

#### 4. Licht in anisotropen Medien

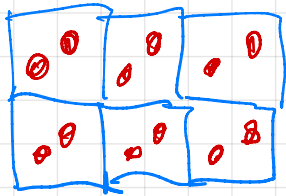
isotrop  $\hat{=}$   $\rightarrow$  gibt keine ausgezeichnete Richtungen

anisotrop  $\hat{=}$   $\rightarrow$  gibt ausgezeichnete Richtungen

Kristalle können unter Umständen sein  
anisotropes optisches Verhalten zeigen.

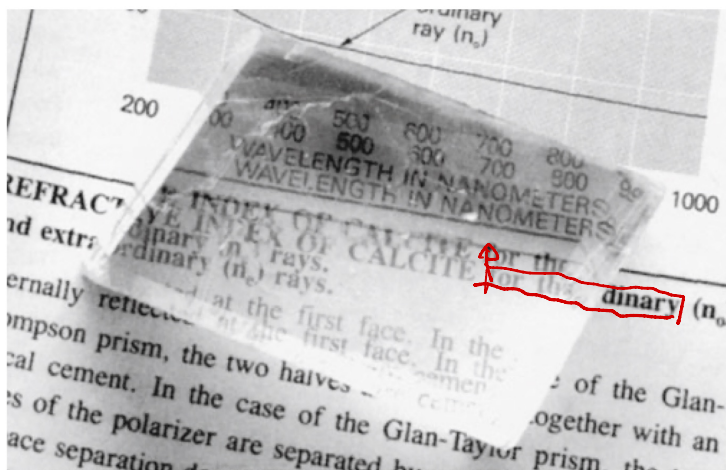
Kristall: regelmäßige Anordnung von Atomen  
beschrieben aus einer Basis und  
einer Gitter

$\rightarrow$  siehe Festkörperphysik



$\rightarrow$  Experiment

#### 4.1 Doppelbrechung und ihre Anwendung



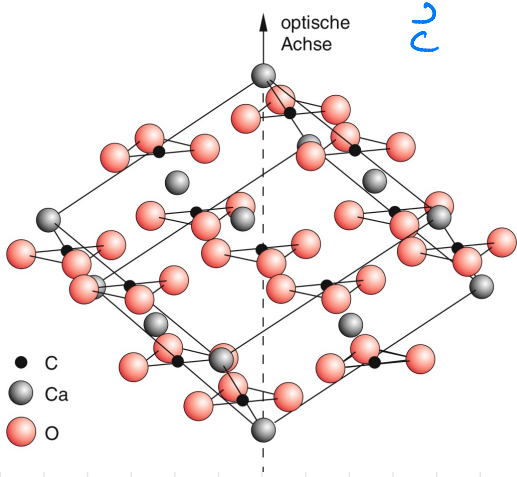
ordinärer Stahl, wie  
von Sullius bei isotropen  
Medien

deffektivem Stahl,  
dargestellt von Sullius

c)

Beurteilung

# Kristallstruktur von Kalkspat



Denkmal

Im Kalkspat ist eine „Achse“ des Kristalls ausgedeutet.

Messung des Brechungsindex  
 10° ist:

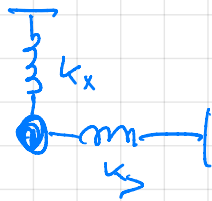
$$n = 1,589 \text{ um } \vec{D} \perp \vec{c} \quad n_{\perp} = 1,658$$

→ ordinärer Stahl

$$\text{„ } \vec{D} \parallel \vec{c} \text{ „} \quad n_{\parallel} = 1,486$$

→ außerordentliches Stahl

## Laufoszillatoren



$$k_x \neq k_y$$

$$\Rightarrow \omega_x \neq \omega_y$$

$$\Rightarrow n_x \neq n_y$$

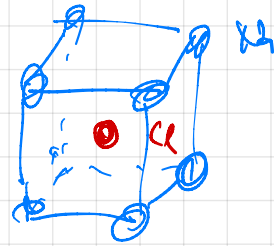
$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 (1 + \tilde{\chi}) \vec{E} \quad \text{isotropes Medium}$$

$$\text{Anisotropes Medium: } \vec{P} = \epsilon_0 \tilde{\epsilon} \vec{E} = \epsilon_0 (1 + \tilde{\chi}) \vec{E}$$

