

CLUB APOLLO 13, 15. Wettbewerb  
Aufgabe 2

Zum Jahr des Lichts 2015 ein nicht alltäglicher Optik-Versuch

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/>

Maxwell/Faraday: Licht als Welle

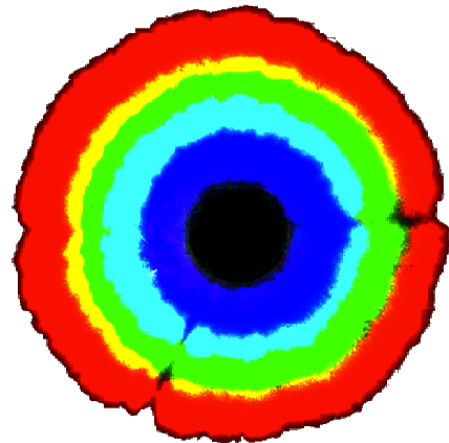
Die britischen Physiker Michael Faraday und James Clerk Maxwell haben im 19. Jh. ihre experimentell sehr gut gestützte Theorie veröffentlicht, dass Licht als eine wellenförmige Ausbreitung elektromagnetischer Felder betrachtet werden kann. Danach haben diese Wellen eine Wellenlänge  $\lambda$ , das ist die Strecke z. B. von einem Wellenberg zum nächsten (Abb. 2). Elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge  $\lambda$  zwischen 380 nm und 750 nm können Menschen sehen. Die Einheit nm bedeutet  $10^{-9}$  m. Wir nehmen sichtbare Lichtwellen unterschiedlicher Wellenlänge als unterschiedliche Farben wahr: Lange Wellen ( $\lambda$  groß) erkennen wir als rotes Licht, kurze Wellen ( $\lambda$  klein) als blau-violett, die anderen Farben liegen dazwischen. Die Geschwindigkeit, mit der sich Wellenberg oder -tal ausbreiten, konnten die beiden Forscher damals schon als Lichtgeschwindigkeit bestimmen:  $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s.

Wellen allgemein haben zwei weitere besondere Eigenschaften: **1. Beugung** Hinter einem Hindernis breiten sie sich auch in den vermeintlichen Schattenraum aus (so kommt der Lärm von Autos auch in Bereiche hinter den Häusern, von wo aus man die Straßen gar nicht mehr sehen kann); **2. Interferenz** Beim Überlagern von Wellen addieren sich die Amplituden. Gelangt ein Wellenberg auf einen anderen Wellenberg, bzw. ein Wellental auf ein anderes Wellental, so gibt es besonders große Amplituden (auf diese Weise können gewaltige „freak-waves“ auf dem Ozean entstehen). Abschwächung bis zur totalen Auslöschung tritt auf, wenn Berg auf Tal gerät. Da die Interferenz von der Wellenlänge abhängt (Wie sollen Wellen unterschiedlicher Wellenlänge interferieren, wenn die Bedingungen Berg auf Berg, bzw. Tal auf Tal nur zufällig mal passt?), führen Interferenzen mit sichtbarem Licht immer zu Farberscheinungen.

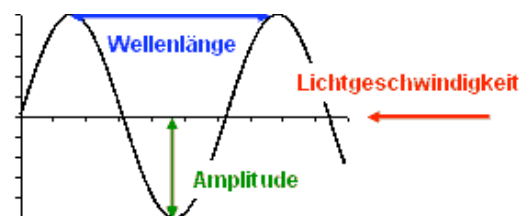
Eine optische Experimentiertechnik, die Beugung und Interferenz verwendet, wird als Beugungsoptik oder auch *diffraktive Optik* bezeichnet (Diffraktion = Beugung).

Experimente und Analysen zur diffraktiven Optik

Ein Beugungsgitter besteht aus einer regelmäßigen, feinen Gitterstruktur, bei der Streifen nebeneinander liegen, die abwechselnd Licht durchlassen oder nicht. Das feine Spurenmuster auf einer CD eignet sich sehr gut als feines Beugungsgitter für solche Experimente (Abb. 3).



