

Innovative Lehrmittel aus Bremen

I. Rückmann, P. Kruse, C. Windzio

PHYSIKA – Physikalische Praktika der Universität Bremen

Berlin 2015-06-02



Physikalische Praktika in Bremen – ein Überblick

- Grundpraktika für 7 Studiengänge (ca. 500 Studenten/Semester)
- Fortgeschrittenenpraktikum
- Projektpraktikum
- Schulgerätepraktikum
- Demonstrationsexperimente
- Schülerlabor
- Sonderveranstaltungen
- Versuchsentwicklungen
- BSc- und MSc-Arbeiten



Das Bremer Konzept: „Offenes“ Praktikum

- Keine fest installierten Versuche (große Sammlung)
- inhaltliche Abstimmung mit Vorlesung/Übung (Vorlesungsbegleitend)
 - Versuche können modifiziert werden
 - Mehrfacheinsatz von Geräten
 - Neu- und Weiterentwicklung von Versuchen möglich
 - Auswahl verschiedener Messmöglichkeiten
 - Nutzung der Geräte für: Projektpraktika, Schülerlabor, Schulgerätepraktikum, Hörsaalexperimente, Sonderveranstaltungen . . .
 - jeweils 5 identische Versuchsaufbauten und 6 Themen parallel
 - breites Angebot: Über 70 Themen

Schülerlabor am physikalischen Praktikum



- Schulklassen experimentieren
- Projekte mit Netzwerkpartnern
- Sonderveranstaltungen
(Kinderuni,
Schülersommerakademie,
Lehrerweiterbildung . . .)

Netzwerkpartner (BMBF-Projekt):



Ergänzung des Physikunterrichts durch quantitatives Experimentieren an Versuchen, die in der Schule nicht verfügbar sind.

Schüler lernen, dass die Durchführung eines Experiments intensive Vorbereitung, Planung, Ausdauer, Kreativität und Fleiß erfordert.

- Oberstufen-Profilkurs „Nachhaltige Technologien“
 - führen im Praktikum experimentellen Unterricht durch
 - Möglichkeit der naturwissenschaftlichen Profilierung von Schulen

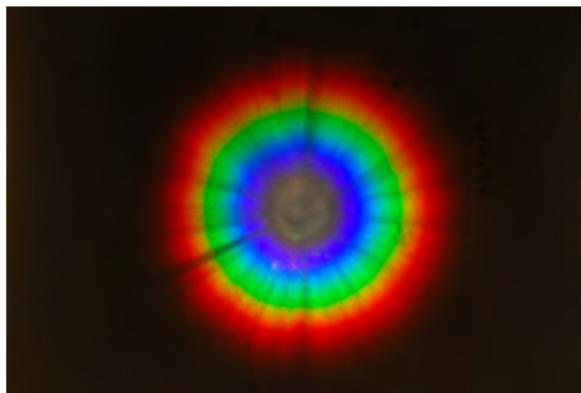
Innovative Experimente aus Bremen

<http://www.praktikum.physik.uni-bremen.de/physika/entwicklung-von-innovativen-experimenten/>

- Auflistung von 20 Experimenten
- Workshop 2014: Taupunkttemperatur, Lorentzkraftgetriebene schwingende Saite, Masse-Feder-System ...

Heute hier ausgestellt:

- diffraktive Optik mit CD
- Musikübertragung mittels magnetfeldinduzierter Doppelbrechung



Faraday-Rotation / Verdet Konstante

- transparentes Medium (dielektrisch, nicht magnetisch)
- linear polarisiertes Licht (Wechselwirkung mit Elektronen)
- magnetfeldinduzierte Doppelbrechung (Lorentzkraft)
- Drehung der Polarisationssebene (Faraday-Rotation)

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

Anwendungen:

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

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

- Modulation der Flussdichte B im Axialfeld
- Modulation des Drehwinkels der Polarisationssebene im Medium
- Detektion mit Analysator und Si-Fotodetektor, Amplitudenmodulation

