

Innovative Lehrmittel aus Bremen

I. Rückmann, P. Kruse, C. Windzio

PHYSIKA – Physikalische Praktika der Universität Bremen

Berlin 2014-05-13



Gliederung

- 1 Physikalische Praktika und Schülerlabor der Universität Bremen
- 2 Lorentzkraftgetriebene resonante stehende Wellen
- 3 Taupunkt
- 4 Masse-Feder System
- 5 Faraday-Rotation

Gliederung

- 1 Physikalische Praktika und Schülerlabor der Universität Bremen
- 2 Lorentzkraftgetriebene resonante stehende Wellen
- 3 Taupunkt
- 4 Masse-Feder System
- 5 Faraday-Rotation

Physikalische Praktika in Bremen – ein Überblick

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



Schülerlabor am physikalischen Praktikum



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

Netzwerkpartner (BMBF-Projekt):



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

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

Gliederung

- 1 Physikalische Praktika und Schülerlabor der Universität Bremen
- 2 Lorentzkraftgetriebene resonante stehende Wellen
- 3 Taupunkt
- 4 Masse-Feder System
- 5 Faraday-Rotation

Motivation

- Resonante stehende Wellen - ein wichtiges physikalisches Konzept
- Anwendungen
 - Akustik und Optik
 - Elektrizitätslehre (Antennen)
 - Quantenmechanik (Energiezustände des Elektrons im Atom)

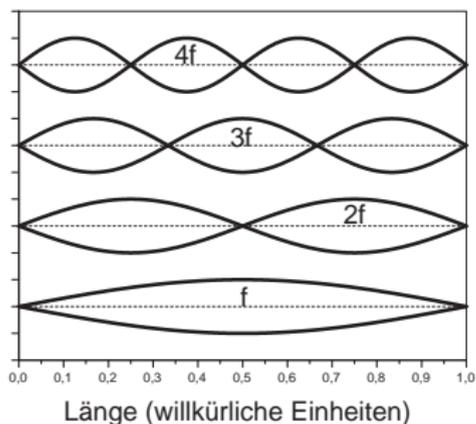
Klassisches Monochord:

- nur kurze Beobachtungszeit nach Anzupfen möglich
- Stroboskop notwendig
- nur 1. und evtl. 2. Harmonische beobachtbar

Idee: Lorentzkraftgetriebenes Monochord

- berührungslose und kontinuierliche Anregung der Saite
- Beobachtung von:
 - Schwingungsbäuchen und Schwingungsknoten
 - mit dem Auge (ohne Stroboskop!) bis 6. Harm.
 - durch Verschieben des Magneten bis 32. Harm.
- Einstellung der Resonanzen (Sehen, Hören, Lissajousfiguren)
- erzwungene Schwingungen, Resonanz, Phasenverschiebung
- Frequenzanalyse

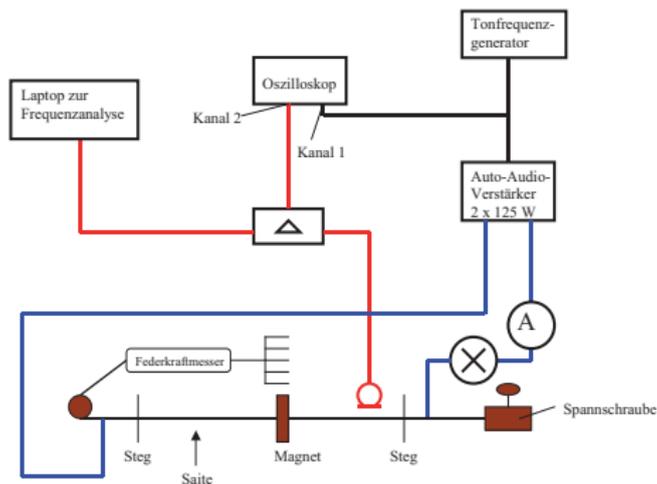
Eigenfrequenzen



Schwingungszustände bis zur 4. Harmonischen dargestellt zum Zeitpunkt t und $t + T_{n/2}$

$$f_n = \frac{v_{PH}}{\lambda_n} = \frac{1}{\lambda_n} \sqrt{\frac{F_x}{\rho A}} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F_x}{\rho A}}$$

