

## Atomphysikversuch-Baukästen zur „Faraday Rotation“ mit LEDs als Lichtquellen für moderne Physikpraktika



Faraday Rotation Kit – Basic  
(laboratory experiment)



Faraday Rotation Kit – Extended , with  
lecture room demo “Free Space  
Information Transfer”

Das Experiment liefert den Beweis, dass die Elektronen für die optischen Eigenschaften von Materie verantwortlich sind. Im Versuch wird ein Modulationsverfahren zur exakten Messung kleiner Drehwinkel der Polarisations ebene des Lichts bei verschiedenen Wellenlängen und Magnetfeldstärken verwendet. Daraus werden die effektive Elektronenmasse, die spezifische Elektronen-Ladung und die Dichte der Dispersionselektronen ermittelt.

Beide Baukästen enthalten alle notwendigen Zusatzteile, um neben einer vorhandenen Grundausstattung für optische Ausbildungsexperimente, den Atomphysikversuch Faraday Rotation zu realisieren.

## Komponenten:

### 1. Frequenzgenerator mit Verstärker zum Anschluss der Spule



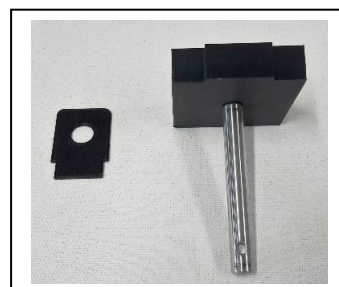
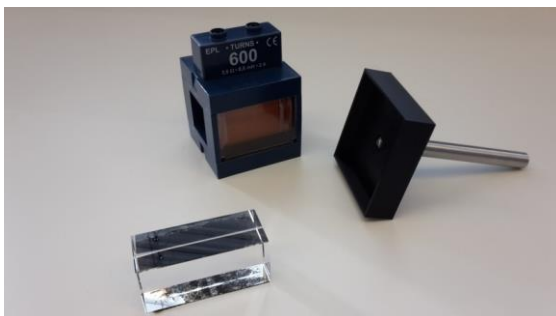
Zum Generator/Verstärker gehört ein 24V Netzteil. Der Generator kann mit zwei Festfrequenzen (etwa 60 oder 85 Hz Sinus) betrieben werden. Das Gerät besitzt einen zusätzlichen AUX-Eingang und einen entsprechenden Umschalter zwischen „Frequenzgeneratorbetrieb (intern) oder AUX-Eingang (extern)“. Der AUX-Eingang ist notwendig für den Demoversuch „Musikübertragung über Polarisationsmodulation eines Lichtstrahls“.

### 2. Spule, Spulenhalter und Glasblock

Ein Glasblock wird in die Spule geschoben. Hierbei kann deutlich gemacht werden, dass nur die weniger stark gebundenen Valenzelektronen der Terahertz-Frequenz des Lichts folgen können und nur die so bewegten Ladungen dem Magnetfeld und somit der Lorentzkraft ausgesetzt sind. Die Licht-Materie Wechselwirkung erfolgt somit über einen Teil der Elektronen, die so die optischen Eigenschaften des dielektrischen und nichtmagnetischen Materials bestimmen.

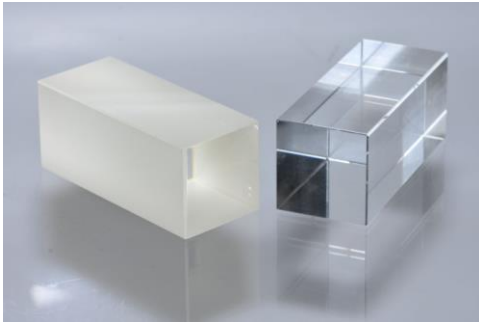
Der Verlauf und die Größe des axialen Magnetfeldes in der Spule kann ausgemessen oder der Musterlösung entnommen werden.

Die Abbildung zeigt die Spule, den Spulenhalter und den N-BK7-Glasblock.



An den Spulenhalter kann eine Blende gesteckt werden, die den durch die Spule verlaufenden propagierenden Parallelstrahl auf einen Durchmesser von ca. 13 mm begrenzt. Eine Irisblende im Strahlengang – vorteilhafterweise vor der Spule angeordnet - wird trotzdem benötigt, um die Intensität so zu regeln, dass der Detektor nicht übersteuert.

### 3. Glasblöcke



Es befinden sich ein N-BK7 (Kronglas, alle Seiten poliert) und ein SF10 oder ZF4 (beides sind Schwerflintgläser, nur Stirnflächen poliert) im Koffer. ZF4 ist ein echtes Bleiglas und ist schwerer (Dichte  $4,5 \text{ g/cm}^3$ ) als SF10 (ein bleifreies „Bleiglas“, Dichte  $3,05 \text{ g/cm}^3$ ). Beide haben jedoch exakt dieselbe Dispersion. Die genaue Zusammensetzung der Gläser und die Dispersionswerte  $n(\lambda)$  und  $\frac{dn}{d\lambda}$  werden in der Musterlösung angegeben.