$\tilde{\epsilon}$  und  $\tilde{\chi}$  sind Tensoren

$$\underline{\underline{\epsilon}} = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix}$$

$$P_i = \epsilon_0 \sum_j \chi_{ij} E_j$$



Für einfach kubische Kristalle umfassen sich  
x-Streck & Dilatation nicht.

$$\Rightarrow \underline{\underline{\epsilon}} = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & & 0 \\ & \epsilon_{yy} & \\ 0 & & \epsilon_{zz} \end{pmatrix} \text{ mit } \epsilon_{xx} = \epsilon_{yy} = \epsilon_{zz}$$

D.h. der Kristall verhält sich bezüglich  
des Brechungsindex als isotrop.

Für Wellenpaket sowohl ist in Abhängigkeit  
der Richtung von  $\underline{\underline{\epsilon}}$  (d.h. z.B. der Polarisation)  
unterschiedliche Brechungsindizes.

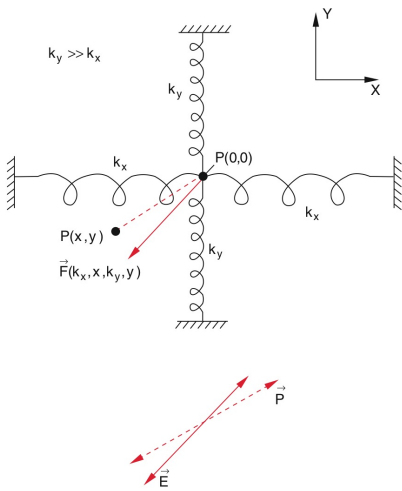
$$\begin{aligned} \underline{v} \cdot \underline{D} &= 0 & \underline{v} \cdot \underline{B} &= 0 \\ \Rightarrow \underline{k} \cdot \underline{D} &= 0 & \underline{k} \cdot \underline{B} &= 0 \\ \underline{D} \perp \underline{k} & & \underline{B} \perp \underline{k} & \end{aligned}$$

$$\underline{D} \times \underline{k} = \mu_0 \frac{\partial \underline{D}}{\partial t} \Rightarrow \underline{D} \perp \underline{D}$$

$$\underline{B} = \frac{1}{\omega} (\underline{k} \times \underline{E}) \Rightarrow \underline{k} \perp \underline{E}$$

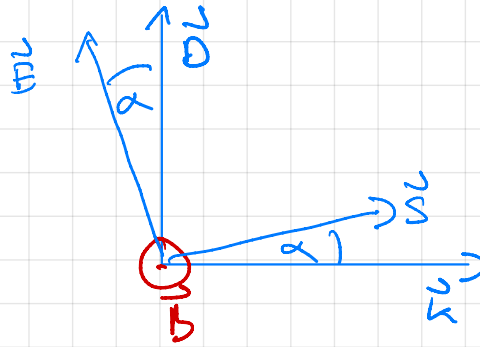
$$\underline{S} = \mu_0^{-1} (\underline{E} \times \underline{B}) \Rightarrow \underline{k} \perp \underline{S}$$

↳ skt. senkrecht auf  $\vec{k}, \vec{E}, \vec{D}$  und  $\vec{S}$   
 $\Rightarrow \vec{k}, \vec{E}, \vec{D}$  und  $\vec{S}$  liegen alle in einer Ebene?



Aufgrund des  $\vec{T}$  Tensors, d.h. verschiedener Ausbreitungsweg  
 Oszillatoren in x und y  
 Richtung liegen  $\vec{E}$  und  $\vec{D}$  nicht  
 mehr parallel zueinander

Denkbild



Die Folge sind:  $\vec{S} \neq \vec{k}$

Die Ausbreitungsrichtung der Phasefläche  $\vec{k}$  und die  
 Richtung des Energiefluss  $\vec{S}$  sind im Allgemeinen  
 verschieden.

keine optische Aktivität (dazu später mehr), d.h.

