2. Erklärung des Phänomens „Stehende Wellen“ – Lösungshinweise

[...]

2. Beobachten Sie die beiden oberen Zeigerbilder, während Sie die Zeit einmal von 0 bis zum Maximalwert durchlaufen lassen. Überprüfen Sie, ob die Zeigerdrehung richtig herum erfolgt und ob die Beziehung zwischen Zeiger und Sinuskurve stimmt.

   Es wird die Welle in Abhängigkeit der Zeit an einem festen Ort betrachtet, man könnte sagen, dass die Schwingung eines Oszillators betrachtet wird. Gemäß Vereinbarung rotieren die Zeiger entgegen dem Uhrzeigersinn. Die Höhe der Zeigerspitze und die Elongation haben stets dieselbe Höhe; beispielsweise werden Nulldurchgänge von der „3-Uhr“- bzw. „9-Uhr“-Stellung des Zeigers repräsentiert.

3. Ziehen Sie nun den Ort einmal von der Quelle bis zur Wand und wieder zurück. Überprüfen Sie für die einlaufende und reflektierte Welle, ob die Zeigerdrehung mit dem Ort richtig herum erfolgt.

   Wenn man die Zeiger entlang der Ausbreitungsrichtung betrachtet, so drehen sie sich mit dem Uhrzeigersinn, da man gewissermaßen „in die Vergangenheit schaut“. Bitte beachten Sie Die entgegengesetzte Ausbreitungsrichtung der reflektierten Welle.

4. Versuchen Sie zu verstehen, wie es zu dem orangenen Zeiger im unteren Zeigerbild kommt. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit Ihren Kenntnissen über die Addition von Kräften.

   Der orangene Zeiger ergibt sich durch die vektorielle Addition des roten und des blauen Zeigers. Der rote und der blaue Zeiger spannen ein Parallelogramm auf, mit dem man die Lage und Länge des schwarzen Zeigers ermitteln kann (vgl. Mittelstufe: Kräfteparallelogramm).

5. Beobachten Sie den orangenen Summenzeiger an verschiedenen Orten, während Sie die Zeit durchlaufen lassen. Beschreiben Sie Ihre Beobachtung.

   An einem festen Ort dreht sich der orangefarbene Summenzeiger mit konstanter Geschwindigkeit und konstanter Länge, die vom Ort abhängt, entgegen dem Uhrzeigersinn. (Die Winkelgeschwindigkeit aller drei Zeiger ist gleich.)

6. Durchlaufen Sie erneut den Ort von der Quelle bis zur Wand. Beobachten Sie den orangefarbenen Summenzeiger und beschreiben Sie, was mit ihm geschieht.
   Die Länge des orangenen Zeigers oszilliert zwischen 0 und seinem Maximalwert. Die Phase hat dabei einen bestimmten Wert φ bzw. $\varphi + \pi$.

Schalten Sie nun den unteren Graphen ein.

7. Erläutern Sie, warum es Stellen gibt, an denen die Auslenkung immer Null ist und solche, an denen das nur von Zeit zu Zeit geschieht. Versuchen Sie zu begründen, warum man das Gebilde eine stehende Welle nennt.
   An bestimmten Orten sind die beiden zugrunde liegenden Zeiger stets entgegengesetzt (Phasendifferenz von π) ausgerichtet. Somit besitzt der Summenzeiger zu allen Zeiten die Länge Null und an dieser Stelle schwingt der Wellenträger nicht.
   An den anderen Orten besitzt die Phasendifferenz einen anderen Wert als π, womit der Summenzeiger eine bestimmte Länge hat. Dieser rotiert mit der Zeit entgegen dem Uhrzeigersinn und erreicht auch die 3-Uhr bzw. 9-Uhr-Position, was für eine (momentane) Auslenkung von Null steht.

Die Schwingungsknoten sind stets in Ruhe, scheinen an bestimmten Stellen festgeknotet zu sein. Die Schwingungsbäuche sind hingegen in ständiger Bewegung. Eine Momentaufnahme dieses Gebildes sieht wie eine Welle aus, die aber nicht fortschreitet, sondern steht.

8. Prüfen Sie die Aussage: „Am Ende der Glasröhre befindet sich bei der Reflexion am geschlossenen Ende ein Schwingungsknoten und am offenen Ende ein Schwingungsbauch". Begründen Sie diesen Zusammenhang.

Die Aussage ist korrekt. Die Prüfung kann mithilfe der Geogebra-Datei erfolgen (Schieberegler).

Reflexion am geschlossenen Ende: Der Zeiger der einlaufenden Welle und der Zeiger der reflektierten Welle haben durch den Phasensprung stets eine Phasendifferenz von π, woraus ein Summenzeiger der Länge Null, also ein Schwingungsknoten resultiert.

Reflexion am offenen Ende: Es erfolgt kein Phasensprung, womit die Zeiger stets in dieselbe Richtung zeigen und einen Summenzeiger maximaler Länge, also einen Schwingungsbauch erzeugen.

9. Begründen Sie, dass bei einer stehenden Welle der Abstand zweier Schwingungsknoten $\frac{\lambda}{2}$ beträgt.

Ein Schwingungsknoten liegt immer dann vor, wenn die beiden zugrunde liegenden Zeiger eine Phasendifferenz von π haben. Wenn man den Ort von einem zum nächsten Schwingungsknoten verschiebt, dann drehen sich der rote und der blaue Zeiger entgegengesetzt. Erst wenn die beiden Zeiger ihre Positionen getauscht haben, sich also um $+\pi$ bzw. $+\pi$ weitergedreht haben, stehen sie sich wieder gegenüber und können einen Schwingungsknoten bilden. Eine Phase von π entspricht einer Wellenlänge von $\frac{\lambda}{2}$.