### 4. Detektor

Als Detektor steht Ihnen ein Si-Photodiodenempfänger mit integriertem OPV zur Verfügung. Der Empfänger kann mit einer DC-Versorgungsspannung im Bereich von 9 V bis 30 V (single supply) arbeiten. Die spektrale Detektorempfindlichkeit steigt von 350 nm bis 700 nm nahezu linear um etwa den Faktor acht an. Der Frequenzgang geht bis 14 kHz. Optional kann auch ein Detektor mit integrierter langlebiger Batterie und Schalter bestellt werden.

#### ***Detektorbetrieb im Studenten- oder Schülerlaborversuch „Faraday Rotation“***

Der Empfänger kann für den Praktikumsversuch „Faraday Rotation“ völlig rauschfrei mit einer 9 V Blockbatterie betrieben werden. Eine Anschlussklemme für die Blockbatterie liegt bei.

Das **Messsignal** wird über ein BNC-Kabel abgegriffen und über ein **T-Stück** sowohl an ein Standardoszilloskop im AC-Betrieb zur Ablesung des AC-Signals als auch an ein Multimeter für die **gleichzeitige** Messung des DC-Werts gegeben. Das permanente Vorhandensein des DC-Signals resultiert aus der  $45^\circ$ -Stellung von Polarisator und Analysator zueinander. Da zur Ermittlung des Drehwinkels beide Signale durcheinander dividiert werden müssen, kürzen sich die unterschiedlichen Helligkeiten der LEDs und die jeweilige spektrale Empfindlichkeit des Detektors heraus. Das AC-Signal (Spitze-Spitze) sollte im Bereich von 50 bis 400 mV liegen.



Das rechte Bild zeigt die Vorderansicht des Detektors. Der kleine Zylinder dient der Abschirmung von Fremdlicht, so dass nicht im komplett verdunkelten Raum gemessen werden muss. Als Justagehilfe ist eine Zielschiebe auf den Detektor aufsteckbar.

### ***Detektorbetrieb im Hörsaal-DEMO-Versuch „Musikübertragung durch Polarisationsmodulation“***

Für die Demonstration der Musikübertragung mittels Polarisationsmodulation im Hörsaal über eine Strecke von bis etwa 5 m sollte der Detektor mit einer Spannung von ca. 24 V DC (oder mit interner Batterie) betrieben werden. Vor dem Detektor ist der Analysator (45°-Stellung zur Richtung der Linearpolarisation des Lasers) und eine Linse je nach Signalstärke zur Fokussierung oder Defokussierung des Laserlichts anzuordnen. An den BNC-Ausgang des Detektors sollten z.B. über T-Stücke (1) ein Multimeter zur Messung des DC-Werts, ein (2) Oszilloskop zur Beobachtung des AC-Werts sowie (3) der Aktivlautsprecher angeschlossen werden. Ein Verbindungskabel von BNC auf Klinke liegt bei.

Da mit höheren Frequenzen der Wechselstromwiderstand der Modulationsspule zunimmt und die obere Grenzfrequenz des Detektors bei 14 kHz liegt, ist keine HiFi-Qualität zu erwarten. Zur DEMO bietet sich daher Rock-Musik an.



Rückansicht des Detektors mit  
interner Batterie und Schalter

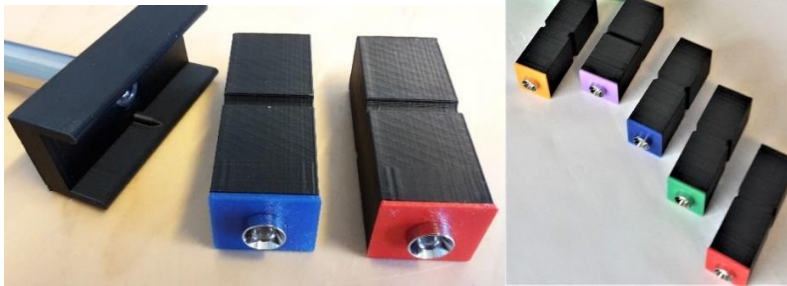
## **5. Lichtquellen**

### ***LED Lichtquellen für Praktikumsversuch***

Als Lichtquellen stehen fünf Leuchtdioden zur Verfügung, so dass die spektrale Abhängigkeit der jeweiligen (N-BK7 bzw. ZF4) Verdet-Konstanten bei verschiedenen Wellenlängen im sichtbaren Spektralbereich ermittelt werden können. Alle Leuchtdioden werden mit dem beiliegenden Steckernetzteil betrieben.



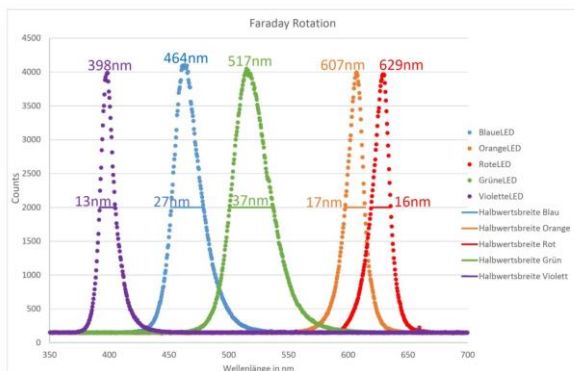
Optional können entweder, wie im oberen Bild gezeigt, fünf einzelne LED mit Halter oder, wie im unteren Bild gezeigt, fünf schneller austauschbare LEDs mit einem gemeinsamen Halter bestellt werden. Der gemeinsame Halter hat den Vorteil, dass nur einmal der Strahlengang justiert werden muss. Das bietet sich an, wenn der Zeitfonds für die Durchführung stark begrenzt ist.



