

# Geluidsnelheid

## Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Theorie: drie meetmethoden	1
3	Verkennen opstelling	5
4	Onderzoeksvragen en werkplan	7
5	Metingen	7
6	Rapportage	12

## 1 Inleiding

Geluidsgolven zijn longitudinale golven. Zoals bekend ontstaan golven als een trillingen zich voortplanten in een medium, in dit geval luchttrillingen (gegenereerd door een luidspreker) die zich voortplanten in lucht. De snelheid waarmee de geluidsgolf zich voortplant is de geluidssnelheid. Die is ca. 340 m/s, maar is afhankelijk van de temperatuur en ook enigszins van de luchtdruk, de luchtvochtigheid en de frequentie. In dit experiment bestuderen we geluidsgolven die zich voortplanten in een lange perspex buis. Aan een uiteinde van de buis worden trillingen opgewekt door een luidspreker. Het andere uiteinde kan open worden gelaten of afgesloten door een dekseltje. In beide gevallen wordt de golf gereflecteerd waardoor in de buis een staande golf kan ontstaan. De buis kan ook worden afgesloten door een tweede buis waarin watten zitten. Hierdoor wordt de golf grotendeels geabsorbeerd, zodat in de buis een lopende golf loopt.

De buis in dit experiment kan, zeker als het einde open blijft, beschouwd worden als een simpel model van een blaasinstrument (waaronder fluit, klarinet, saxofoon). Veel meer informatie hierover vind je o.a. hier: <http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/woodwind.html>.

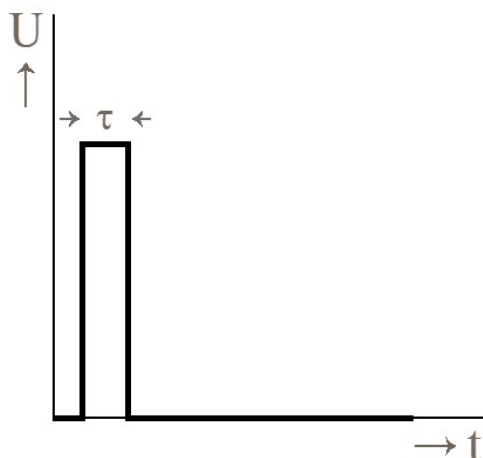
## 2 Theorie: drie meetmethoden

Om je goed voor te bereiden op het experiment wordt eerst de theorie bestudeerd.

### 2.1 Looptijd van een puls

Waarschijnlijk de meest directe manier om de geluidssnelheid te meten is de volgende. Je laat de luidspreker een smalle puls voortbrengen. Zo'n puls ziet er uit als in figuur 1 De breedte van de puls,  $\tau$  in de figuur, is in dit experiment steeds 0.1 ms.

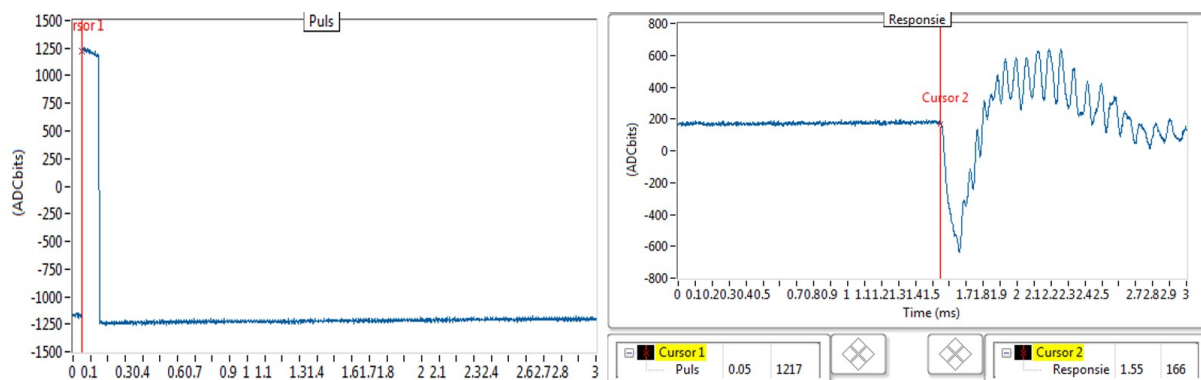
De puls plant zich door de lucht voort en verandert daarbij aanzienlijk van vorm. In figuur 2, afkomstig uit het meetprogramma bij dit experiment, zie je links de smalle puls en rechts het signaal zoals dat wordt geregistreerd door de microfoon (de responsie).



Figuur 1: De puls die de luidspreker uitzendt.

De linker verticale rode lijn (cursor 1) staat bij het begin van de puls zoals hij uit de luidspreker komt. Rechts onderaan zie je dat dit is op  $t_1 = 0,05ms$ . De rechter verticale rode lijn (cursor 2) staat op het tijdstip waarop de puls aankomt bij de microfoon. Onderaan zie je dat is bij  $t_2 = 1,55ms$ . De puls heeft er dus  $\Delta t = t_2 - t_1 ms$  over gedaan om de afstand luidspreker – microfoon af te leggen. Als de afstand tussen luidspreker en microfoon gelijk is aan 1 m is de voortplantingsnelheid van het geluid dus:

$$v = l/\Delta t \quad (1)$$

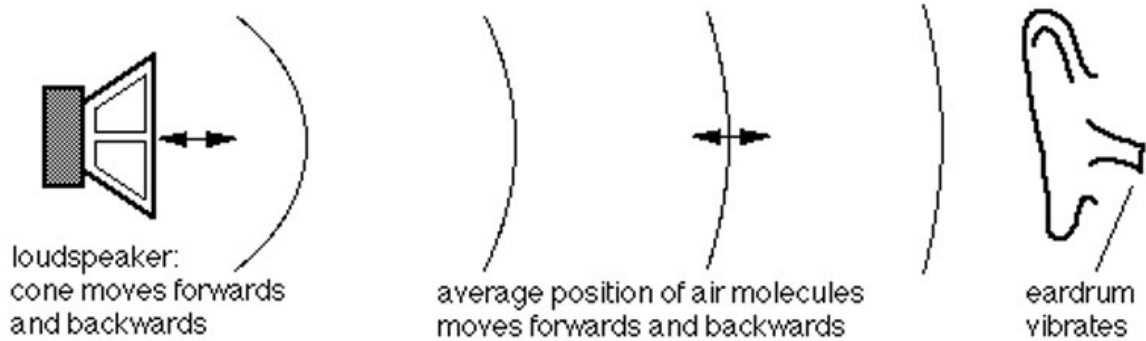


Figuur 2: Een schermafbeelding van het meetprogramma. In de linker grafiek zie je de uitgezonden, smalle puls. In de rechter grafiek zie je het signaal zoals deze wordt geregistreerd door de microfoon.

## 2.2 Lopende golf, faseverschil

Het geluid in de buis is een sinusvormig signaal dat wordt gegenereerd door een luidspreker (aangesloten op een computer gestuurde sinusgenerator). In figuur 3 kan je zien hoe het geluid zich voortplant en hoe wij het kunnen horen. Je ziet dat het geluid trilt in dezelfde richting waarin het geluid zich voortplant. Hierdoor ontstaat een longitudinale golf.

In onze buis wordt het geluid niet opgevangen door een oor maar door een microfoon. In dit deel van het experiment wordt een sinusvormige toon uitgezonden door de luidspreker,



Figuur 3: Trilling van lucht door de voortbeweging van een geluidsgolf.



Figuur 4: Voorbeeld van een faseverschil.

waardoor een sinusvormige golf ontstaat.

Als de perspex buis afgesloten wordt door de buis met watten zal er een lopende golf met golflengte  $\lambda$  door de buis lopen. Op iedere positie in de buis zal de lucht dan hetzelfde trillen als de conus van de luidspreker, maar omdat het geluid zich voortplant met een eindige snelheid  $v$  zal de trilling van de microfoon uit fase zijn met de luidspreker. Als de luidspreker een sinusvormige toon met frequentie  $f$  genereert geldt de volgende relatie:

$$v = f\lambda. \quad (2)$$

Als je de trilling van twee punten op een onderlinge afstand  $l$  vergelijkt zullen die dezelfde frequentie en (ongeveer) dezelfde amplitude hebben, maar een faseverschil van

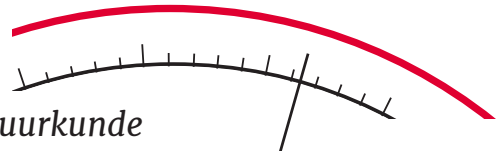
$$\Delta\phi = l/\lambda, \quad (3)$$

waarbij het punt het dichtst bij de geluidsbron (de luidspreker) de grootste fase heeft. Hieruit blijkt: als twee punten een geheel aantal  $n$  golflengten van elkaar liggen is het faseverschil gelijk aan  $n$ , en het gereduceerde faseverschil is nul! Zie figuur 4

Door twee punten op de golf met gelijke gereduceerde fase te zoeken kunt je dus de golflengte meten. Door gebruik te maken van vergelijking 2 kun je dan de voortplantings-snelheid berekenen.

### 2.3 Staande golf

Als de buis aan het uiteinde open óf gesloten is zullen de geluidsgolven daar gereflecteerd worden en kunnen er staande golven ontstaan. Je spreekt dan ook wel van resonantie. Als de buis gesloten is kunnen de luchtdeeltjes daar niet bewegen, dus een gesloten uiteinde zal een knoop zijn. Een open uiteinde zal een buik worden. Het andere einde, waar de luidspreker gemonteerd is, gedraagt zich als een gesloten einde en wordt dus een knoop.



**MAAR!** Bij een knoop bewegen de luchtdeeltjes niet. Aan weerszijde van de knoop bewegen de luchtdeeltjes tegen elkaar in. Je kunt je dus voorstellen dat de drukvariaties in een knoop maximaal zijn. Dus een bewegingsknoop wordt een drukbuik. En een bewegingsbuik wordt een drukknop! De gebruikte microfoon meet de geluidsdruk.

### 2.3.1 Voorwaarden voor staande golven

#### Twee gesloten uiteinden

Een staande golf ontstaat alleen als de lengte van de buis  $L$  volgens een bepaald voorschrift past bij de golflengte van de geluidsgolven. Dat kun je het beste zien aan de hand van een tekening. Hieronder zie je zo'n tekening voor een gesloten uiteinde. Je ziet dat het meest eenvoudige patroon ontstaat als de lengte van de buis gelijk is aan een halve golflengte. Het blijkt dat er alleen een staande golf ontstaat als de lengte van de buis gelijk is aan een geheel aantal keren de halve golflengte. In formulevorm:

$$L = n \frac{1}{2} \lambda_n \rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

#### Opdracht 1: Frequenties gesloten uiteinde

Laat zien dat uit vergelijking 4 de volgende formule volgt voor  $f_n$ , de frequenties waarvoor een staande golf kan ontstaan als functie van  $n$  (gebruik vergelijking 2).

$$f_n = n \frac{v}{2L}$$

Uit deze formule volgt dat, als je de frequenties  $f_n$  uitzet als functie van  $n$ , de grafiek een rechte lijn is met helling  $v/2L$ .