1 Das farbige Bild hinter einer Beugungslinse



2 Merkmale einer Welle

**a) Grundlagenteil (10 Punkte): Mit einer Beugungslinse experimentieren**

**Bau der Linse (Abb. 4):** Ihr benötigt eine leere oder bespielte CD-R, von der ihr die spiegelnde Rückseite entfernt (am Innen- und Außenrand der Spiegelfläche mit dem Cutter rundherum einritzen, dann ein kräftiges Klebeband auf die gesamte Spiegelfläche kleben, gut andrücken und vorsichtig abziehen: Die Spiegelfläche löst sich von der CD).

Zur Blende: Aus einem schwarzen Fotokarton schneidet ihr die Kreisblende. Ein Schnittmuster mit Anleitung findet ihr auf der Seite 5. Diese Blende klebt ihr sehr gut zentriert auf die entspiegelte CD – welche Seite, ist dabei nicht wichtig.

Zur Beleuchtung: Dazu benötigt ihr eine Weißlichtquelle, die einen geeigneten Lichtkegel abstrahlt. Gut geeignet sind die kleinen 12-V-Lampen mit Parabolreflektor (Abb. 5). Die Lampe und die dazu gehörende Halterung bekommt ihr in jedem Baumarkt (max. 15 W reichen!)

Einen Vorschlag für den Aufbau zeigt Abb. 6. Dort wurde aus einer dicken Pappe die Halterung für die CD geschnitten (wenn der Kreisloch-Durchmesser 11 cm beträgt, passt es gut). Die Lampenhalterung wurde auf ein Sperrholzbrettchen geklebt). Lampenmitte und CD-Mitte müssen auf gleicher Höhe sein.

**Experimente mit der Linse**

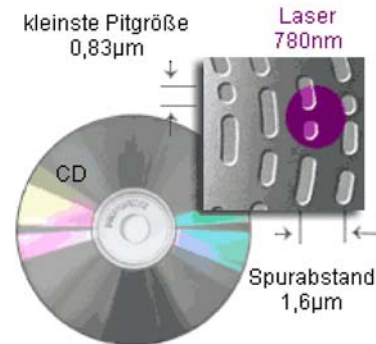
Um zu überprüfen, ob die Linse funktioniert, braucht ihr **Licht**, mit dem ihr die Linse beleuchtet, einen **Schirm**, auf dem ihr die Wirkung der Linse beobachten könnt und einen **Fotoapparat**, mit dem ihr eure Ergebnisse dokumentieren könnt.

**Aufgabe1**

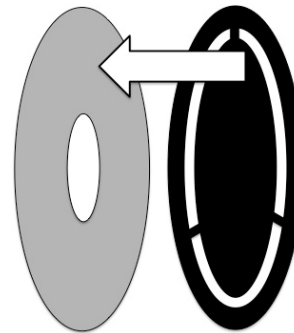
**(a)** Baut den Beugungslinsenaufbau nach. Dokumentiert diesen mit einem Foto.

**(b)** Welche Wirkung erwartet ihr von einer optischen Sammellinse? Überlegt euch drei unterschiedliche Experimente, mit denen ihr diese Linsenwirkung prinzipiell überprüfen könnt.

Schreibt eure Experimentiererfahrungen auf, was habt ihr gesehen? Dokumentiert eure Ergebnisse mit Fotos und versucht mit Worten zu beschreiben, was euch wichtig erscheint. Ähnelt Abb.1 euren Ergebnissen? Welche Unterschiede seht ihr?