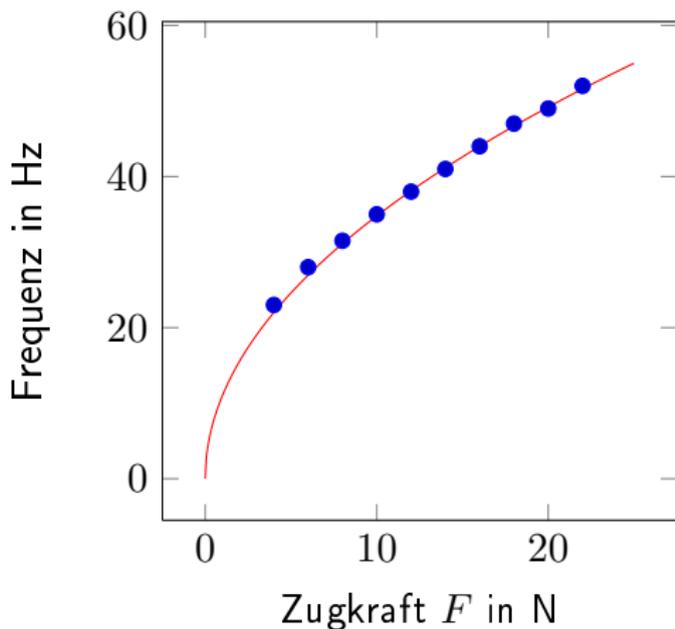
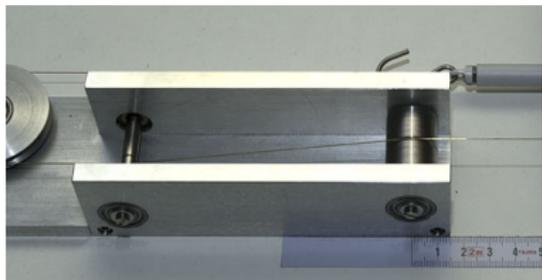
Experimenteller Aufbau



- Strombegrenzung durch Glühlampe (12 V / 18W) auf 1,5 A
- Saite: Messingdraht! (0,45 mm)
- F_L (0,2 A) = 1,5 mN bis F_L (1,5 A) = 11,5 mN ($B = 0,5$ T)

