

Labo: Golven

Inhoudstafel

1. Samenvatting.....	1
2. Theorie.....	2
2.1 Proef 1	2
2.2 Proef 2	2
2.3 Proef 3	2
2.4 Proef 4	2
3. Experimentele opstelling.....	4
3.1 Proef 1: Bepaling van de voortplantingssnelheid van geluidsgolven.....	4
3.2 Proef 2: Reflectie van de geluidspulsen	5
3.3 Proef 3: Bepalen van de resonantiefrequentie	5
3.4 Proef 4: Positie van de knopen en de buiken.....	6
4. Metingen en resultaten.....	7
4.1 Proef 1: Bepaling van de voortplantingssnelheid van geluidsgolven.....	7
4.1.1 Metingen	7
4.1.2 Besluit	7
4.2 Proef 2: Reflectie van de geluidspulsen	8
4.2.1 Metingen	8
4.2.2 Besluit	9
4.3 Proef 3: Bepalen van de resonantiefrequentie	9
4.3.1 Metingen	9
4.3.2 Besluit	10
4.4 Proef 4: Positie van de knopen en de buiken.....	10
4.4.1 Metingen	10
4.4.2 Besluit	10
5. Besluit	11
6. Bronvermelding	12

1. Samenvatting

Het hoofddoel van dit experiment is om op verschillende manieren de snelheid van geluid te bepalen. Het laat ons toe om ervaring op te doen om niet één enkele formule te gebruiken om het gevraagde te bekomen. We zullen dit doen aan de hand van een buis, een luidspreker en een microfoon. Omdat we ook nog beschikken over een oscilloscoop gaan we staande golven en eigenfrequenties ook bestuderen. Dit zal ons toelaten om het belangrijk onderwerp “golven” met volle mond te kunnen ondersteunen via ons eigen onderzoek.

2. Theorie

2.1 Proef 1

Om de relatieve afstand van de luidspreker ten opzichte van de microfoon te bepalen, werd er eerste een x_0 gedefinieerd en gebruikt in volgende formule.

$$\Delta x = x_i - x_0 \quad (1)$$

Waarvan x_i een grotere afstand is dan x_0 .

De relatieve tijd is analoog aan formule 1.

$$\Delta t = \Delta t_i - \Delta t_0 \quad (2)$$

Om de snelheid v van een geluidsgolf of de temperatuur T van de lucht te bepalen gebruiken we formule 3.

$$v \approx (331 + 0.60T) \quad (3)$$

$$\Delta x = (331 + 0.60T)t + b \quad (4)$$

De b wijst op een vrijheidsgraad die we gaan gebruiken om de fit van *grafiek 1* te bepalen. In de gemeten waarden moet b in principe gelijk zijn aan 0. Dit zal echter niet zo zijn door verschillende systematische en statistische fouten op onze meettoestellen.

De onzekerheid op de fit wordt bepaald door volgende betrekking.

$$\sigma = \sqrt{\text{diagonaal}(\text{covariantie } B)} \quad (5)$$

2.2 Proef 2

We zullen aan de hand van de aantal weerkaatsingen van de golf n en de golflengte de lengte L van de buis proberen te berekenen. Dit steunt op volgende vergelijking.

$$L = v \frac{T_1}{2} \quad (6)$$

$$L = v \frac{T_n}{2n} \quad (7)$$

Door dergelijke onbekende redenen weerkaatste het geluid aan de microfoon zelf en werd het geluid niet 2 keer geregistreerd zoals verwacht. Dus zullen we niet door 2 delen maar alleen door n in formule 8.

$$L = v \frac{T_n}{n} \quad (8)$$

2.3 Proef 3

Om de grondtoon f_1 te bepalen gaan we gebruik maken van volgende betrekking.

$$f_1 = \frac{f_n}{n} \quad (9)$$

De lengte van de buis kan ook berekend worden volgens deze vergelijking.

