

Boomwhackers

Jelle heeft een set van acht boomwhackers. Zie figuur 1. Boomwhackers zijn kunststof buizen met twee open uiteinden waarmee je muziek kunt maken. Als je met een boomwhacker ergens tegenaan tikt, ontstaat er een toon doordat er staande golven in de buis ontstaan. De lengte van de buis bepaalt de hoogte van de toon.

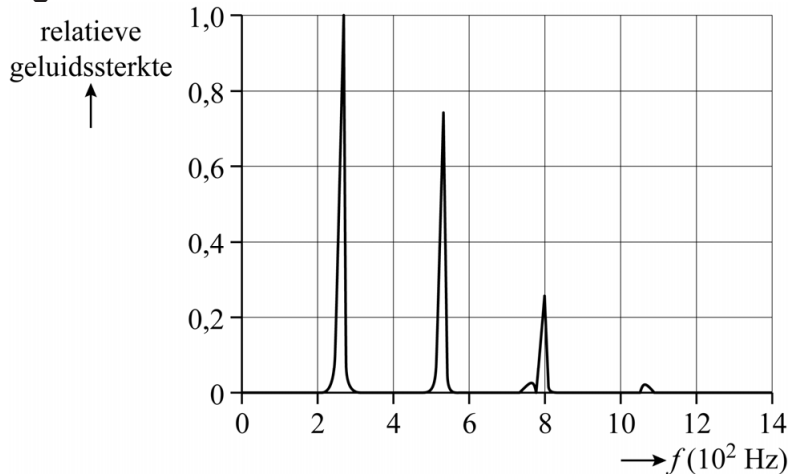
figuur 1



Jelle meet de frequenties van de grondtoon en de boventonen van buis 1. Zijn meetresultaten wijken een klein beetje af van wat hij verwacht op basis van de lengte van de buis. Dit komt doordat de buiken niet exact samenvallen met de uiteinden van de buis. De afstand tussen de buiken aan beide uiteinden van de buis wordt de akoestische lengte genoemd. Deze akoestische lengte bepaalt dus de toonhoogte.

In figuur 2 staat weergegeven welke frequenties vóórkomen in de toon van buis 1. De meting is gedaan bij een temperatuur van 20 °C.

figuur 2



- 4p **16** Bepaal de akoestische lengte van buis 1 met behulp van figuur 2. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Jelle gaat op zoek in de literatuur en vindt de volgende formule voor de akoestische lengte:

$$L_a = L + 2 \cdot 0,31 \cdot d \quad (1)$$

Hierin is:

- L_a de akoestische lengte van de buis in m
- L de werkelijke lengte van de buis in m
- 0,31 een experimenteel bepaalde correctiefactor
- d de binnendiameter van de buis in m
- 2 het aantal open uiteinden van de buis

- 2p **17** Leg uit met behulp van formule (1) of de buiken aan de uiteinden van de buis binnen of buiten de buis vallen.

Jelle meet de lengte en de binnendiameter van de buizen op met een meetlint. Voor buis 8 vindt hij een lengte van 30,1 cm. Hij meet voor elke buis een binnendiameter van 4,0 cm.

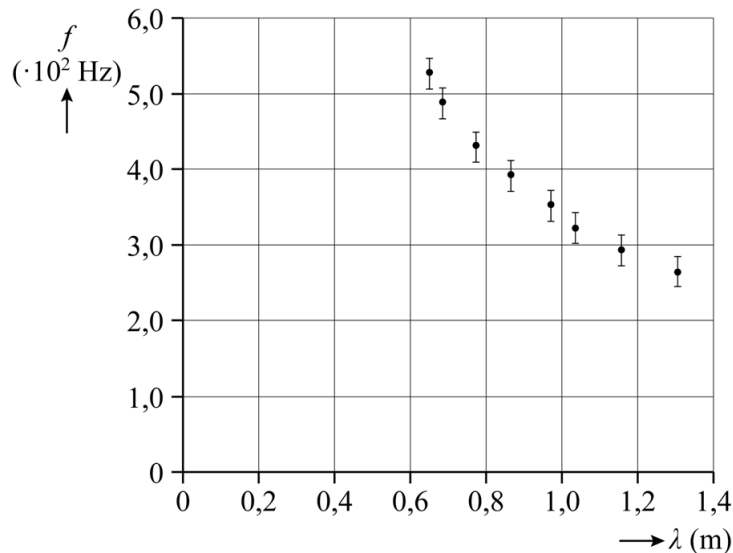
Jelle bedenkt dat hij de binnendiameter ook kan meten met een schuifmaat. De meetwaarde voor de binnendiameter wordt dan nauwkeuriger en kan daardoor worden opgegeven in één significant cijfer méér dan met het meetlint.