LEDs steckbar in einen gemeinsamen Halter für schnellen Farbwechsel ohne Neujustierung

Im unteren Bild sind die Spektren der LEDs mit Lage des jeweiligen spektralen Maximums und der Halbwertsbreite gezeigt.

Die unterschiedlichen Helligkeiten der verschiedenfarbigen LEDs sowie die unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit des Detektors spielen bei der Bestimmung der Drehwinkel keine Rolle, da stets AC- und DC-Signal durcheinander dividiert werden müssen. Das DC-Messsignal ist aufgrund der 45°-Stellung des Analysators stets gut verfügbar.



### **Laserlichtquelle für Hörsaal-DEMO-Versuch „Musikübertragung“ über Polarisationsmodulation**

Der Baukasten mit Erweiterung enthält als Strahlungsquelle für den DEMO-Versuch einen linear polarisierten Halbleiterlaser mit einer Wellenlänge von 635 nm und einer Ausgangsleistung von 1 mW bei einer Divergenz von  $\approx 0,3$  mrad (Laserklasse 2). Der Laser verfügt über eine Linse. Diese kann so eingestellt werden, dass der Laserspots je nach Länge des Übertragungsweges auf dem Detektor nicht allzu groß wird.

Auf der Empfängerseite ist vor dem Detektor ein Analysator in 45°-Stellung und bei Bedarf eine Linse ( $f= 10$  bis 15 cm) als Justierhilfe zur Fokussierung oder Defokussierung einzusetzen.

## 6. Was brauchen Sie noch aus Ihrer eigenen Sammlung zur Realisierung des Faraday-Rotationsexperiments?

- 1 optische Bank (möglichst geerdet)
- 7 optische Reiter (möglichst schmal für einen kompakten Aufbau)
- 2 Sammellinsen mit gleicher Brennweite, im Bereich etwa 50 bis 100 mm
- 2 Polfilter (einer davon drehbar)
- 1 Iris-Blende
- 2 Multimeter (als AC-Amperemeter und als DC-Voltmeter)
- 1 Standardoszilloskop
- 1 Netzgerät oder eine 9V- Blockbatterie
- evtl. ein Teslameter mit Axialsonde (wenn die Flussdichte gemessen werden soll)

## 7. Was ist für den Demoversuch „Musikübertragung mittels Polarisationsmodulation“ noch notwendig?

Folgende Teile werden im Baukasten „Extended“ (Praktikumsversuch und eine Erweiterung Hörsaal-DEMO-Versuch Musikübertragung mittels Polarisationsmodulation) im Vergleich zur Basisvariante des Baukastens mitgeliefert:

- HL-Laser, linear polarisiert / Kabel / Aktivlautsprecher mit AUX-Eingang und USB-Ladekabel.

Als Signalquelle können Sie ihr Smartphone, einen MP3-Player oder einen externen Frequenzgenerator an den Generator/Verstärker über AUX anschließen.

## 8. Liste einiger Lernziele des Experiments

- schwächer gebundene Valenzelektronen (Dispersionselektronen) bestimmen die optischen Eigenschaften der Materie / sie schwingen mit der Lichtfrequenz (600 THz bei 500 nm) mit
- dielektrisches Material / Dispersionstheorie / Brechungsindexverlauf / normale und anormale Dispersion
- Oszillatormodell zur Beschreibung einer Resonanz / dielektrische Funktion
- komplexer Brechungsindex / Realteil und Absorptionskonstante
- polarisiertes Licht / zirkulare und lineare Polarisierungen
- magnetfeldinduzierte Doppelbrechung und Spannungsdoppelbrechung
- Lorentzkraft und Zeeman-Effekt im axialen Magnetfeld
- Faraday Rotation
- Modulationsverfahren zur Steigerung der Empfindlichkeit bei der Messung kleiner Größen
- optischer Aufbau (Geradlinigkeit der Lichtausbreitung, geometrische Optik)

## 9. Theorie, Hinweise zur Versuchsdurchführung, Aufgabenstellungen, Musterlösung

Die lehrbuchartige Darstellung der Theorie mit entsprechenden Herleitungen, vielen Hinweisen zum Aufbau, zur Versuchsdurchführung und eine Vielzahl möglicher Aufgabenstellungen finden sich in einer ausführlichen Versuchsanleitung. Für den Tutor ist eine Musterlösung beigelegt. Anhand der Musterlösung können – falls nur Teile des Versuchs durchgeführt werden sollen – bestimmte Ergebnisse oder Zusammenhänge den Lernenden vorgegeben werden.