

# Suggesties voor demo's golven

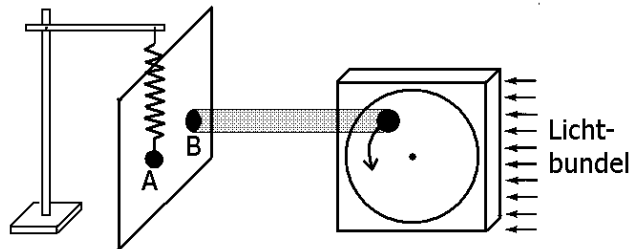
## Paragraaf 1

Demo's verschillende trillingsvormen

Denk aan een massa-veer-systeem, een slinger, een liniaal die aan een kant op de tafel is geklemd.

Projectie van cirkelbeweging op een muur

Laat A en B (= schaduw van ronddraaiend voorwerp) synchroon lopen. Zie hiernaast.



Registreer met bijvoorbeeld een oscilloscoop de toon van een stemvork en van een stem. Laat zien dat het signaal van een stemvork een sinus is (zuivere toon dus) en het signaal van de stem alleen periodiek is (geen sinus en dus geen zuivere toon).

Sluit een luidspreker op een toongenerator aan. Laat het verschil horen tussen een blokspanning of driehoekspanning (geen zuivere toon) en een sinus (zuivere toon).

Genereer met een applet (zoals van PhET) een grondtoon (zuivere toon) en voeg boventonen toe. Laat dit effect horen.

## Paragraaf 2

Demo spiraalveer (Slinky)

Laat verschil tussen transversale en longitudinale golven zien.

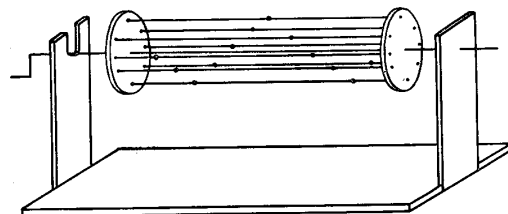
Laat zien dat de voortplantingsnelheid niet van de frequentie afhangt.

Demo geluidsvlam (uit Showdefysica)

Plaats een vlammetje voor een luidspreker die trilt met bijvoorbeeld 8 Hz. Het vlammetje zie je heen en weer gaan.

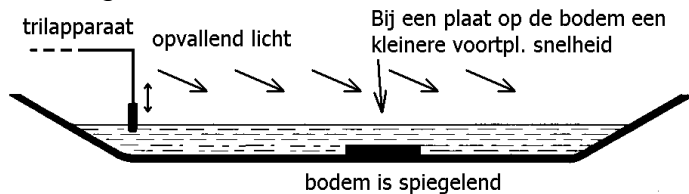
Demo projectie ronddraaiend rad

Bij projectie op de muur lijkt dit een golf.



Demo polarisatie bij EM-golven (bij longitudinale golven zou dit niet gaan)  
 Verdraai twee polaroidfilters ten opzichte van elkaar.  
 Laat zien dat een LCD-scherm gepolariseerd licht uitstraalt

### Demo golfbak



Laat zien dat de voortplantingssnelheid afhankelijk van diepte is.  
 Laat bijvoorbeeld de lenswerking van een perspex plaat op de bodem zien.  
 Bij een stroboscopische belichting kan alles in slowmotion getoond worden.

### Paragraaf 3

#### Demo spiraalveer

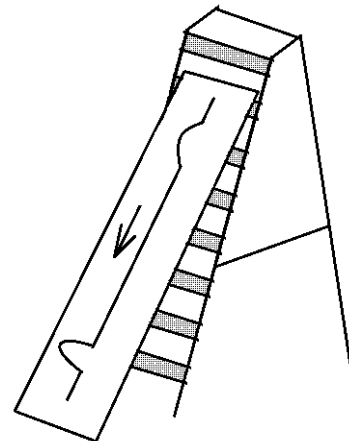
Laat zien dat bij een toenemende frequentie de golflengte kleiner wordt.