#### Een open uiteinde

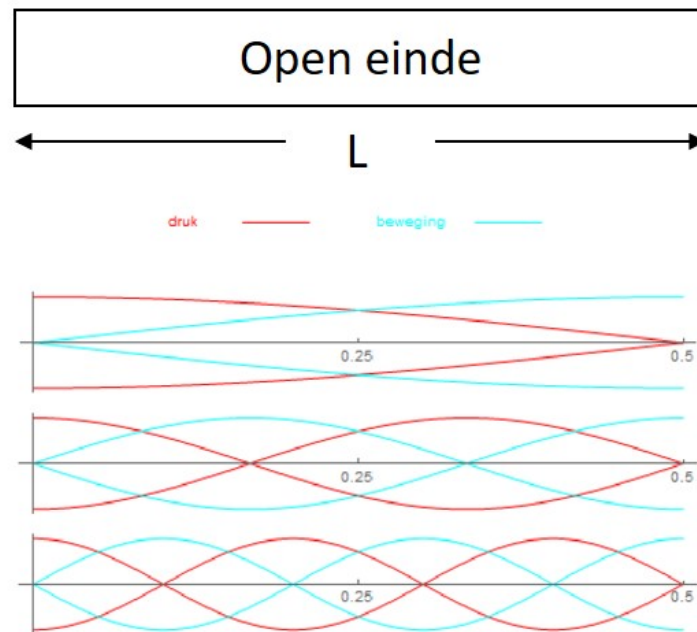
In figuur 5 zie je hoe een staande golf past in een buis waar een van de uiteinden open is. Merk op dat het simpelste patroon nu ontstaat als in de buis een kwart golflengte past. Het past ook als er 3, 5, ... kwart golflengtes op de buis passen.

#### Opdracht 2: Frequenties open uiteinde

In dit geval ontstaat dus alleen een staande golf als geldt:

$$L = n \frac{1}{4} \lambda \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

Leid ook voor dit geval een formule af voor  $f_n$ , de frequenties waarvoor een staande golf kan ontstaan als functie van  $n$ .



Figuur 5: Verschillende staande golven in een buis waar een van de uiteinden open is.

### 3 Verkennen opstelling

#### 3.1 De opstelling

Als je aan het experiment begint zijn alle aansluitingen al gemaakt, daar hoef je dus niets aan te doen. Mocht de opstelling niet helemaal klaar zijn waarschuw dan meteen een assistent.

Je kunt de microfoon in de buis verschuiven door aan de draaiknop te draaien. Doe dit voorzichtig om te voorkomen dat het mechanisme ontregeld wordt (dit betekent een reparatie die een paar uur duurt, m.a.w. dan is je experiment voortijdig afgelopen). Help het draadje dat van de microfoon naar buiten de buis loopt een beetje mee bij het verplaatsen van de microfoon. De oscilloscoop is niet echt nodig bij dit experiment, maar je kunt er desgewenst mee controleren hoe elektrische signalen op verschillende plekken in de opstelling er uit zien. Zie figuur 6

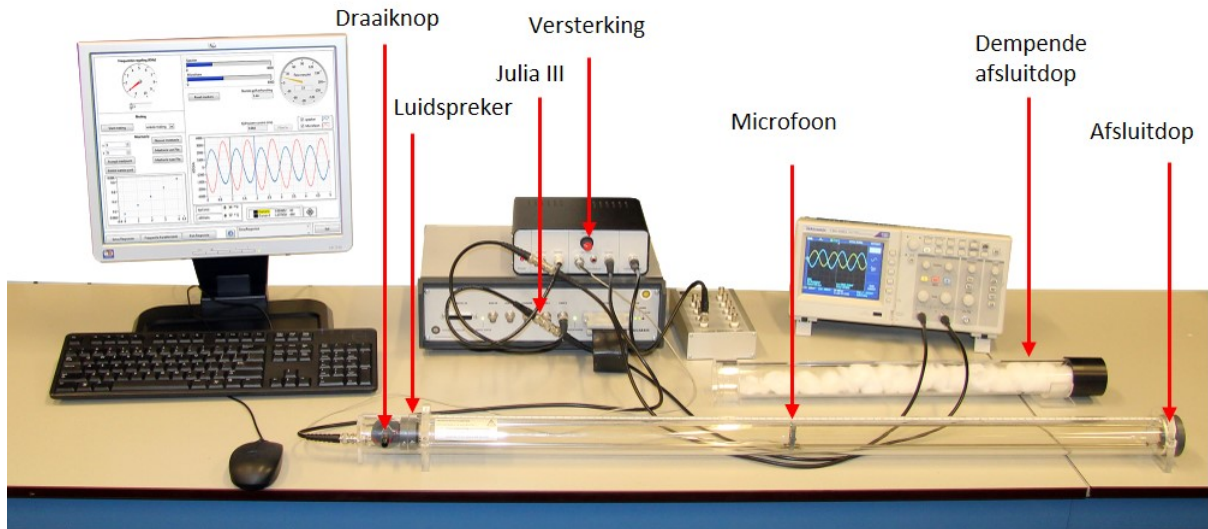
#### 3.2 Meetprogramma

Het programma waarmee je de metingen gaat doen heet 'Geluidssnelheid'. Als je het programma gestart hebt zie je het openingsscherm, zie figuur 7.