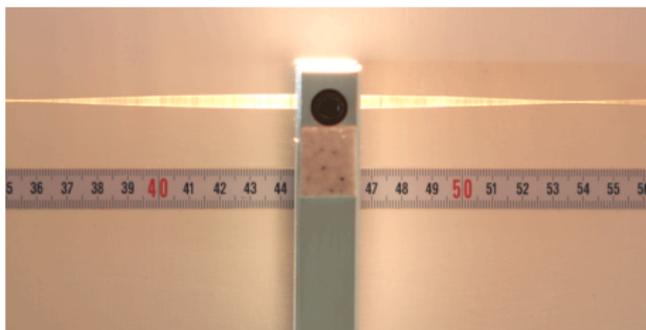
Grundfrequenz vs. Zugkraft

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_x}{\rho A}}$$

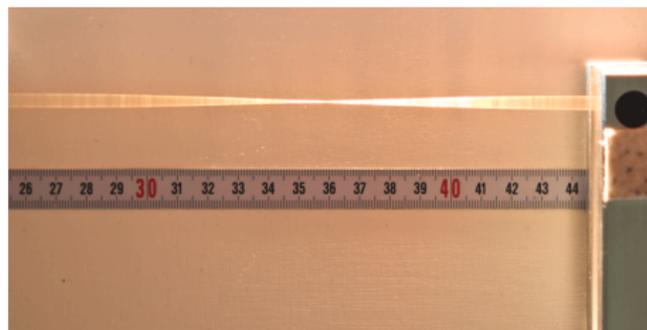


- Rollensteg verhindert Haftreibungseinfluss

5. Harmonische



Saitenlänge: 90 cm

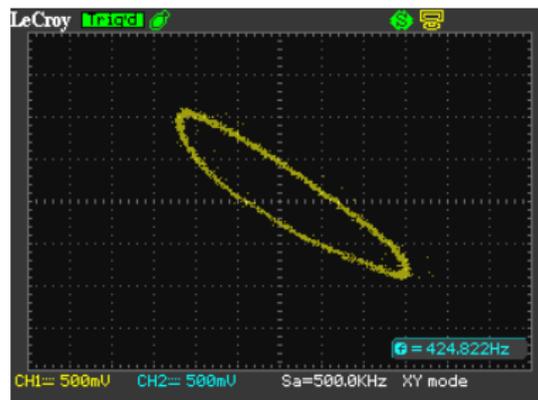
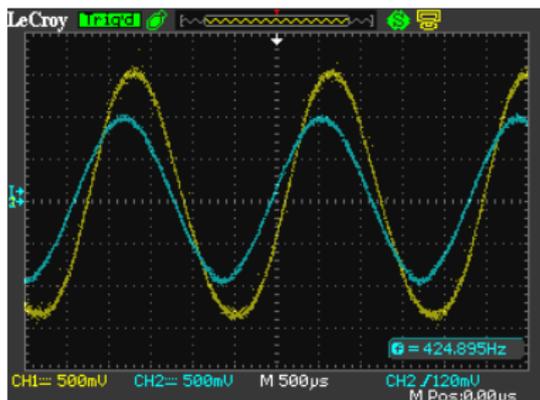


Knotenabstand: 18 cm

Bis zur 6. Harmonischen können die Eigenschwingungen gut mit dem Auge beobachtet werden

Resonanzeinstellung mit Lissajous-Figuren

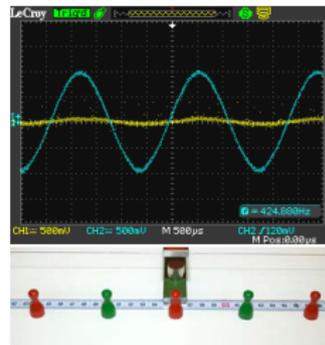
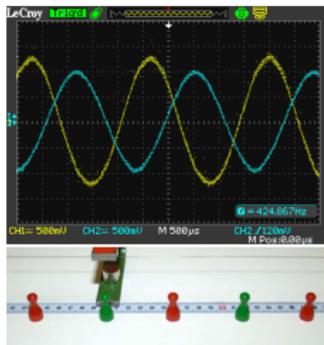
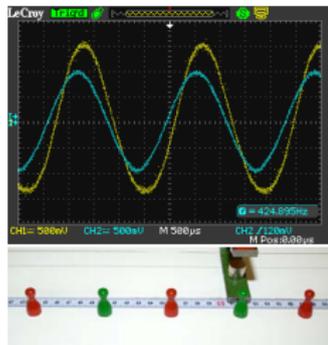
- CH1—Generatorsignal (blau)
- CH2—Mikrofonsignal (gelb)



- Im Resonanzfall beträgt die Phasenverschiebung $\pm \frac{\pi}{2}$

Anregung höherer Harmonischer

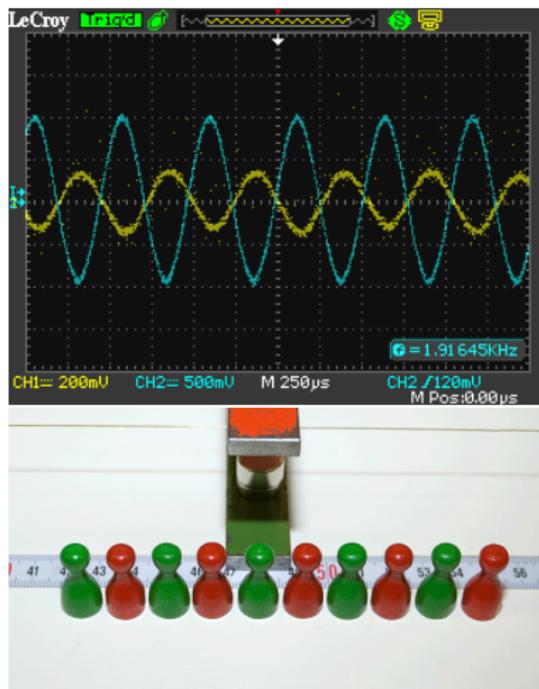
- Anregung $f_8 = 425 \text{ Hz}$ ($f_1 = 53,2 \text{ Hz}$, $F = 10 \text{ N}$, $I = 0,6 \text{ A}$, $F_L = 6 \text{ mN}$)
- Resonanzeinstellung: Hören, Sehen, Mikrofonsignal, Lissajousfigur
- Ausmessen der Bäuche und Knoten durch Verschieben des Magneten