$$L = \frac{v_g}{2f_1} \quad (10)$$

2.4 Proef 4

Om de afstand tussen 2 knopen D te bepalen maken we gebruik van deze formule.

$$D = \frac{L_n}{n} \quad (11)$$

Om de golflengte te bepalen gebruiken we

$$\lambda = 2D \quad (12)$$

De lengte van de buis L_{buis} gaan we formule 13 voor gebruiken.

$$L_{\text{buis}} = n \frac{\lambda}{2} \quad (13)$$

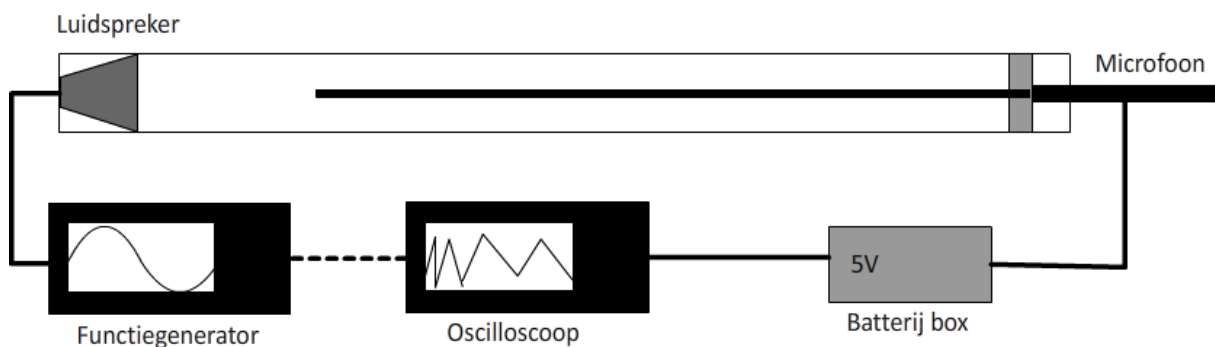
Ten slotte gaan we de snelheid van geluid berekenen met deze betrekking.

$$v = \lambda f \quad (14)$$

3. Experimentele opstelling

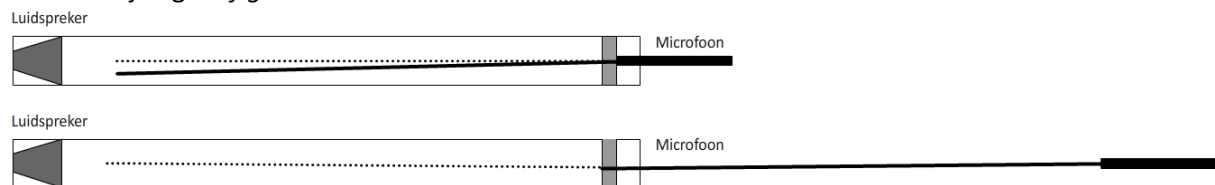
De volgende opstelling zal gebruikt worden in de 4 proeven. Deze opstelling bestaat uit: een robuuste plexiglas resonantiebus(1meter) met een ingebouwde luidspreker, een wave-form signaalgenerator¹, een oscilloscoop en een staafmicrofoon(zie *figuur 1*).

De functiegenerator wordt in de 4 proeven verbonden met de luidspreker in de bus. Hierdoor zal men de frequentie, amplitude en de vorm van de geluidsgolven kunnen aanpassen. De resonantiebus heeft echter nog een andere kant met een afneembaar sluitstuk. Hierdoor zal de staafmicrofoon aangebracht worden en luchtcirculatie tussen de bus en de omgeving uitsluiten. We kunnen de staafmicrofoon vrij doorheen de bus schuiven.



Figuur 1: algemene opstelling

Het hoogteverschil van de microfoon op maximale afstand en op minimale afstand gaan we verwaarlozen. Deze waarden zullen weinig tot geen effect hebben op onze meetresultaten. Ter verduidelijking zie *figuur 2*.



Figuur 2: De hoogte van de microfoon daalt naar mate de microfoon meer in de bus gestoken wordt.

