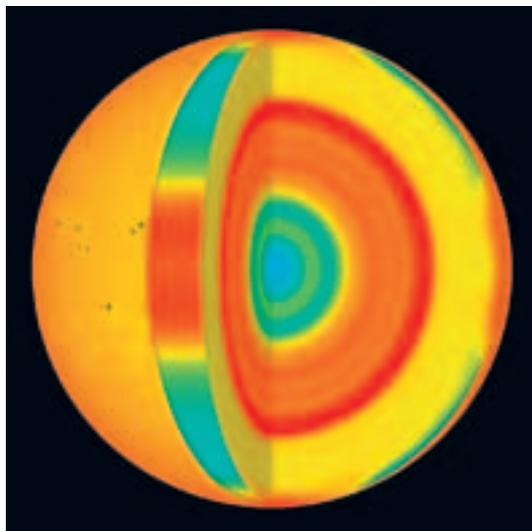


Wissenschaft in die Schulen – Zusatzinformationen für Lehrer

Ein beliebtes Thema: Helioseismologie im Schulunterricht

Autor: Dr. Oliver Schwarz, Universität Koblenz-Landau

„Die Sonne tönt in alter Weise, im Brudersphären Wettgesang...“. Diese Worte aus Goethes Faust (Prolog im Himmel) haben in den letzten Jahrzehnten eine völlig neue Bedeutung erhalten. Wie man heute weiß, tönt unser Zentralgestirn tatsächlich, nämlich durch Schallwellen, für die sie als Resonanzkörper fungiert. Die Wellen entstehen in der Konvektionszone und werden in ihrer Ausbreitung von der Sonnenoberfläche und den tieferen Regionen im Sonneninneren begrenzt. Im Schulunterricht spielt dieses Thema zwar keine besondere Rolle, es liefert aber zu den Themenkreisen „Schwingungen/Wellen“, „Schall/Akustik“ und „Reflexion/Brechung“ Ideen zur Motivation der Schüler und viele ansprechende Beispiele.

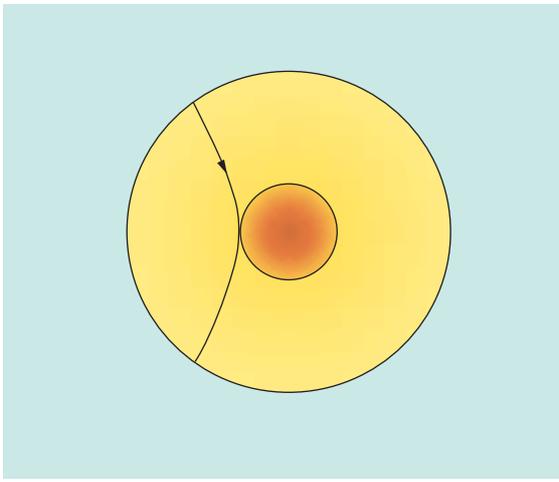
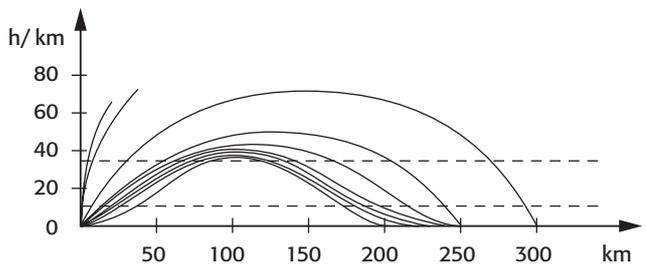


1 Wie tief eine Schallwelle in das Innere der Sonne eindringt, hängt von ihrer Frequenz ab.

Ähnlich wie Erdbebenwellen eignen sich „Sonnenbebenwellen“, um das Innere des Himmelskörpers zu untersuchen. Wie kann man aber Schülern das sehr anspruchsvolle Thema „Schallwellen auf der Sonne“ näher bringen? Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht zu Phänomenen, die in der Schulphysik eine große Rolle spielen und für Erklärungen und Analogiebetrachtungen herangezogen werden können.

