

Een smartphone experiment met kritische data-analyse

Experimenteren met onzekerheden

Karel Kok

Humboldt-Universität zu Berlin

WND conferentie, 13–14 december 2019



Erasmus+

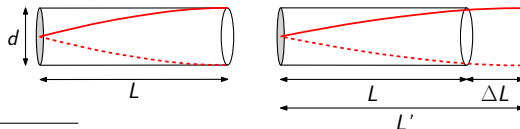


Het experiment – Twee modellen

- Context: staande akkoestische golven in een buis.
- Doorgaans eenvoudig gemodelleerd als (links): $\lambda = 4L$
- Soms de opmerking dat de buik iets buiten de buis ligt, zie: VWO1, 2008-I, opg.3.
- Uitgebreid model¹(rechts):

$$\begin{aligned}
 \lambda &= 4L' \\
 &= 4L + 4\Delta L \\
 &= 4L + 4 \cdot 0,3d \\
 &= 4L + 1,2d \rightarrow
 \end{aligned}$$

$$\lambda = 4L + \text{cst}$$



¹Levine and Schwinger (1948); LoPresto (2005); Ruiz (2014); Kok (2018)



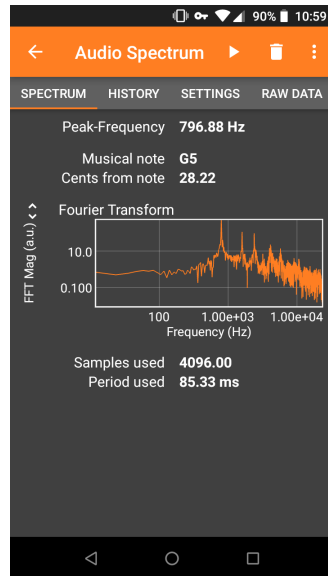
Image source: Lilly Pyras

Het experiment – Phyphox

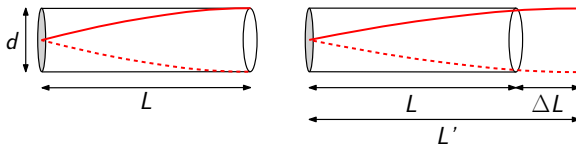
- Ontwikkeld door RWTH Aachen (geen malware).
- Gratis voor iOS en Android.
- Maakt gebruik van sensoren in smartphone.
- Data exporteerbaar naar Excel en CSV via cloud of mail.

Instellingen:

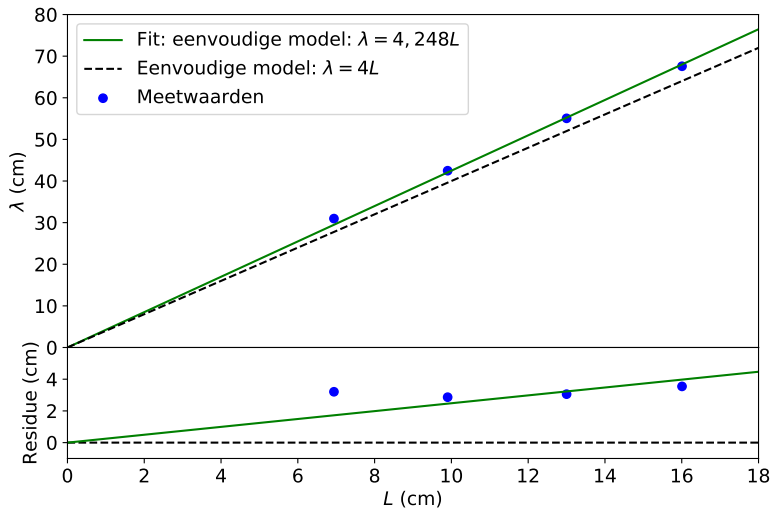
- Installeer de nu app, we gaan deze gebruiken!
- Ga naar: Audio Spectrum.
- Ga naar: Settings en stel 4096 Samples in.



