

## CLUB APOLLO 13, 14. Wettbewerb Aufgabe 1

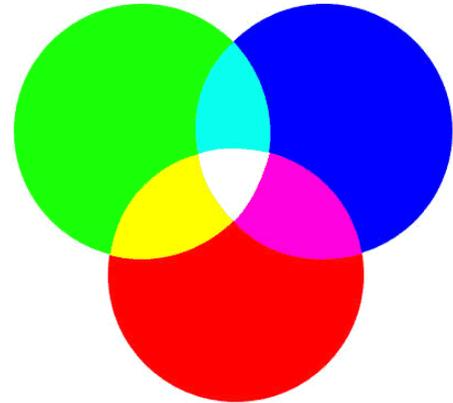
### Lichtexperimente

Diese Aufgabe wird vom Fachbereich Physik der Leibniz Universität Hannover gestellt.

Weitere Informationen zum Studiengang der Physik findet ihr unter <http://www.physik.uni-hannover.de/>

### Rot - Grün - Blau

2015 ist das Jahr des Lichts. Passend dazu ist das Motto unseres Wettbewerbs „Wie wir die Welt sehen.“ In dieser Aufgabe werdet Ihr schöne Bilder produzieren und Experimente mit besonderen Lichtquellen machen. Wir beschäftigen uns mit (Opto-)Elektronik und Ihr werdet Physik von einer anderen und vielleicht überraschenden Seite erleben.



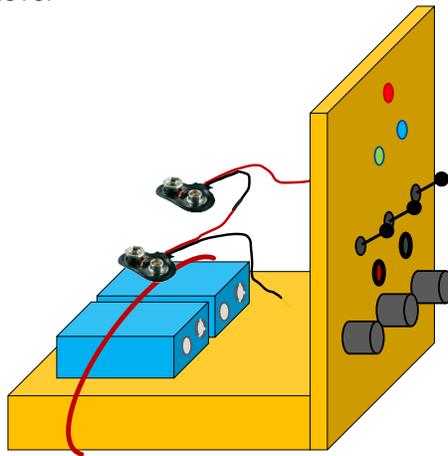
1 Farbmischen mit Rot, Grün und Blau

### Lichtquelle und Sensor

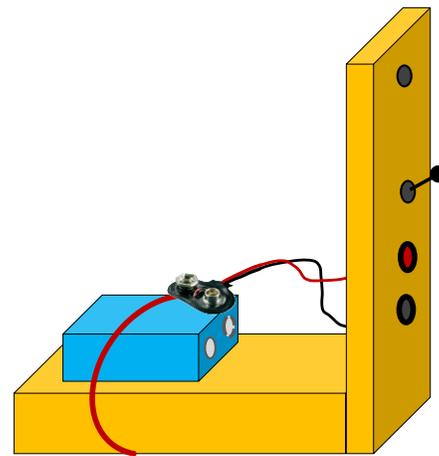
Sowohl die spezielle Lichtquelle als auch den Sensor müsst Ihr selbst bauen. Das Zubehör, das Ihr dazu benötigt, ist am Ende des Aufgabenblattes aufgelistet.

Wenn Ihr Euch die Teile nicht selbst besorgen könnt, dann schickt einfach Briefmarken im Wert von 10 Euro und Eure Schuladresse an die folgende Adresse:

Leibniz Universität Hannover  
Institut für Quantenoptik  
Dr. Rüdiger Scholz  
Welfengarten 1  
30167 Hannover



2 Die RGB-Lampe



und der Lichtsensor

### Experimente und Analysen zur Lichterzeugung mit Leuchtdioden (LED)

Leuchtdioden sind Lichtquellen mit besonderen Eigenschaften. Anders als bei Glühlampen wird das Licht nicht durch einen glühend heißen Draht erzeugt, sondern durch die Dynamik von Elektronen in besonderen Festkörpern, wie z. B. in Halbleitern. Licht aus LED soll hier untersucht werden.