Schulphysikalische Überlegungen und Analogien zur Erklärung helioseismologischer Prozesse – eine Übersicht

Vorgang auf der Sonne	Einfache Erklärung mithilfe der Schulphysik
Auf der Sonne entstehen durch energiereiche Prozesse Schallwellen. Diese breiten sich als Oberflächenwellen aus oder dringen in das Innere der Sonne ein. Die in das Innere der Sonne gelangenden Wellen werden dabei immer schneller.	Die Schallgeschwindigkeit in Gasen wird durch die Gasdichte bestimmt, die ihrerseits von Gastemperatur und -druck abhängig ist. Mit wachsender Temperatur nimmt die Schallgeschwindigkeit zu. Zum Sonnenzentrum hin vergrößert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen.
Die in das Sonneninnere eindringenden Schallwellen laufen nicht geradlinig, sondern werden in Richtung Sonnenoberfläche abgelenkt. Die Ausbreitungsrichtung der Schallwelle beschreibt eine gekrümmte Kurve.	Die Richtungsänderung der Schallwellen im Sonneninneren erfolgt in Analogie zur Ausbreitung von Lichtwellen. Gelangt eine Lichtwelle aus einem optisch dichten Medium (niedrige Ausbreitungsgeschwindigkeit) in ein optisch dünneres Medium (höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit), dann kommt es zur Brechung und Reflexion, eventuell sogar zur Totalreflexion des Lichtes. Die Lichtwelle verbleibt dann im optisch dichten Medium.

<p>Zwischen Sonnenoberfläche und dem Inneren der Sonne können sich stehende Wellen ausbilden. In Abhängigkeit von der Frequenz reichen diese stehenden Wellen unterschiedlich weit in das Sonneninnere hinein. Die einzelnen Wellen überlagern sich zu einem Wellenmuster, das man auf der Sonnenoberfläche nachweisen kann.</p>	<p>Die stehenden Wellen in der Sonne sind näherungsweise den stehenden Wellen in Luftsäulen – etwa in Pfeifen – vergleichbar. Der Grundton, den eine Pfeife erzeugen kann, hängt von ihrer Länge ab. Beobachtet man auf der Sonne solche „Grundtöne“, dann lässt sich sagen, bis in welche Tiefe die betreffende Welle in die Sonne eindringt.</p>
<p>Anhand der Schallausbreitung durch den Sonnenkörper kann man auf den inneren Aufbau unseres Zentralgestirns schließen.</p>  <p>2 Auf analoge Weise wie das Sonneninnere untersucht man das Erdinnere durch Erdbebenwellen.</p>	<p>Neben den Erdbebenwellen ist die Schallausbreitung in der irdischen Atmosphäre eine geeignete Analogie: Ist man etwas vom Zentrum eines Gewitters entfernt, dann hört man neben dem Blitzschlag auch das bekannte Donnerrollen. Dieses entsteht, weil die Schallwellen bei ihrer Ausbreitung durch verschiedene hohe Atmosphäreschichten laufen und dort unterschiedlich abgelenkt werden. Daher kann man aus der akustischen Analyse des Donnerrollens auf den Aufbau der Atmosphäre schließen.</p>  <p>3 Verlauf des Schalls in der Atmosphäre über eine größere Entfernung. Die Schallquelle befindet sich im Koordinatenursprung.</p>

Die Reflexion von Schallwellen im Demonstrationsexperiment

Beim Eindringen in das Sonneninnere durchläuft eine Schallwelle Gebiete, in denen sich die Temperatur und der Brechungsindex der Sonnenmaterie ständig ändern. Deshalb erfolgt die Zurücklenkung der Schallwellen auf einer kontinuierlich gekrümmten „Bahn“. In einem Analogieexperiment kann man im Schulunterricht zeigen, dass Schallwellen an Temperaturgrenzflächen reflektiert werden. Dazu verwendet man eine „Feuerwand“ aus Bunsenbrennerflammen.

Versuchsaufbau und Vorüberlegungen: Um Beugungs- und Interferenzeffekte, also die Einbeziehung des Wellenmodells, zu vermeiden, wähle man die Frequenz des Schallsignals so, dass die Wellenlänge nicht von der gleichen Größenordnung wie der Versuchsaufbau ist. Nur dann lässt sich die Reflexion im Strahlenmodell verstehen.