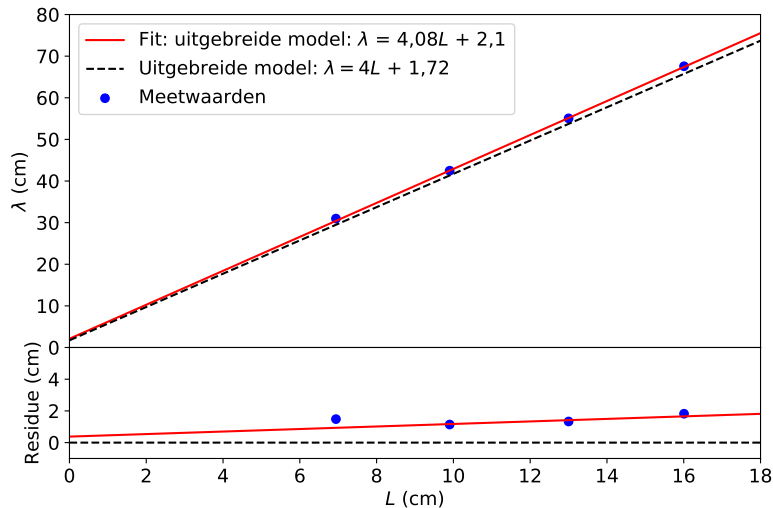
- Opdracht: welk model past beter, het eenvoudige model of het uitgebreide model?
 - ▶ $\lambda = 4L$ vs. $\lambda = 4L + \text{cst}$
- Een (λ, L) -diagram geeft het beste antwoord op de opdracht:
 - ▶ een fit van de vorm $y = ax$ stelt het simpele model voor;
 - ▶ een fit van de vorm $y = ax + b$ stelt het uitgebreide model voor.
- Hoe λ te meten?
 - ▶ Meet de frequentie van de grondtoon voor de verschillende buisjes met lengte L (phyphox).
 - ▶ Bereken de geluidssnelheid: $v = 20,05\sqrt{T}$ (met T in K).
 - ▶ Bereken de golflengte: $\lambda = v/f$.

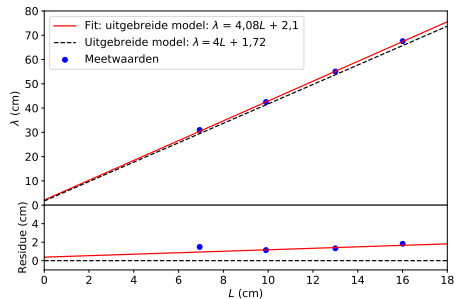
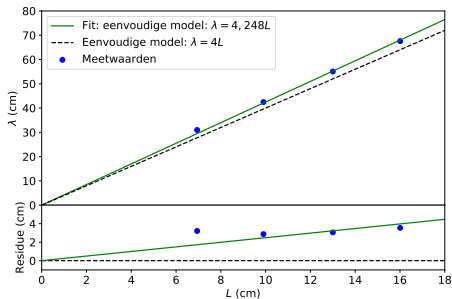


Resultaten – Eenvoudige model



Resultaten – Uitgebreide model



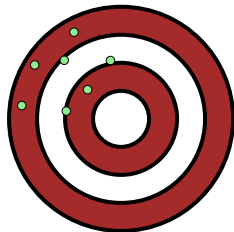


- Vergelijking van fit-waarden:

	theorie	simpele model	uitgebreide model
a	4	4,248	4,08
b	1,72 cm	–	2,1 cm

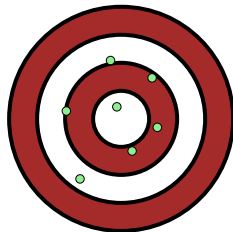
- Welk model past het beste, heb je je theorie bewezen?
- Dit is eigenlijk niet kwantitatief te beargumenteren zonder meetonzekerheden!

Meetonzekerheden – Precisie en nauwkeurigheid



Lage precisie

Lage nauwkeurigheid



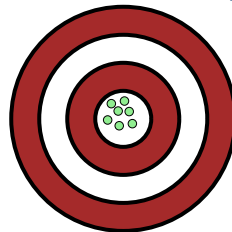
Lage precisie

Hoge nauwkeurigheid



Hoge precisie

Lage nauwkeurigheid



Hoge precisie

Hoge nauwkeurigheid

- Nauwkeurigheid: maat voor trefzekerheid van meetwaarden t.o.v. referentiewaarde.
 - ▶ Systematische afwijking.
 - ▶ Uit zich in de gemiddelde waarde.
- Precisie: maat voor spreiding van meetwaarden.
 - ▶ Toevallige meetonzekerheden.
 - ▶ Uit zich in de onzekerheid.