#### Demo golfbak

Laat zien dat bij een toenemende frequentie de golflengte kleiner wordt.

#### Demo kralenketting op schuin glad vlak

Laat zien dat een golf in een kralenketting (of koord) een kleinere golflengte krijgt als de voortplantingssnelheid afneemt. Deze laatste neemt namelijk af bij afnemende spankracht. Zie de figuur hiernaast. Als je bovenaan een golfje opwekt, zal de puls in de kralenketting aan de onderkant korter zijn. Overigens zal de frequentie gelijk blijven.



#### Bepaling valversnelling g met een verticaal opgehangen ketting

Geef de ketting onderaan een tikje opzij. Een transversale golf beweegt dan omhoog met een versnelling van  $a = g/2$  en (na terugkaatsing) omlaag met een even grote vertraging. Meet de lengte van de ketting op en de tijd die de golf erover doet om 20x op en neer gaan. Daaruit kan dan g bepaald worden.

Bewijs van  $a = g/2$ .

Stel  $x$  = hoogte van de golf boven het laagste punt v/d ketting.

Voor de snelheid  $v$  van de golf in een ketting geldt:  $v^2 = F / ml$ .

Hierin is  $F$  de spankracht en  $ml$  de massa per lengte-eenheid van de ketting.

Voor de spankracht geldt:  $F = ml \cdot g \cdot x$ . Dus geldt:  $v^2 = g \cdot x$ .

Differentiëren naar  $t$  geeft:  $2 \cdot v \cdot a = g \cdot v$ . Hieruit volgt het te bewijzende.

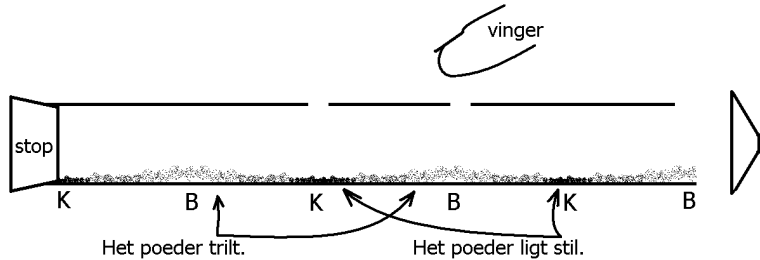
## Paragraaf 4

### Applets over staande golf

#### Demo staande golf bij de proef van Melde

Laat met een stroboscoop zien dat de beweging van het koord aan weerszijden van een knoop in tegenfase is.

#### Demo effect van gaten in buis bij de proef van Kundt



Vul een doorzichtige perspex buis met fijn poeder. Breng de luchtkolom in de buis in trilling met een luidspreker (zie de bovenstaande figuur). Houd de luidspreker op een kleine afstand van de opening. Zoek de resonantiefrequentie op in de buurt van 1 kHz (bij 1 kHz zou de afstand tussen 2 knopen 17 cm zijn). Bij de buiken trilt het poeder heftig, bij de knopen juist niet. Boor nu twee gaten in de buis: één bij een knoop en één bij een buik. Nu kan de voorstelling beginnen!

Breng de luchtkolom opnieuw in trilling. Demonstreer dat het gat bij de knoop dicht moet zijn om resonantie te krijgen. Anders heb je geen versterking van het geluid en danst het poeder ook niet. Laat ook zien dat het niet uit maakt of het gat bij de buik open of dicht is.

De verklaring is dat er bij de knoop drukvariaties zijn. Het gaatje bij de knoop bemoeilijkt dat omdat de lucht voortdurend door het gaatje stroomt (heen en weer). Dat kun je met een papiertje laten zien.

#### Demo staande golf bij microgolven

## Paragraaf 5

### Applets over trillende snaar

#### Demo frequentiespectrum van trillende snaar

Laat zien dat je meer boventonen krijgt als je de snaar dicht bij een uiteinde aanslaat.

