

Voorbeeldverslag 1

Dit is een voorbeeldverslag, waarbij niet gelet is op de precieze opmaak (opmaak in een bestaande LaTeX opmaak is lastig). Er staan verder kaders in, waarin kort uitgelegd wordt wat er gedaan is en waarom.

De titel geeft een korte beschrijving wat er is gedaan en hoe. Een goede titel bestaat uit één zin, en is een afgewogen balans tussen generiek en specifiek. Lange verslagen kunnen ook een ondertitel hebben, maar dit is in het eerstejaarspracticum eigenlijk niet nodig.

Bepaling van de snelheid van geluid in lucht met behulp van een open-gesloten buis

Samenvatting

De samenvatting geeft kort aan wat er is gedaan, hoe dat is gedaan, en wat eruit komt. In deze samenvatting ontbreekt echter een inbedding van het onderzoek in een groter geheel. Met andere woorden, een verantwoording waarom dit onderzoek van belang is, ontbreekt. Normaal gesproken zou dat meteen in de eerste zin moeten staan, maar het verslag is zo kort, dat het niet is opgenomen.

In dit experiment is een model voor de resonantiefrequentie van een open-gesloten buis gevalideerd waarna de geluidssnelheid in lucht bepaald is. Door zachtjes over een aan één kant gesloten pvc buis te blazen en het daardoor geproduceerde geluid op te nemen met een telefoon, is de resonantiefrequentie bij die buislengte bepaald. Door de meting te herhalen voor 10 buizen met lengtes tussen 5 tot 50 cm, is de geluidssnelheid in lucht bij een temperatuur van 19°C vastgesteld op 337.7 ± 0.3 m/s. Deze waarde is strijdig met de theoretische waarde van 343 m/s. De belangrijkste afwijking met de theoretische waarde lijkt de niet uniforme snelheid waarmee over de buis geblazen is.

Inleiding

De inleiding wordt opgebouwd vanuit een breed perspectief (waarom zouden we dit experiment doen), naar een wat algemener deel over het onderwerp, naar specifiek het onderzoeksdoel. Die opbouw zie je vrijwel overal, van algemeen naar specifiek. De onderzoeksvraag blijft in dit voorbeeldverslag impliciet.

Diverse natuurkundige experimenten maken gebruik van (ultrasoon) geluid. Om te komen tot een nauwkeurige bepaling van de fysische grootte (bijvoorbeeld de afstand bij een ultrasone afstands sensor) moet eerst de geluidssnelheid door het medium nauwkeurig bepaald worden. Alhoewel de geluidssnelheid bepaald kan worden op basis van natuurkundige relatie, bepalen we hier experimenteel de geluidssnelheid door lucht. Een experimenteel vastgestelde waarde maakt het meten van de temperatuur, luchtdruk en luchtvochtigheid overbodig. Voor de bepaling van de geluidssnelheid gebruiken we de resonantiefrequentie van een open-gesloten buis.

In het theoretisch kader beschrijven we de achterliggende natuurkunde die nodig is om het experiment op te zetten en te begrijpen. Tijdens het experiment wordt eerst dit theoretische model gevalideerd, waarna de geluidssnelheid bepaald wordt.

Theoretisch kader

In het theoretisch kader wordt alleen de essentiële theorie neergezet die nodig is om het experiment te begrijpen en te kunnen uitvoeren. In de voorgeschreven eerstejaarspractica is het niet noodzakelijk om die theorie uit te werken in het verslag. In open practica, en in practica in latere jaren wordt wel van je verwacht een theoretisch kader neer te zetten.