- Magnet am benachbarten Bauch verschiebt Mikrofonsignal um 180°
- $90 \text{ cm} / 11,3 \text{ cm} = 7,96$ (8. Harmonische)

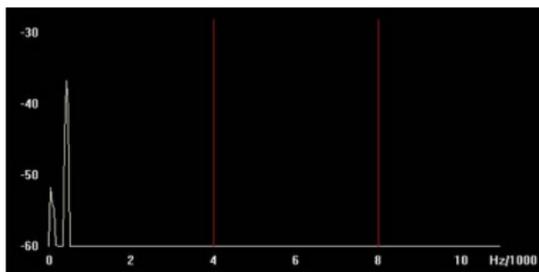
36. Harmonische

- Anregung mit $f_{36} = 1916 \text{ Hz}$
- nur zwischen den Knoten findet eine Anregung statt
- nur die Breite des Magneten begrenzt die Auflösung

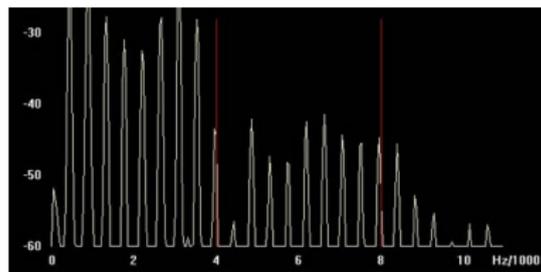


Frequenzanalyse und Variation der Lorentzkraft

- Resonante Anregung der 8. Harmonischen mit $f_8 = 425 \text{ Hz}$
($f_1 = 53,2 \text{ Hz}$, $F = 10 \text{ N}$)



$$F_L = 2,25 \text{ mN } (I = 0,3 \text{ A})$$



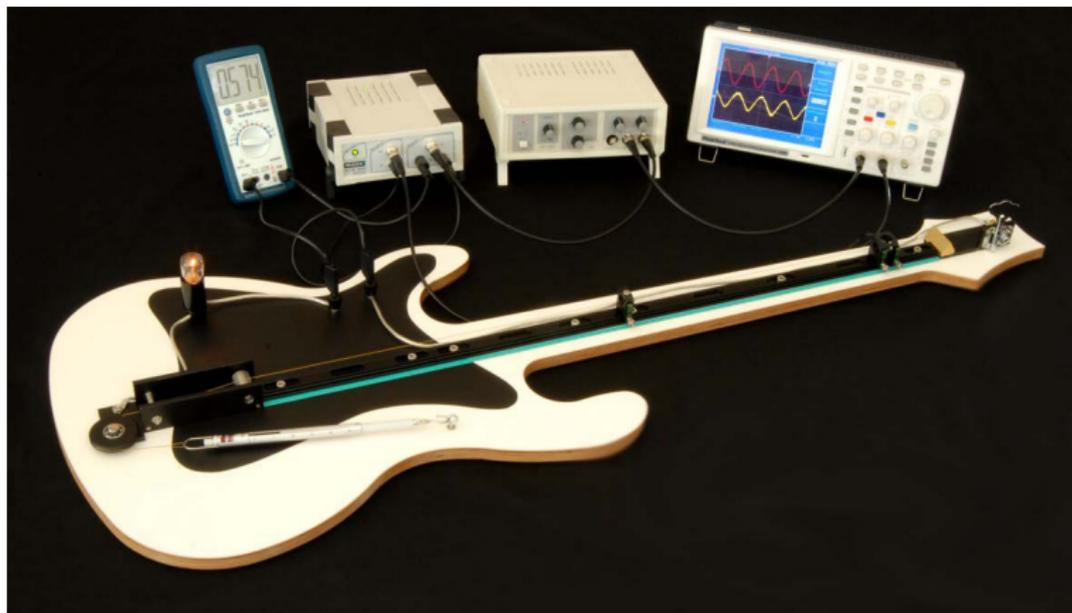
$$F_L = 11,3 \text{ mN } (I = 1,5 \text{ A})$$