**Hinweis:** Beachtet, dass Leuchtdioden immer mit einem Vorwiderstand (hier  $680 \Omega$ ) betrieben werden müssen.

#### a) Grundlagenteil (10 Punkte): Basteln und Experimentieren

**Aufbau der Lichtquelle:** Ihr benötigt eine Grundplatte (10 cm x 10 cm x 1,5 cm) und eine Frontplatte (10 cm x 15 cm x 0,5 cm). Die Größe der Bohrungen könnt Ihr aus den gelieferten Teilen bestimmen. Die Verkabelung entnehmt Ihr dem Schaltplan (Abb. 3).

**Aufbau des Lichtsensors:** Die Breiten der Grund- und der Frontplatte sind hier halb so groß: jeweils 5 cm. Für die Aufnahme der Photodiode samt Stecker muss ein entsprechendes Loch gesägt werden.

#### Hinweise zum Aufbau

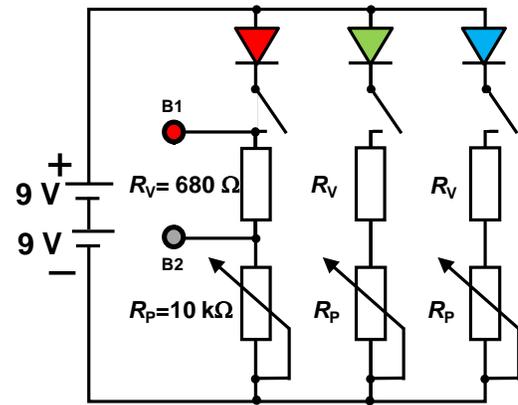
Sollten die LED oder der Stecker der Photodiode wackeln, können sie mit Alleskleber eingeklebt werden. Für ganz „vornehme“ Bastler/innen gibt es im Fachhandel einschraubbare Fassungen.

Achtet darauf, dass die rote LED und die Photodiode in gleicher Höhe montiert sind.

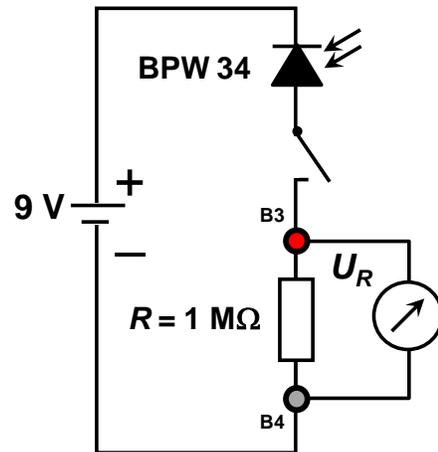
**Aufgabe: (1)** Baut die Lichtquelle und den Sensor zusammen und dokumentiert den Aufbau durch aussagekräftige Fotos.

Führt einen Funktionstest durch. Überprüft die Helligkeitsregelung der drei LED. Zwischen den Buchsen B1 und B2 sollte eine Spannung messbar sein ( $V_{DC}$ -Bereich = Volt, Gleichstrom), die sich mit der Helligkeit verändert (darauf kommen wir später noch einmal zurück).

Ein Multimeter ( $V_{DC}$ -Bereich), das an die Buchsen B3 und B4 des Lichtsensors geschaltet ist, sollte bei diffussem Tageslicht etwa 0,5 V zeigen; bei Beleuchtung mit der roten LED aus 10 cm Abstand mehr als 7 V.



3 Schaltplan der Lichtquelle



4 Schaltplan des Lichtsensors

**Erste Experimente:** Die Experimentierlampe eignet sich gut für Experimente zur Farbmischung. Mithilfe einer Sammellinse (z. B. einer Schreibtischlupe) lässt sich mit etwas Geschick ein Bild wie Abb. 1 reproduzieren. Verwendet dazu eine Brennweite von  $f \approx 15\text{-}20 \text{ cm}$  und nutzt einen Linsendurchmesser von ungefähr 5 cm.