De staafmicrofoon wordt gevoed en verbonden met een batterij box van 5.0V. Deze batterij box zal vervolgens verbonden zijn met de oscillator om de lokale drukschommelingen opgevangen door de microfoon te visualiseren.

Tijdens sommige proeven zal de functiegenerator verbonden zijn met de oscilloscoop om de gegenereerde metingen te vergelijken met de gemeten waarden (zie stippenlijn *figuur 1*).

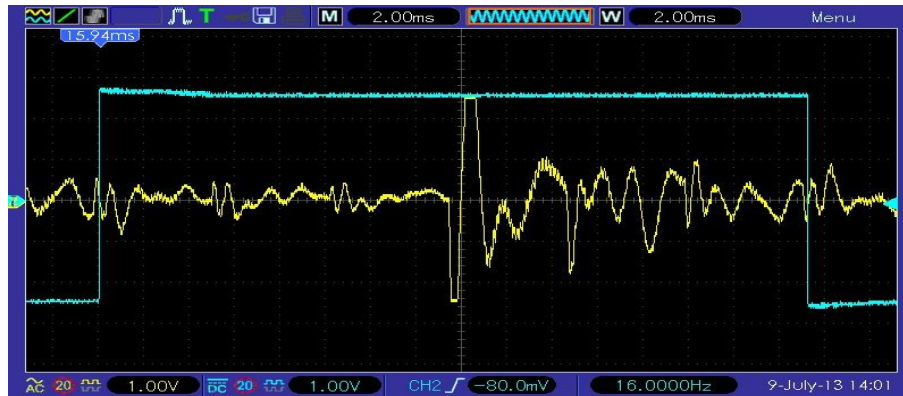
3.1 Proef 1: Bepaling van de voortplantingssnelheid van geluidsgolven

Bij deze proef gaan we in simpele woorden kijken hoe lang het duurt tegen dat het geluid, gegenereerd door de luidspreker, opgevangen wordt door de microfoon. Hieruit zal men de snelheid van het geluid bepalen verder besproken in 4.1.

De opstelling is gelijk aan die van *figuur 1*. We gaan een blokspanning van 16Hz genereren en op de oscilloscoop weergegeven door een directe verbinding te maken met de signaalgenerator. De

¹ Beter bekend als een functiegenerator

waargenomen golf zal echter ook weergegeven worden op de oscilloscoop. Hierdoor kunnen we zien wanneer het signaal wordt verstuurd aan de hand van de blokspanning en wanneer we het ontvangen via de microfoon. De oscillator geeft dan het volgende weer (zie *figuur 3*).



Figuur 3: In het blauw de blokspanning gegenereerd door de signaalgenerator en in het geel de waargenomen waarden van de microfoon.

Om tijdsonzekerheden/fouten van de kabels weg te werken gaan we eerst een afstand x_0 en Δt_0 definiëren. x_0 Zal de afstand van de luidspreker tot de microfoon zijn wanneer hij volledig is ingeduwd zoals in *figuur 1*. Δt_0 Zal de tijd van de geluidsgolf om van de luidspreker naar de microfoon te verplaatsen zijn, bij een afstand x_0 .

Hoe zien we dit op de oscilloscoop?

Zoals in *figuur 3* gaan we onze blokspanning samen met de geluidsgolf verplaatsen tot de hoogste amplitude² op de x-as gelijk is aan 0. We kijken vervolgens wat de tijd is tussen de blokspanning en de golf met de grootste amplitude. Dit zal dan onze Δt_i worden.