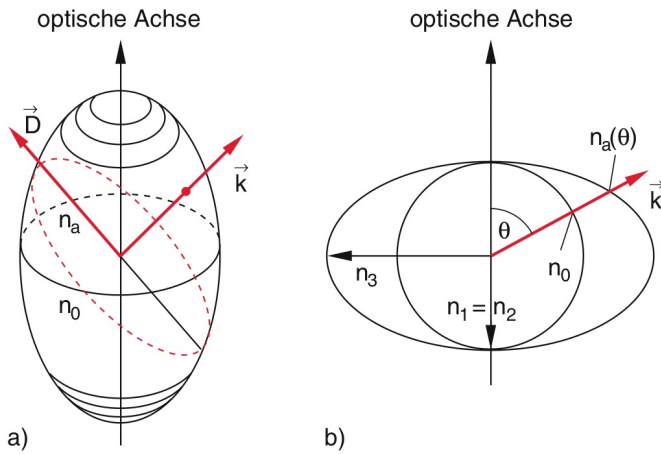
Wir haben eine symmetrische Matrix

keine Absorption, d.h.  $\hat{\epsilon}$  ist reell.

$\Rightarrow \hat{\epsilon}$  ist diagonalisierbar, Hauptachsen Transformation

$$\hat{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_1 & & \\ & \epsilon_2 & \\ & & \epsilon_3 \end{pmatrix} \quad \epsilon_1 \neq \epsilon_2 = \epsilon_3$$

Kalkspat ist ein einachsige System mit  $\epsilon_1 = \epsilon_2 \neq \epsilon_3$



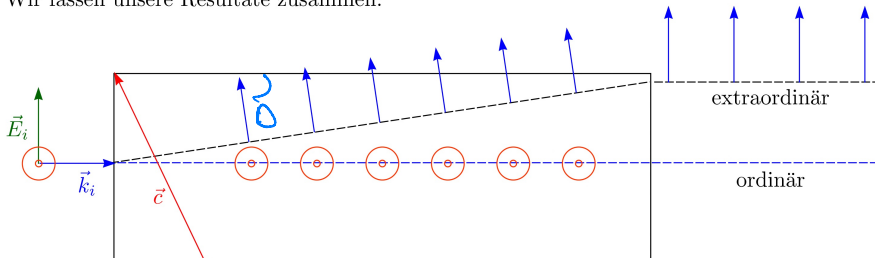
Allgemein

$$\epsilon_1 \neq \epsilon_2 \neq \epsilon_3$$

**Abbildung 8.33** **a** Rotationssymmetrisches Indexellipsoid mit der Symmetrieachse in Richtung der optischen Achse. **b** Zweidimensionale Darstellung von  $n_a(\theta)$  und der nicht von  $\theta$  abhängigen Größe  $n_o$  für einen positiv einachsigen Kristall

Demnach einachsige Systeme

Wir fassen unsere Resultate zusammen:



Wesam

**Tabelle 8.4** Brechzahlen  $n_o = n_1$  und  $n_a(90^\circ) = n_3$  für einige doppelbrechende optisch einachsige Kristalle bei  $\lambda = 589,3 \text{ nm}$

Kristall	$n_o$	$n_a$
Quarz	1,5443	1,5534
Kalkspat	1,6584	1,4864
Turmalin	1,669	1,638
ADP Ammonium-Dihydrogen-Phosphat	1,5244	1,4791
KDP Kalium-Dihydrogen-Phosphat	1,5095	1,4683
Cadmiumsulfid CdS	2,508	2,526