**Aufgabe: (2)** Baut das Experiment auf. Erzeugt unterschiedliche Farbmischeindrücke. Testet dazu die Wirkung der Helligkeitseinsteller aus. Wie verändern sich die Farbergebnisse? Dokumentiert alle Ergebnisse durch aussagekräftige Fotos.

**b) Mittlerer Teil (10 Punkte): Die Physik der LED**

*(A) Die Farbe des LED-Lichts*

Ihr könnt Euch das ähnlich vorstellen, wie sich der Nobelpreisträger und Erfinder des Transistors William B. Shockley die Leitung im Halbleiter veranschaulicht hat (Abb. 5): Elektronen verhalten sich demnach wie Autos in einem zweigeschossigen Parkhaus. Aus einer vollen unteren Etage kann man sie unter Energieaufwand  $W_H$  in die leere obere Etage befördern. Dort fahren sie herum. Findet sich unten eine passende Parklücke, werden sie wieder nach unten befördert. Dabei wird die vorher hineingesteckte Energie  $W_H$  wieder frei. Der Witz dabei ist, dass die Energie  $W_H$  als elektrische Energie hineingesteckt (durch Betriebsstrom und -spannung  $I_{LED}$  bzw.  $U_H$ ) und als Licht wieder abgegeben wird. Die Quantenphysik liefert für die Wellenlänge  $\lambda$  des abgegebenen Lichts die folgende Gleichung:

$$\lambda = h \frac{c}{W_H} \quad (*)$$

$W_H$  ist hier die „Stockwerkshöhenenergie“,  $c = 2,9979 \cdot 10^8$  m/s ist die Lichtgeschwindigkeit und  $h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$  Js ist die Plancksche Konstante.

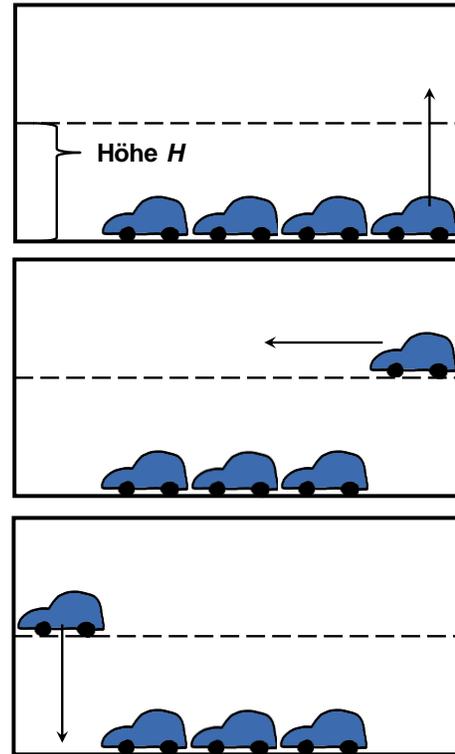
**Aufgaben:**

- (1) Berechnet damit die „Stockwerkshöhenenergie“ der roten LED mit einer Wellenlänge von  $\lambda = 660$  nm.
- (2) Die zu der Stockwerkshöhe passende elektrische Spannung  $U_H$  erhaltet Ihr, wenn Ihr die „Stockwerkshöhenenergie“  $W_H$  durch die elektrische Ladung  $e = 1,6021 \cdot 10^{-19}$  Cb des Elektrons dividiert:  $U_H = W_H / e$ . Berechnet  $U_H$  für die rote LED und überprüft mit einem Multimeter, ob die Spannung zwischen den Beinchen der roten LED diesen Wert hat. Messt auch die entsprechenden Spannungen bei der roten und bei der blauen LED und berechnet mit Formel (\*) die zugehörigen Wellenlängen.