#### Demo snaar: laat verschillen in timbre horen.

Sla de snaar in het midden aan. De grondtoon is dan in verhouding sterk aanwezig. Sla de snaar bij een uiteinde aan. De boventonen zijn dan in verhouding sterk aanwezig.

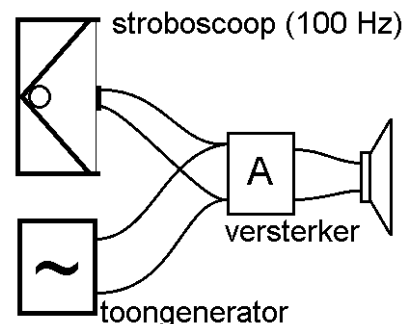
#### Demo snaar: uitschakelen grond- en boventonen.

Sla de snaar op ruime afstand van het midden aan. Raak daarna met je vinger even het midden van de snaar aan. De grondtoon valt dan weg en de toon klinkt anders (hoger). Raak daarna een van de buiken bij de eerste boventoon aan. Opnieuw verandert de toon. Enzovoort.

#### Demo snaar: verhoog de spankracht waardoor toon hoger wordt.

#### Demo boventonen laten horen door middel van zwevingen (Biezeveld)

Plak een stukje zonnecel op de ruit van een stroboscoop. Stel deze in op bijvoorbeeld 100 Hz. De zonnecel geeft dan een periodiek (maar niet harmonisch) signaal af van 100 Hz. Voeg hierbij het harmonische signaal van een toongenerator, zoals hiernaast is getekend. De luidspreker laat dan zwevingen horen bij 100 Hz (grondtoon), 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz enz. (boventonen).



## Paragraaf 6

### Applets over trillende luchtkolom

Opmerking: het frequentieanalyseprogramma Visual Analyser kan gratis van het internet worden gedownload. Een logische keus in het programma is: FFT size 4096; freq. sampling (Hz) 40960. De samplefrequentie moet minstens 40 kHz zijn. De maximale frequentie van het geluid mag dan 20 kHz zijn. De FFT is gebaseerd op N punten waarbij N een macht van 2 is. Bijv.  $N = 4096 = 2^{12}$ . Van N/2 equidistante frequenties wordt dan de sterkte bepaald. Bij een samplefrequentie van 40960 Hz is de spectrale resolutie dan dus 10 Hz.

Demo frequentiespectrum van een PVC-buis waar het mondstuk van een blokfluit op is gemonteerd (of indien beschikbaar van een demo-orgelpijp)

Laat zien dat de frequentieverhouding bij een open luchtkolom  $1 : 2 : 3 : 4 \dots$  is.

Bij harder blazen worden de boventonen meestal sterker.

Bij een gesloten luchtkolom is de frequentieverhouding:  $1 : 3 : 5 : 7 \dots$  Aangezien de grondfrequentie van de gesloten luchtkolom de helft is van die van de open luchtkolom, kan de verhouding beter weergegeven worden met:  $0,5 : 1,5 : 2,5 : 3,5 \dots$  Het is moeilijk om deze verhouding in één oogopslag te laten zien, bijvoorbeeld omdat de grondtoon moeilijk te genereren is. Een manier om dit te omzeilen is de volgende. Markeer eerst met een stift of met stickers de frequentiepieken bij een open luchtkolom. Sluit vervolgens de buis aan één kant en laat dan zien dat de nieuwe frequentiepieken precies tussen de gemarkeerde frequenties in liggen.

### Demo houten orgelpijpen

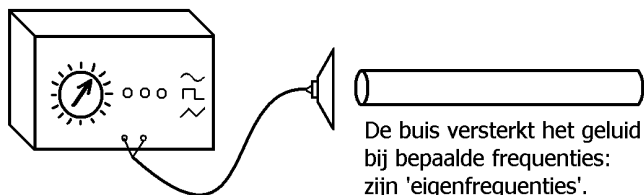
Varieer de lengte. Hierdoor verandert de toonhoogte.