Demnach

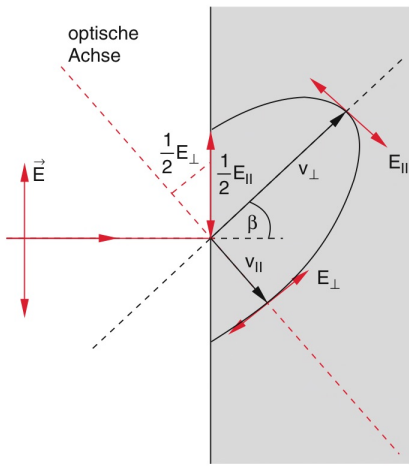
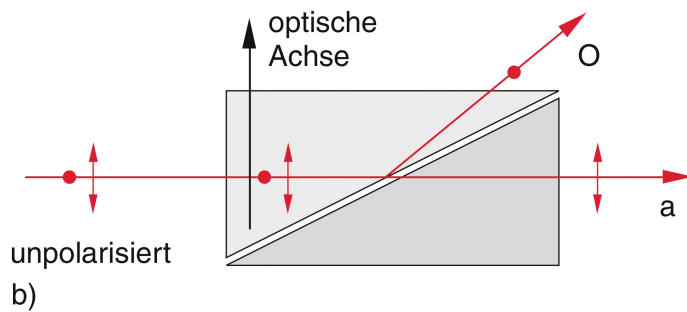


Abbildung 8.37 Entstehung der elliptischen Phasenflächen in einem doppelbrechenden Kristall, wenn die Polarisationsrichtung der einfallenden Welle einen beliebigen Winkel gegen die optische Achse hat

Oberfläche des

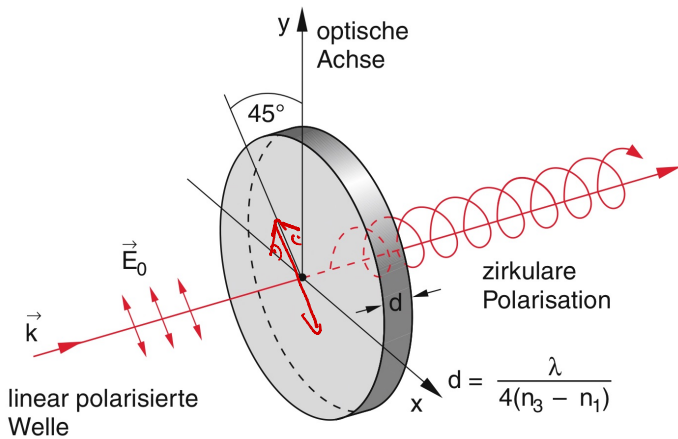
Glan-Thompson Prisma (Polarisator)



Methode des Wachs  
zur Erzeugung linear-  
polarisierten Lichts

Oberfläche des

4.2 Das  $\lambda/4$  Plättchen



Einachsigen Kristall mit

$$n_1 = n_2 \neq n_3$$

$$\Delta\varphi = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right) d (n_3 - n_1)$$

$$\Delta\varphi = 0 \quad \text{linear polarisiertes Licht}$$

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} \quad \text{zirkular polarisiertes Licht}$$

Oberfläche des

Das  $\frac{1}{4}$  Plattchen wandelt bei  $\alpha(\vec{E}, \vec{z}) = 45^\circ$   
aus linear polarisiertes Licht in kreis polarisiertes  
Licht.

Bei anderen Winkeln  $\neq 0, 180^\circ$  erhält man  
elliptisch polarisiertes Licht.

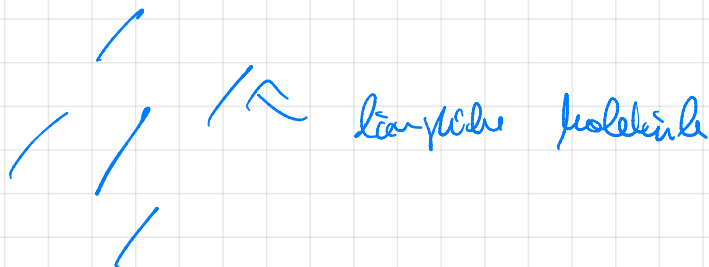
Anwendung der Doppelbrechung in der Technik  
Doppelbrechung tritt auf bei Deformation von isotropen  
Materialien.

$\Rightarrow$  optische Abbildung von mechanischen Spannungen.