Wanneer je over een buis blaast, hoor je een specifieke toon, de resonantiefrequentie f . De frequentie hangt af van de golflengte en de geluidssnelheid:

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (8.1)$$

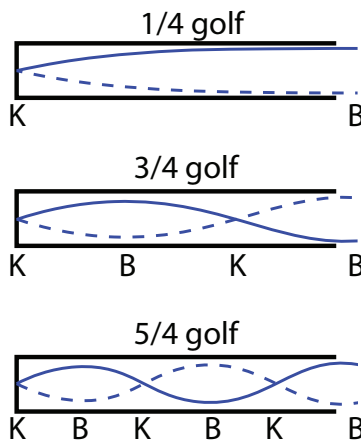
Hierin is v de geluidssnelheid in m/s en λ de golflengte in m. De golflengte van een open-gesloten buis is gekoppeld aan de lengte van de buis en het golfgetal ($n=1,2,3,\dots$) volgens

$$\lambda = \frac{4}{2n-1}L \quad (8.2)$$

Figuur 8.1 laat dit principe duidelijk zien. Omdat de buik net buiten de buis valt, moet er nog wel een eindcorrectie voor de lengte plaats vinden. Deze wordt gegeven door

$$\Delta L = 0.3D \quad (8.3)$$

waarin D de binnendiameter is van de gebruikte buis in m. Dit model wordt in dit experiment gevalideerd. Vervolgens wordt de geluidssnelheid bepaald.



Figuur 8.1: Resonantie in een buis met een open en een gesloten zijde, waarbij de buik buiten de buis valt.

Experimentele methode

In de experimentele methode wordt in dit verslag onderscheid gemaakt tussen experiment en instrumentatie en dataverwerking. De precieze indeling is vrij te kiezen. Als de procedure essentieel is en niet zo eenvoudig, kun je bijvoorbeeld een sectie *procedure* toevoegen. Het indelen van een paragraaf in kortere delen is aan te bevelen aangezien het de leesbaarheid bevordert.

Experiment en instrumentatie

Voor de bepaling van de geluidsnelheid wordt een pvc-buis gebruikt met een binnendiameter van 1.6 cm en een beginlengte van 50 cm. Eén zijde van de buis is afgesloten met een rubberen stop zodat er een open-gesloten systeem ontstaat. Door met een drukpistool over de buis te blazen, ontstaat de grondtoon. Het geproduceerde geluid wordt opgenomen met behulp van de app Phyphox. Op basis van een autocorrelatie van 100 ms recordings bepaalt de app de resonantiefrequentie. Er is geen informatie beschikbaar over de meetonzekerheid van de frequentie, wel over de werking van de signaalanalyse. Op basis daarvan verwachten we voor de laagste frequentie een maximale onzekerheid van 3 Hz. Voor hogere frequenties, met meer perioden per 100 ms, zal de onzekerheid kleiner zijn. De gebruikte 3 Hz is daarmee een overschatting van de werkelijke meetonzekerheid.

Omdat een telefoon gebruikt wordt, zijn met name de frequenties tussen 200 en 5000 Hz interessant. De microfoon van de telefoon zijn op dit frequentie bereik (spraak) afgestemd. Dit komt overeen met buislengtes tussen de 2 en 43 cm, waarbij we een interval van circa 4 cm aanhouden.

Verwerking

Op basis van vergelijking 8.2 en 8.3 is de golflengte bepaald. De waargenomen frequentie als functie van de golflengte wordt geplotted en gefit op basis van de kleinste kwadraten methode. De overeenkomst tussen theorie en experiment wordt onderzocht door een analyse van de residuals:

$$\Delta f = f_{\text{theoretisch}} - f_{\text{experimenteel}} \quad (8.4)$$

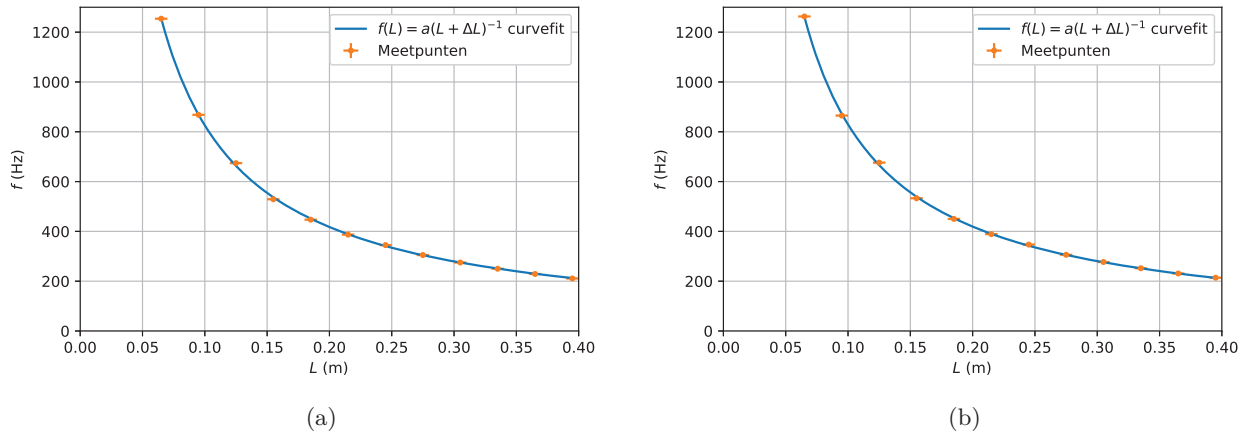
Voor de bepaling van de geluidsnelheid in lucht plotten we de golflengte als functie van de gemeten periode. De waarde van de richtingscoëfficiënt komt dan overeen met de geluidsnelheid.

Resultaten

In de resultaten presenteer je de meetdata en verwerk je deze tot een antwoord op je onderzoeksvraag. Tijdens het eerstejaarspracticum kan je ervoor kiezen om de resultaten ook al te bespreken, en zo dit hoofdstuk samen te voegen met de discussie. Hier vergelijk je jouw resultaten met de literatuurwaarde(s), probeer je het verschil te verklaren en doe je aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

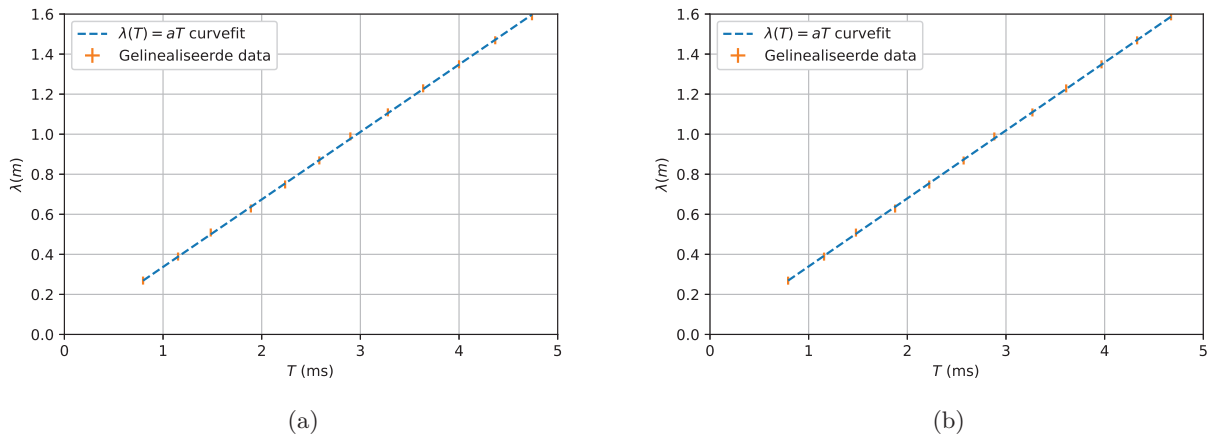
Volgens de procedure als uitgelegd in het vorige hoofdstuk, is er een staande golf geproduceerd in PVC buis van verschillende lengtes. De frequentie van de staande golf is gemeten en weergegeven in tabel 8.1 te vinden in de appendix.

Figuur 8.2 toont de experimenteel bepaalde frequenties als functie van de buislengte en de bijbehorende fit op basis van vergelijking (8.2) en (8.3). Het verwachte omgekeerd evenredig verband is duidelijk te zien en op eerste oogopslag lijkt het theoretische model beide experimentele waarden goed te beschrijven.