Laat het verschil horen tussen een open en een gesloten uiteinde.

Sluit de orgelpijp op een aardgasslang aan. Dit geeft een hogere toon vanwege de grotere geluidssnelheid in aardgas. Een tijdvertraging kun je bewerkstelligen door de slang voldoende lang te nemen.

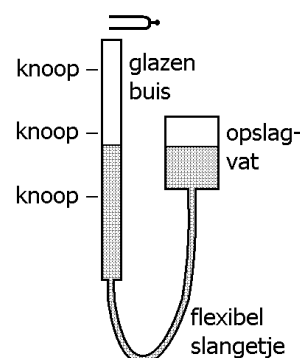
### Demo eigenfrequenties luchtkolom

Voer de frequentie geleidelijk op en hoor bij bepaalde tonen versterking (zie de figuur hiernaast). Kurkpoeder in de buis kan helpen bij het vinden van de resonantiefrequenties.



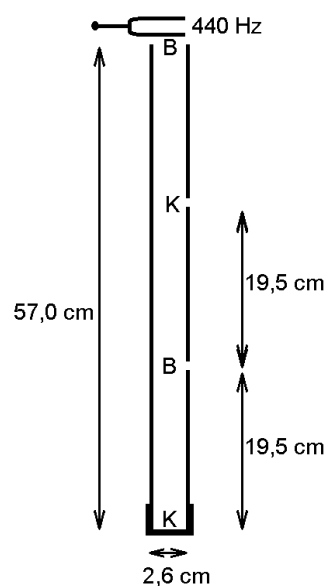
### Demo versterking stemvork met glazen buis (zie figuur hiernaast)

Houd een stemvork van bijvoorbeeld 2000 Hz boven een glazen buis waarin water daalt. Je hoort dan bij bepaalde waterhoogtes versterking.



Demo versterking stemvork (440 Hz) met PVC-buis (32 mm).

Maak een PVC-buis zoals hiernaast is getekend. Laat zien dat als beide gaatjes dicht zijn, het geluid van de stemvork (440 Hz) wordt versterkt. Laat ook zien dat het onderste gaatje (bij de buik) gerust open gelaten kan worden. Laat tenslotte zien dat het bovenste gaatje (bij de knoop) niet geopend kan worden zonder de geluidsversterking te verliezen.



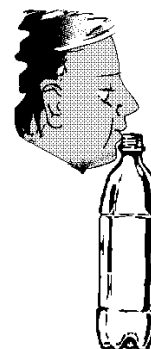
Blaas langs de opening van een buis.

Door de ruis heen hoor je een toonhoogte. Schat deze toonhoogte met een toongenerator plus luidspreker. Pas de frequentie zodanig aan dat beide toonhoogtes gelijk zijn. Vergelijk deze frequentie met de berekende waarde (uitgaande van de buislengte).

Blaas langs de opening van een pet-fles (zie figuur hiernaast)

Tijdens het blazen, hoor je de grondtoon. Bij de bodem wordt de lucht afwisselend samengeperst en uitgerekt. Bij de bodem zit dus een knoop.

Als je een gaatje in de bodem boort, worden drukvariaties bij de bodem onmogelijk gemaakt en is er (nauwelijks) een toon hoorbaar.



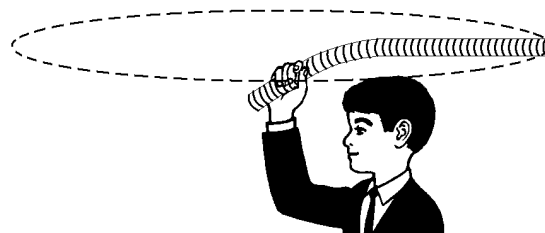
Demo rondslingerende holle slang met 'ribbels' (zie figuur hiernaast)

Hoe sneller je de slang ronddraait, hoe hoger de toon. Deze toonverandering gaat stapsgewijs. Bij langzaam rondslingeren bijv. de eerste boventoon, bij sneller draaien de tweede boventoon enzovoort.