3.2 Proef 2: Reflectie van de geluidspulsen

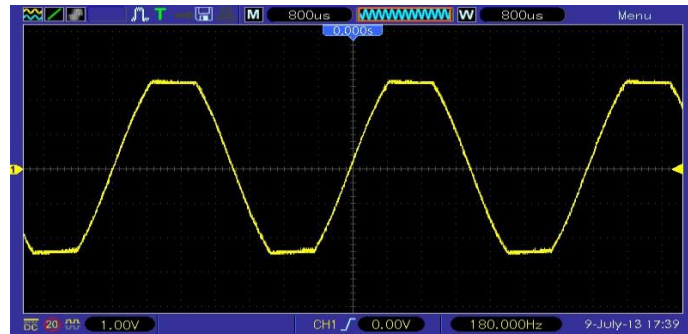
De opstelling is gelijk aan proef 1. We zullen weer een blokpuls van 16Hz uitzenden, maar deze keer gaan we na hoeveel keer de geluidsgolf weerkaatst wordt binnenin de buis. Hiermee zullen we de lengte van de buis kunnen berekenen. We zullen de signaalgenerator niet meer verbinden met de oscilloscoop. De microfoon gaan we rond het midden schuiven. De afstand is niet van belang maar het moet wel een constante afstand blijven doorheen de proef.

3.3 Proef 3: Bepalen van de resonantiefrequentie

We zullen deze keer de signaalgenerator een sinusgolf laten uitvoeren met een frequentie startende met 150Hz en amplitude van $V_{pp} = 5.0V$. We zullen de microfoon met een zo groot mogelijke afstand plaatsen, zodat hij juist tegen de rand zit. Vervolgens zullen we de frequentie aanpassen tot we de grondtoon bekomen hebben. Vervolgens gaan we de frequentie laten stijgen om de 7 eigenfrequenties te vinden.

We weten dat een bepaalde frequentie een eigenfrequentie is indien de sinus de vorm van een blokpuls begint aan te nemen zoals in *figuur 4*.

² De hoogste amplitude wijst op het aankomen van de geluidsgolf, gestuurd door de luidspreker, tot de microfoon.



Figuur 4: De sinusfunctie begint een blokgolf aan te nemen, dit wijst op een eigenfrequentie

3.4 Proef 4: Positie van de knopen en de buiken

De opstelling is gelijk aan die van proef 3, maar deze keer gaan we de 8^{ste} eigenfrequentie gebruiken om de positie van de knopen te vinden.

We stellen dus de signaalgenerator op 1360Hz en schuiven de microfoon weer tot op het uiteinde van de buis. We zullen de microfoon dieper in de buis schuiven om de verschillende knopen te bepalen.

4. Metingen en resultaten

De gemeten waarde voor de temperatuur in de buis was 23°C. Uit formule 3 volgt dan dat de snelheid van het geluid 344.8 m/s moet zijn. Deze waarden zullen we gebruiken als referentiewaarden.

De gemeten waarde voor de buis is 90.20 ± 0.42 cm.

4.1 Proef 1: Bepaling van de voortplantingssnelheid van geluidsgolven

4.1.1 Metingen

Eerder gezegd in 3.1 gaan we eerst een x_0 en Δt_0 definiëren. Deze waarden zijn in dit geval:

$$x_0 = 0.277 \pm 0.003 \text{ m}$$

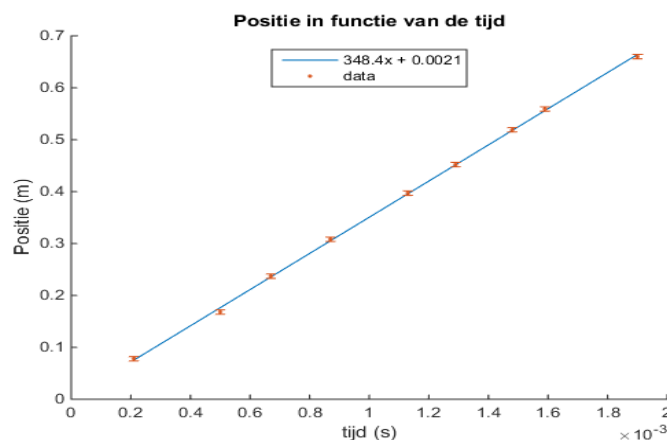
$$\Delta t_0 = 14.04 \pm 0.005 \text{ ms}$$

We zullen met deze waarden de relatieve afstand en tijd bepalen aan de hand van formule 1 en 2.

