

Geluidsnelheid

1 Inleiding

De voortplantingsnelheid v van geluidgolven (of: de *geluidsnelheid*) in lucht is zo'n 340 m/s. Deze geluidsnelheid is echter afhankelijk van de luchttemperatuur en luchtvochtigheid. De geluidsnelheid in lucht is op verschillende manieren te meten: uit het *faseverschil* tussen het uitzenden en het ontvangen van een lopende geluidsgolf in een open buis, uit de *looptijd* van een geluidspuls in die buis, en uit de *resonantiefrequenties* van geluidgolven in een gesloten buis.

Faseverschil

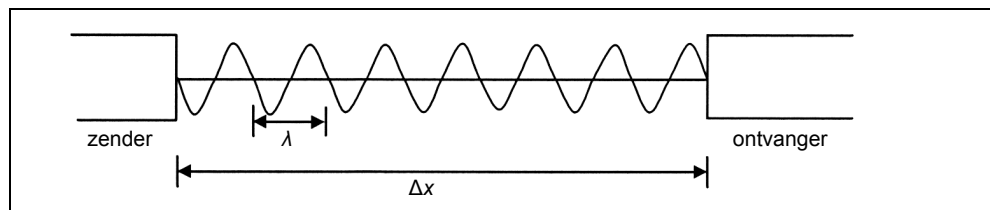
De geluidsnelheid v in lucht is te meten met behulp van het *faseverschil* tussen de trillingen op twee verschillende plaatsen in een *lopende geluidsgolf*. Deze geluidsgolf wordt uitgezonden door een (geluid)bron: de luidspreker. Op enige afstand van de luidspreker wordt deze golf gedetecteerd door een *ontvanger*: de microfoon. De fase van de gedetecteerde trilling (bij de microfoon) op een bepaald tijdstip verschilt van de fase van de trillingsbron (de luidspreker) op datzelfde tijdstip. Dit *faseverschil* tussen de trillingen bij de zender en ontvanger hangt af van de afstand Δx tussen zender en ontvanger en van de golflengte λ in het medium.

1 Faseverschil

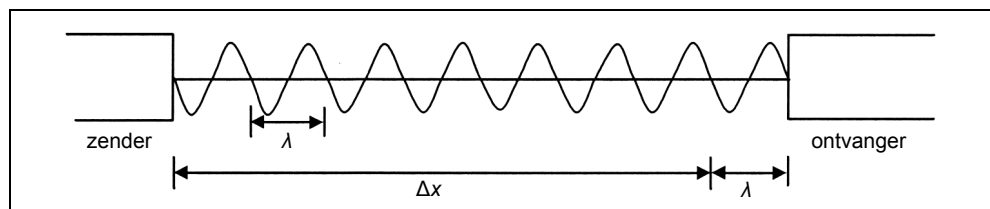
In figuur 1 is de door een bron uitgezonden lopende geluidsgolf op een bepaald tijdstip getekend. Deze golf wordt gedetecteerd door een ontvanger op een afstand Δx van de bron. Het medium tussen bron en ontvanger is lucht.

a Tussen de trillingen bij de zender en de ontvanger bestaat een faseverschil $\Delta\phi$. Hoe groot is dit faseverschil? En hoe groot is het gereduceerde faseverschil tussen deze twee trillingen?

b De golf tussen zender en ontvanger is een lopende golf. Daardoor verandert de fase van de trilling voortdurend, zowel bij de zender als bij de ontvanger. Toch is het faseverschil $\Delta\phi$ (en dus ook het gereduceerde faseverschil) constant – als de afstand Δx tussen bron en ontvanger niet verandert. Leg uit waarom.



Figuur 1 – De lopende golf tussen de zender en de ontvanger op een bepaald tijdstip. De fase van de gedetecteerde trilling (bij de ontvanger) op dit tijdstip verschilt van de fase van de trillingsbron (de zender) op dit tijdstip: de twee trillingen hebben een faseverschil $\Delta\phi$.



Figuur 2 – De lopende golf tussen de zender en de ontvanger op een bepaald tijdstip. De afstand tussen zender en ontvanger is één golflengte groter gemaakt door de ontvanger te verschuiven.

2 Faseverschil en golfsnelheid

In figuur 2 is de afstand tussen zender en ontvanger één golflengte groter gemaakt door het verplaatsen van de ontvanger.

