1. Polarisation elektromagnetischer Felder

- Voraussetzungen:
  - ebene Wellen $e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)}$
  - homogene, transparente Materialien
  - Ausbreitung in z-Richtung $\vec{k}\cdot\vec{r} = kz$

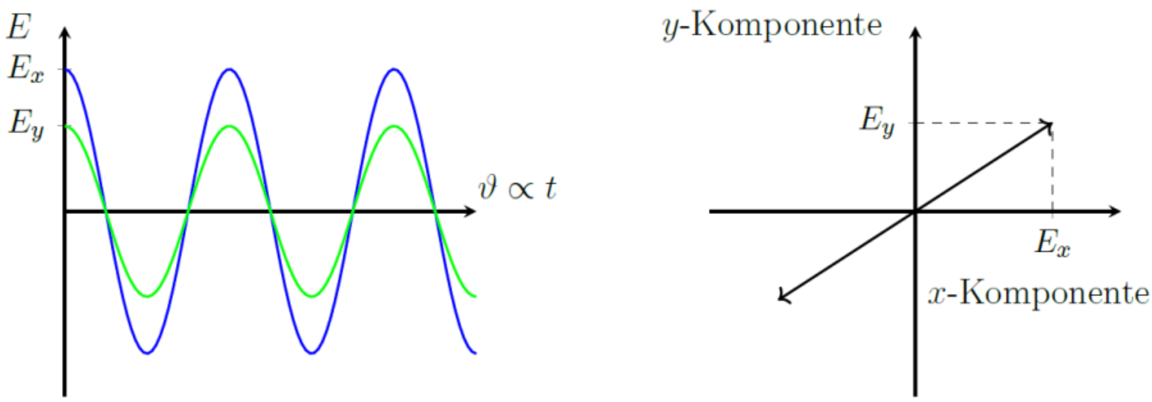
elektrisches Feld $\vec{E}(\vec{r},t) = \begin{pmatrix} E_x \cos(kz-\omega t+\varphi_x) \\ E_y \cos(kz-\omega t+\varphi_y) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_x \cos(\theta) \\ E_y \cos(\theta-\delta) \\ 0 \end{pmatrix}$

wobei $\theta = kz-\omega t+\varphi_x$ $\qquad \delta = \varphi_y - \varphi_x$ Phasenverschiebung
↳ räumlich und zeitlich variierend

- Charakterisierung des Polarisationszustands durch Jones Vektor $\boxed{\vec{j} \propto \begin{pmatrix} E_x \\ E_y e^{i\delta} \end{pmatrix}}$

↳ abhängig von δ unterscheiden wir zwischen verschiedenen Polarisationsarten

Lineare Polarisation: $\delta = 0, \pi$ $\quad \vec{j} = \begin{pmatrix} E_x \\ \pm E_y \end{pmatrix}$



Zeitverlauf der elektrischen Feldkomponenten $\qquad$ Kurve des Polarisationsvektors

- das elektrische Feld steht in einer einzigen Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung
- häufigste Polarisationsart von Laserlicht

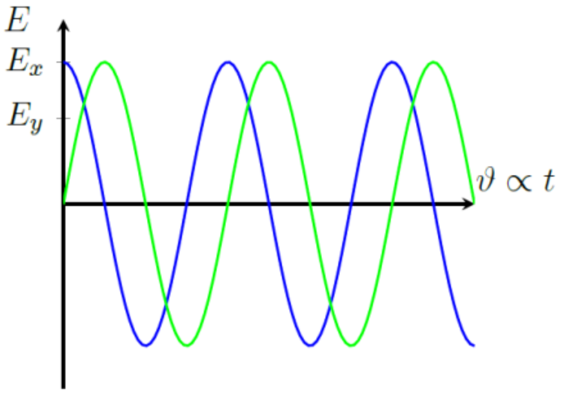
↳ bezüglich einer Referenzebene (z.B. optischer Tisch) unterscheiden wir zwischen
  - p-polarisiertem Licht ($\vec{E} \parallel$ Tischebene)
  - s-polarisiertem Licht ($\vec{E} \perp$ Tischebene)

Zirkulare Polarisation:

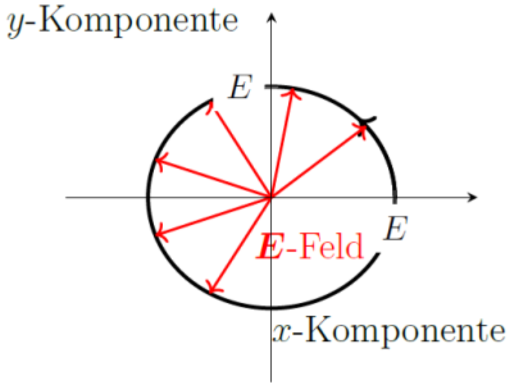
$\delta = \pm \frac{\pi}{2}$ $\quad E_x = E_y = E$ $\quad \vec{j} = \begin{pmatrix} 1 \\ \pm i \end{pmatrix}$ $\quad \vec{E} = E \begin{pmatrix} \cos(\theta) \\ \pm\sin(\theta) \\ 0 \end{pmatrix}$

„$+\frac{\pi}{2}$": links drehend

„$-\frac{\pi}{2}$": rechts drehend



Zeitverlauf der elektrischen Feldkomponenten

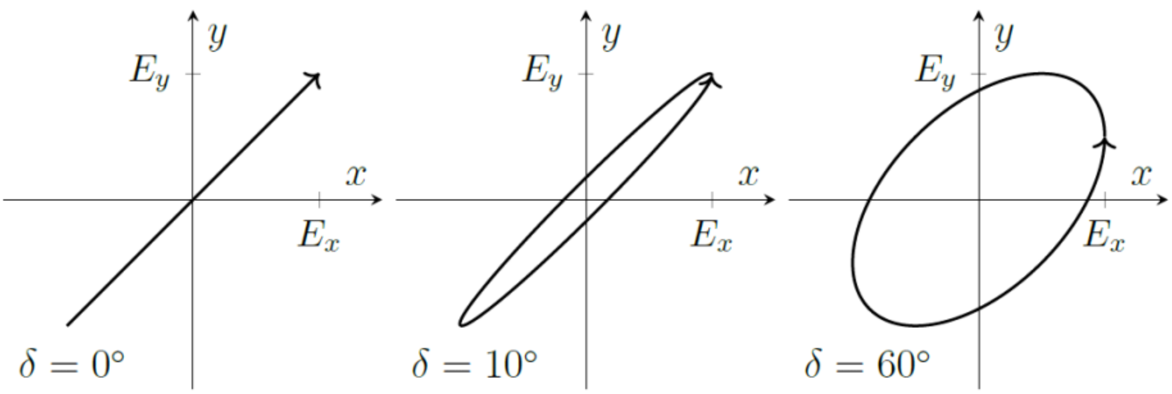


Kurve des Polarisationsvektors

- elektrischer Feldvektor dreht sich im Kreis
  - ↳ Zu keiner Zeit verschwindet das elektrische Feld
  - ↳ bei gleicher Leistung ist die maximale Feldamplitude kleiner als bei linear polarisiertem Licht

→ lässt sich mit einer $\lambda/4$ Platte erzeugen

Elliptische Polarisation: alle restlichen Winkel



Polarisierende Elemente

a.) Polarisatoren:

- Nur Licht mit einer bestimmten Polarisationsrichtung wird transmittiert

$$\vec{j}_{out} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \vec{j}_{in} \quad \text{(Filter in x-Richtung)}$$

für eine allgemeine Achse: $\hat{M} = \begin{pmatrix} \cos^2\varphi & \sin\varphi\cos\varphi \\ \sin\varphi\cos\varphi & \sin^2\varphi \end{pmatrix}$

- Intensität hinter dem Polarisator: Gesetz von Malus $\boxed{I = I_0 \cos^2\varphi}$

- Typen von Polarisatoren:

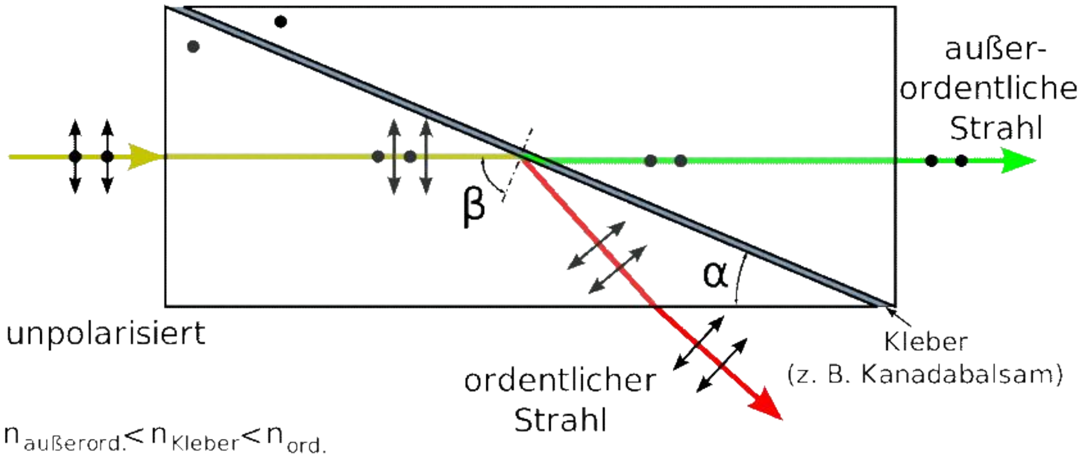
  I) Polarisationsfilter: Absorption der ungewollten Polarisation