De rede waarom we relatieve waarden gebruiken is, omdat de tijd en onzekerheden die te pas komen wanneer signalen van de luidspreker of microfoon worden doorgegeven via de coaxkabels, weg gewerkt zijn met deze methode. Door de relatieve waarden te bepalen moeten we dus geen systematische fouten van de kabels en meetonderdelen bepalen.

Voor de uiteindelijke metingen gaan we de microfoon op 10 verschillende afstanden schuiven. Deze waarden zullen groter zijn dan x_0 . We zullen bij elke afstand x_i ook de Δt_i bepalen via onze oscilloscoop zoals bij *figuur 3*.

In *grafiek 1* hebben we alle relatieve afstanden in functie van de relatieve tijden geplot. De gefitte waarde voldoet aan formule 4. De onzekerheden werden berekend aan de hand van voortplanting van onzekerheden.



Grafiek 1: Positie in functie van de tijd

Uit formule 4 kunnen we de snelheid van geluidsgolven en de temperatuur van de lucht fitten. Deze waarden zijn als volgt.

$$T = 29.06 \pm 4.32^\circ\text{C}$$

$$v = 348.44 \pm 2.56 \text{ m/s}$$

De onzekerheden op de fit werd bepaald door formule 5.

4.1.2 Besluit

Indien we de waarden voor de temperatuur bekijken komen we aardig in de buurt van de echte waarde.

$$T = 29.06 \pm 4.32^\circ\text{C} \text{ en } T = 23^\circ\text{C}$$

We zitten iets meer dan 1.5σ verwijderd van de echt waarde. Dit is een zeer goede uitkomst voor het experiment. De snelheid is echter rond de 1.7σ verwijderd van de echte waarde.

$$v = 348.44 \pm 2.56 \text{ m/s en } v = 344.8 \text{ m/s}$$

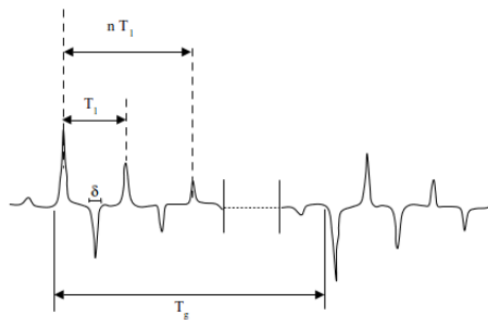
We kunnen concluderen dat de formule zeker van toepassing is maar dat het experiment misschien meer metingen nodig heeft om de onzekerheid te verkleinen.

4.2 Proef 2: Reflectie van de geluidspulsen

4.2.1 Metingen

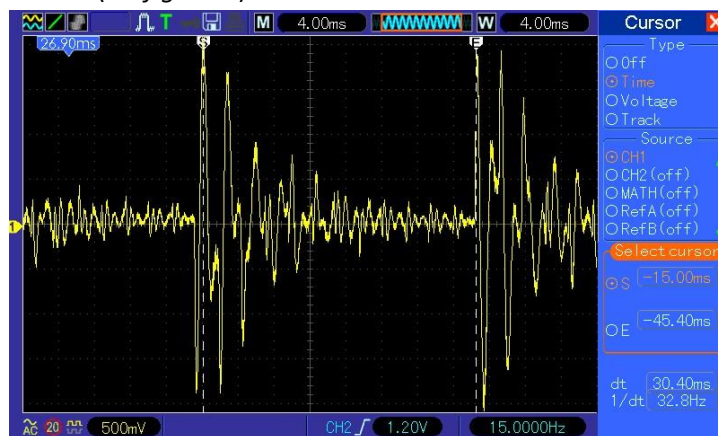
Als een geluidsgolf uitgezonden wordt weerkaatst hij nog enkele keren in de buis. Dit wordt door de microfoon opgevangen als dezelfde golf maar met een lagere amplitude. De golf heeft namelijk energie verloren door te botsen tegen de wanden van de buis.