- a Hoe groot is nu het faseverschil $\Delta\varphi$ tussen de trillingen bij de zender en de ontvanger? En het gereduceerde faseverschil tussen deze twee trillingen?
- b Uit een vergelijking van de situaties in figuur 1 en 2 is – bij een bekende waarde van de frequentie f – de geluidsnelheid v in lucht te bepalen. Leg uit hoe.

Looptijd

De geluidsnelheid v in lucht is ook te bepalen uit een meting van de *looptijd* van een geluidspuls. Deze geluidspuls wordt uitgezonden door de luidspreker, en even later opgevangen door de microfoon. Het verschil tussen de tijdstippen van uitzenden en ontvangen is de looptijd Δt van de geluidspuls.

3 Looptijd en golfsnelheid

Uit een meting van de looptijd Δt van een geluidspuls is de geluidsnelheid v in lucht te bepalen. Leg uit hoe.

Resonantiefrequenties

In een buis met aan de ene kant een luidspreker en aan de andere kant een afgesloten uiteinde ontstaat bij bepaalde waarden van de frequentie een *staande geluidsgolf*. Dit verschijnsel noemen we *resonantie*. En de frequenties f_n waarbij resonantie optreedt noemen we de *resonantiefrequenties*.

4 Resonantiefrequenties en golfsnelheid

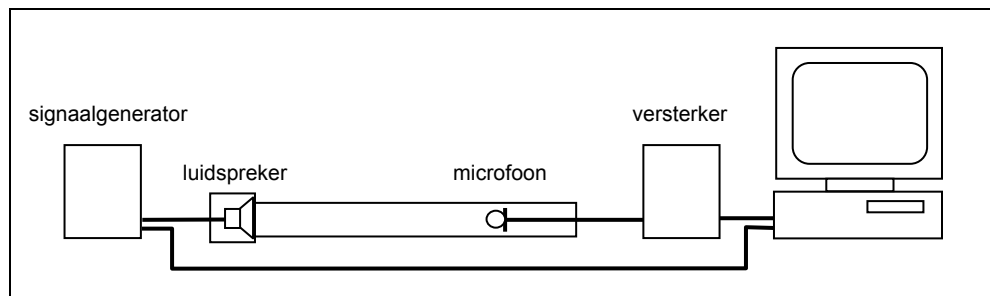
Uit een meting van de resonantiefrequenties f_n van geluidgolven in een gesloten buis is de geluidsnelheid v in lucht te bepalen. Leg uit hoe.

In dit onderzoek ga je de geluidsnelheid in lucht experimenteel bepalen op de drie hiervoor genoemde manieren.

In het volgende onderdeel staat een beschrijving van de beschikbare *meetopstelling*. Daarin wordt duidelijk welke grootheden je in de meetopstelling kunt variëren en meten. Daarna kun je met die kennis de *onderzoeksvraag* formuleren, een *werkplan* opstellen, de *meetmethode* verkennen en het *experimenteel onderzoek* uitvoeren. Ten slotte ga je na of de meetresultaten in overeenstemming zijn met de *theorie* over de temperatuurafhankelijkheid van de geluidsnelheid in lucht.

2 Meetopstelling

De meetopstelling bestaat uit een glazen buis met een *luidspreker* en een *microfoon*. De luidspreker is aangesloten op een computergestuurde *signaalgenerator*. Deze kan zowel een sinusvormig als een pulsvormig signaal leveren. In beide gevallen moet de AC/DC-schakelaar in de stand AC staan. Bij de keuze voor een sinusvormig signaal is de frequentie van de uitgezonden geluidsgolf instelbaar op de computer. De amplitude van het signaal is instelbaar met twee knoppen op het voorpaneel (grof- en fijnregeling). Deze amplitude mag niet te groot worden: het geluidssignaal mag maar net hoorbaar zijn.



Figuur 3 – Meetopstelling voor het bepalen van de geluidsnelheid in lucht.

De luidspreker in de buis heeft een vaste positie. De microfoon is te verschuiven, waarbij de microfoonpositie ten opzichte van de luidspreker is af te lezen op een schaalverdeling. Let bij het verschuiven van de microfoon op het aansluitsnoer: dat moet je met de hand voorzichtig laten meebewegen.

