

# Musikübertragung mittels Polarisationsmodulation durch magnetfeldinduzierte Doppelbrechung

I. Rückmann, P. Kruse, C. Windzio, J. Gallus\*

Universität Bremen  
\*PlmiCos

Wuppertal 2015



# Gliederung

- 1 Demonstrationsexperiment Musikübertragung
- 2 Einige theoretische Grundlagen
- 3 Praktikumsversuch zur Bestimmung der Anzahl der Dispersionselektronen/Atom
- 4 Lerninhalte

# Musikübertragung durch Polarisationsmodulation

- Linear polarisiertes Licht (EM-Feld, Schwingungen der Elektronen)
- Magnetfeldinduzierte Doppelbrechung ( $B$ -Feld, Lorentzkraft, Faraday Rotation)
- Modulation des Drehwinkels der Polarisationssebene im Medium
- Detektion des modulierten Signals (Analysator und Si-Fotodetektor)

Beweis, dass die (Dispersions-)Elektronen für die optischen Eigenschaften verantwortlich sind.

# Faraday-Rotation / Verdet Konstante

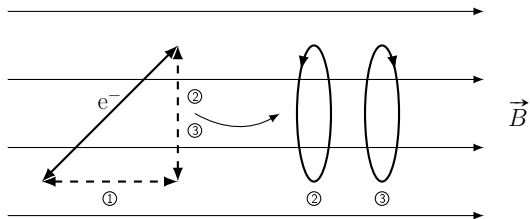
- magnetfeldinduzierte Doppelbrechung
- transparentes Medium (dielektrisch, nicht magnetisch)
- Drehung der Polarisations Ebene beim Durchgang

$$\theta = V \cdot B \cdot L$$

Anwendungen:

- Faraday Isolator
- Bestimmung der effektiven Masse in Halbleitern
- Polarisationsmodulation

## Zeeman-Aufspaltung im Axialfeld

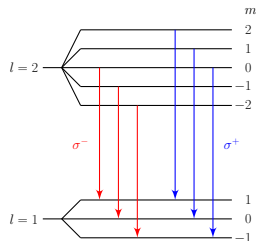
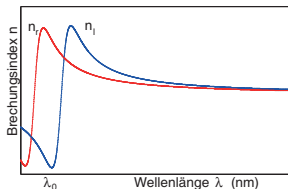
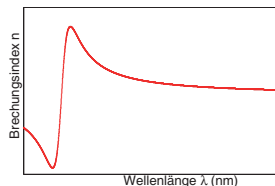


- klassische Erklärung:  
3 Ersatzelektronen,  $\omega_0$
- normaler Zeeman-Effekt

- Axialfeld:
  - 2.+3. Ersatzelektron
  - $\Delta\omega_{\text{Zeeman}} = \pm\mu_B B/\hbar$
- Frequenzunterschied  $\sigma^-$ ,  $\sigma^+$ -Emissionen:
  - $2\Delta\omega_{\text{Zeeman}} = 2\mu_B B/\hbar$

## Glas

Alle hochenergetischen Übergänge  $\rightarrow$  Modellresonanz



$$\Delta \tilde{E} = 2\Delta W_{\text{Zeeman}} = \frac{e\hbar}{m_e^*} B$$

$$\Delta \lambda = -\frac{\lambda^2}{hc} \frac{e\hbar}{m_e^*} B$$

$$\Delta m = \pm 1$$

$\rightarrow$  Brechungsunterschied  $n_l$  und  $n_r$  im transparenten Bereich

# Linearpolarisation: Zerlegung in $\sigma^-$ und $\sigma^+$ -Wellen im Medium

$$E = E_r + E_l = \frac{E_0}{2} \exp i(\omega t - k_r z) + \frac{E_0}{2} \exp -i(\omega t - k_l z)$$

$$E_{z=L} = E_0 \exp i \left( \frac{\omega}{2c} (n_l - n_r) L \right) \cos \left( \omega t - \frac{k_l + k_r}{2} L \right)$$