  ↳ Dichroismus: Anisotrope Molekülstrukturen die in verschiedene Richtungen unterschiedlich gut schwingen (absorbieren)

  ↳ Bsp.: Polaroid Filter

  II) Drahtgitterpolarisator: Reflektion des elektrischen Feldes parallel zum Gitter

  III) Polarisierender Strahlteiler: Räumliche Trennung der Polarisationsrichtungen durch einen anisotropen Kristall



Glan - Thompson Prisma: Totalreflexion des außerordentlichen Strahls

b.) $\lambda/4$ Plättchen:

- Phasenverschiebung der zwei orthogonalen Polarisationskomponenten um $\frac{\pi}{2}$ bzw. ein Viertel der Wellenlänge

optische Weglängendifferenz $d\,|n_0 - n_e| = \frac{\lambda}{4}$ d - Dicke des Plättchens

Beispiel: kristallines Quarzglas $\left.\begin{array}{l} n_0 = 1{,}5383 \quad @\ \lambda = 800\,nm \\ n_e = 1{,}5472 \end{array}\right\} d = 22{,}5\,\mu m$

Im Jones Kalkül: $\vec{j}_{out} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix} \vec{j}_{in}$

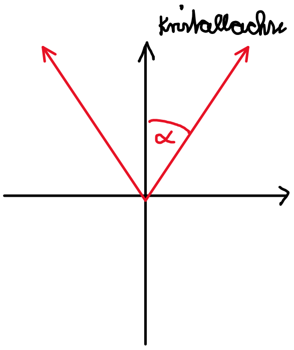
→ Umwandlung von linear polarisiertem Licht in zirkular polarisiertes Licht

c.) $\lambda/2$ Plättchen:

Phasenverschiebung der zwei orthogonalen Polarisationskomponenten um π bzw. die halbe Wellenlänge $\Rightarrow d\,|n_o - n_e| = \frac{\lambda}{2}$

$$\hat{M}_{\lambda/2} = \hat{M}_{\lambda/4}^{\,2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Bewirkt eine Spiegelung der Polarisationsrichtung an der kristalloptischen Achse



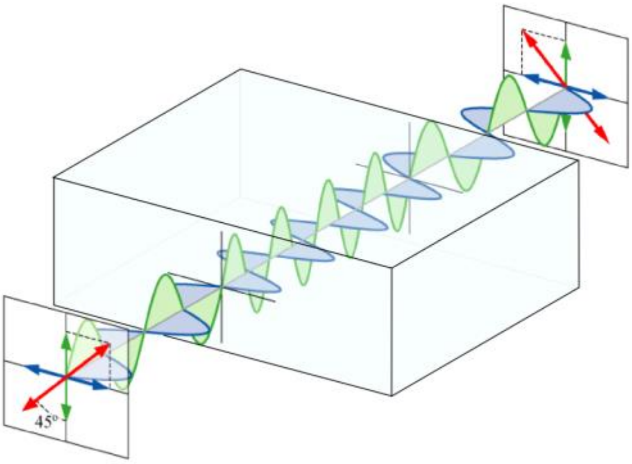
Bei einem Winkel α zur optischen Achse wird die Polarisation um 2α gedreht.