Meetonzekerheden

- Meetonzekerheid $\neq$ meetfout.
- Meetonzekerheden zijn niet(!) te voorkomen.
- Gemiddelde is slechts een “hoogst waarschijnlijke” waarde.
- Meetonzekerheid is een waarschijnlijkheidsgebied rond het gemiddelde.
- Meetresultaat = gemiddelde $\pm$ meetonzekerheid
- Veel verschillende mogelijkheden tot bepaling:
 - ▶ standaarddeviatie (wiskundig moeilijk);
 - ▶ min-max interval (instapniveau).
- Hier, maximaalonzekerheid: de grootste afstand tussen het gemiddelde en de min./max. waarde.
- Voordelen:
 - ▶ wiskundig eenvoudig;
 - ▶ makkelijke onzekerheidsvoortplanting;
 - ▶ makkelijk te verfijnen.
 - ▶ Nadeel: overschatting van onzekerheid.

Snelheid

- Je meet de lengte van een parcours met een meetlint: onzekerheid is $\Delta x = 5 \text{ cm}$.
- Jouw stopwatch meet de tijd in tienden ($\Delta t_1 = 0,1 \text{ s}$) en je schat de reactietijd op $0,5 \text{ s}$ ($\Delta t_2 = 0,5 \text{ s}$), totale onzekerheid is $\Delta t = 0,6 \text{ s}$.
- Het parcours heeft een gemeten lengte van $10,00 \text{ m}$, ofwel $x = (10,00 \pm 0,05) \text{ m}$.
- Een loper legt dit af in $5,0 \text{ s}$, ofwel $t = (5,0 \pm 0,6) \text{ s}$.
- *Maximaalonzekerheidsbepaling:*
 - ▶ snelheid: $v = \frac{10,00}{5,0} = 2,0 \text{ m/s}$;
 - ▶ $v_{\max} = x_{\max}/t_{\min} = 10,05/4,4 = 2,28 \text{ m/s} \rightarrow \Delta v = |2,0 - 2,28| = 0,28 \text{ m/s}$;
 - ▶ $v_{\min} = x_{\min}/t_{\max} = 9,95/5,6 = 1,78 \text{ m/s} \rightarrow \Delta v = |2,0 - 1,78| = 0,22 \text{ m/s}$;
 - ▶ onzekerheid: $\Delta v_{\max} = 0,28 \text{ m/s}$.
- Het resultaat is: $v = (2,00 \pm 0,28) \text{ m/s}$.

Meetonzekerheden – Bepaling

Frequentie

- Het aantal samples dat Phyphox gebruikt bepaalt de *Period used* en daarmee de frequentiestapgrootte.
- $\Delta T = 85,33 \text{ ms} \rightarrow \Delta f = \frac{1}{\Delta T} = 11,72 \text{ Hz}$.

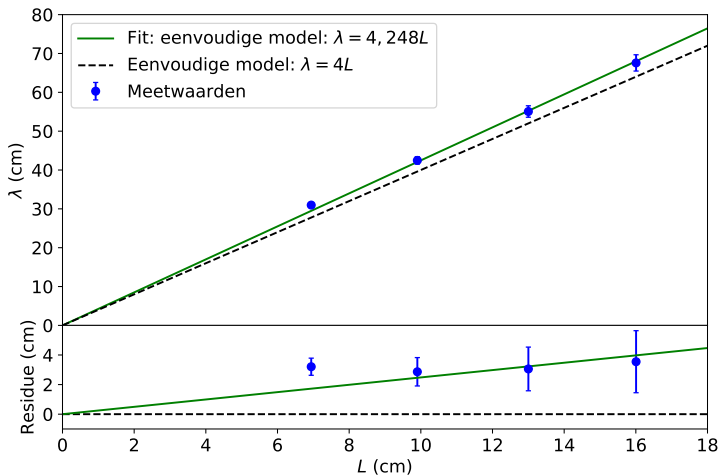
Temperatuur en geluidssnelheid

- De kamer (24°C) en de adem (34°C) hebben zeer verschillende temperaturen $\rightarrow$
 $T = (29 \pm 5)^\circ\text{C} = (302 \pm 5) \text{ K}$.
- Dus voor de geluidssnelheid: $v = (348 \pm 3) \text{ m/s}$.