Opmerking

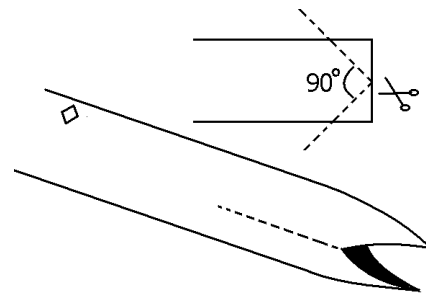
De ribbels moeten gesloten cirkels vormen. Bij een stofzuigerslang werkt het niet omdat zijn ribbels in elkaar overgaan en dus een spiraal vormen.

Doordat de druk bij het buitenste uiteinde lager is (wet van Bernoulli), gaat de lucht in de slang stromen. De ribbels brengen de lucht in trilling. Hoe sneller de slang wordt rondgedraaid, des te hoger de frequentie van de opgewekte trillingen is. Bij bepaalde frequenties ontstaat er een staande golf in de slang.



### Demo rietje

Maak het rietje aan één uiteinde plat. Knip vervolgens aan die kant een mondstuk zoals hiernaast is afgebeeld. Maak de punten niet te spits want dan vibreren ze niet. Knip een paar gaatjes in het rietje. Blaas tenslotte door mondstuk en speel fluit. Schuif eventueel een tweede rietje in het eerste rietje om extra lengte te krijgen. Het tweede rietje moet je bij het uiteinde wel eerst inknippen om de diameter een beetje kleiner te maken.



### Demo longitudinale golf in massieve ronde aluminium staaf

Houd de staaf (bijv. 1 m lang met een diameter van 15 mm) precies in het midden vast. Breng de staaf in trilling door er aan één kant met een hamer tegenaan te slaan. In de staaf ontstaan dan zowel een transversale als een longitudinale staande golf met een knoop in het midden en twee buiken aan de uiteindes. Demp de transversale golf door de staaf net naast het midden aan te raken. Er blijft dan een hoge toon over (2500 Hz bij een staaf lengte van 1 m).

Houd de staaf op één vierde van zijn lengte vast (de staaf kan dan het beste verticaal staan). Sla de staaf weer aan. De toonhoogte wordt dan twee maal zo hoog.

### Demo buis van Rijke

De buis van Rijke is een metalen (of glazen) buis met twee open uiteinden ter lengte van een kleine meter. Op een vierde tot een vijfde van de lengte zit een gaasje dat met een gasvlam (of elektrisch) verhit wordt. Na het weghalen van de gasvlam, gaat de luchtkolom een aantal seconde trillen (je hoort de grondtoon). Zie de figuren hiernaast waarin de pijlen de periodieke beweging van de lucht weergeven. De tijd tussen figuren a en b is een halve periode.

De volgende stapsgewijze verklaring kan gegeven worden.

#### Stap 1

De beweging van de lucht is een combinatie van trillen en van convectie.

#### Stap 2 (volgt uit 1)

De lucht die in neerwaartse richting door het gaasje stroomt, is even daarvoor (zeg een halve periode) al in opwaartse richting door het gaasje gestroomd. De lucht die in opwaartse richting door het gaasje stroomt, is voor een deel nog niet eerder door het gaasje gestroomd.

#### Stap 3 (volgt uit 2)

De lucht die in opwaartse richting door het gaasje stroomt, is vooraf gemiddeld kouder dan de lucht die in neerwaartse richting door het gaasje stroomt.

#### Stap 4 (volgt uit 3)

De lucht die in opwaartse richting door het gaasje stroomt, ontvangt gemiddeld meer warmte dan de lucht die in neerwaartse richting door het gaasje stroomt. De warmte die aan de naar boven bewegende lucht wordt overgedragen, versterkt de druktoename bij de knoop in figuur a en jaagt daarmee de trilling van de luchtkolom aan.