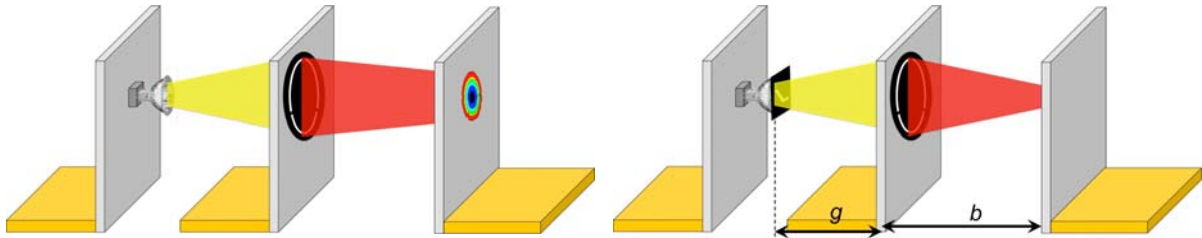
3 Gitterraster der CD



4 CD + Blende – fertig ist die Beugungslinse



5 Reflektor-Lampe



6 Vorschlag für einen Aufbau

7 Versuchsaufbau zur Untersuchung der Dispersion

**b) Mittlerer Teil (10 Punkte): Farberscheinungen genauer untersuchen**

Wahrscheinlich habt ihr auf dem Schirm hinter der CD Bilder gefunden, die dem in Abb. 1 mehr oder weniger ähneln. Jetzt soll die Struktur dieser Bilder genauer untersucht werden.

In diesem zweiten Teil der Experimente sollt ihr systematisch die Bildweite  $b$  variieren und die Veränderungen dokumentieren. Abb. 7 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Als Schirm eignet sich gut ein stabiler, vor allem aber gerader Pappdeckel, auf den ihr ein weißes A4-Blatt klebt. An einer Buchstütze befestigt, kippt der Schirm nicht um.

**Aufgabe 2 (a)** Demonstriert mit Fotos, dass mit eurer Beugungslinse eine Abbildung möglich ist. Als Objekt für die Abbildung eignet sich gut ein schwarzes Pappstück, aus dem ein „L“ herausgeschnitten worden ist. Dieses hängt ihr direkt vor die Lampe. Die Gegenstandsweite  $g \approx 30$  cm lasst ihr bei den Versuchen zu Aufgabe 3 (a) und 3 (b) konstant.

**(b)** Die Bildweite  $b$  hängt stark von der Wellenlänge  $\lambda$  des Lichts ab. Welche Auswirkung hat dieser Umstand auf die Farbe des Bildes? Beschreibt qualitativ, in welcher Weise sich die Farbe des Bildes mit der Bildweite ändert.

**(c) Experimente zur Linsenwirkung**

Versucht, so gut es geht, jeweils ein scharfes rotes, gelbes, grünes, türkisfarbiges und blaues Bild zu erzeugen. Messt jeweils die Bildweite  $b$ . Notiert euer Ergebnis in einer Tabelle, die für die verschiedenen Farben die Bildweite  $b$  als Funktion der Wellenlänge angibt. Dabei verwendet ihr folgende Werte: Rot 630 nm; Gelb 560 nm; Grün 530 nm; Türkis 490 nm; Blau 450 nm. Führt diese Messung für drei unterschiedliche Gegenstandsweiten  $g = 20$  cm; 30 cm und 50 cm durch. Stellt euer Ergebnis in einem Diagramm  $b = b(\lambda)$  dar.

**c) Für die Profis (10 Punkte): Abbildung mit der Beugungslinse**

Gar nicht so einfach ist die theoretische Erklärung der Phänomene an der Beugungslinse. Aber ein wenig Licht könnt und sollt ihr nun ins Dunkel bringen. Dazu stehen hier einige Grundüberlegungen, die euch auf die richtige Spur bringen sollen.

1. Es geht hier nicht um Lichtbrechung. Die Brechung im CD-Material findet zwar statt, spielt aber bei der geringen Materialstärke praktisch keine Rolle.
2. Beim Durchgang durch das CD-Gitter wird das Licht in den ganzen Raum hinter der CD gebeugt. Hinter der CD-Linse können sich damit Wellen überlagern und interferieren. Wie oben beschrieben, hängt es von der Wellenlänge ab, ob dabei konstruktive oder destruktive Interferenz auftritt. Wir konzentrieren uns auf das Licht, das zur optischen Achse hin gebeugt wird (Abb. 7).