Wij gaan een tijd T_1 definiëren als de tijd om 1 keer heen en weer te botsen in de buis. Vervolgens hebben we ook een tijd T_g die de tijd tussen 2 geluidsgolven uitgezonden door de luidspreker beschrijft. Deze tijd T_g noemt men ook nog de golflengte. (zie figuur 5)



Figuur 5: Weergave van een geluidsgolf en zijn onderverdelingen

Eerst gaan we kijken hoeveel keer het geluid heen en weer botst op in een tijdsinterval T_g . Dit blijkt 11 keer te zijn in ons geval. Vervolgens kijken we voor een willekeurig aantal weerkaatsingen tussen 1 en 11, die we definiëren als n . (zie figuur 6)



Figuur 6: S en E bakenen de golflengte van de geluidsgolf af

We zullen 3 T 's meten met $n = 1$; $n = 4$; $n = 5$ en $n = 11$:

$$T_1 = 2.67 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$T_4 = 9.88 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$T_5 = 12.6 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$T_g = 30.4 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Deze gegevens zullen we gebruiken om de lengte van de buis met 3 verschillende tijdsintervallen te berekenen. We gebruiken hiervoor formule 8 en de snelheid van geluid berekent in proef 1. De onzekerheden zijn bepaald door voortplanting van onzekerheden.

$$L_1=0.93\pm0.001\text{m} \quad L_4=0.86\pm0.005\text{m} \quad L_5=0.88\pm0.007\text{m} \quad L_g=0.96\pm 0.016\text{m}$$

De echte waarde voor de lengte van de buis is $90.20\pm 0.42\text{cm}$.

4.2.2 Besluit

Als we de 4 berekende lengtes naast mekaar zetten valt het op dat de onzekerheden als maar groter worden naar mate we de n vergroten. Dit is een gevolg van formule 8 in samenwerking met voortplanting van onzekerheden. L_5 Komt het dichtste bij de echte waarde indien we 2.8σ tolereren. Het getal ligt op de rand van acceptabel, dus dit experiment zou nog eens herzien moeten worden. We hebben echter wel een idee waar het fout is gegaan. We vermoeden dat we de n verkeerd geteld hebben.

Opmerking: Het geluid weerkaatste direct tegen de microfoon, wat tegen intuïtief is met formule 7. We weten niet de oorzaak waarom dit zo is. In principe zou het geluid tot tegen de rand van de buis moeten botsen en niet tegen de microfoon.

4.3 Proef 3: Bepalen van de resonantiefrequentie

4.3.1 Metingen

Eerst bepalen we de grondtoon f_1 door signaalgenerator te variëren tussen 150Hz en 1500Hz. We weten dat een bepaalde frequentie een eigenfrequentie is indien de sinusgolf de vorm van een blokpuls begint aan te nemen(zie *figuur 4*).

We zullen de eerste 8 eigenfrequentie met deze methode meten.

n	Frequentie(Hz)
1	182(grondtoon)
2	340
3	560
4	700
5	850
6	990
7	1175
8	1360

Tabel 1: alle eigenfrequenties gemeten via de oscilloscoop

We zullen de grondtoon aan de hand van de 8 gemeten eigenfrequenties berekenen door gebruik te maken van formule 9. Dit geeft ons dan $172.57\pm 8.1\text{Hz}$. De onzekerheid werd bepaald via de standaarddeviatie.

We kunnen nu via de bekomen grondtoonfrequentie en formule 10 de lengte van de buis bepalen. In formule 10 maken we gebruik van de bekomen snelheid in proef 1. De onzekerheid werd bepaald via de voortplanting van onzekerheden.

$$L= 1.01\pm0.05\text{m}$$

4.3.2 Besluit

Bij deze proef vermoeden we dat we 1 eigenfrequentie verkeerd gemeten hebben. Dit is echter een vermoeden en wordt toch meegerekend in de onzekerheden.

