

Aufgaben 9 Interferenz Kohärenz, Huygens'sches Prinzip, Fermat'sches Prinzip

Lernziele

- verstehen, dass Kohärenz eine Voraussetzung für ein stationäres Interferenzbild ist.
- die verschiedenen Erklärungen von Kohärenz kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, wie sich kohärentes Licht herstellen lässt.
- die Funktionsweise eines Michelson-Interferometers kennen und verstehen.
- das Huygens'sche Prinzip kennen, verstehen und anwenden können.
- die Herleitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips verstehen.
- das Fermat'sche Prinzip kennen, verstehen und anwenden können.
- die Herleitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes mit Hilfe des Fermat'schen Prinzips verstehen.
- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse und Fähigkeiten erarbeiten können.
- einen bekannten oder neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.
- eine neue Problemstellung selbstständig bearbeiten können.

Aufgaben

Kohärenz

9.1 Vorgängiges Selbststudium

- a) Studieren Sie im Lehrbuch KPK 3 die folgenden Abschnitte:
- 5.1 Kohärenz (Seite 42)
- 5.2 Wie man kohärentes Licht herstellt (Seite 43)
- 5.3 Auch Laserlicht genügt nicht (Seite 44, ohne Aufgaben)
- b) Führen Sie in Moodle den [Test 9.1.1](#) durch.

9.2 Es gibt verschiedene Erklärungen für den Begriff „Kohärenz“. Diese können in drei Kategorien eingeteilt werden (vgl. Unterricht):

- A Kohärenz **einer Welle**
„Eine Welle ist kohärent.“
„Ein Wellenfeld ist kohärent.“
„Licht von einer Quelle ist kohärent.“
- B Kohärenz **zweier Wellen** (zueinander)
„Zwei Wellen sind (zueinander) kohärent.“
„Lichter von zwei Quellen sind (zueinander)kohärent.“
- C Kohärenz **zweier Quellen**
„Zwei Quellen sind kohärent.“

Betrachten Sie die untenstehenden fünf Aussagen I bis V. Beurteilen Sie jeweils, ...

- a) ... welcher Kategorie A bis C die Aussage zugeordnet werden kann.
- b) ... ob die Aussage wahr oder falsch ist.

Aussagen:

- I Zwei Kerzen sind ein paar kohärenter Lichtquellen.
- II Eine Punktquelle und ihr von einem ebenen Spiegel erzeugtes Spiegelbild sind ein Paar kohärenter Lichtquellen.
- III Zwei von derselben Punktquelle beleuchtete Öffnungen in einer Wand sind ein Paar kohärenter Lichtquellen.
- IV (siehe nächste Seite)

- IV Die Kohärenzlänge in einer Welle, die aus einem Gemisch von Sinuswellen verschiedener Wellenlängen besteht, ist umgekehrt proportional zum Bereich, in welchem die Wellenlängen liegen.
- V Zwei oder mehr Wellen, die an einen gemeinsamen Ort gelangen, überlagern sich nur, falls die Wellen kohärent sind.

9.3 Betrachten Sie ein Michelson-Interferometer

- a) Beim Bewegen eines Spiegels um 0.125 mm beobachtet man das Durchlaufen von 344 Interferenzstreifen.
Bestimmen Sie die Wellenlänge des Lichts.
- b) Das Michelson-Interferometer wird mit Licht der Wellenlänge 589 nm betrieben.
Bestimmen Sie, wie weit ein Spiegel verschoben werden muss, damit 750 Interferenzstreifen durch eine Referenzposition laufen.

Huygens'sches Prinzip

9.4 **Vorgängiges Selbststudium**

- a) Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:
- 12.5 Wellenausbreitung an Hindernissen (nur den Teil „Das Huygens'sche Prinzip“,
Seiten 492 und 493)
- b) Studieren Sie das folgende **Applet**:
- [Reflexion und Brechung von Lichtwellen \(Erklärung durch das Prinzip von Huygens\)](#)
(Reflexion/Brechung von Wellen - Huygens 1)

Führen Sie jeden Schritt aus, und studieren Sie jeweils den dazu erscheinenden Text im Applet.

Beurteilen Sie sowohl für die Reflexion als auch für die Brechung, ob ...

- ... der Ausfallswinkel gleich oder ungleich dem Einfallswinkel ist.
 - ... die Frequenz der Welle gleich bleibt oder sich verändert.
 - ... die Wellenlänge gleich bleibt oder sich verändert.
- c) Führen Sie in Moodle den [Test 9.1.2](#) durch.