Bei den hier gewählten Verhältnissen gilt, je größer die Wellenlänge ist, desto stärker wird das Licht gebeugt, desto kleiner ist die Brennweite für dieses Licht. Anders als bei Glaslinsen hängt die Brennweite bei unserer Beugungslinse also *sehr* stark von der Wellenlänge  $\lambda$  ab. Mithilfe der Beugungstheorie für die Konstruktion (s. u.: Fresnelbeugung), auf die wir hier nicht näher eingehen möchten, berechnet man die Brennweite  $f$ :

$$f \approx a \cdot \frac{1}{\lambda}; \quad (1)$$

wobei sich die Konstante  $a$  aus dem Außenradius der Scheibenblende ( $R = 0,053 \text{ m}$ ) und dem noch unbekanntem Abstand  $d$  der Rillen der CD berechnet:

$$a \approx R \cdot d \quad (2)$$

Welchen Wert hat die Konstante  $a$  etwa? Für eine Brennweite im Roten ( $\lambda = 630 \text{ nm}$ ) von  $f \approx 10 \text{ cm}$  ergibt sich für  $a$  ein Wert von  $a = f \cdot \lambda = 6,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$ .

Schaut euch nun Abb. 8 an. Für die zwei Fälle roten und blauen Lichts ist die Abbildungskonstruktion mit der Linse gezeichnet (der dicke Pfeil in der Mitte stellt die Linse dar). Vielleicht habt ihr diese Konstruktion bereits im Physikunterricht für normale Glaslinsen besprochen. Wie auch dort, gilt folgende Beziehung zwischen Gegenstands-, Bild- und Brennweite (die sog. Linsengleichung):

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \quad (3)$$

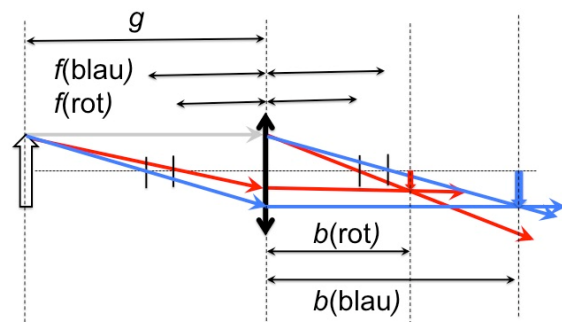
Für besonders Interessierte: Die Formeln folgen aus der *Theorie der Fresnelbeugung*. Wer mehr darüber wissen möchte, kann von der Webseite <http://www.iqo.uni-hannover.de/1355.html> ein Skript dazu herunterladen.

**Aufgabe 3 (a)** Aus dem Aufgabenteil 2 (c) kennt ihr für verschiedene Gegenstandsweiten  $g$  die Bildweiten  $b(\lambda)$  für mehrere Wellenlängen  $\lambda$ . Mithilfe der Linsenformel (3) bestimmt ihr daraus die Brennweite  $f = f(\lambda)$  der Beugungslinse als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$ ., Fertigt dazu ein Diagramm an, in dem die Brennweite  $f$  als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$  dargestellt wird.

**(b)** Jetzt könnt ihr eure Messungen verwenden, um den Rillenabstand der CD zu bestimmen. Dazu müsst ihr zuerst einmal aus euren Messungen einen Wert für die Konstante  $a$  ermitteln. Bestimmt dazu für jeden Messpunkt ( $\lambda|f$ ) den Wert von  $a = \lambda \cdot f$ . Eigentlich sollte dieser stets derselbe sein, aber durch Messungenauigkeiten schwanken die unterschiedlichen Werte. Wie geht man in einem solchen Fall weiter vor, mit welchem Wert von  $a$  rechnet ihr weiter? Denn jetzt seid ihr fast fertig. Mit Formel (2) kommt der Rillenabstand der CD heraus. Berechnet diesen!

Hinweis: Achtet bei der ganzen Rechnerei darauf, immer mit den gleichen Längeneinheiten zu arbeiten!

Und nun: **Viel Erfolg bei der Aufgabe!**

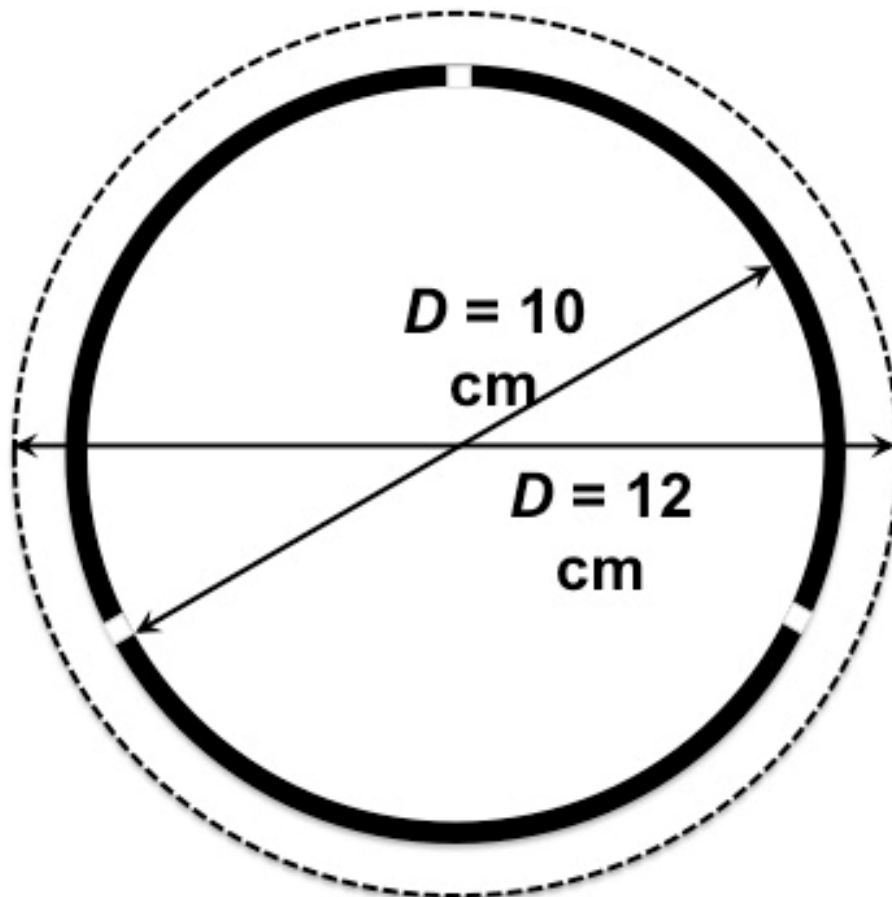


8 Die Abbildung für den Fall roten und blauen Lichts

### Ein Schnittmuster für die Blende

1. Die Form grob um die gestrichelte Außenlinie herum ausschneiden,
2. danach auf die schwarze Pappe (das Fotopapier) kleben,
3. danach sorgfältig die schwarzen Kreisbögen zwischen den Stegen ausschneiden; die Breite des Schlitzes beträgt 3 mm;
4. schließlich am gestrichelten Außenrand ausschneiden.

Zum Ausschneiden eignet sich gut ein kleines Cutter-Messer.



---

## Allgemeine Hinweise

**Einsendeschluss: Sonntag, 29. November 2015, 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.

Die Dateien sollten nicht größer als 7,5 MB sein (die Dateien können gezippt sein)! Bitte gebt auch euren Teamnamen, die Namen der Gruppenmitglieder sowie deren Schulen an. Bitte benennt eure hochgeladenen 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 herunterladen und öffnen. Dateien, die sich nicht öffnen lassen, können nicht bewertet werden!

Gebt eure Lösungen auch dann ab, wenn ihr nicht alle Fragen beantworten konntet! 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.