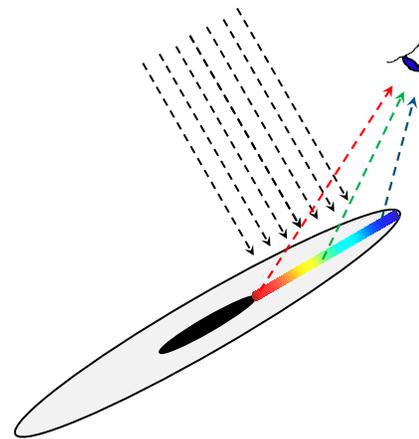
Tatsächlich ist das LED-Licht nicht monochromatisch, sondern eine Mischung von Lichtern unterschiedlicher Wellenlänge. Dies untersucht Ihr im nächsten Experiment.

**Aufgaben:**

- (3) Um das Spektrum direkt zu betrachten, beobachtet den farbigen Reflex auf einer CD-Oberfläche. Abb. 6 zeigt, wie es geht. Beschreibt in wenigen Sätzen die Spektren, die von den drei LED erzeugt werden.
- (4) Physikalisch *gemessen* wird die *Intensität des Lichts* bei einer bestimmten Wellenlänge. Abb. 7 zeigt die gemessenen Spektren der drei LED. Zeichnet zu der Wellenlängenskala mit Buntstift die zugehörigen Farben (590 nm =  $590 \cdot 10^{-9}$  m: ?; 700 nm: ?; 650 nm: ?; 520 nm: ?; 470 m: ?) und ordnet die Spektren den LED zu. Begründet Eure Entscheidungen.

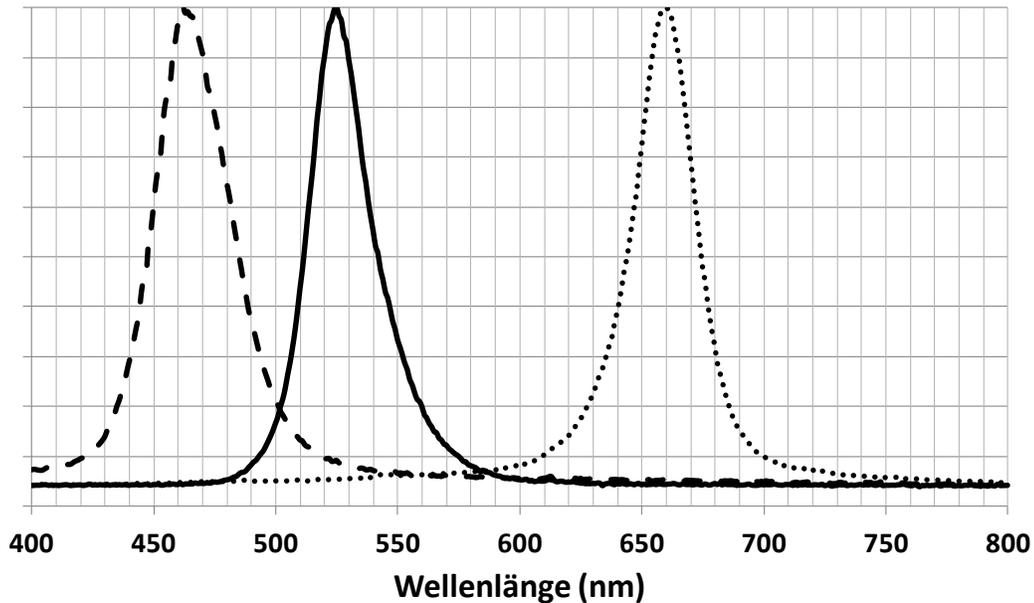


5 Parkhausmodell des Leuchtdiodenprozesses



6 Spektren anschauen mit Compact-disc

Spektrallinien der LED



7 Gemessene Spektren der drei Leuchtdioden: Welche Spektrallinie passt zu welcher LED?

(B) Die Helligkeit der LED

Der Widerstandswert der Drehpotentiometer ( $R_p$  im Schaltplan) lässt sich zwischen  $R_p = 0 \Omega$  und  $10 \text{ k}\Omega$  einstellen. Man kann also mit  $R_p$  die Stromstärke durch die LED und damit deren Helligkeit einstellen. Rechnet man mit einer LED-Betriebsspannung  $U_H \approx 2 \text{ V}$  für die rote LED, kann man die Stromstärke durch die LED für unterschiedliche  $R_p$ -Werte berechnen.