Drehwinkel der Polarisationsebene:

$$\theta = \frac{\omega}{2c} (n_l - n_r) L = \frac{2\pi f}{2c} (n_l - n_r) L = \frac{\pi}{\lambda} (n_l - n_r) L = \frac{\pi}{\lambda} \Delta n \frac{dn}{d\lambda} L$$

Bequerel 1897:

$$\theta = \underbrace{-\frac{1}{2} \frac{e}{m_e^* c} \lambda \frac{dn}{d\lambda}}_{\text{Verdet-Konstante}} \cdot B \cdot L$$

## Effektive Oszillatormasse und Dispersion

Dispersionselektronen im Glas:

$$m_e^* \ddot{\vec{x}} + D \vec{x} = -e \left( \vec{E} + \vec{v} \times B \vec{e}_z \right)$$

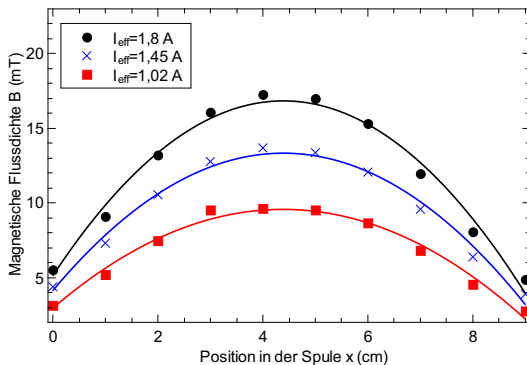
$$n_{l,r}^2 = \epsilon_{l,r} = 1 + \frac{Ne^2}{m_e^* \epsilon_0} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 \mp \omega \frac{eB}{m_e^*}}$$

...

$$V = \frac{\omega^2 Ne^3}{2cnm_e^{*2} \epsilon_0} \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2}$$