Im Versuch wurde etwa mit 3 500 Hz gearbeitet. Diese Frequenz bot den zusätzlichen Vorteil, dass die Geräusche der recht lauten Bunsenbrenner in einem anderen Frequenzbereich lagen und die Messung deshalb nicht störten. Der Versuchsaufbau erfolgte nach der Abbildung 4.



Bild 1

Geräte:

- Tongenerator mit Lautsprecher, an dem Lautsprecher wird ein Schalltrichter aus Papier befestigt.
- Mikrophon mit Schallanalysegerät – im Versuch kamen die Software und das System Cassy der Firma Leybold zum Einsatz. Eine gute Soundkarte mit passendem Mikrophon und freier Software zur Frequenzanalyse funktioniert natürlich auch.
- Mehrere Kartuschenbunsenbrenner, die in Form einer Wand aufgebaut werden.

Versuchsdurchführung:

Der Versuch besteht aus zwei Teilschritten. Die Abbildung 4 zeigt die Versuchsgemetrie, die Abbildung 5 die Versuchsauswertung in Form eines Frequenz-Schallintensitäts-Diagramms.

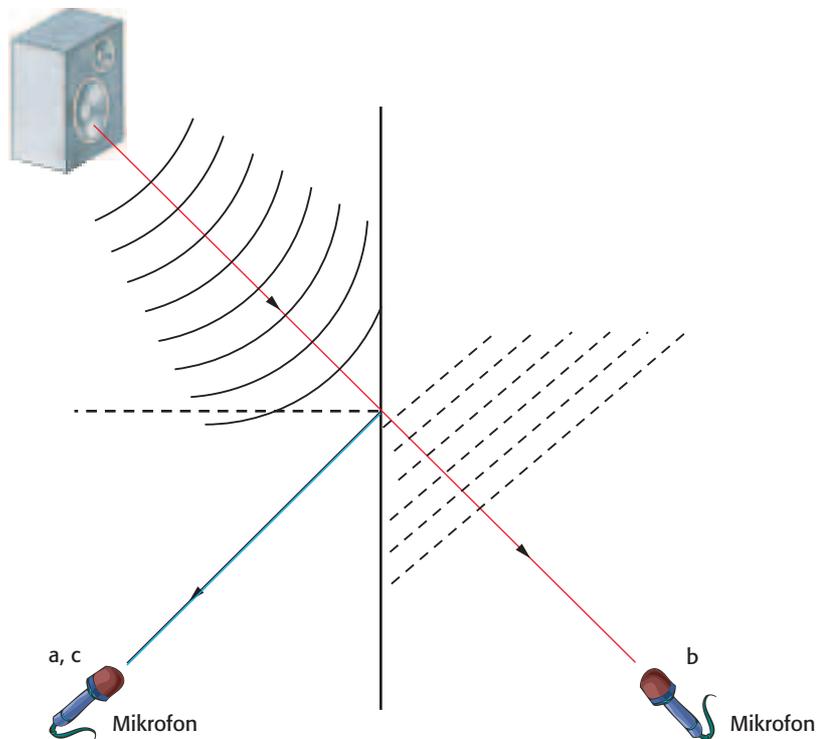
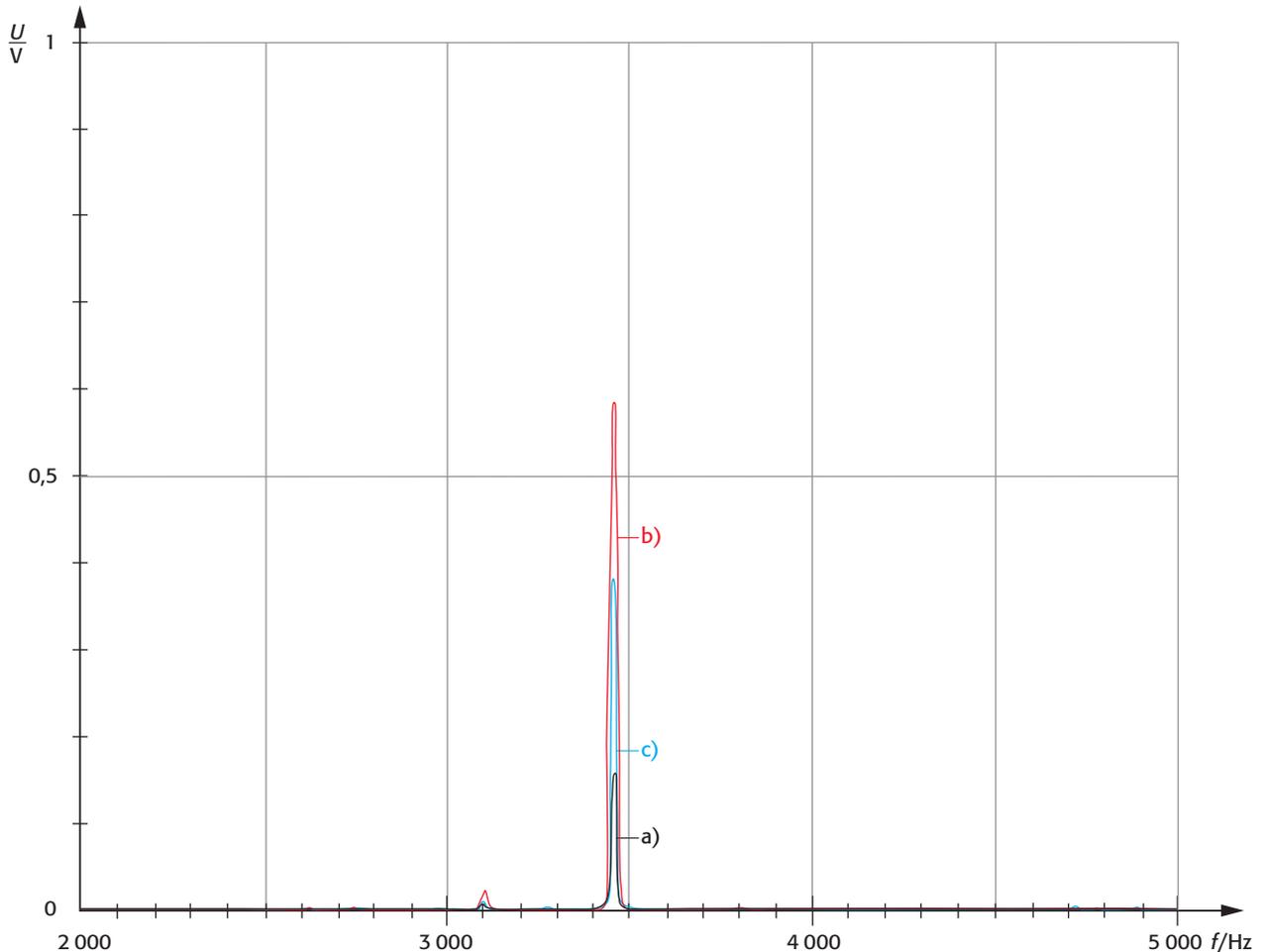