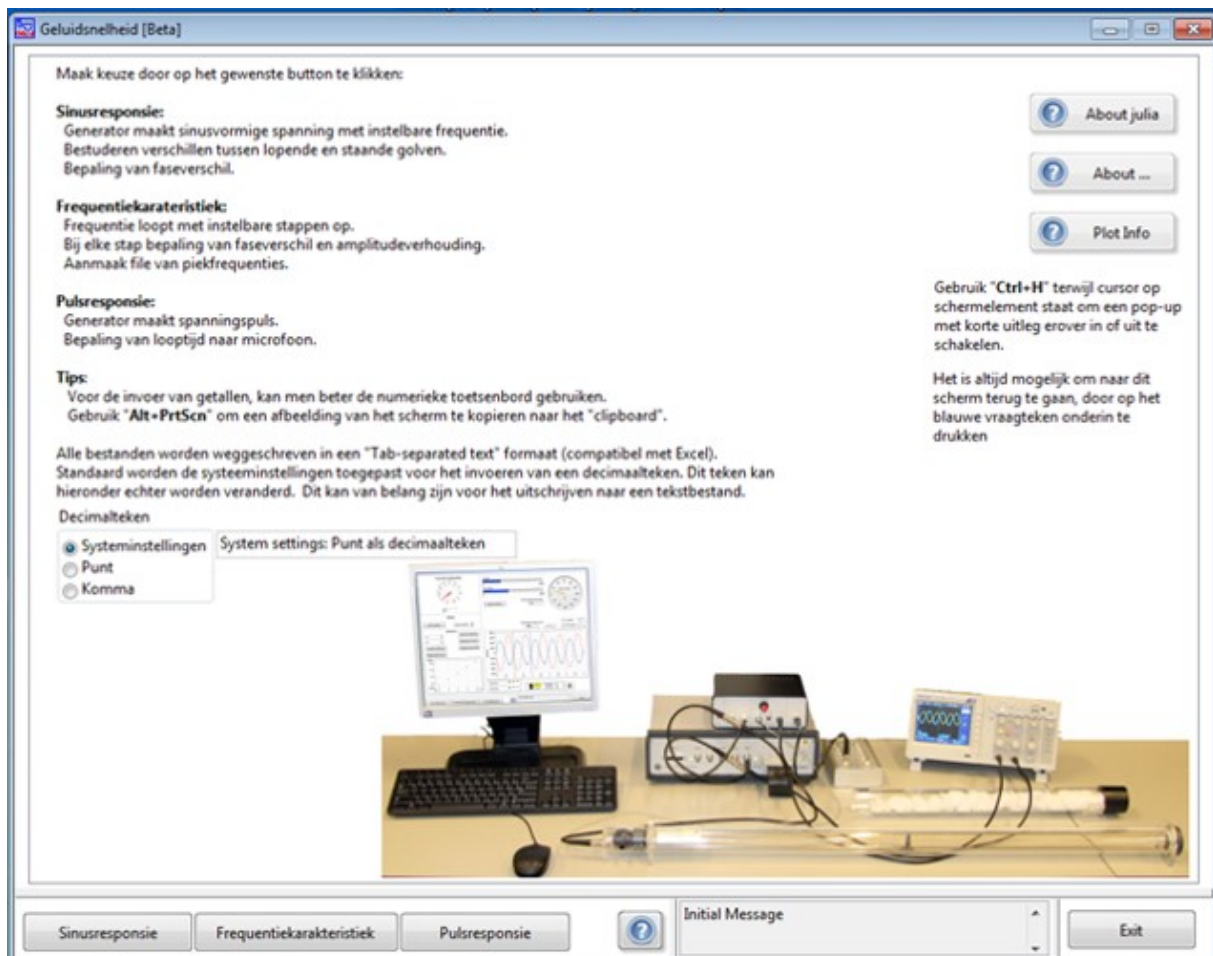
Je kunt nu drie subprogramma's kiezen:

- **Pulsresponsie.** Dit gebruik je om de metingen van paragraaf ?? te doen.
- **Sinusresponsie.** Dit gebruik je om de metingen van paragraaf ?? te doen
- **Frequentie karakteristiek.** Dit gebruik je om de metingen van paragraaf 5.3 te doen.

N.B.: Linksonder op het beginscherm kun je kiezen of voor getallen de decimale punt of decimale komma wordt gebruikt. Om problemen te voorkomen is het zeer aan te raden



Figuur 6: Foto van de opstelling en de verschillende onderdelen



Figuur 7: Het openingsscherm van het meetprogramma.



om hier te kiezen voor de instelling die ook gebruikt wordt op de computer waarmee je (op school en/of thuis) de metingen gaat verwerken.

## 4 Onderzoeksvragen en werkplan

Het doel van dit experiment is om de geluidssnelheid te meten op drie manieren:

1. Uit de snelheid waarmee een puls zich voortplant,
2. Uit faseverschillen bij lopende golven,
3. Uit het voorkomen van staande golven bij een gesloten uiteinde.

Na de theoretische voorbereiding en het verkennen van de opstelling kun je nu de onderzoeksvraag en een werkplan op te stellen.