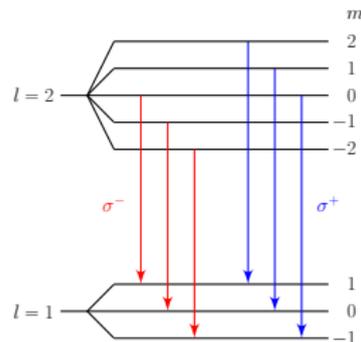
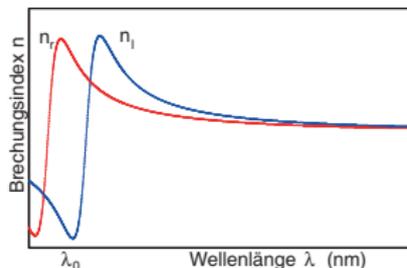
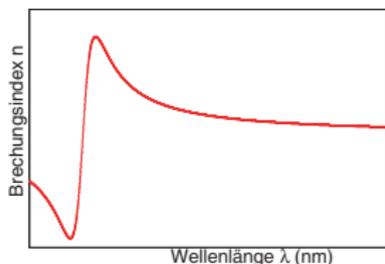
Beweis, dass die (Dispersions-)Elektronen für die optischen Eigenschaften verantwortlich sind.

Wie viele sind es pro Atom?

Experiment: Messung der Verdet-Konstante mit Modulationsverfahren

Glas – Zeeman-Aufspaltung im Axialfeld

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: Überlagerung von σ^- - und σ^+ -Wellen

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

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

Drehwinkel der Polarisationssebene:

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

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:

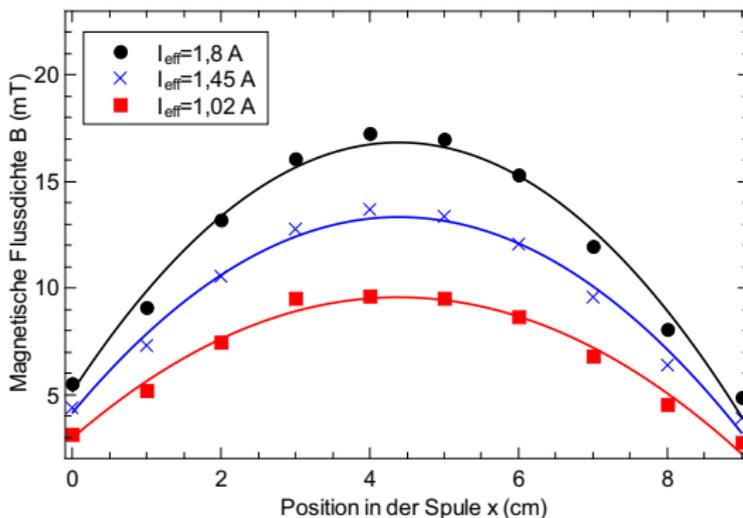
$$m_e^* \ddot{\vec{x}} + D \vec{x} = -e \left(\vec{E} + \vec{v} \times B \vec{e}_z \right)$$

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

...

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

Axiales Magnetfeld in einer endlichen Spule



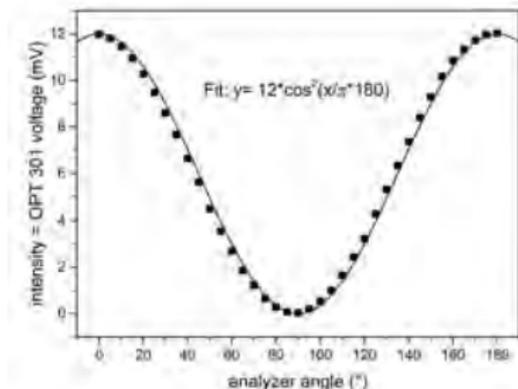
$$\bar{B} = \frac{1}{L} \int_0^L B dl$$

Modulation des Magnetfelds

- Malus $I = I_0 \cos^2 \varphi$ (Analysatorwinkel φ)
- 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 Ω
 $I(t) = I_0 \left(\frac{1}{2} + \theta_B \sin \Omega t\right) = I_{DC} + I_{AC}$