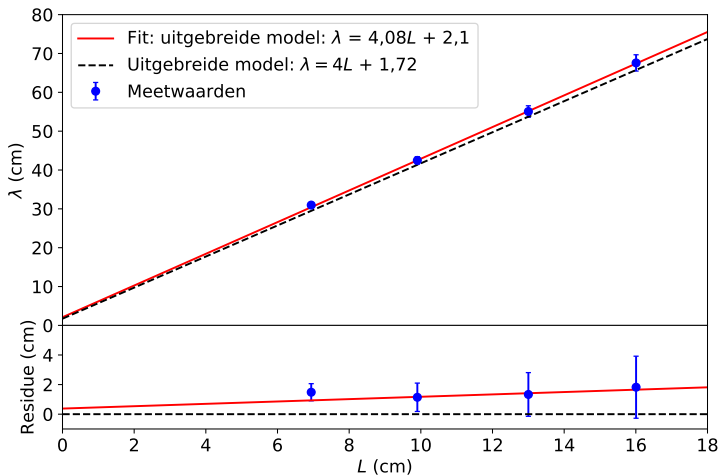
Golflengte

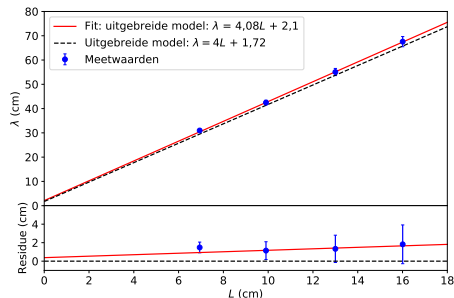
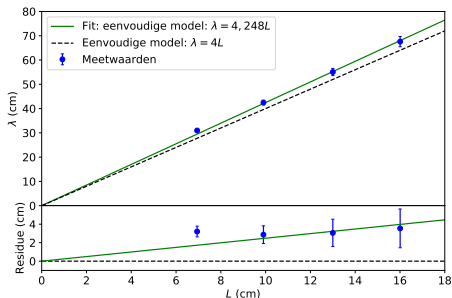
- Maximaalonzekerheid: $\Delta\lambda = \frac{1}{2}(\lambda_{\text{grootste}} - \lambda_{\text{kleinste}})$.

Meetonzekerheden – Resultaten eenvoudige model



Meetonzekerheden – Resultaten uitgebreide model





- De fit volgens het uitgebreide model (rood) past het beste.
- Geen overeenstemming met het uitgebreide model!
- Systematische afwijking van ~ 1 cm.

Hypothese voor systematische afwijking van ~ 1 cm:
*de aanwezigheid van de mond zorgt voor een effectieve verlenging
(rode pijl) van de buis, waardoor de golflengte groter wordt.*