Onze berekende grondtoonfrequentie komt met 1.2σ overeen met de gemeten waarde, namelijk.

$$f_1 = 172.57 \pm 8.1 \text{ Hz en } f_1 = 182 \text{ Hz}$$

We kunnen concluderen dat formule 9 degelijk klopt. Formule 10 komt ook aardig in de buurt maar daar spreken we al over een fout van 2.2σ .

$$L = 1.01 \pm 0.05 \text{ m en } L = 90.2 \pm 0.42 \text{ cm}$$

We moeten in rekening houden dat de snelheid bepaald in proef 1 ook al 1.7σ naast zat. Dus dit zal ook een grote rol spelen in de uitkomst.

4.4 Proef 4: Positie van de knopen en de buiken

4.4.1 Metingen

We gaan de microfoon dieper in de buis schuiven totdat de amplitude van de sinusgolf minimaal wordt. Op die afstand bevindt zich dan een knoop. Deze gegevens zijn in *Tabel 2* weergegeven.

n	Afstand(m)
7	0.835
6	0.708
5	0.580
4	0.455
3	0.330

Tabel 2: Afstanden waarbij een knop gevonden werd

Door formule 11 toe te passen bij elke van deze meting en vervolgens het gemiddelde en de standaarddeviatie te gebruiken kunnen we de afstand D tussen 2 knopen bepalen.

$$D = 0.115 \pm 0.004 \text{ m}$$

Hieruit volgt dat we de golflengte λ kunnen bepalen met formule 12 en voortplanting van onzekerheden.

$$\lambda = 0.231 \pm 0.007 \text{ m}$$

Vervolgens kunnen we met formule 13 de lengte van de buis nog eens berekenen.

$$L_{\text{buis}} = 0.923 \pm 0.022 \text{ m}$$

Ten slotte gaan we de snelheid van het geluid nog eens berekenen, door gebruik van formule 14.

$$v_g = 313.9 \pm 10.0 \text{ m/s}$$

4.4.2 Besluit

De lengte van de buis komt met 1σ overeen met de echte waarde. Dit is zeker een heel goede meting en ondersteund formule 13.

$$L_{\text{buis}} = 0.923 \pm 0.022 \text{ m en } L = 90.2 \pm 0.42 \text{ cm}$$

De snelheid van de geluidsgolf komt echter niet zo overeen. 3σ is de uitkomst via betrekking 14. Hier zal ergens misschien een fout zijn gebeurd. We hadden al een eerder vermoeden bij proef 3 (zie 4.3.2).

$$v_g = 313.9 \pm 10.0 \text{ m/s en } v = 344.8 \text{ m/s}$$

5. Besluit

Uit proef 1 en 4 hebben we de geluidsnelheid bepaald. We kwamen op de conclusie dat proef 1 een dit getal beter benaderde, namelijk.

Proef 1	Proef 2	Echte waarde
$v = 348.44 \pm 2.56 \text{ m/s}$	$v_g = 313.9 \pm 10.0 \text{ m/s}$	$v = 344.8 \text{ m/s}$

Uit beide proeven kunnen we nipt concluderen dat theorie klopt. We zullen dit zeker nog niet met volle mond ondersteunen want 3σ is nog steeds kantje boordje. De oplossing hiervoor, is meer metingen nemen.

We hebben de lengte van de buis ook verschillende keren berekent in proef 2,3 en 4. Proef 4 kwam echter het dichtste in de buurt met een mooie 1σ . Deze getallen waren in het algemeen zeer goed gemeten en berekent. Hierbij aanschouw ik de theorie als juist, maar zoals reeds vermeld, moeten er meer metingen genomen worden.

In het algemeen vond ik dit experiment heel interessant. Zeker omdat we met zulke alledaagse onderwerpen bezig zijn.

6. Bronvermelding

In de theorie werd er gebruik gemaakt van hoofdstuk 15-16 in het boek *Physics for scientists and engineers, with Modern Physics, 4th edition, Giancoli*.