Het luidspreker- en microfoonsignaal zijn zichtbaar op het beeldscherm van de computer.

Daarbij loopt het microfoonsignaal via een versterker. De dyn/elect-schakelaar op deze microfoonversterker moet in de stand *elect* staan. De versterking is in stappen te regelen met behulp van de schakelaars op het achterpaneel. Op het voorpaneel zit een fijnregeling.

Lopende golf

Op het beeldscherm zijn het sinusvormige luidspreker- en microfoonsignaal tegelijkertijd zichtbaar als functie van de tijd. 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.

5 Faseverschillen bij een lopende golf

De afstand tussen luidspreker en microfoon wordt zo ingesteld 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.

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

Lopende en staande golf

De luidspreker aan de ene kant van de buis stuurt een lopende geluidsgolf de buis in. Die geluidsgolf verlaat de buis bij het open uiteinde aan de andere kant. In dat geval is de geluidssnelheid te bepalen uit gemeten faseverschillen tussen het luidspreker- en microfoon-signaal. Maar hier ontstaat een probleem. Ook als de buis aan de andere kant open is, kan de geluidsgolf daar worden teruggekaatst. Dan kan er onder bepaalde voorwaarden ook een staande geluidsgolf in de open buis ontstaan. Het aandeel van deze staande golf in de buis hangt af van de mate van reflectie tegen het buisuiteinde. Bij een open uiteinde wordt de reflectie bepaald door de grootte van de golflengte ten opzichte van de diameter van de opening. Naarmate de golflengte groter is, reflecteert de opening beter en is het aandeel van de staande golf groter. Bij een voldoende kleine golflengte is de buis als het ware transparant: net als in de vrije ruimte is er alleen een lopende golf.

6 Faseverschillen bij een lopende en staande golf

Of er in de open buis vooral sprake is van een lopende of staande geluidsgolf is na te gaan door de microfoon in de buis te verschuiven. Leg uit wat je dan op het beeldscherm moet zien gebeuren met het gereduceerde faseverschil tussen de twee signalen als er in de open buis sprake is van (vooral) een lopende respectievelijk staande golf.

3 Onderzoeksvragen en werkplan

Het doel van dit onderzoek is een meting van de geluidssnelheid in lucht op drie verschillende manieren. Uit de beschrijving van de beschikbare *meetopstelling* is af te leiden hoe je dit onderzoek kunt uitvoeren.

7 Onderzoeksvragen

Formuleer de onderzoeksvragen voor het experimenteel onderzoek. Stel voor die onderzoeksvragen een *hypothese* op.

8 Werkplan

Maak een *werkplan* voor het experimenteel onderzoek. Geef in dat werkplan aan welke grootheden je op welke manier gaat variëren en meten om het wel of niet juist zijn van de opgestelde hypothesen te kunnen controleren.

4 Meetmethode

Voordat je nu in het volgende onderdeel bij opdracht 11 je *werkplan* kunt uitvoeren, is eerst een verkenning van de meetopstelling, het meetprogramma en de meetmethode nodig. Bij opdracht 9 ga je na in welke frequentiegebieden de geluidsgolf in de open buis hoofdzakelijk

een lopende respectievelijk staande golf is. Bij opdracht 10 voer je in het frequentiegebied van de lopende golven een oriënterende meting van de geluidsnelheid uit door de golflengte van de geluidgolf te bepalen.

9 Lopende en staande golf

Het 'omslagpunt' tussen de frequentiegebieden van lopende en staande golven in de open buis ligt in theorie bij een golflengte λ_g waarvoor geldt: $\lambda_g \approx 4 \cdot d$. Hierin is d de buisdiameter. Er is overigens in de praktijk geen sprake van een duidelijk 'omslagpunt': de overgang tussen de twee frequentiegebieden verloopt heel geleidelijk.

- **Omslagpunt** – Bepaal bij welke frequentie f_g het omslagpunt tussen lopende en staande golven in de open buis volgens de theorie ruwweg zou moeten liggen.
- **Frequentiegebieden** – Start het meetprogramma LabView_geluidsnelheid en kies in het menu voor *sinusresponsie*. De computergestuurde toongenerator levert nu een sinusvormig signaal. Zorg ervoor dat het buisuiteinde *open* is. Het luidspreker- en microfoonsignaal zijn zichtbaar op het beeldscherm.