Figuur 8.2: Gemeten frequentie voor een staande golf geproduceerd door respectievelijk te blazen (figuur 8.2(a)) en de compressor (figuur 8.2(b)), uitgezet tegen de buislengte. Een omgekeerd evenredig verband met functie $f = a(L + \Delta L)^{-1}$ is gefit. De gevonden waarden voor a en ΔL zijn respectievelijk (84.4 ± 0.2) m/s en $(2.3 \pm 0.2) \times 10^{-3}$ m met het blazen en (84.7 ± 0.2) m/s en $(2.2 \pm 0.2) \times 10^{-3}$ m.

Door de grafiek te lineariseren, is beter te zien of de data aan het model voldoet en kan de geluidssnelheid worden bepaald. Hiertoe wordt de golflengte ($\lambda = 4L$) uitgezet tegen de periode ($T = \frac{1}{f}$). De helling van dit verband komt dan overeen met de geluidssnelheid volgens $\lambda = vT$. Dit is te zien in figuur 8.3.



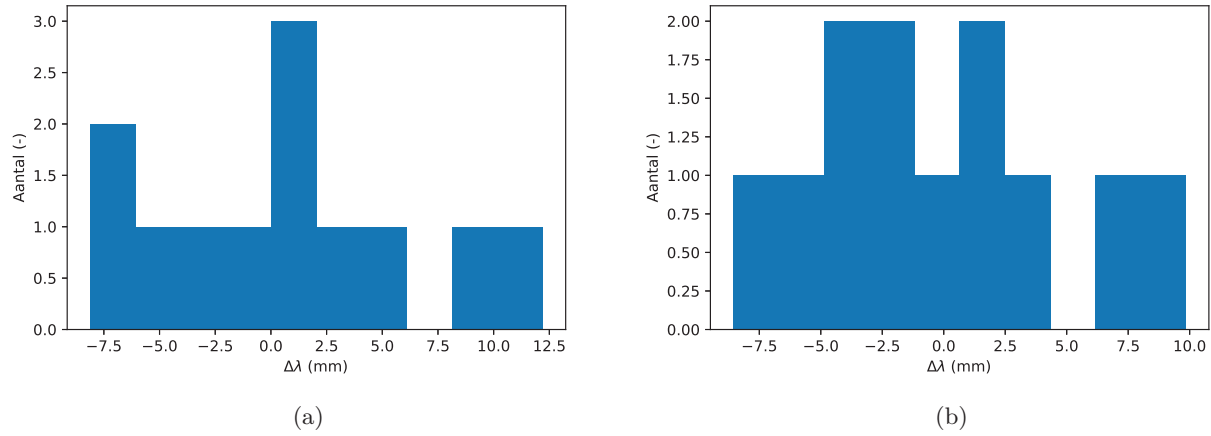
Figuur 8.3: Gemeten frequentie voor een staande golf geproduceerd door respectievelijk te blazen en de compressor, uitgezet tegen de golflengte. Een evenredig verband met functie $\lambda(T) = aT$ is gefit. De gevonden waarden voor v zijn respectievelijk (337.0 ± 0.3) m/s voor het blaasexperiment en (339.6 ± 0.3) m/s voor hetzelfde experiment met de compressor.

Uit de figuur blijkt dat er inderdaad een lineair verband bestaat tussen de frequentie en de inverse van de buislengte. Het eerste orde polynoom dat is gefit, beschrijft de data goed. De meetpunten liggen allemaal in de buurt van de fit, en de verschillen zijn klein.

Een nadere beschouwing van de residuals kan inzicht tonen van welk type fout er sprake is. Het histogram van het blaasexperiment toont aan dat deze niet perfect symmetrisch verdeeld is (zie figuur 8.4(a)). De linkerkant van de histogram heeft een vorm van een normale verdeling, maar de rechterkant niet. Verder zitten er ook

meer punten onder dan boven de fit. Dit zou kunnen duiden op een systematische fout.