Redesign – Opstelling

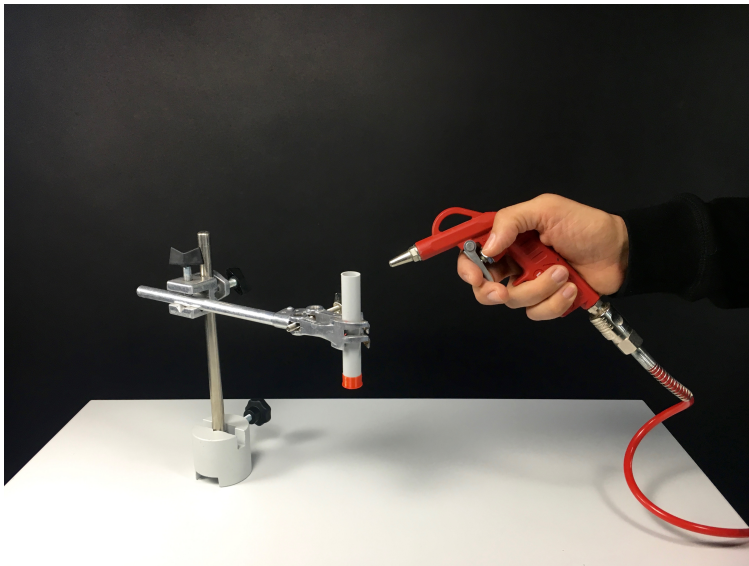
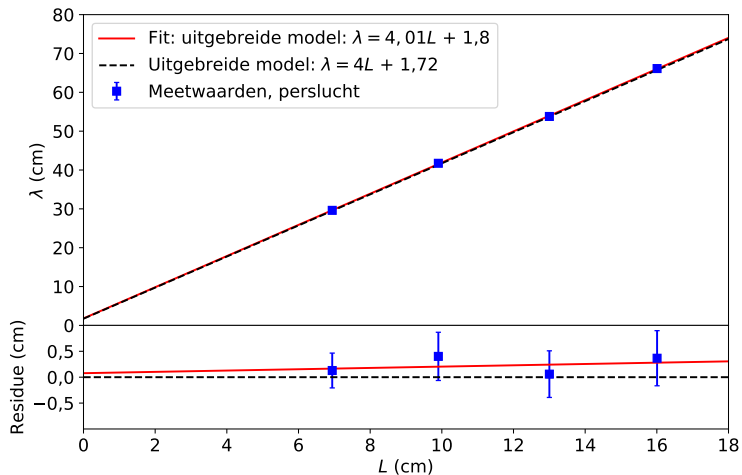
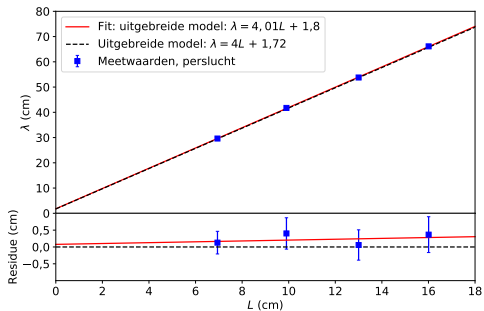


Image source: Lilly Pyras





- Systematische afwijking verdwenen.
- Meetwaarden stemmen—met betrachting van meetonzekerheden—overeen met het uitgebreide model.
- Effect van lippen gereconstrueerd met vingers.

Image source: Lilly Pyras



- Phyphox is een krachtige app die veel mogelijkheden biedt tot het verzamelen van meetgegevens.
- Meetonzekerheden zijn essentieel voor de keuze tussen twee fits/modellen.
- Meetonzekerheden kwantitatief betrachten hoeft niet wiskundig moeilijk te zijn.
- Dit experiment biedt een goede gelegenheid om meetonzekerheden te thematiseren.
- Dit experiment geeft, voor de verandering, géén uitsluitsel over welk model het beste past (alleen de resultaten met perslucht laten dit toe).

- Voer het experiment zelf uit:
 - ▶ Blaas op een buisje verzamel met Phyphox data.
 - ▶ Bepaal meetonzekerheden $\Delta f = \frac{1}{\text{Period used}}$, $v = 20,05\sqrt{T}$.
 - ▶ Bereken golflengtes en maak een (λ, L) -diagram (buisjes: $L = 7, 10, 13, 16$ cm, $d = 1,4$ cm).
 - ▶ Kijk welk model het beste past: $\lambda = 4L$ of $\lambda = 4L + 1,2d$.
- Alternatief: geluidssnelheid bepaling
 - ▶ Meet f , bereken λ m.b.v. uitgebreide model, maak een (f^{-1}, λ) -diagram en bepaal de geluidssnelheid uit de richtingscoëfficiënt van de grafiek².
- Alternatief: bepaling van randvoorwaarden
 - ▶ Meet het akkoestische spectrum van een buisje en analyseer de verhoudingen van de grondtoon en boventonen.
 - ▶ Twee open einden: $f_1 : f_2 : f_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$
 - ▶ Een open, een gesloten einde: $f_1 : f_2 : f_3 : \dots = 1 : 3 : 5 : \dots$

²Kok, K. (2018). *NVOX(9) 2018*

- Kok, K. (2018). Geluidssnelheid bepalen met behulp van staande golven. *NVOX*, (9):456–457.
- Levine, H. and Schwinger, J. (1948). On the Radiation of Sound from an Unflanged Circular Pipe. *Phys. Rev.*, 73(4):383–406.
- LoPresto, M. C. (2005). Measuring End Correction for a Quarter-Wave Tube. *Phys. Teach.*, 43(6):380–380.
- Ruiz, M. J. (2014). Boomwhackers and End-Pipe Corrections. *Phys. Teach.*, 52(2):73–75.