Stel een frequentie in die duidelijk hoger is dan f_g (bijvoorbeeld 3kHz). In welk frequentiegebied ligt de geluidgolf nu: dat van de lopende of de staande golven? Waarom? Wat zou je dan bij het verschuiven van de microfoon op het beeldscherm moeten zien gebeuren met het gereduceerde faseverschil tussen de twee signalen? Ga in de meetopstelling na of dat ook gebeurt.

Stel nu een frequentie in die duidelijk lager is dan f_g (bijvoorbeeld 1 kHz), zodat de geluidgolf van karakter veranderd moet zijn. Wat zou je nu bij het verschuiven van de microfoon op het beeldscherm moeten zien gebeuren? Ga in de meetopstelling weer na of dat ook gebeurt.

10 Geluidsnelheidmeting

Om wat ervaring op te doen met de meetopstelling doe je eerst wat oriënterende waarnemingen en metingen. Het meetprogramma is bij opdracht 9 al gestart.

- **Frequentie** – Stel de frequentie van het generatorsignaal in op een waarde in het frequentiegebied van de lopende golven in de open buis.
- **Golflengte** – Verschuif de microfoon tot de twee signalen op het beeldscherm *in fase* zijn, en bepaal de positie van de microfoon. Maak daarna de afstand tussen luidspreker en microfoon langzaam groter, tot de twee signalen op het beeldscherm opnieuw in fase zijn. Bepaal uit de nieuwe positie van de microfoon de grootte van de golflengte λ . Herhaal deze golflengtemeting een paar keer, en maak een schatting van de meetonzekerheid. Bedenk een manier om de golflengte zo nauwkeurig mogelijk te meten.
- **Geluidsnelheid** – Bereken de geluidsnelheid in lucht uit de ingestelde frequentie en gemeten golflengte, en ga na of dit tot ruwweg de juiste resultaten leidt.

5 Experimenteel onderzoek

11 Onderzoeksvraag

Zoek met behulp van de meetopstelling volgens je *werkplan* een antwoord op de *onderzoeksvragen*, en controleer de opgestelde *hypothesen*. Geef je meetresultaten zo mogelijk weer in de vorm van diagrammen.

Meetbestanden opslaan

Het programma LabView_geluidsnelheid biedt de mogelijkheid om meetbestanden op te slaan. Maar omdat de school dit programma niet heeft, kun je met zo'n meetbestand verder niets meer doen. Noteer je meetresultaten dus op papier of in een Excel-bestand. En sla (voorbeelden van) gemaakte schermbeelden via printscreen en plakken op in bijvoorbeeld een Word-document.

6 Theorie: geluidsnelheid en temperatuur

De geluidsnelheid v in lucht is afhankelijk van de luchttemperatuur. Het verband tussen deze grootheden wordt gegeven door: $v = c \cdot \sqrt{T}$. Hierin is T de absolute temperatuur van de lucht.

12 Temperatuurafhankelijkheid

In BINAS is de geluidsnelheid v gegeven bij een aantal waarden van de lucht-

temperatuur T .

a Bepaal uit deze gegevens de waarde van de evenredigheidsconstante c in de formule voor de temperatuurafhankelijke geluidsnelheid v . Bereken hiermee de officiële waarde van de geluidsnelheid bij de luchttemperatuur tijdens het experimenteel onderzoek.

b Vergelijk deze officiële waarde met de drie experimenteel bepaalde waarden van de geluidsnelheid. Hoe groot is de afwijking (in %) tussen de experimentele en de officiële waarde van v ?

7 Rapportage

Rapporteer over dit onderzoek in de vorm van een schriftelijk *verslag* of een mondelinge *presentatie*. Zorg ervoor dat in dit verslag of deze presentatie de volgende onderdelen duidelijk naar voren komen: de onderzoeksvragen, de meetopstelling, de resultaten van het experimenteel onderzoek samen met het antwoord op de onderzoeksvragen, en de (aanvullende) controle met de theorie over de temperatuurafhankelijkheid van de geluidsnelheid in lucht.

Lever het verslag in bij je docent, samen met het *logboek* dat je bij de voorbereiding en de uitvoering van het onderzoek hebt bijgehouden. Bij een rapportage in de vorm van een presentatie lever je alleen het logboek in bij je docent.