Achtung: keine Drehung sondern Spiegelung

→ zwei $\lambda/2$ Plättchen heben ihre Wirkung auf

Funktionsweise:
- für die grüne Richtung entspricht die Weglänge 4 Wellenlängen
- für die blaue Richtung ist der Weg nur 3,5 Wellenlängen

$\Rightarrow$ effektive Verkürzung der Wellenlänge auf $\lambda' = \frac{\lambda_0}{n}$

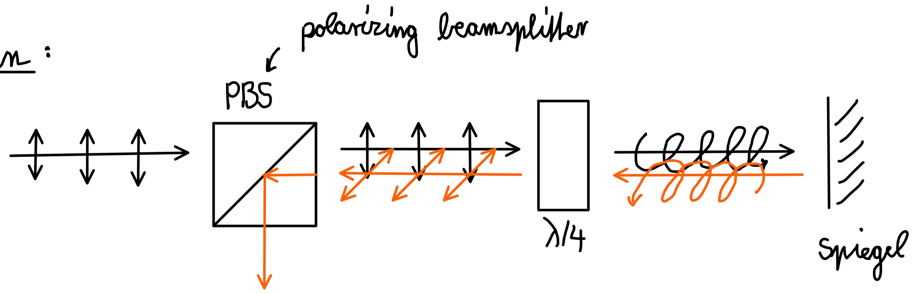


$\Rightarrow$ Herstellung der Phasenplatten durch anisotrope Kristalle

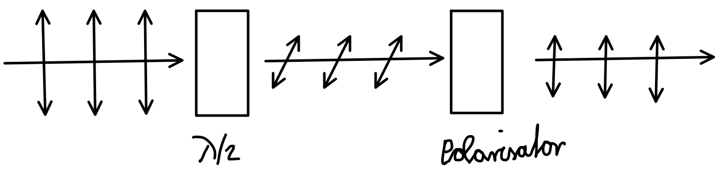
↳ doppelt dispersiv ↗ Frequenzabhängigkeit der Doppelbrechung ↘ Frequenzabhängigkeit der Brechzahl

Anwendungen von Phasenplatten:

- Optische „Diode":



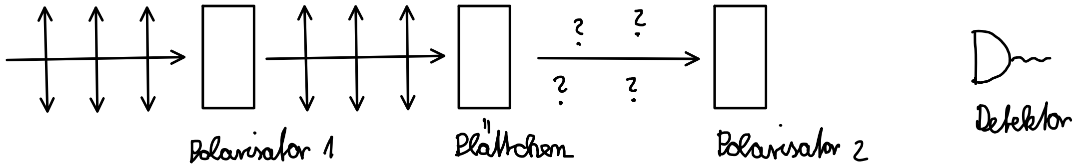
- Regelung Laserenergie:



$I = I \cos^2\theta$

- Optischer Schalter : $\lambda/2$ + PBS

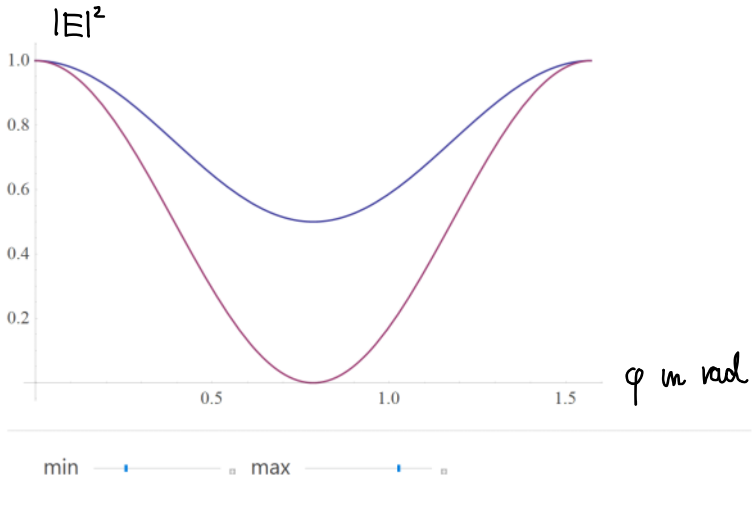
Wie findet man heraus ob es sich um ein $\lambda/2$ oder $\lambda/4$ Plättchen handelt?



Im Jones - Formalismus : $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 \\ \lambda_3 & \lambda_4 \end{pmatrix} \underbrace{\begin{pmatrix} E_x \\ 0 \end{pmatrix}}_{\text{Jones Vektor}} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 E_x \\ 0 \end{pmatrix}$

Für das $\lambda/4$ fällt die Intensität nicht auf Null !

$I \propto |E|^2$



$\lambda/2$ Plättchen: $\begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(2\alpha) & \sin(2\alpha) \\ \sin(2\alpha) & -\cos(2\alpha) \end{pmatrix}$

$\lambda/4$ Plättchen:

$$\hat{M}(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} (1-i)\cos(2\varphi) + 1+i & (1-i)\sin(2\varphi) \\ (1-i)\sin(2\varphi) & -(1-i)\cos(2\varphi) + 1+i \end{pmatrix}$$