- Bei starker Anregung entstehen viele Obertöne der direkt angeregten 8. Harmonischen
- beobachtbar: 8., 16.... bis zur 192.(= $24 \cdot 8$) Harmonischen

Zusammenfassung

- komplexer Versuch mit vielen Lerninhalten
- stehende Wellen an der schwingende Saite
- berührungslose, kontinuierliche Anregung mittels Lorentzkraft
- Beobachtung der Eigenzustände mit dem Auge und durch das Verschieben des Magneten entlang der Saite
- Resonanzeinstellung durch Sehen, Hören, Lissajousfiguren
- erzwungene Schwingungen, Resonanz, Phase
- Frequenzanalyse: harmonische und anharmonische Anregung

Umsetzung durch die Fa. PI miCos



Gliederung

- 1 Physikalische Praktika und Schülerlabor der Universität Bremen
- 2 Lorentzkraftgetriebene resonante stehende Wellen
- 3 Taupunkt**
- 4 Masse-Feder System
- 5 Faraday-Rotation

Optische Taupunktmessung

Bestimmung der absoluten und relativen Luftfeuchtigkeit f und φ

$$f = m_D/V = \rho_D$$

$$\varphi = f/f_m(T)$$

Abkühlung eines Spiegels bis zum Taupunkt τ

$$f \approx f_{\max}(\tau)$$

$$p_{SD}(\tau)V = f_{\max}(\tau)VR\tau$$

Sättigungsdampfdruck als Funktion der Temperatur ist tabelliert

Optischer Aufbau

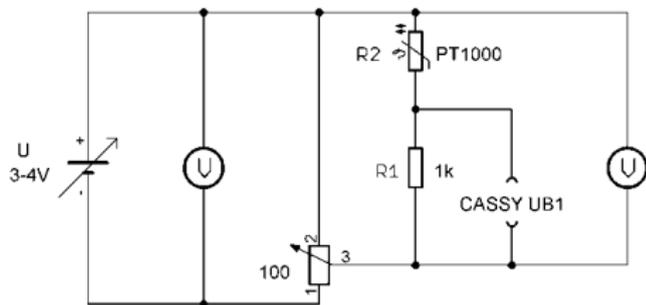
- Lampe, Lochblende, Spiegel, Linse, großflächiger Detektor (Solarzelle)
- Keine Zeichnung, aber Hinweise:
 - Spiegel großflächig ausleuchten
 - Einfallswinkel Spiegel 30 bis 45°
 - Wendel auf Spiegel und Lochblende scharf auf Detektor abbilden
 - Detektorspannung unterhalb der Sättigungsspannung
 - Deutliche Signaländerung beim Anhauchen

Anschluss Temperatursensor

- Dünnschicht-Platinwiderstand PT1000 (1000 Ω bei 273 K, linearer Koeffizient 3,85 Ω/K)
- Betrieb nur mit kleiner Spannung (Erwärmung!)
- Anschluss an CASSY, Schaltung vorgegeben:

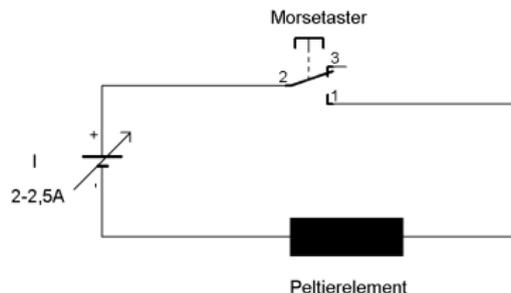
$$I_{PT} = \frac{U_{B1}}{R_1}$$

$$U_{PT} + U_1 = U_{Poti}$$

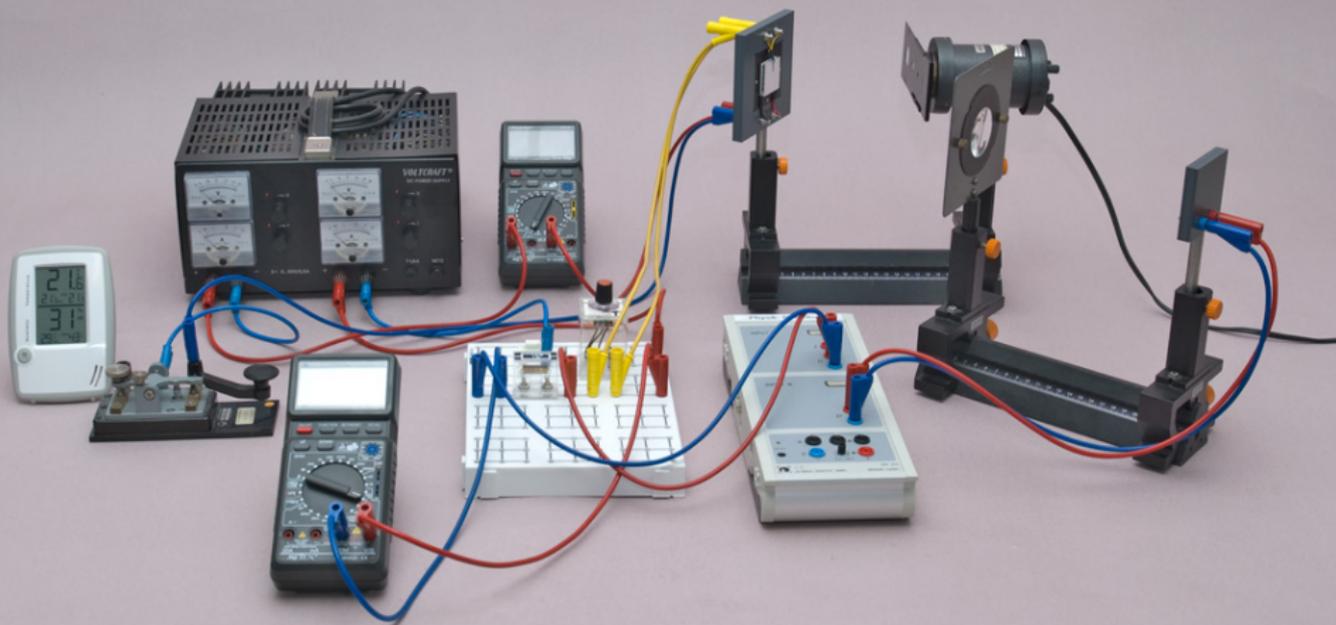


Anschluss Peltierelement

- Schaltung gegeben
- Kennenlernen der Konstantstromfunktion des Netzgeräts
- Kurzfristige Einschaltung über Morsetaster

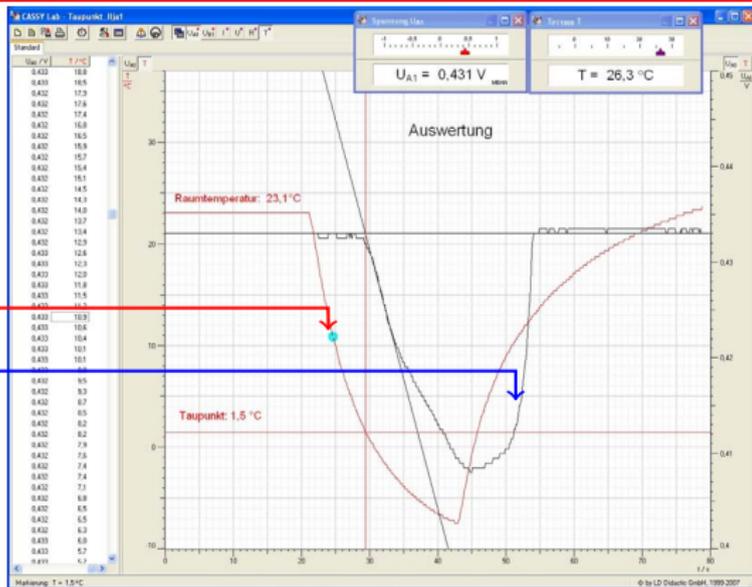


Der zusammengebaute Versuch



Messung und Auswertung

- Temperatur des Spiegels
- Detektorsignal



- Grafische Extrapolation zur genauen Taupunktbestimmung
- Vergleich des Wertes mit denen anderer Gruppen zur Größtfehlerabschätzung

Gliederung

- 1 Physikalische Praktika und Schülerlabor der Universität Bremen
- 2 Lorentzkraftgetriebene resonante stehende Wellen
- 3 Taupunkt
- 4 Masse-Feder System**
- 5 Faraday-Rotation