### Opdracht 3: Onderzoeksvragen

Formuleer de onderzoeksvraag die je met deze opstelling wilt beantwoorden. Gebruik hiervoor de kennis die je hebt opgedaan in de voorbereiding. Je moet de onderzoeksvraag kunnen beantwoorden met deze opstelling. Stel voor de onderzoeksvraag een hypothese op. De hypothese is wat je verwacht dat het antwoord zal zijn op de onderzoeksvraag.

### Opdracht 4: Werkplan

Stel nu het werkplan op waarin in ieder geval de volgende punten behandeld worden:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- De grootheden die gevarieerd worden.
- De grootheden die gemeten worden en hoe deze metingen gedaan worden.
- Het aantal metingen.
- Hoe de data weergegeven wordt.

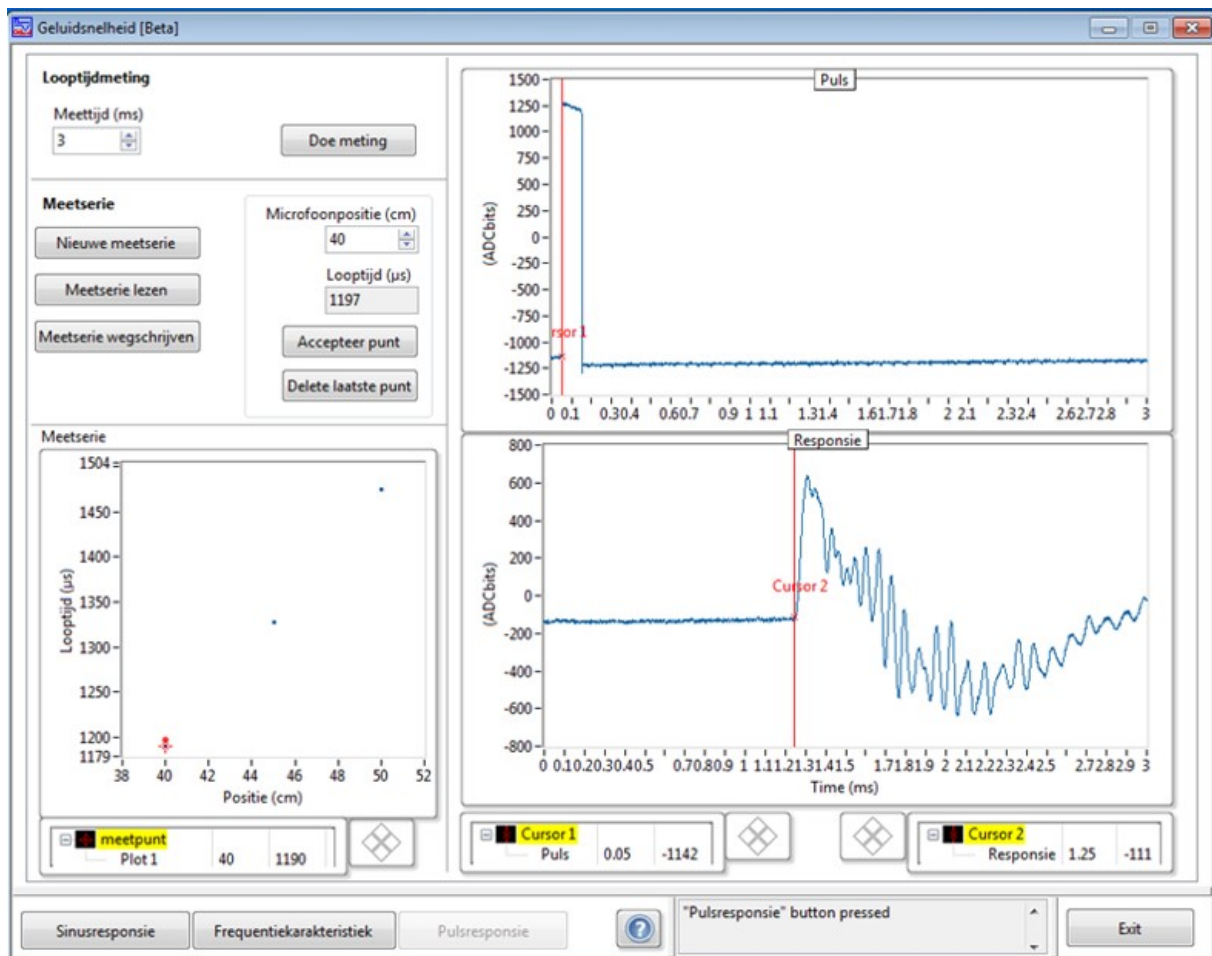
**Laat het werkplan controleren voordat je verder gaat.**

## 5 Metingen

Nadat je de voorbereiding hebt uitgevoerd en het werkplan is goedgekeurd door de docent of assistent, kan je het experiment gaan uitvoeren.

### Opdracht 5: Metingen

Zoek met behulp van de meetopstelling volgens je werkplan een antwoord op de onderzoeksvraag en controleer de opgestelde hypothese.



Figuur 8: •

## 5.1 Voorplantingssnelheid van een puls

Sluit bij dit experiment de buis af met de buis met watten. Er is dan geen (of heel weinig) reflectie zodat in de buis een lopende golf loopt. Doe een reeks metingen bij verschillende posities van de microfoon.