Het histogram van de grondtoon geproduceerd met de compressor is in vrijwel symmetrisch, maar niet normaal verdeeld.



Figuur 8.4: Histogram van de residuals voor de twee experimenten. Links: blaasexperiment. Rechts: grondtoon geproduceerd met de compressor.

De asymmetrie komt onder andere door het beperkte aantal meetpunten waarop de histogram is gebaseerd.

Uit de fit uit figuur 8.2 blijkt dat het inverse verband het best overeenkomt met de meetdata als de lengte van de buis wordt vergroot met 0.2 cm. Dit komt niet overeen met 0.5 cm als gegeven in de theorie. Hierbij moet worden opgemerkt dat de voorspelde verlenging niet is gebaseerd op theoretische afleidingen, maar experimenteel is bepaald. Hierdoor is het niet mogelijk te controleren welke aannames zijn gedaan, en of deze ook van toepassing zijn bij dit experiment.

Een mogelijke verklaring voor de afwijking tussen de theoretische en experimenteel bepaalde waarde voor de geluidssnelheid in lucht is een niet-uniforme lichtsnelheid over de buis. Zowel bij het blazen met de mond als met de compressor zullen wervelingen ontstaan die de luchtstroom en daarmee de geluidssnelheid veranderen. In het geval van het blazen met de mond kan de opening van de mond en de luchtvochtigheid een rol spelen.

De op kleinste kwadraten methode bepaalde richtingscoëfficiënt van figuur 8.3 komt overeen met de geluidssnelheid. De gevonden waarde is (337.7 ± 0.3) m/s voor de toon gegenereerd door te blazen en (339.6 ± 0.3) m/s voor het experiment met de compressor. Beide waarden zijn strijdig met de literatuur, die een snelheid van 343 m/s voorschrijft.

Conclusie

In de conclusie sluit je je onderzoek af. Je koppelt terug naar je onderzoeksvraag, en beschrijft kort hoe je deze hebt beantwoord. Vervolgens vermeld je de belangrijkste conclusies uit je resultaten en benoem je de tekortkomingen en aan te raden vervolgonderzoek nog een keer. In de conclusie komen geen dingen aan bod die nog niet eerder zijn besproken.

In dit verslag is beschreven hoe de geluidssnelheid in lucht is bepaald met een open-gesloten systeem op basis van een pvc-buis. Hierin werden staande golven gemaakt door over de buis te blazen met de mond, danwel een

drukpistool. De frequentie van de grondtoon is gemeten in een serie waarin de lengte van de buis systematisch werd verkleind. Met een fit door deze meetpunten is de geluidssnelheid bepaald, die uitkwam op (337.7 ± 0.3) m/s en (338.9 ± 0.3) m/s. Dit is strijdig met de literatuurwaarde, die 343 m/s bedraagt. Dit verschil kan worden verklaard door een grotere luchtstroom bij het experiment met het drukpistool ten opzicht van het blaasexperiment.

De lengtecorrectie is onder andere afhankelijk van het verplaatste luchtvolume per tijdseenheid. Om hiervoor te corrigeren is vervolgonderzoek nodig, die het verband onderzoekt tussen de volumestroom en de corrigerende lengte. Ook kan bij het blazen met de mond de luchtvochtigheid een rol spelen. Door in beide experimenten de luchtsnelheid over de buis gelijk te houden kan deze factor verder onderzocht worden.

Appendix

Tabel 8.1: Gemeten frequentie van de grondtoon geproduceerd door te blazen (f_{blaas}) en een compressor (f_{comp}) als functie van de lengte (L) van een open-gesloten PVC buis.

$L \pm 0.2$ (cm)	$f_{\text{blaas}} \pm 3$ (Hz)	$f_{\text{comp}} \pm 3$ (Hz)
39.5	211	214
36.5	229	231
33.5	250	252
30.5	275	277
27.5	305	306
24.5	345	347
21.5	387	389
18.5	447	450
15.5	529	533
12.5	674	676
9.5	868	865
6.5	1254	1263