck der Sonne verschiebt sich in Richtung rot.