

Geluidssnelheid bepalen met behulp van staande golven

Een smartphone experiment

Met de komst van smartphones is een schat aan meetinstrumenten beschikbaar geworden. Zo kan iedere leerling nu beschikken over een oscilloscoop die een frequentiespectrum kan laten zien. Hiermee is met alledaagse middelen de geluidssnelheid te bepalen. Bovendien worden leerlingen zich bewuster van de aanwezigheid van boventonen bij muziekinstrumenten.

Door over een pvc-buisje dat aan één kant is dicht gemaakt te blazen, kun je een hoorbare staande golf maken. De golflengte kan met behulp van de lengte en straal van het buisje bepaald worden. Met de komst van allerlei smartphone-apps is het ook mogelijk een *frequentiespectrum* van dit geluid te maken. Hierna kan de geluidssnelheid berekend worden met:

$$v = \lambda \cdot f$$

Benodigdheden voor dit practicum zijn: afgedichte buisjes van verschillende lengtes, een smartphone per groep, en eventueel een computer om de data te verwerken.

Phyphox

Er zijn tal van gratis apps beschikbaar waarmee de sensoren van smartphones gebruikt kunnen worden voor het verzamelen van meetgegevens. Het probleem is vaak dat apps niet altijd voor beide grote platformen - Android en iOS - beschikbaar zijn, dat onduidelijk is of de app te vertrouwen is, soms kosten de apps geld, en in andere

KAREL KOK is promovendus natuurkunde vakdidactiek aan de Humboldt Universität zu Berlin. Hij heeft zes jaar leservaring in het Nederlandse en Amerikaanse middelbaar- en hoger onderwijs en is auteur bij Natuurkunde Overal. <https://www.physik.hu-berlin.de/de/didaktik> - www.karekok.com, karel.kok@physik.hu-berlin.de

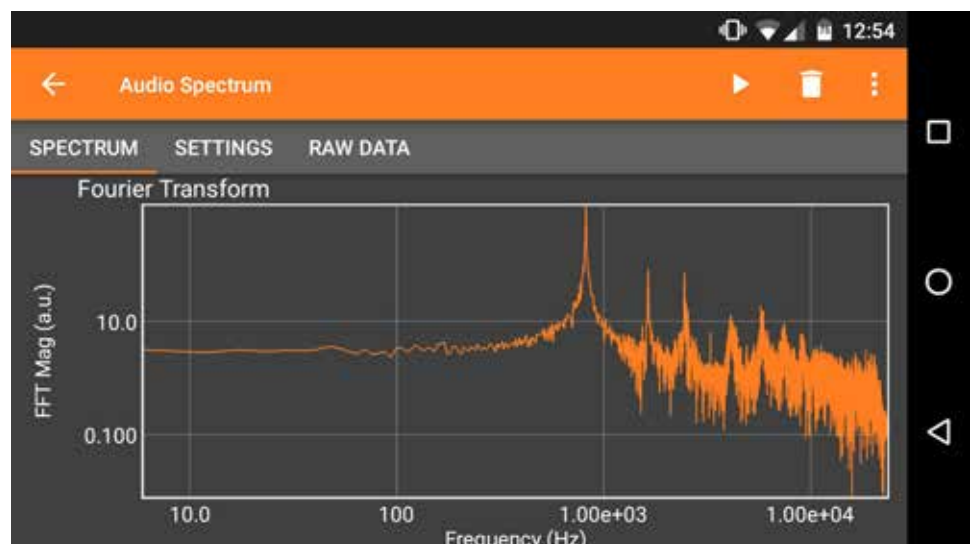
gevallen zijn de data niet te exporteren. Het natuurkundig instituut van de universiteit van Aken heeft de app Phyphox ontwikkeld die gratis beschikbaar is voor beide platformen (zie ook <https://phyphox.org>). Ook is het mogelijk deze data te exporteren naar onder andere Excel.

Spectrum meten

Om een frequentiespectrum te meten kies je 'audio spectrum' in Phyphox. Start de meting



door op de play-knop rechts boven te drukken. Blaas over de bovenkant van het buisje, zodra je een goede toon hoort en pieken in het spectrum ziet ontstaan, druk je op pauze om de meting vast te leggen. De y-as van de grafiek geeft de intensiteit van het geluid weer. De eenheid is hier niet van belang, een hogere waarde betekent harder geluid. De grafiek heeft logaritmische assen, waardoor de pieken duidelijker te onderscheiden zijn van de achtergrondruis.



Screenshot van een frequentiespectrum in Phyphox. Bron: Karel Kok

Als je in het Phyphoxscherm naar boven scrollt, zie je de frequentie van de hoogste piek, de grondtoon, getalsmatig aangegeven. In het optiemenu (de drie puntjes) kun je de meting exporteren voor een nauwkeuriger analyse.