Erzwungene Schwingung mit Masse-Feder System

- Masse-Feder System als physikalisches Konzept
- Resonanz
(mechanische Systeme, Antennen, Absorption und Emission von Licht, Resonatoren, lineare Kette, Molekülschwingungen ...)
- Masse-Feder System anschaulicher als Drehschwingung (Exzenter)
 - freie Schwingung (ω_0)
 - gedämpfte Schwingung (ω_1)
 - erzwungene Schwingung (ω)

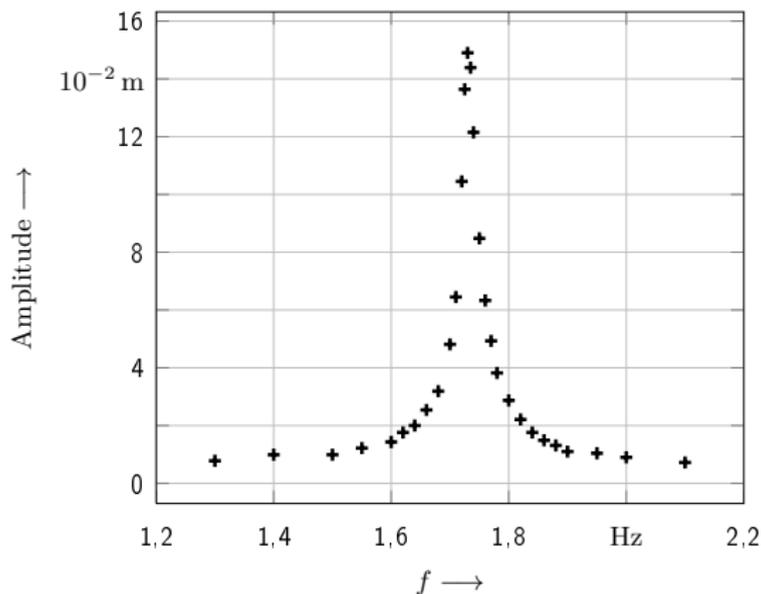
$$x(t) = \frac{F_0}{\sqrt{m^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + B\omega^2}} \cos(\omega t - \varphi) + \exp\left(-\frac{B}{2m}t\right) \cos \omega_1 t$$

Versuchsaufbau



- Resonanzfrequenz um 1,7 Hz
- Einstellgenauigkeit 0,001 Hz
- Wirbelstrombremse

Resonanzkurve



Anfertigen der Grafik während des Versuches

→ wo muss genauer gemessen werden

Gliederung

- 1 Physikalische Praktika und Schülerlabor der Universität Bremen
- 2 Lorentzkraftgetriebene resonante stehende Wellen
- 3 Taupunkt
- 4 Masse-Feder System
- 5 Faraday-Rotation