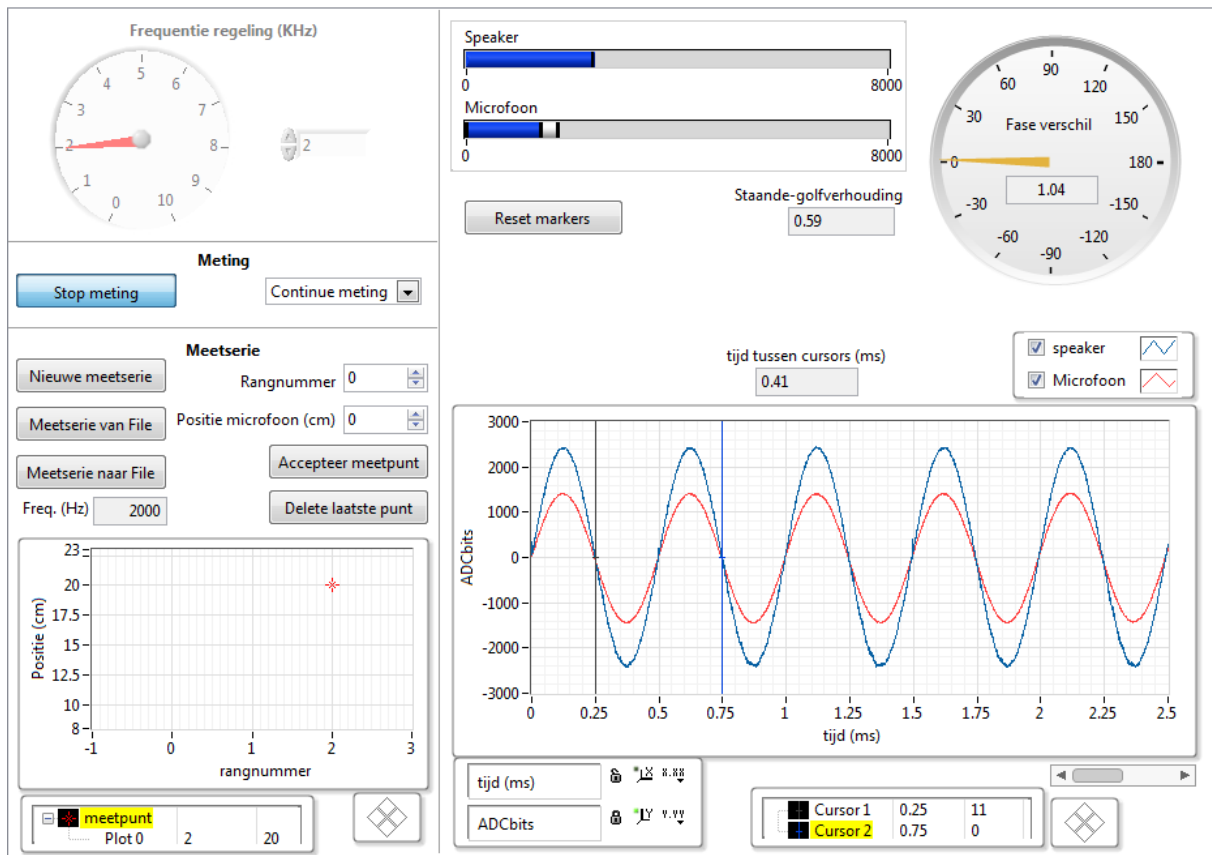
Zoals je in figuur 8 kunt zien kun je de looptijd makkelijk meten door de twee cursorposities van elkaar af te trekken. In het plaatje hierboven is de looptijd gelijk aan  $1.25 - 0.05 = 1.20$  ms. Je kunt van een serie meetpunten een tabel en grafiek maken door eerst te klikken op 'Nieuwe meetserie' en vervolgens de gemeten microfoonpositie en gemeten looptijd in te vullen. Vergeet niet daarna op 'Accepteer punt' te klikken. Schrijf de meetserie weg zodat je hem later kunt gebruiken om de geluidssnelheid zo nauwkeurig mogelijk te berekenen op je eigen computer, bijvoorbeeld door het te importeren in Excel (je kunt ook de grafiek gebruiken die je in het programma gemaakt hebt).

N.B.: Je kunt de microfoonpositie aflezen op de schaalverdeling bovenop de buis. Dit getal is slechts bij benadering gelijk aan de afstand luidspreker – microfoon. Je kunt de resultaten van dit experiment gebruiken om uit te bepalen wat het verschil is!

## 5.2 Lopende golf

Sluit de buis af met de buis met watten om reflecties aan het uiteinde te voorkomen. Op het beeldscherm zijn het sinusvormige luidspreker- en microfoonsignaal tegelijkertijd





Figuur 9: •

zichtbaar als functie van de tijd, zie figuur 9. Dat maakt een ruwe vergelijking van de fase van beide signalen mogelijk. Het gemeten gereduceerde faseverschil tussen de twee signalen wordt ook op het beeldscherm weergegeven.

### Opdracht 6: Faseverschillen bij een lopende golf

Stel eerst (links boven op het scherm) de frequentie in. Hiermee regel je ook de golflengte. Kies die verstandig! Kies dan linksboven 'Eén enkele meting'. Je ziet dan rechts onder op het scherm de golf op twee plaatsen: bij de luidspreker en bij de microfoon. N.B.: de horizontale as is een tijd-as!

Je kunt nu desgewenst het bereik van de horizontale as veranderen. Selecteer daartoe het meest rechtse getal op de horizontale as (in het plaatje hierboven is dat 1.67) en vul daar een ander getal in.

Kies nu voor 'continue meting'. Stel de afstand tussen luidspreker en microfoon zo in dat de twee signalen op het beeldscherm in fase zijn (dus: met een gereduceerd faseverschil nul). Nu wordt de afstand tussen luidspreker en microfoon langzaam groter gemaakt door de microfoon te verschuiven.