9.5 Eine auf einer Wasseroberfläche laufende Welle trifft auf ein Hindernis und wird gebeugt.
Zeichnen Sie mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Wellenfronten der Welle hinter dem Hindernis:

- a) Eine gerade Welle läuft auf eine enge Öffnung zu (Abb. 1).
- b) Eine gerade Welle läuft auf ein Gitter mit vielen engen Öffnungen zu (Abb. 2).
- c) Eine Kreiswelle läuft auf ein Gitter mit vielen engen Öffnungen zu (Abb. 2).

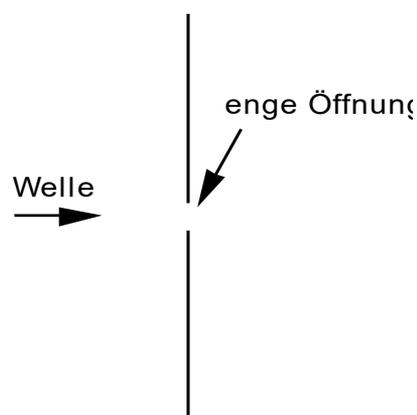


Abb. 1: zu a)

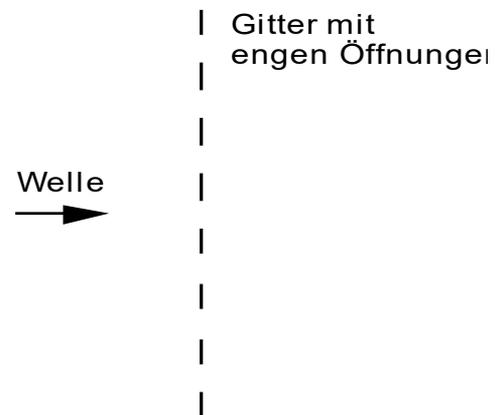


Abb. 2: zu b) und c)

- 9.6 Eine Kreiswelle geht von einem Erregerzentrum Z aus, stösst auf ein geradliniges Hindernis und wird reflektiert.
- Zeichnen Sie die Wellenfronten der von Z ausgehenden Kreiswelle.
 - Zeichnen Sie mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Wellenfronten der reflektierten Welle.
 - Zeigen Sie, dass das Zentrum Z' der reflektierten Wellenfronten das geometrische Spiegelbild von Z an der durch das Hindernis gebildeten Reflexionsgeraden ist.

- 9.7 Betrachten Sie eine ebene Welle, welche auf einen sphärischen (d.h. kugelschalenförmigen) Hohlspiegel trifft und an dessen Oberfläche reflektiert wird.

Konstruieren Sie mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips die Form der Wellenfront der reflektierten Welle.

Hinweise:

- Betrachten Sie eine Projektion der Situation auf eine Ebene, in welcher die optische Achse (d.h. die durch den Kugelmittelpunkt und den Scheitelpunkt des Hohlspiegels verlaufende Symmetrieachse) liegt. In dieser Projektion erscheint der Hohlspiegel als Kreisbogen und die Fronten der einfallenden ebenen Welle als Geraden.
- Betrachten Sie den Zeitpunkt, zu welchem die einfallende Welle den Scheitelpunkt des Hohlspiegels erreicht. Zu diesem Zeitpunkt breiten sich bereits Elementarwellen aus, die bei der Reflexion in allen anderen Punkten des Hohlspiegels erzeugt wurden.
- Überlegen Sie sich, wie weit all diese Elementarwellen schon gekommen sind.
- Überlagern Sie all diese Elementarwellen zur neuen reflektierten Wellenfront.

- 9.8 Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:
- 28.4 Herleitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes (nur den Teil „Huygens'sches Prinzip“, Seiten 1041 und 1042)

Hinweis:

- In der Abb. 28.26 (Lehrbuch Tipler/Mosca, Seite 1041) sollten die Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten mit $c_{n,1}$ und $c_{n,2}$ bezeichnet sein, nicht mit $v_{n,1}$ und $v_{n,2}$.

- 9.9 Beurteilen Sie, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind.
Kreuzen Sie das entsprechende Kästchen an.

	wahr	falsch
a) Die Form der Wellenfront einer reflektierten, ebenen Welle kann mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips bestimmt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Beim Huygens'schen Prinzip wird die Überlagerung der Elementarwellen in Rückwärtsrichtung ignoriert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Die Herleitung des Brechungsgesetzes mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips ist nur gültig bei der Brechung einer Welle an einer Grenzfläche zu einem Medium, in welchem die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle kleiner ist als im ursprünglichen Medium.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Das Huygens'sche Prinzip gilt bei ebenen Wellen und bei Kreiswellen, nicht aber bei Wellen mit anderen Formen der Wellenfronten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Bei der Herleitung des Brechungsgesetzes mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips wird die Gültigkeit des Reflexionsgesetzes vorausgesetzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- 9.10 (siehe nächste Seite)

Fermat'sches Prinzip

9.10 **Vorgängiges Selbststudium**

- a) Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:
- 12.5 Wellenausbreitung an Hindernissen (nur den Teil „Das Fermat'sche Prinzip“, Seite 493)
- b) Führen Sie in Moodle den [Test 9.1.3](#) durch.