Golfengte bepalen

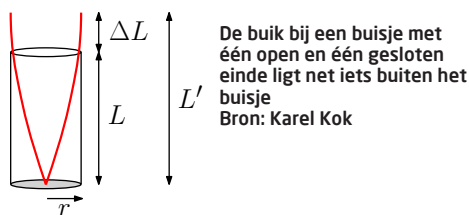
Omdat de buik van de staande golf iets boven het buisje ligt, moet je werken met de effectieve lengte L' , deze bereken je met:

$$L' = L + \Delta L$$

Hierin is L de lengte van het buisje en ΔL de eindcorrectie. Deze eindcorrectie voor open uiteinden kan berekend worden met:

$$\Delta L = 0,6 \cdot r$$

waarin r de straal van het buisje is. De factor 0,6 is een experimenteel vastgestelde waarde (Ruiz 2014).



Hierna kan de golfengte bepaald worden met:

$$\lambda = 4 \cdot \frac{L'}{n}$$

Waarin n gelijk is aan 1, 3, 5, ... voor staande golven met een open en een gesloten einde.

Geluidssnelheid bepalen

Er zijn verschillende opties om met de meetresultaten de geluidssnelheid te bepalen.

De simpelste methode is om alleen met de waarden van de grondtoon te werken. Het voordeel is dat Phyphox deze piekfrequentie automatisch in het scherm weergeeft.

Een andere mogelijkheid is de data te exporteren en te plotten in bijvoorbeeld Excel. Het is hierbij aan te raden een logaritmische y -as te gebruiken, waardoor de pieken voor hogere waarden van n beter zichtbaar worden. Met de grafiek kun je de frequenties van de pieken bepalen. Met de bijbehorende golfengtes kun je de geluidssnelheid meermaals berekenen en hiervan een gemiddelde nemen. Een derde methode is het plotten van λ tegen de f^{-1} . Dit vergt wat meer tijd en uitleg, maar geeft wel een nauwkeuriger resultaat.

De richtingscoëfficiënt van de lineaire fit geeft je de geluidssnelheid.

De eerste twee methoden gaven mij een geluidssnelheid van 345 m/s, de derde 346 m/s. Op het moment van meten was het 29°C. De gemeten waarden wijken dus ongeveer 1% van de theoretische waarde van 349 m/s af.

Aandachtspunten

Ik heb bij dit experiment normale pvc-buisjes gebruikt. Om een mooie spreiding van meetwaarden te krijgen heb ik verschillende lengtes gemaakt variërend van 7 cm tot 15 cm. Bij kortere of langere buisjes is het moeilijker een goede toon te maken. Door de variatie aan lengtes krijgen de verschillende groepen verschillende frequenties en golfengtes waardoor er ook de mogelijkheid is een breder klassengemiddelde te nemen. Maak de buisjes aan de onderkant goed luchtdicht. De buisjes aflakken met plakband werkt niet goed. Het plakband gaat mee trillen waardoor er ook een frequentiepiek voor $n = 2$ zal ontstaan. Bovendien worden de frequenties iets hoger doordat de eindcorrectie in dit geval anders is.

Er zal een behoorlijke **kakofonie** ontstaan

Zelf heb ik met een lijmpistool stukjes kunststof aan de onderkant van de buisjes geplakt. De leerlingen kunnen ook met hun duim de buisjes afdichten, al verandert dit de lengte van de buis natuurlijk wel een beetje. Indien mogelijk, is het een goed idee de leer-

lingen buiten te laten meten zodat ze minder last van elkaars geluid hebben. Ook is het raadzaam collega's in nabijgelegen lokalen vooraf over dit experiment te informeren, er zal een behoorlijke kakofonie ontstaan.

Varianten

Er zijn veel verschillende varianten op dit practicum mogelijk. Je kunt leerlingen na laten gaan of de buisjes zich daadwerkelijk gedragen als een instrument met een open en een gesloten einde. Of je laat de leerlingen dit vaststellen voor zelf meegebrachte instrumenten.

Je kunt een snel klassikaal experiment doen waarin je als docent op het buisje blaast en de leerlingen de piekfrequentie laat bepalen. Ook hiermee kan snel, maar vaak minder nauwkeurig, de geluidssnelheid bepaald worden.

De hoeveelheid tijd die het experiment kost hangt af van de gekozen variant. Voor de in dit artikel beschreven variant met uitgebreide dataverwerking trek ik meestal twee 50-minuten lessen uit. Een les voor introductie, het verzamelen van meetgegevens en het exporteren. De tweede les staat geheel in het teken van dataverwerking.

Leeropbrengst

In mijn ervaring zijn leerlingen na dit experiment beter gaan begrijpen dat muziekinstrumenten meer frequenties dan alleen de grondtoon produceren. Dit omdat ze praktijkgericht met de meetgegevens bezig zijn die ze zelf hebben verzameld.

Ook is dit een geschikt experiment om meer met dataverwerking te oefenen, iets waar ik veel waarde aan hecht. Het uitwerken van de meetgegevens, zoals hierboven beschreven, is niet eenvoudig en vergt veel tijd. Toch biedt het de leerlingen een unieke kans om met grote datasets (ruim 4000 meetwaarden) te werken. En het belang van datareductie wordt snel duidelijk door het stapsgewijs verwerken van de spectra tot een enkele waarde. ●

BRONNEN

www.phyphox.org Website van de makers van Phyphox.
Ruiz, M. J. (2014). Boomwhackers and End-Pipe Corrections. *The Physics Teacher*, 52(2), 73-75.