Jelle beweert dat de akoestische lengte, en dus de golflengte van de toon, nu weergegeven kan worden met een groter aantal significante cijfers.

- 3p **18** Leg uit of Jelle gelijk heeft.

Jelle wil nu de geluidssnelheid bepalen. Daarom berekent hij, uit zijn metingen met het meetlint, met behulp van formule (1) de golflengte van de grondtoon van elke buis. Bovendien meet hij van elke buis de frequentie f van de grondtoon. Van zijn resultaten maakt hij de grafiek van figuur 3. Hij geeft hierbij ook de meetonnauwkeurigheid in de frequentie f aan.

figuur 3



De meetonnauwkeurigheid in de frequentie is vastgesteld op $2 \cdot 10^1$ Hz. Dat betekent dat elke frequentie in werkelijkheid $2 \cdot 10^1$ Hz naar onder of naar boven kan afwijken. In de grafiek is deze meetonnauwkeurigheid, ook wel foutmarge genoemd, aangegeven met verticale streepjes van $2 \cdot 10^1$ Hz onder tot $2 \cdot 10^1$ Hz boven elk grafiekpunt.

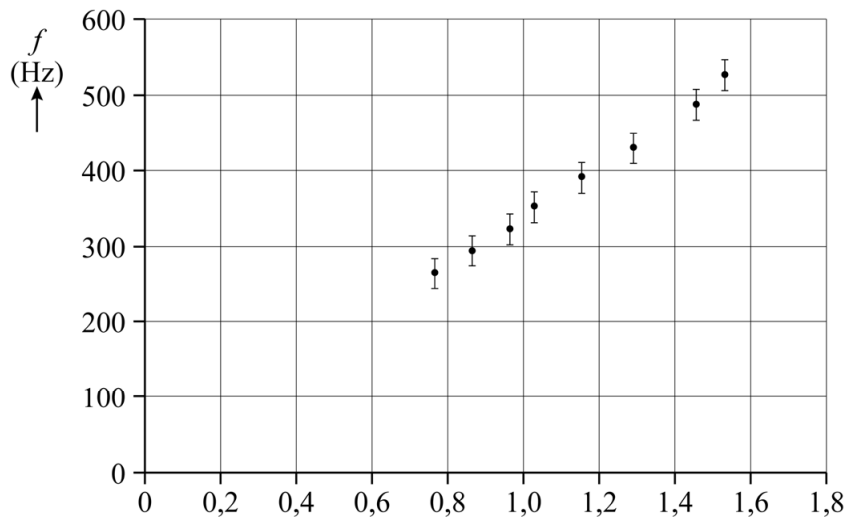
De berekende golflengte kent ook een foutmarge.

- 2p **19** Leg uit dat de foutmarge in de golflengte te klein is om zichtbaar weergegeven te kunnen worden in figuur 3.

Om de geluidssnelheid zo nauwkeurig mogelijk te bepalen voert Jelle een coördinatentransformatie uit. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 4.

Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



Jelle voert de volgende drie handelingen uit:

- Hij zet bij de horizontale as het juiste bijschrift.
- Hij trekt in het diagram twee rechte lijnen door de oorsprong die net binnen alle foutmarges liggen.
- Hij bepaalt hieruit in twee significante cijfers de minimale en de maximale geluidssnelheid die uit de metingen volgen.

4p **20** Voer de drie bovenstaande handelingen van Jelle uit in de figuur op de uitwerkbijlage.