**Zingende staaf**

[subtitel] Tonen en boventonen

[onderwerpsymbool GS]

[B]

Tijd

10 minuten

Bereik

Bovenbouw

[inleidend kader]

Deze demonstratie maakt, als je het goed uitvoert, veel lawaai op een irritante toonhoogte. Een demonstratie die leerlingen zeker niet vergeten. Door de juiste posities op de staaf te kiezen kun je zelfs twee boventonen ‘spelen’. Metingen aan de frequentie zijn eenvoudig en de link naar de natuurkunde van muziekinstrumenten is snel gelegd.

[eind kader]

[NV05\_Figuur\_1] [NV05\_Figuur\_2]

*Figuur 1. Houd de staaf in het midden vast voor de grondtoon.*

*Figuur 2. Houd de staaf op een kwart lengte van boven vast voor de eerste boventoon.*

**Nodig**

Rolmaat; aluminium staaf (ruim 1 m lang); fijn schuurpapier of een hamer; viltstift of potlood; geluidssensor met Coach 7 of phyphox-app (Audio spectrum).

**Voorbereiding**

Geef met een streepje op de staaf aan waar het midden is en waar een kwart lengte zit van boven. Zorg dat je een korte tijd kunt meten met een hoge meetfrequentie. Oefen van tevoren hoe je een hoger geluidsniveau kunt bereiken. Wrijf in het juiste tempo en druk niet te hard op het schuurpapier.

**Uitvoering**

1. Houd de staaf in het midden losjes vast. Wrijf met het fijne schuurpapier langs de staaf totdat de staaf gaat zingen (piepen/janken). Door in het juiste tempo te wrijven kun je een redelijke geluidssterkte bereiken. Een korte tik met een hamer op de staaf geeft ook een mooie toon.
2. Draai de staaf rond en vraag de leerlingen waar het geluid van de staaf precies vandaan komt.
3. *Hoe kun je het ‘zingen’ stoppen?* Laat de leerlingen met die informatie nadenken of het trillen van de staaf longitudinaal of transversaal is en hoe je dit kunt nagaan.
4. Houd de staaf losjes vast op een kwart van de bovenkant van de staaf. Wrijf met het fijne schuurpapier langs de staaf totdat de staaf gaat zingen (piepen/janken). Door in het juiste tempo te wrijven kan weer een hoge geluidssterkte bereikt worden. (Werkt het wrijven niet? Geef dan een tik met een hamer op de staaf.)
5. *Hoe verschilt deze toon van de eerste toon die je gehoord hebt?*
6. *Waarom moet je de staaf op een andere plek vastpakken om deze toon te horen?*
7. Meet de frequentie van de tonen met Coach 7 of phyphox en bepaal de geluidssnelheid in de staaf. De staaf heeft twee open uiteinden.
8. Laat de leerlingen de trillingstoestanden van de staaf bij de grondtoon en boventoon schetsen.
9. Een geoefende demonstrateur kan zelfs een tweede boventoon laten horen. Controlevragen: *Waar moet je dan de staaf vasthouden? Welke toon demp je dan?*

**Natuurkundige achtergrond**

Door te wrijven met een schuurpapiertje gaat de staaf zowel transversaal als longitudinaal trillen. Dat is eenvoudig aan te tonen door de staaf te laten ‘zingen’ en dan te dempen. Dit dempen gaat zowel bij de uiteinden in de lengterichting als door de staaf vasthouden (breedterichting). De staaf trilt in beide richtingen.

Bij de grondtoon is er in het midden een knoop en aan de uiteinden een buik. De golflengte is dus tweemaal de lengte van de staaf. De bijbehorende frequentie kun je uitrekenen met:

[NV05\_Figuur\_3]

*Figuur 3. De transversaal getekende grondtoon en de eerste boventoon*

De geluidssnelheid in de staaf kun je uitrekenen met:

Hierin is de elasticiteitsmodulus van het gebruikte materiaal (71 GPa voor aluminium) en de dichtheid van de staaf. De andere kant op werken kan natuurlijk ook, waarbij je de gemeten frequentie gebruikt om de elasticiteitsmodulus van het materiaal te bepalen.

‘Speel’ je de boventoon dan zitten de knopen op een kwart en driekwart lengte van de staaf.

[NV05\_Figuur\_4a] [NV05\_Figuur\_4b]

*Figuur 4. Resultaten van audiospectrum meting met phyphox en met Fourieranalyse in Coach 7*

**Tips**

* Belangrijk is de plaats waar je moet vasthouden, halverwege of op een kwart. Wrijf onderaan de staaf in een korte snelle beweging. Een hamer als trillingsbron is handig als je een staaf met grote dichtheid hebt. Bij het ‘spelen’ van de grondtoon vind je met een analyse-tool ook de tweede boventoon, maar niet de frequentie van de eerste boventoon (figuur 5). Waarom dat is, kun je ze laten uitleggen met behulp van figuur 3.
* Coach 7 met een korte tijd (≈ 2 s) en een meetfrequentie van ongeveer 2 kHz om zo nauwkeurig mogelijke fourieranalyse te kunnen doen.
* Phyphox (Audio spectrum) geeft snel een gemeten frequentie. De hogere boventonen zijn zichtbaar, maar de bijhorende piekwaarden zijn niet af te lezen. Exporteer de meting uit phyphox naar Excel.