Abb. 4

- Das Mikrofon wird zunächst an der Stelle platziert, an der man laut optischem Reflexionsgesetz das ausfallende Signal erwarten würde. Als Einfallswinkel wähle man etwa 45° . Man bestimmt zunächst die Intensität des Schallsignals am Ort der Reflexion (a, schwarze Kurve in Abb. 5) und bei geradliniger Transmission (b, rote Kurve), bevor die Bunsenbrenner gezündet werden. Bei der schwarzen Kurve handelt es sich dann natürlich nicht um ein reflektiertes Signal, sondern lediglich um das den Raum allseitig erfüllende Ausgangssignal.



5 Frequenz-Schallintensitäts-Diagramm

- Nun zündet man die Brenner und misst bei gleicher Versuchsgeometrie die Schallintensität in Reflexion (c, blaue Kurve) erneut. Diese Kurve liegt deutlich über der schwarzen Kurve aus dem Versuchsteil 1.

Es zeigt sich: An einer heißen Grenzschicht wird ein Teil des Schallsignals reflektiert.

Wissenschaft in die Schulen - Bildquellen

1: Quelle unbekannt

2: Eigene Zeichnung

3: Paetec, nach Vorlage aus Grimsehl, Lehrbuch der Physik, Bd. 1

Bild 1: Eigenes Bild

Abbildung 4: Eigene Zeichnung

5: Eigenes Experiment