# Axiales Magnetfeld einer endlichen Spule

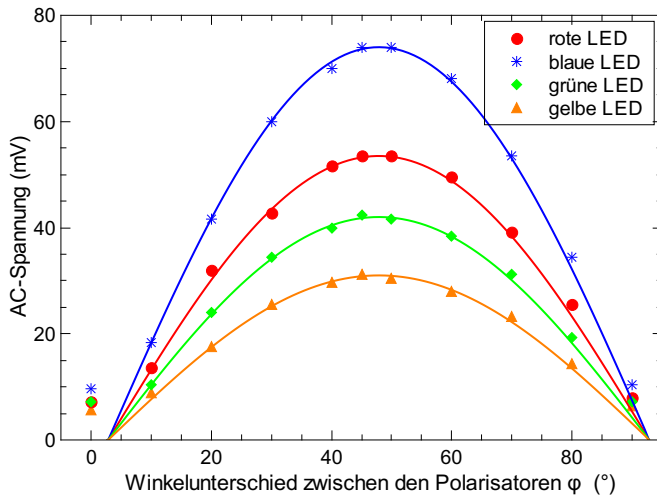


$$\bar{B} = \frac{1}{L} \int_0^L B dl$$

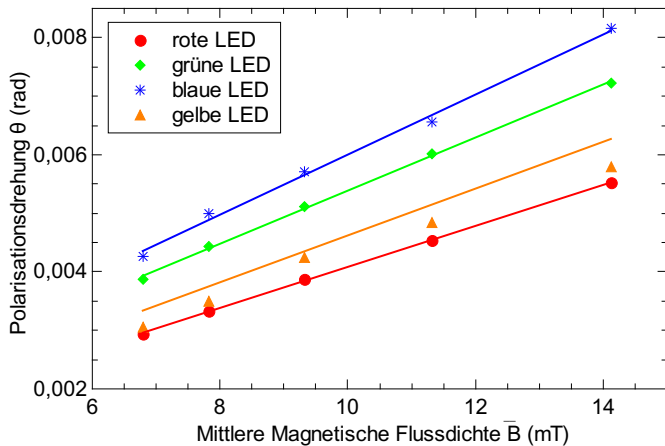
# Modulationsverfahren

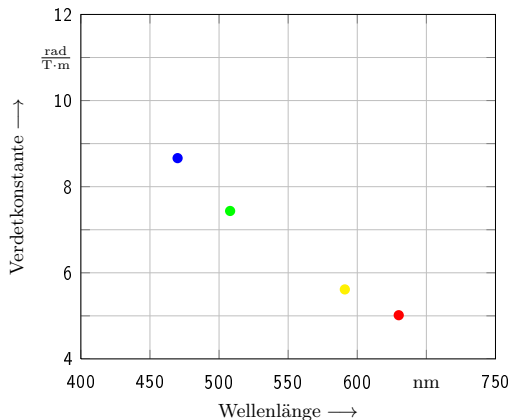
- Malus  $I = I_0 \cos^2 \varphi$
- größter Anstieg bei  $\varphi = 45^\circ$
- $I = I_0 \cos^2 (45^\circ \pm \theta) = \frac{1}{2} I_0 (1 \mp 2 \cos \theta \sin \theta)$   
 $\approx I_0 \left( \frac{1}{2} \mp \theta_B \right)$
- Modulationsfrequenz  $\Omega$   
 $I(t) = I_0 \left( \frac{1}{2} + \theta_B \sin \Omega t \right) = I_{DC} + I_{AC}$   
 $\theta_B = \frac{I_{SS}}{4I_{DC}}$
- spektrale Funktionen heben sich auf

## Maximale Modulation bei 45°



Versuchsaufbau  $V = f(B, \lambda)$ 

Drehwinkel  $\theta(B)$ 

Verdet-Konstante  $V(\lambda)$ 

Ergebnis:

$$m_e^* = 1,2 m_e$$

Bestimmung von:  $m_e^*$ ,  $\lambda_0$ ,  $N$ Effektive Oszillatormasse  $m_e^*$ 

- aus  $V$  und Kenntnis  $dn/d\lambda$  (refractiveindex.info)  
 $\rightarrow m_e^* \approx 1,2 m_e$

Lage der Modellresonanz  $\lambda_0$ 

- aus Auftragung  $\frac{1}{n^2-1} = \frac{4\pi^2 c^2 m_e^* \epsilon_0}{N e^2} \left( \frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda^2} \right)$

Zahl der Dispersionselektronen  $N$ 

- Kenntnis  $m_e^*$  und  $n(\lambda)$  erforderlich  
 $\rightarrow N = 1,7 \cdot 10^{23} \text{cm}^{-3}$
- Zahl der Atome im SiO:  $0,75 \cdot 10^{23} \text{cm}^{-3}$

# Inhalte

- axiales Magnetfeld in einer Spule
- malussches Gesetz,  $B = 0$ 
  - ohne Glas
  - mit Glas
  - Kontrast, Polarisationsverhältnisse
  - Spannungsdoppelbrechung in Glas
- Spektren von Leuchtdioden
- Modulationsverfahren zur Messung kleiner Größen
- Messung mit Oszilloskop, Tiefpassfilter



# Inhalte

- Zeeman-Effekt im Axialfeld, Faraday-Rotation
- Verdetkonstante  $V(\lambda)$
- Modellresonanz, Oszillatormodell, dielektrische Funktion
- Dispersion  $n(\lambda)$ ,  $dn/d\lambda$ , Sellmeier-Gleichung
- effektive Oszillatormasse
- Bestimmung der Zahl der Dispersionselektronen/Atom

## 6. AGPP-DPG Workshop

„Innovative Lehrmittel zum Erlernen physikalische Konzepte –  
Schwerpunkt Optik&Photonik“

Di, 2.Juni 2015, 10:30 bis 17:00 Uhr

Magnus-Haus Berlin

- Uni Bremen, Uni Marburg, FU Berlin
- Thorlabs, PIMicos, Sonnenrepublik GmbH, GAMPT, Qutools
- anerkannt als Lehrerfortbildung

# Danksagung

An das Praktikumsteam:

Waltraud Hoffmann, Silke Glüge, Peter Kruse, Christoph Windzio

Und an die mechanische Werkstatt



Fotos, Grafiken und Präsentationslayout: Christoph Windzio