Faraday-Rotation bei verschiedenen Wellenlängen in Glas

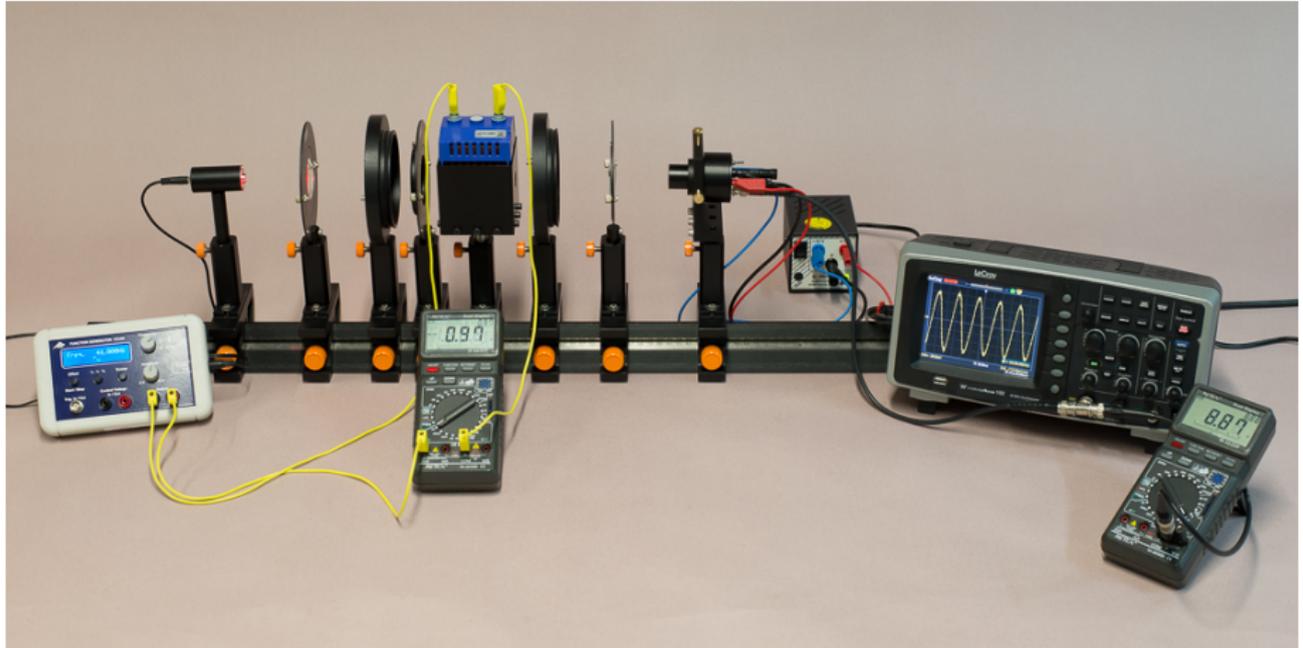
- magnetfeldinduzierte Doppelbrechung
- transparentes Medium (dielektrisch, nicht magnetisch)
- Drehung der Polarisationssebene beim Durchgang

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

Anwendung:

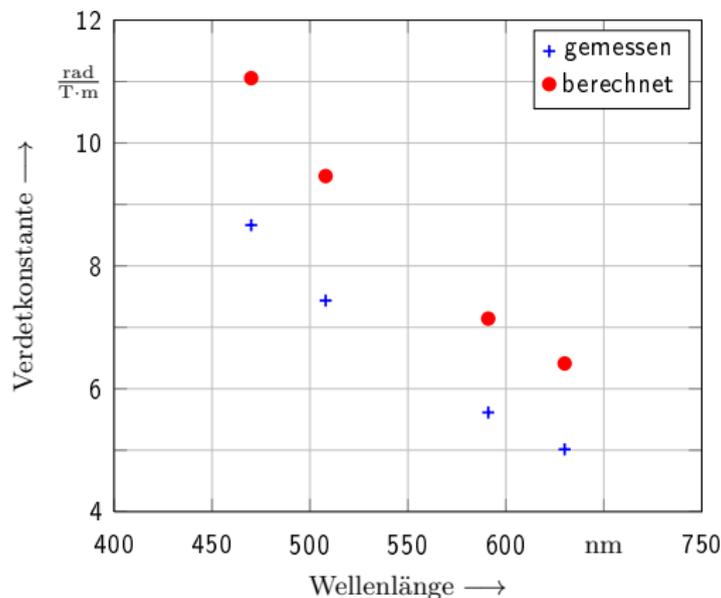
- Faraday Isolator
- Bestimmung der effektiven Masse in Halbleitern

Versuchsaufbau



Modulationsverfahren

- Malus $I = I_0 \cos^2 \varphi$
- größter Anstieg bei $\varphi = 45^\circ$
- $I = I_0 \cos^2 (45^\circ \pm \theta) = 0,5I_0 (1 \mp 2 \cos \theta \sin \theta)$
 $\approx I_0 \left(\frac{1}{2} \mp \theta_B \right)$
- 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

Verdet-Konstante $V(\lambda)$ 

Berechnung mit $m_e^* = m_e$

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

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

Versuchsanleitungen

- Publikationen und Vorträge über innovative Experimente
- Anleitungen

www.praktikum.physik.uni-bremen.de



Danksagung

An das Praktikumsteam:

Waltraud Hoffmann, Silke Glüge, Peter Kruse, Christoph Windzio
und an die Kooperationspartner PI miCos GmbH und AUCOOP e. V.



Fotos, Grafiken und Präsentationslayout: Christoph Windzio