Otto Lehmann und Flüssigkristalle

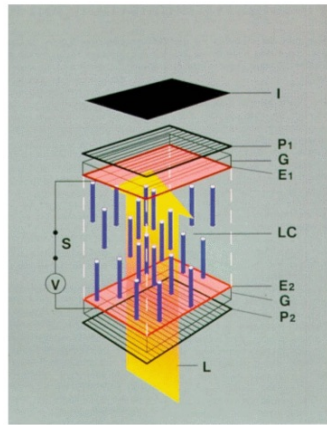
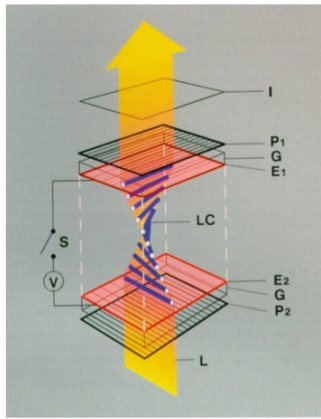
ab 1889 am physikalischen Institut als  
Nachfolger von Hermann Hess

1904 "Flüssigkristall" entdeckt



Phaseübergang zwischen isotropem Flüssigkristall (unpolarisierte  
Moleküle) und dem anisotropen Flüssigkristall  
(geordnete Ausrichtung der Moleküle)

⇒ LCO "liquid crystal display"



Wiki

### 4.3 Optische Aktivität und ihre Anwendung

Man darf  $\epsilon_{ij} \neq \epsilon_{ji}$  sein und  $\epsilon_{ij}$  komplex.

Tritt auf in einigen Kristallen z.B. Quarz  
"chiral".

Tritt auf in einigen Flüssigkeiten mit chiralen Molekülen, z.B. Zuckers, DNS, Proteinen.

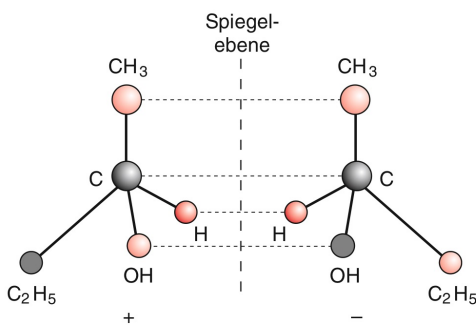


Abbildung 8.50 Zwei isomere Formen des 2-Butanol-Moleküls, die zueinander spiegelbildlich sind bezüglich der Spiegelebene senkrecht zur Zeichenebene

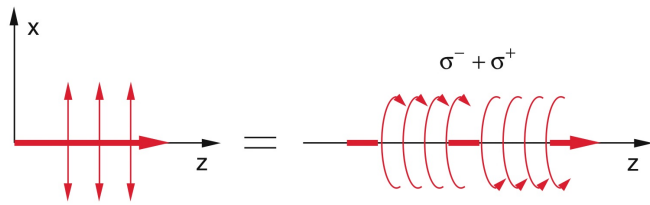
OpenStax

Was wird die Spiegelgenenheit  
verleitet.



Wiki





$$E_{0x} \cdot e^{i(\omega t - kz)} = \frac{1}{2} [(E_{0x} + iE_{0y}) + (E_{0x} - iE_{0y})] \cdot e^{i(\omega t - kz)}$$

**Abbildung 8.51** Zusammensetzung einer linear polarisierten Welle aus links- und rechtszirkular polarisierten Komponenten. Zur Festlegung des Polarisationsinns  $\sigma$  siehe Abschn. 12.7

die

Quadranten

$\Rightarrow$  Rotation  $\propto$  Dichte der linear polarisation.

$$\phi = \frac{\pi}{\lambda} (n^- - n^+) d$$

Wie werden eine Drehung der Polarisation von linear polarisiertes Licht bei Durchgang durch ein optisch aktives Medium.

2. Die Absorption für  $\sigma^+$  und  $\sigma^-$  Licht kann sich unterscheiden.

$\Rightarrow$  Aus linear polarisiertes Licht wird elliptisch polarisiertes Licht

- Optische Rotationsdispersion
- Zirkulardichroismus

$\Rightarrow$  Anwendung: Messung von Enantiomeren rein optisch

1. Die Brechzahl  $n$

für links und

rechts zirkular polarisiertes

Licht ( $\sigma^-$ ,  $\sigma^+$ )

können unterschiedlich

sein.