**Aufgabe: (5)** Erklärt, wie das geht, und berechnet die minimale und die maximale Stromstärke.

Aus dem Parkhausmodell folgt sofort: Je mehr Elektronen vom oberen „Parkdeck“ ins untere fallen, desto heller leuchtet die LED.

**Aufgabe: (6)** Begründet, warum die Farbe gleich bleibt.

Mithilfe Eures Sensors könnt Ihr nun prüfen, wie die Lichtintensität der roten LED von der Stromstärke abhängt. Ein an die Buchsen B3 und B4 geschaltetes Multimeter ( $V_{DC}$ -Bereich) misst eine Spannung  $U_R$ , die proportional zur Stromstärke  $I_{PD}$  durch die Photodiode ist.

**Aufgabe: (7)** Warum ist das so? Entwickelt eine Formel, mit der  $I_{PD}$  aus der Spannung  $U_R$  berechnet werden kann:  $I_{PD} = I_{PD}(U_R)$ .

Nun zur **Messaufgabe**: Messt die Stromstärke  $I_{PD}$  durch die Photodiode als Funktion der Stromstärke  $I_{LED}$  durch die LED. Verhindert möglichst, dass „Nebenlicht“ auf die Photodiode fällt; das würde das Ergebnis verfälschen.

- (8) Zeichnet ein  $I_{PD}(I_{LED})$ -Diagramm.
- (9) Formuliert Euer Ergebnis als Je-Desto-Aussage.
- (10) Stellt eine Hypothese dafür auf, welcher Funktionszusammenhang zwischen  $I_{PD}$  und  $I_{LED}$  besteht. Überprüft Eure Hypothese z. B. mit einem grafikfähigen Taschenrechner (Lineare Regression?).
- (11) Der Hersteller gibt an, dass der Strom durch die Photodiode BPW 34 in dem hier gewählten Stromstärkebereich proportional zur Intensität des beleuchtenden Lichts ist. Begründet damit das wichtige Ergebnis:

Die Intensität der LED ist proportional zur Stromstärke  $I_{LED}$ .

**c) Für die Profis (10 Punkte): Die Extinktion von Wackelpudding**

Bekanntlich sieht grüner Wackelpudding grün aus. Erklärt, warum man daraus schließen kann, dass rotes Licht von dem Puddingfarbstoff absorbiert wird.

Im letzten Experiment sollt Ihr nun diese Absorption etwas genauer untersuchen. In der Physik ist die *Extinktion*  $E$  ein Maß für die Absorption von Licht in durchscheinendem Material. Dabei vergleicht man die Lichtleistung direkt vor Eintritt in das Material ( $P_0$ ) mit der Leistung ( $P_d$ ), die nach einer Strecke  $d$  im Material noch messbar ist. Um die Größe etwas besser an die Leistungsfähigkeit der Augen anzupassen, nimmt man das logarithmische Maß:

$$E_d = \log_{10} \left( \frac{P_0}{P_d} \right)$$

$U_R$  ist ein Maß für die Leistung des einfallenden Lichts. Messt Ihr jeweils  $U_R$  am Sensor, erhaltet Ihr die Extinktion aus dieser Messung durch