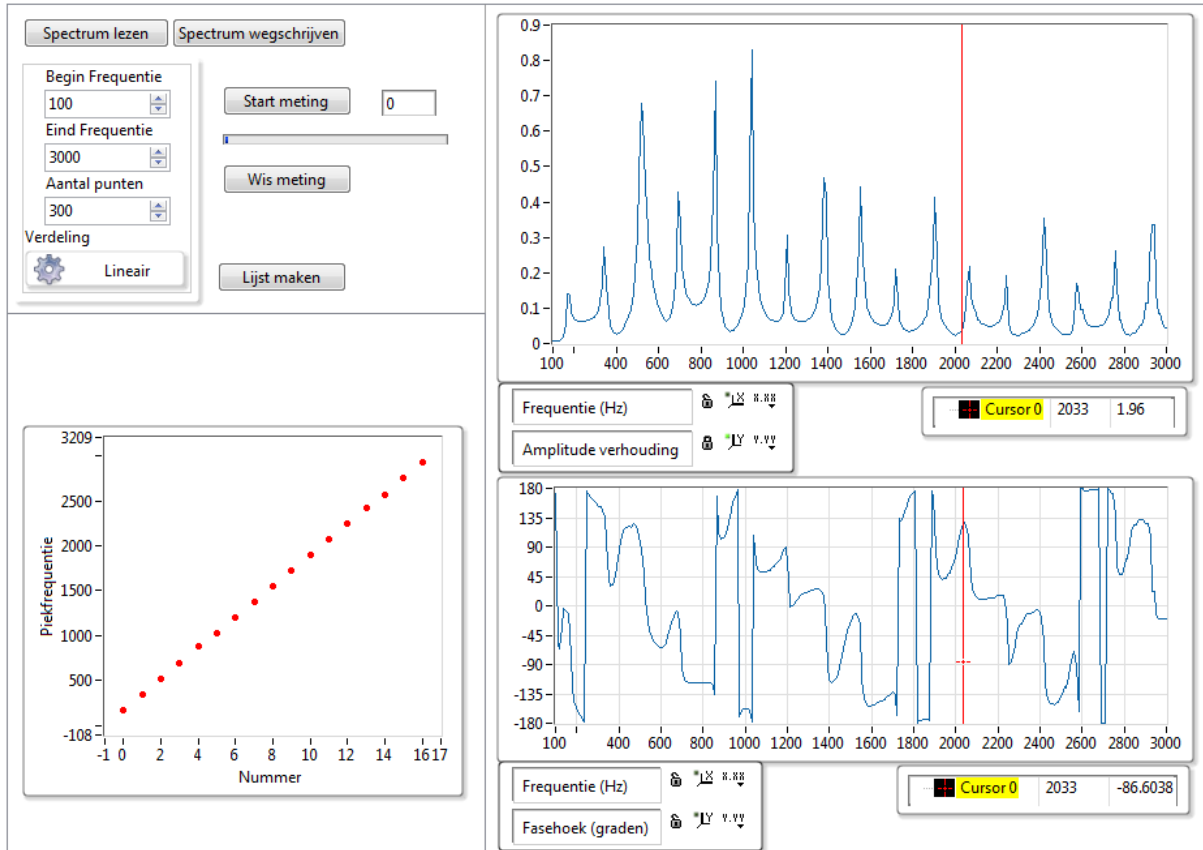
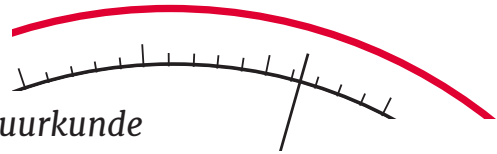
- Beschrijf hoe de twee signalen op het beeldscherm dan zullen veranderen en wat er met het gereduceerde faseverschil zal gebeuren.
- Hoe kun je uit de informatie op het beeldscherm opmaken dat de microfoon over één golflengte verschoven is?
- Uit de gemeten posities van de microfoon is de geluidsnelheid  $v$  in lucht te bepalen. Leg uit hoe.

Je kunt een aantal metingen achter elkaar doen door de afstand microfoon – luidspreker steeds groter te maken en steeds te meten bij welke afstand het gereduceerde faseverschil nul is. Die getallen kun je invullen links op het beeldscherm bij 'positie microfoon'. Begin zo'n meetreeks door eerst op de knop 'Nieuwe meetserie te klikken. Je kunt een serie metingen als bestand opslaan zodat je het op je eigen computer kunt verwerken, bijvoorbeeld door het te importeren in Excel.

## 5.3 Staande golven (resonantie)

Sluit voor dit experiment de buis af met de zwarte dop. Omdat de geluidsgolven nu reflecteren aan het gesloten uiteinde is het mogelijk dat er een staande golf ontstaat. Dit gebeurt als aan de voorwaarde van formule (4) is voldaan.