$$\theta_B = \frac{I_{SS}}{4I_{DC}}$$

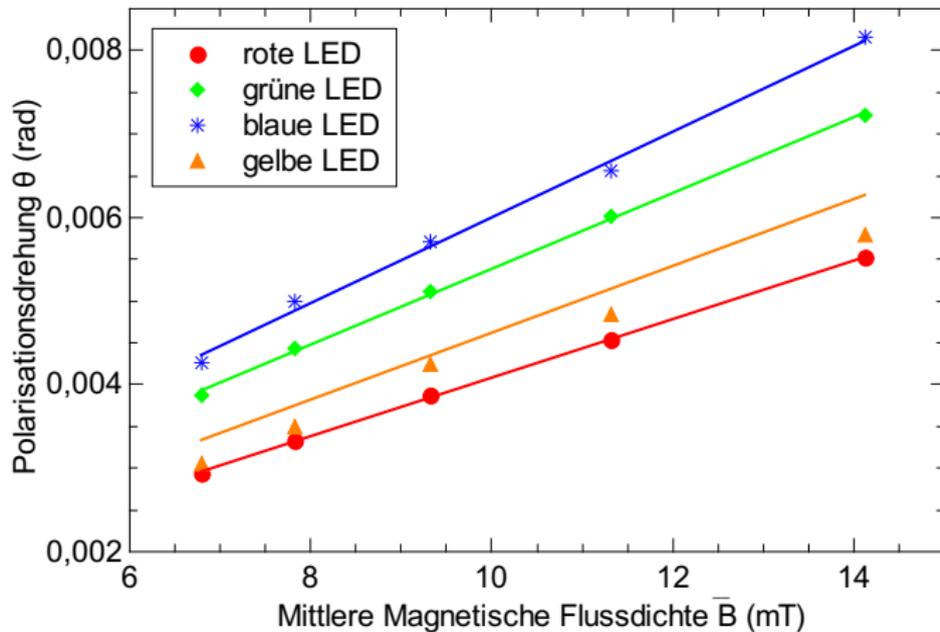
- spektrale Funktionen heben sich auf



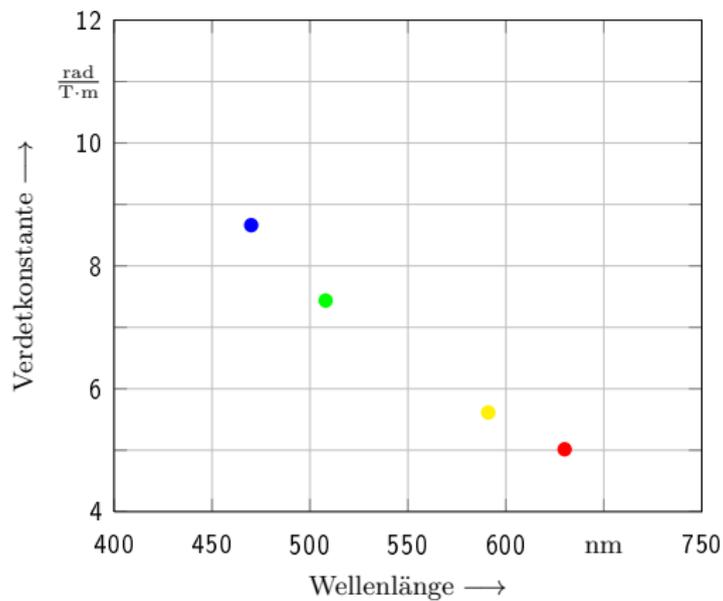
Versuchsaufbau $V = f(B, \lambda)$



Drehwinkel $\theta(B)$



Verdet-Konstante $V(\lambda)$



Ergebnis:

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

Bestimmung von: m_e^* , λ_0 , N

Effektive Oszillatormasse m_e^*

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

Lage der Modellresonanz λ_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
→ $N = 1,7 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ $(0,75 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3} \text{ Atome im SiO}_2)$

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

- 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

Danksagung

An das Praktikumsteam:

Waltraud Hoffmann, Silke Glüge, Peter Kruse, Christoph Windzio

Und an die mechanische Werkstatt



Fotos, Grafiken und Präsentationslayout: Christoph Windzio