$$E_d = \log_{10} \left( \frac{U_{R0}}{U_{Rd}} \right).$$

**Aufgaben:**

- (1) **Messung von  $U_{R0}$ :** Stellt die rote LED etwa 10 cm vor die Sensordiode und schaltet beides ein. Stellt  $I_{LED}$  so ein, dass  $U_R \approx 8$  V. Die relative Position von Lichtquelle und Sensor darf nun nicht mehr verändert werden. Klebt sie dazu mit doppelseitigem Klebeband auf dem Labortisch fest. Füllt die Küvette mit Zuckerwasser (zwei Teelöffel auf ein Schnapsglas) und haltet sie direkt vor die Photodiode. Messt nun  $U_{R0}$  und notiert den Wert.
- (2) **Herstellung des Wackelpuddingabsorbers:** Stellt eine konzentrierte Wackelpudding-Lösung her (nur ein Drittel der Wassermenge). Mit einer kleinen Menge befüllt Ihr die kleine Küvette. Nach dem Abkühlen muss der fertige Pudding zum Experimentieren schön klar sein.
- (3) **Messung von  $U_d$ :** Jetzt haltet die Küvette mit dem Wackelpudding vor die rote LED und messt  $U_{Rd}$ . Berechnet die Extinktion  $E_d$ .
- (4) **Einfluss der Wellenlänge:** Wie Ihr wisst, hängt die Extinktion von der Wellenlänge ab (vgl. Aufgabe des Club Apollo 13 von 2009). Bestimmt die Wackelpudding-Extinktion für die anderen Wellenlängen Eurer Experimentierlampe.
- (5) Zeichnet ein Diagramm  $E_d = E_d(\lambda)$ .

**Weiterführende Aufgabe außerhalb der Bewertung**

Wer Lust hat, wiederhole den c)-Teil der Aufgabe mit rotem Wackelpudding. Welcher Pudding absorbiert Rot bzw. Grün besser/schlechter?

Viel Erfolg bei der ersten Aufgabe!

## Allgemeine Hinweise

**Einsendeschluss: Sonntag, 26. Oktober 2014, 19:59 Uhr.**

Gebt eure Lösungen über das Portal von uniKIK ab: <http://www.unikik-portal.de/portal>

Zulässige Dateiformate sind: PDF für die zusammengeschriebene Lösung (mit eingebetteten Bildern), sowie unter Windows gängige Videoformate, die sich ohne Installation von zusätzlicher Software abspielen lassen, z. B. mp4, sowie STL-Daten. Sollten Schwierigkeiten mit der Ausgabe der STL-Daten auftreten, so bitten wir um eine kurze Rückmeldung, um ein anderes Datenformat abzusprechen.

Die Dateien sollten nicht größer als 7,5 MB sein (Die Dateien können gepzippt sein)! Bitte gebt auch euren Teamnamen, die Namen der Gruppenmitglieder sowie deren Schulen an. Bitte benennt eure angehängten Dateien nach dem Gruppennamen.

**ACHTUNG bei Zip-Dateien!** Um sicher zu gehen, dass eure Dateien wirklich fehlerfrei und für die Korrektoren/-innen zu öffnen sind, solltet ihr eure Zip-Dateien etc. noch mal von eurem Account runterladen und öffnen. Dateien die sich nicht öffnen lassen, können nicht bewertet werden!

Ihr könnt und solltet eure Lösung auch dann abgeben, wenn ihr nicht alle Fragen beantworten konntet, insbesondere wenn ihr die letzte Teilaufgabe (die Profi-Aufgabe) nicht gelöst habt! Vielleicht gelingt euch das ja bei den kommenden Aufgaben.

Die Teilnahmebedingungen und weitere Informationen findet ihr unter: <http://www.unikik.de/apollo13>  
Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

### Teilelisten

(Bei entsprechender Bestellung beim Institut für Quantenoptik in der Lieferung enthalten)

#### 1. Lichtquelle

- 3 Leuchtdioden: rot (660 nm), grün und blau, jeweils superhell,
- 3 kleine Kippschalter,
- 3 Potentiometer (10 k $\Omega$ )
- 3 Widerstände 680  $\Omega$ ,
- 2 Bananenstecker-Einbaubuchsen
- 2 Batterieanschlüsse
- Schaltdraht

#### 2. Lichtsensor

- 1 Photodiode BPW 34 auf Stecker montiert
- 1 kleiner Kippschalter,
- 1 Widerstand 1 M $\Omega$ ,
- 2 Bananenstecker-Einbaubuchsen
- 1 Batterieanschluss
- Schaltdraht

#### 3. Absorbtionsmessung

- Eine Küvette

Beispielhafter Aufbau:

