

## Aufgaben zum Themengebiet „Wellen und Quanten“ mit Lösungen

### 1. Wasserwellen (1)

Ein Stein fällt in einen Teich, ein anderer fällt auf Sandboden.

- Erklären Sie, warum man im ersten Fall die Ausbreitung einer Welle beobachten kann und im zweiten nicht.
- Ein Frosch sitzt auf einem Seerosenblatt, das frei auf dem Teich schwimmt. Diskutieren Sie, ob der Frosch über den See getrieben wird, nachdem in seiner Nähe ein Stein ins Wasser geworfen wurde?

*Lösung:*

- Zur Ausbreitung mechanischer Wellen ist eine elastische Kopplung der schwingenden Massen notwendig. Bei der Wasserwelle sorgt die Bindung der Wassermoleküle aneinander für diese Kopplung, im Sandboden sind die Sandkörner nicht elastisch aneinander gebunden, weshalb sich dort keine Welle ausbreitet.*
- Bei einer Welle wird keine Materie transportiert, der Frosch bleibt wie das wogende Wasser unter ihm an der gleichen Stelle. Sind die Wellen allerdings recht hoch, kann es sein, dass ein „Wellenreitereffekt“ eintritt und der Frosch wie ein Surfer auf der Welle reitet. Der geworfene Stein müsste dann aber sehr groß sein.*

### 2. Das Ohr

Das menschliche Ohr kann in jungen Jahren Töne mit einer Frequenz bis 20 kHz wahrnehmen. Berechnen Sie die Wellenlänge dieser Schallwellen.

*Lösung:*

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20.000 \frac{1}{\text{s}}} = 1,7 \text{ cm}$$

### 3. Konzert

Albert und Beate ist das Konzert zu laut. Deswegen gehen sie vor die Tür und stellen sich ein wenig abseits, um sich dort zu unterhalten.

Albert: „Hier ist es deutlich angenehmer – die Musik ist viel leiser.“

Beate: „Stimmt, aber irgendwie klingt sie auch ein wenig dumpf.“

Begründen Sie die Eindrücke der beiden aus physikalischer Sicht.

**Lösung:**

*Durch den Türspalt dringt nur ein geringer Teil der gesamten von den Lautsprechern oder Instrumenten erzeugten (Schall-)Energie – die Dichteschwankungen sind vergleichsweise gering, der Ton deshalb leise.*

*Die tiefen Töne breiten sich hinter der Tür auf Grund ihrer großen Wellenlänge (größer als die Türbreite) praktisch kreisförmig aus, weshalb sie auch abseits hörbar sind. Bei höheren Tönen ist die Wellenlänge nicht mehr groß im Vergleich zur Türbreite, weshalb sich die Wellen hinter der Tür auch nicht mehr halbkreisförmig ausbreiten. Man kann mit Hilfe der Wellenwanne oder einer geeigneten Simulation zeigen, dass Wellen kaum noch in den „geometrischen Schatten“ vordringen, wenn ihre Wellenlänge deutlich kleiner als die Spaltbreite ist. Bei sehr hohen Tönen ist genau dies der Fall, weshalb die Musik abseits der geöffneten Tür eher dumpf klingt.*

*Zudem können Wände Türen etc. durch tiefe Töne zum Schwingen gebracht werden, weshalb tiefe Töne auch „durch geschlossene Türen“ gehen. Hohe Töne werden an Türen etc. reflektiert, da deren Masse zu groß ist, um sie bei höheren Frequenzen zum Schwingen anzuregen.*

**4. Wasserwellen (2)**

Zwei gleich starke, punktförmige Erreger, die im Gleichtakt schwingen, erzeugen kreisförmige Wellen auf einer Wasseroberfläche. Beschreiben Sie, welche Veränderung zu beobachten ist, wenn...

- a) die beiden Erreger näher zusammenrücken,
- b) beide Erreger mit größerer Amplitude schwingen oder
- c) die beiden Erreger schneller schwingen.

**Lösung:**

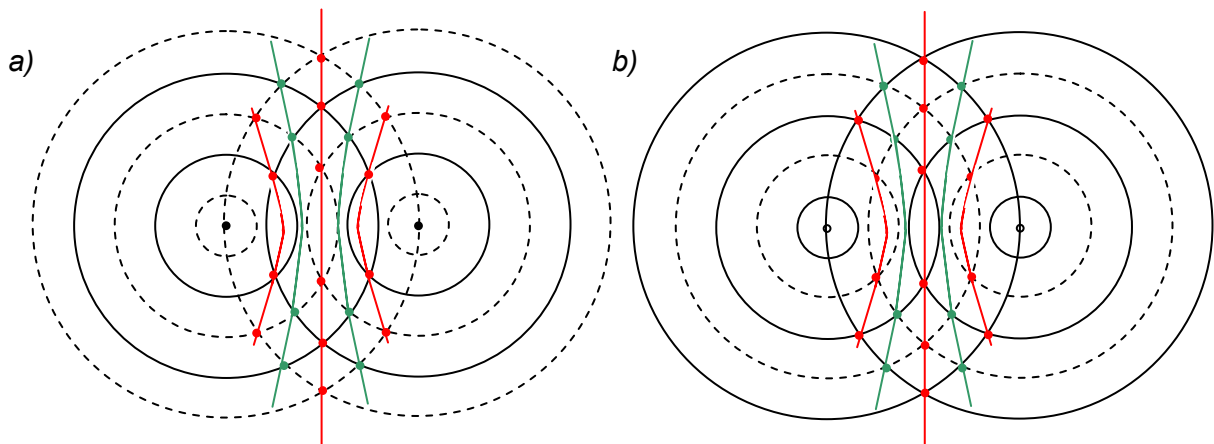
- a) *Die Zonen maximaler destruktiver Interferenz rücken weiter auseinander, bzw. es gibt weniger solcher Interferenzhyperbeln.*
- b) *Die Gesamtamplitude wird größer, doch die Zonen maximaler destruktiver Interferenz bleiben erhalten.*
- c) *Die Zonen maximaler destruktiver Interferenz rücken weiter zusammen, bzw. es gibt mehr solcher Interferenzhyperbeln.*

**5. Konstruktion von Interferenzzonen**

Zwei gleich starke punktförmige Erreger haben den Abstand 2,5 cm und schwingen im Gleichtakt. Sie erzeugen kreisförmige Wellen mit der Wellenlänge 1,0 cm.

- a) Konstruieren Sie die Stellen maximaler konstruktiver und maximaler destruktiver Interferenz zu dem Zeitpunkt, da von den Erregern gerade ein Wellenberg erzeugt wird.
- b) Konstruieren Sie die Stellen maximaler konstruktiver und maximaler destruktiver Interferenz zu dem Zeitpunkt, da von den Erregern gerade ein Wellental erzeugt wird. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit Teilaufgabe a).

*Lösung:*



b) Die Zonen maximaler konstruktiver und destruktiver Interferenz sind zu beiden Zeitpunkten gleich.

## 6. Interferenz zu Hause

Sie bewegen sich vor den beiden Lautsprechern einer Stereoanlage hin und her und hören gerade Ihren aktuellen Lieblingssong. Sie wissen aus Ihrer Erfahrung, dass Sie keine Stelle im Raum finden werden, an der völlige Ruhe herrscht. Andererseits haben Sie im Physikunterricht gelernt, dass durch Interferenz Auslöschungseffekte auftreten. Erklären Sie diesen scheinbaren Widerspruch.

*Lösung:*

*Bei Musik überlagern sich sehr viele Schallwellen unterschiedlicher Frequenzen, doch die Bedingung für Auslöschung gilt an einem bestimmten Ort gilt immer nur für ganz bestimmte Frequenzen bzw. Wellenlängen. Selbst wenn einzelne Frequenzen an einer bestimmten Stelle im Raum destruktiv interferieren, nehmen wir das nicht wahr, da gleichzeitig fast alle anderen Frequenzen gut hörbar sind. Ist die Musik allerdings sehr eintönig (z. B. ein lang gezogener Ton einer Hammondorgel), lassen sich tatsächlich Stellen destruktiver Interferenz finden, falls der Abstand der Lautsprecher wenigstens im Bereich der Wellenlänge liegt.*

## 7. Doppelspalte für Laserinterferenz selbstgemacht

Mit Hilfe eines Laserdruckers und einer laserdruckfähigen Folie lassen sich sehr brauchbare Doppel- und Mehrfachspalte herstellen. Zeichnen Sie hierzu mit einem einfachen Graphikprogramm (z. B. Paint) einen Doppelspalt und drucken Sie ihn auf Folie mit unterschiedlichen Abbildungsmaßstäben aus.

Testen Sie mit Hilfe eines Laserpointers verschiedene Doppelspalte und stellen Sie einen qualitativen Zusammenhang zwischen Spaltabstand und Abstand der Interferenzmaxima auf einem Schirm her.

**Sicherheitshinweis:**

**Richten Sie den Laserpointer niemals auf Personen, insbesondere Augen!**

**Leuchten Sie niemals unachtsam herum!**

**Schalten Sie den Laser nach Gebrauch sofort ab!**

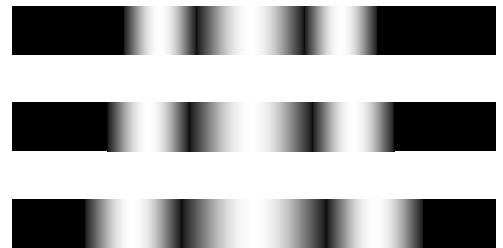


**8. Laser am Doppelspalt**

- a) Die folgenden Interferenzbilder sind durch den gleichen Laser entstanden, dessen rotes Licht durch Doppelspalte mit drei unterschiedlichen Spaltabständen geschickt wurde. Bei welchem der Bilder war der Spaltabstand am geringsten, bei welchem am größten? Begründen Sie Ihre Antwort kurz.



- b) Die folgenden Schwarz-Weiß-Interferenzbilder am Doppelspalt sind an einem Doppelspalt mit fester Breite entstanden, der einmal mit einem roten, einmal mit einem grünen und einmal mit einem blauen Laser beleuchtet wurde. Ordnen Sie die drei Bilder den Farben zu und begründen Sie Ihre Antwort kurz.



*Lösung:*

- a) *Je größer der Abstand der Interferenzmaxima ist, desto kleiner ist der Spaltabstand. Deswegen war der Spaltabstand beim untersten Bild am kleinsten und beim obersten am größten.*
- b) *Je größer der Abstand der Interferenzmaxima ist, desto größer die Wellenlänge des Lichts. Deswegen war die Wellenlänge beim untersten Bild am größten (rot) und beim obersten am kleinsten (blau).*

## 9. Photoeffekt

In mehreren Versuchen wird eine abgeschliffene Zinkplatte auf ein geladenes Elektroskop gesteckt und mit unterschiedlichen Lichtquellen beleuchtet. Bei der Aufgabe ist zu berücksichtigen, dass Quecksilberdampflampen einen hohen Anteil an UV-Licht enthalten. Beurteilen Sie die folgenden Aussagen mit wahr (w) oder falsch (f).

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | a) Wird die Zinkplatte mit einem roten Laser beleuchtet, wird das Elektroskop entladen, egal welche Ladung es trägt.             |
| <input type="checkbox"/> | b) Wird die Zinkplatte mit dem roten Laser beleuchtet und entlädt sich nicht, ist das Elektroskop positiv geladen.               |
| <input type="checkbox"/> | c) Wird die Zinkplatte mit einer Quecksilberdampflampe beleuchtet, wird das Elektroskop entladen, egal welche Ladung es trägt.   |
| <input type="checkbox"/> | d) Mit dem roten Laser kann das Elektroskop nicht entladen werden.   |
| <input type="checkbox"/> | e) Mit der Quecksilberdampflampe kann das Elektroskop nur entladen werden, wenn es negativ geladen ist.                          |
| <input type="checkbox"/> | f) Ist das Elektroskop negativ geladen, kann es mit dem roten Laser entladen werden, wenn man die Platte lange genug beleuchtet. |
| <input type="checkbox"/> | g) Wird die Zinkplatte mit der Quecksilberdampflampe beleuchtet und das Elektroskop entlädt sich nicht, ist es positiv geladen.  |
| <input type="checkbox"/> | h) Wird die Zinkplatte mit einem roten Laser beleuchtet und das Elektroskop entlädt sich nicht, ist es negativ geladen.          |
| <input type="checkbox"/> | i) Wenn das Elektroskop mit Licht entladen werden kann, setzt der Entladevorgang sofort mit dem Beginn der Beleuchtung ein.      |

*Lösung: a) f, b) f, c) f, d) w, e) w, f) f, g) w, h) f, i) w.*

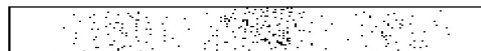
## 10. Photonen am Doppelspalt

Wird ein Doppelspalt mit einem roten Laser beleuchtet, erhält man das folgende Interferenzbild:



Durch den gleichen Doppelspalt treten nun hintereinander einzelne Photonen des gleichen Lasers. Skizzieren Sie eine mögliche Verteilung der Photonen.

*Lösung:*



*An den dunklen Stellen des Interferenzbildes treffen fast keine Teilchen auf.*

## 11. Elektronen am Doppelspalt

Es werden verschiedene Experimente mit einem Doppelspalt mit sehr kleinem Spaltabstand und einzelnen Elektronen durchgeführt. Dabei schickt man jede Sekunde

ein Elektron auf den Doppelspalt und markiert den zugehörigen Ankunftsort am Schirm durch einen Punkt, wobei die Versuche folgendermaßen variiert werden:

- (1) Beim ersten Versuch sind beide Spalte geöffnet; alle Elektronen werden hintereinander hindurchgeschickt.
  - (2) Beim zweiten Versuch ist der linke Spalt zunächst verschlossen und man schickt die Hälfte der Elektronen durch den rechten Spalt, danach wird die zweite Hälfte durch den linken Spalt geschickt, wobei der rechte verschlossen ist.
  - (3) Beim dritten Versuch wird das erste Elektron durch den rechten Spalt geschickt, wobei der linke verschlossen ist, das zweite Elektron wird durch den linken Spalt geschickt, wobei der rechte verschlossen ist, beim dritten Elektron sind die Verhältnisse wieder wie beim ersten, beim vierten wie beim zweiten usw.
- a) Skizzieren Sie für jeden Fall ein mögliches Schirmbild; arbeiten Sie dabei besonders die möglichen Unterschiede heraus.
  - b) Skizzieren Sie ebenfalls für alle drei Fälle die Schirmbilder, die man erhält, wenn man statt Elektronen Sandkörner verwendet.

*Lösung:*

- a) *Nur im Fall (1) entsteht ein Interferenzbild (etwa wie bei Aufgabe 10), bei (2) und (3) sind, die Auftreffpunkte gehäuft direkt hinter den Spalten zu beobachten, abgesehen von Beugungseffekten am Einfachspalt die hier aber unberücksichtigt bleiben sollen.*
- b) *In allen drei Fällen tritt kein Interferenzbild auf.*