Je start het benodigde meetprogramma op door op het beginscherm het tabblad 'Frequentiekaracteristiek' te kiezen. De microfoonpositie is hier in eerste instantie niet van belang, maar zet de microfoon liefst niet vlak bij een van de uiteinden van de buis. Je kunt nu het frequentiegebied opgeven dat door het programma doorlopen zal worden om de frequenties te vinden waarbij staande golven ontstaan (resonantie optreedt). Je kunt ook het aantal meetpunten opgeven. Hoe groter het aantal meetpunten, hoe groter de totale meettijd. Als de versterking te groot is kan de microfoon het signaal bij resonantie niet goed meten en krijg je een foutmelding. Je moet dan de versterking verlagen en de meting opnieuw opstarten. Een mogelijk resultaat van een meting zie je in onderstaand plaatje. De bovenste grafiek geeft de sterkte van het microfoonsignaal als functie van de frequentie ('het spectrum'), het onderste plaatje geeft de fasehoek als functie van de frequentie. Je gebruikt allen het bovenste plaatje! Mocht je niet tevreden zijn over je

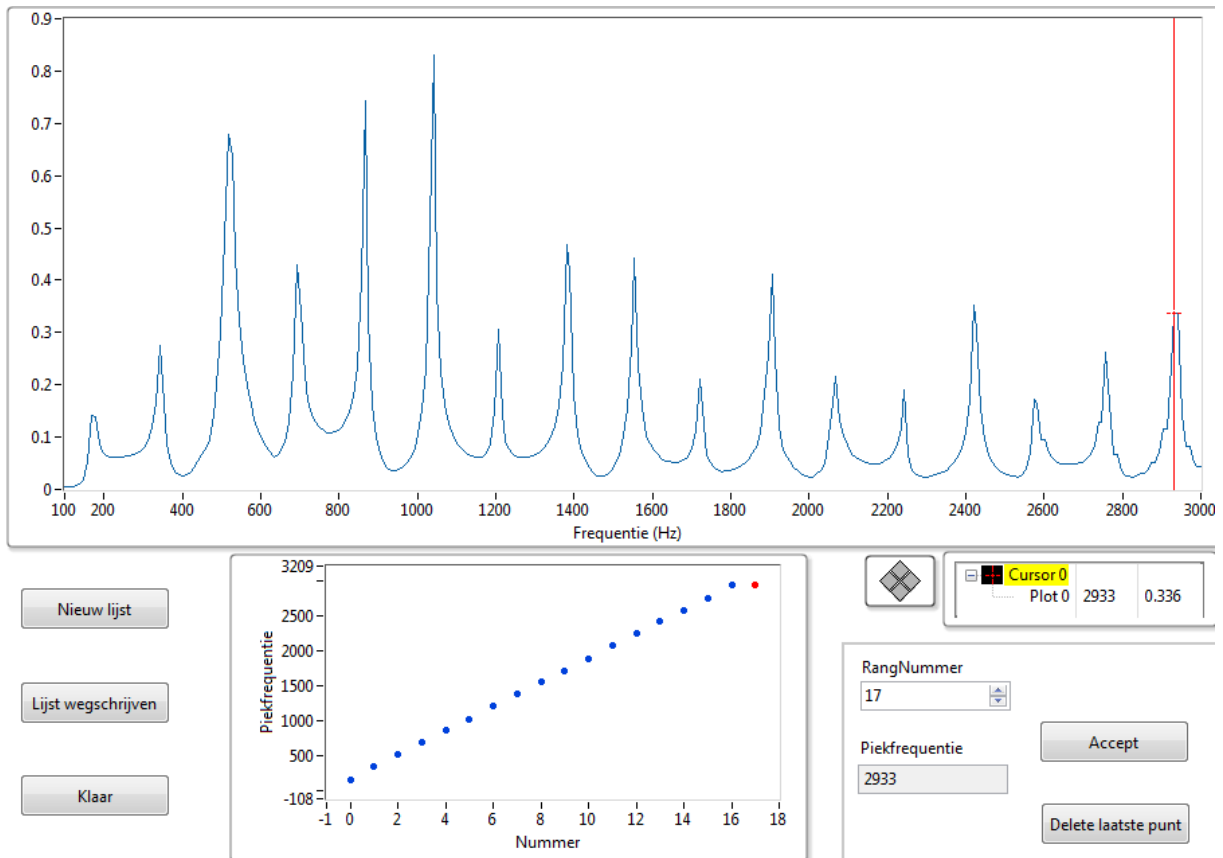
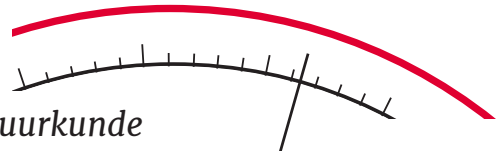


Figuur 10

grafiek dan kun je een andere microfoonpositie proberen.

Als je na het meten op de knop 'Lijst maken' klikt kun je een grafiek maken van de positie van de pieken in het bovenste plaatje.

Je kunt de cursor gebruiken om de frequenties te meten. Vergeet niet de meetpunten te bevestigen door op 'Accept' te klikken!. Schrijf de lijst weg zodat je hem later kunt gebruiken om een grafiek te maken. De zo verkregen grafiek kun je gebruiken om de geluidssnelheid te berekenen ( zie paragraaf 2.3. Je kunt ook de grafiek gebruiken die het programma heeft gemaakt (de onderste grafiek in bovenstaande afbeelding).



Figuur 11

## 6 Rapportage

Afhankelijk van wat je docent van je verwacht rapporteer je met een schriftelijk verslag of een presentatie over het onderzoek. Zorg ervoor dat in dit verslag of deze presentatie de volgende onderdelen duidelijk naar voren komen:

- De onderzoeksvraag en hypothese.
- Een beschrijving en een uitleg van de werking van de meetopstelling.
- Grafische weergave van de meetresultaten.
- Verwerking en interpretatie van de meetresultaten.
- Het antwoord op de onderzoeksvraag verkregen door de meetresultaten.