9.11 Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:

- 28.4 Herleitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes (nur den Teil „Fermat'sches Prinzip“, Seiten 1042 und 1043)

Lösungen

9.1 -

9.2 a) I C
II C
III C
IV A
V B

b) I falsch
II wahr
III wahr
IV wahr
V falsch

9.3 a) $2d = m \cdot \lambda$, wobei: $d = 0.125 \text{ mm}$, $m = 344$
 $\lambda = 727 \text{ nm}$

b) $2d = m \cdot \lambda$, wobei: $m = 750$, $\lambda = 589 \text{ nm}$
 $d = 221 \text{ }\mu\text{m}$

9.4 a) -

b) -

Reflexion

- Ausfallswinkel = Einfallswinkel (bereits bekannt aus Optik 1)
- Frequenz bleibt gleich
- Wellenlänge bleibt gleich

Brechung

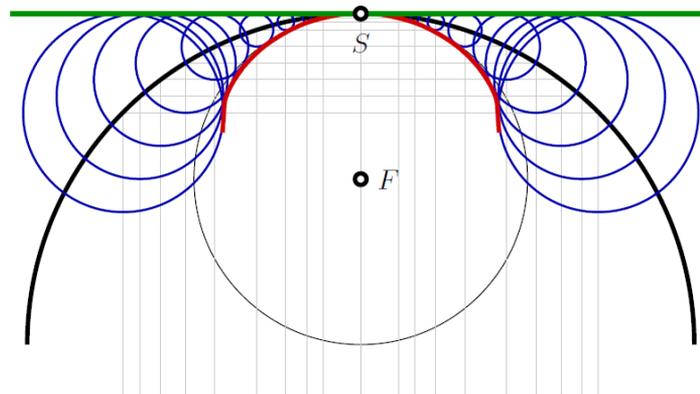
- Ausfallswinkel \neq Einfallswinkel (bereits bekannt aus Optik 1)
- Frequenz bleibt gleich
- Wellenlänge verändert sich

9.5 ...

9.6 ...

9.7 (siehe nächste Seite)

- 9.7 Wir betrachten eine *ebene Welle*, welche auf einen Kugelhohlspiegel stösst und an dessen Oberfläche reflektiert wird. Die Situation ist in der folgenden Skizze dargestellt.



Um die *Wellen-Front* der *reflektierten Welle* mit Hilfe des Prinzips von HUYGENS-FRESNEL zu skizzieren, gehen wir nach folgenden Schritten vor.

- S1** Wir skizzieren einen Halbkreis (schwarz), welcher die Projektion des Kugelhohlspiegels auf die Ebene darstellt. Die *ebene Welle* läuft in der Skizze von unten nach oben ein.
- S2** Wir zeichnen, ausgehend vom *Scheitel-Punkt S* des Halbkreises nach unten, in regelmässigen Abständen ein paar horizontale Hilfslinien (grau) ein und verlängern diese jeweils von ihrem Schnittpunkt mit dem Halbkreis nach unten.
- S3** Wir betrachten nun den Zeitpunkt, wenn die einlaufende *ebene Welle* gerade den *Scheitel-Punkt S* in der Skizze erreicht hat. Wenn wir uns den Kugelhohlspiegel wegdenken, dann wäre die *Wellen-Front* jetzt auf der Höhe der grünen Linie.
- S4** Um alle Schnittpunkte der Hilfslinien (grau) mit dem Halbkreis (schwarz) zeichnen wir jeweils die Projektion einer *elementaren Kugel-Welle* (blau), dessen Peripherie bis zur grünen Linie reicht.
- S5** Die *reflektierte Wellen-Front* ist die Kurve (rot), welche sich innerhalb des Halbkreises an die *elementaren Kugel-Wellen* anschmiegt. Sie kann in der Nähe des *Scheitel-Punktes S* durch einen Kreis (schwarz) mit Mittelpunkt am vermeintlichen *Brenn-Punkt F* angenähert werden.

Die *reflektierte Welle* ist offensichtlich weder eine *ebene Welle*, noch verläuft sie exakt durch einen *Brenn-Punkt*.

9.8 ...

- 9.9 a) wahr
 b) wahr
 c) falsch
 d) falsch
 e) falsch

9.10 -

9.11 -